



TUGAS AKHIR - RM 184831

ANALISIS VARIASI NILAI *ZENITH TROPOSPHERIC DELAY* (ZTD) DI PROVINSI JAWA TIMUR MENGGUNAKAN DATA CORS TAHUN 2015-2018

NORMA AJI CEMARA MANNANI

NRP 03311640000067

Dosen Pembimbing

Dr. Eko Yuli Handoko, S.T.,M.T.

DEPARTEMEN TEKNIK GEOMATIKA

Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumihan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya 2020



TUGAS AKHIR - RM 184831

ANALISIS VARIASI NILAI *ZENITH TROPOSPHERIC DELAY* (ZTD) DI PROVINSI JAWA TIMUR MENGGUNAKAN DATA CORS TAHUN 2015-2018

NORMA AJI CEMARA MANNANI
NRP 0331164000067

Dosen Pembimbing
Dr. Eko Yuli Handoko, S.T.,M.T.

DEPARTEMEN TEKNIK GEOMATIKA
Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



UNDERGRADUATE THESIS - RM 184831

***ESTIMATING ZENITH TROPOSPHERIC DELAY
VARIABILITY (2015-2018) IN EAST JAVA PROVINCE
DERIVED FROM CORS DATA***

NORMA AJI CEMARA MANNANI
NRP 0331164000067

Supervisor
Dr. Eko Yuli Handoko, S.T.,M.T.

***GEOMATICS ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Civil, Planning, and Geo Engineering
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020***

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

ANALISIS VARIASI NILAI *ZENITH TROPOSPHERIC DELAY*
(ZTD) DI PROVINSI JAWA TIMUR MENGGUNAKAN
DATA CORS TAHUN 2015-2018

Nama Mahasiswa : Norma Aji Cemara Mannani
NRP : 03311640000067
Jurusan : Teknik Geomatika FTSPK – ITS
Pembimbing : Dr. Eko Yuli Handoko, S.T.,M.T.

ABSTRAK

Global Navigation Satellite System (GNSS) kini dikembangkan sebagai sistem penginderaan jauh atmosfer melalui perhitungan *Zenith Tropospheric Delay* (ZTD). Salah satu komponen dalam ZTD adalah *Zenith Wet Delay* (ZWD). ZWD dipengaruhi oleh kandungan uap air yang menyebabkan sulit untuk dimodelkan karena kandungan uap air tidak tercampur secara baik sehingga bergantung pada wilayah masing-masing. 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 ZWD di wilayah Jawa Timur.

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 $0,25^\circ \times 0,25^\circ$ yang kemudian dianalisis secara spasial. Analisis variasi temporal dilakukan berdasarkan rerata tahunan, dekomposisi *time series*, dan periodogram.

Hasil korelasi nilai ZWD dari data CORS dan meteorologi menunjukkan hubungan kuat dengan nilai koefisien korelasi 0,712.

Nilai tren rata-rata sebesar 0,712 dengan pola kenaikan. Karakteristik variasi spasial dan temporal dari nilai ZWD dipengaruhi beberapa faktor, di antaranya angin monsun Asia dan Australia, fenomena global seperti El Nino dan La Nina, intensitas curah hujan, kondisi meteorologi lokal seperti suhu dan kelembaban, cuaca, dan topografi dari stasiun.

Kata Kunci : CORS, GNSS, variasi, ZTD, ZWD.

*ESTIMATING ZENITH TROPOSPHERIC DELAY VARIABILITY
(2015-2018) IN EAST JAVA PROVINCE DERIVED FROM
CORS DATA*

Name : Norma Aji Cemara Mannani
NRP : 03311640000067
Departement : Geomatics Engineering, FTSPK – ITS
Supervisor : Dr. Eko Yuli Handoko, S.T.,M.T.

ABSTRACT

The Global Navigation Satellite System (GNSS) was developed as an atmospheric remote sensing system through the calculation of Zenith Tropospheric Delay (ZTD). One component of ZTD is Zenith Wet Delay (ZWD). ZWD is influenced by the water vapor content which makes it difficult to be modeled because the water vapor content is not well mixed so it depends on conditions in each region. Along with the development of CORS stations, it encourages research on ZTD with continuous data and good spatial resolution because the locations of CORS stations are spread evenly. This study aims to analyze the characteristics of spatial and temporal variations of ZWD in the East Java region.

The case study of this research is East Java Province using 16 CORS stations. In addition to CORS data, meteorological data from four stations belonging to BMKG in East Java are used as comparison data. ZTD and ZWD value calculations using GIPSY 6.4 software. ZWD value is visualized by gridding with the kriging method. The size of the grid is $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$. The results of gridding will be analyzed based on spatial conditions. The analysis of temporal variation is based on the annual mean, time series decomposition, and periodogram.

ZWD correlation results from CORS and meteorological data show a strong relationship with the correlation coefficient of 0.712. The average trend value of 0.712 with an increasing pattern. The characteristics of spatial and temporal variations of the ZWD

value are influenced by several factors, including Asian and Australian monsoons which cause seasons global phenomena such as El Nino and La Nina, rainfall intensity, local meteorological conditions such as temperature and humidity, weather, and topography of the station.

Keywords : CORS, GNSS, variability, ZTD, ZWD.

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISIS VARIASI NILAI *ZENITH TROPOSPHERIC DELAY (ZTD)* DI PROVINSI JAWA TIMUR MENGUNAKAN DATA CORS TAHUN 2015-2018

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

Pada

Program Studi S-1 Departemen Teknik Geomatika
Fakultas Teknik Sipil Perencanaan dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

NORMA AJI CEMARA MANNANI

NRP. 03311640000067

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir:

Dr. Eko Yuli Handoko, S.T., M.T.

NIP. 197407272000031001

(*eko yuli*)



SURABAYA, 4 AGUSTUS 2020

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa. Dengan rahmat dan karunia-Nya, penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir berjudul “**Analisis Variasi Nilai *Zenith Tropospheric Delay (ZTD)* di Provinsi Jawa Timur Menggunakan Data CORS Tahun 2015-2018**” dengan lancar.

Selama pengerjaan penelitian ini, banyak pihak yang telah memberikan bantuan dan dukungan kepada penulis. Untuk itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Kedua orang tua penulis dan keluarga yang selalu mendukung.
2. Bapak Dinar Guruh Pratomo, ST., M.Sc., Ph.D., selaku Ketua Jurusan Teknik Geomatika ITS.
3. Bapak Dr. Eko Yuli Handoko, S.T., M.T. selaku pembimbing I yang telah memberikan saran dan bimbingan selama penelitian berlangsung
4. Badan Informasi Geospasial (BIG) yang telah berkenan menyediakan data dalam penelitian ini.
5. Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) yang telah berkenan menyediakan data dalam penelitian ini.
6. Bapak Putra Maulida, S.T., M.T. selaku dosen Teknik Geomatika ITS yang telah membantu dalam pelaksanaan pengolahan.
7. Bapak Ibu dosen Teknik Geomatika ITS beserta staf yang telah memberikan ilmu dan membantu kelancaran dalam menyelesaikan tugas akhir.
8. Mbak Meidi G15 yang telah banyak membantu dan memberikan saran selama penelitian ini.
9. Teman-teman Jurusan Teknik Geomatika ITS Angkatan 2016 atas dukungan dan semangat yang telah diberikan.
10. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu-persatu yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.

Semoga Allah SWT senantiasa melimpahkan karunianya kepada pihak-pihak yang telah membantu penulis dalam melaksanakan penelitian ini.

Penulis menyadari bahwa dalam penelitian ini masih terdapat kekurangan. Oleh karena itu, besar harapan penulis agar para pembaca dapat memberikan kritik dan saran sebagai pembelajaran untuk penelitian-penelitian selanjutnya. Semoga penelitian ini dapat bermanfaat untuk semua pihak, khususnya untuk mahasiswa Jurusan Teknik Geomatika Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Surabaya, 4 Agustus 2020

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vii
LEMBAR PENGESAHAN	ix
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR TABEL	xxi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Penelitian.....	4
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 <i>Global Navigation Satellite System (GNSS)</i>	5
2.2 Propagasi sinyal dalam troposfer.....	7
2.3 <i>Gridding</i>	10
2.4 Korelasi	11
2.5 Dekomposisi <i>Time Series</i>	12
2.6 Periodogram	12
2.7 GIPSY-OASIS.....	13
2.8 Penelitian sebelumnya	14
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	17

3.1	Lokasi Penelitian	17
3.2	Data dan Peralatan.....	19
3.3	Tahapan Penelitian	20
BAB IV HASIL DAN ANALISIS		25
4.1	Perhitungan Nilai ZTD dan ZWD.....	25
4.1.1	Stasiun CLMG	25
4.1.2	Stasiun CLUM.....	28
4.1.3	Stasiun CMAG	32
4.1.4	Stasiun CMLG.....	36
4.1.5	Stasiun CNGA	39
4.1.6	Stasiun CPAC	43
4.1.7	Stasiun CPAI	47
4.1.8	Stasiun CPAS	51
4.1.9	Stasiun CSIT.....	54
4.1.10	Stasiun CSMN.....	58
4.1.11	Stasiun CSMP.....	62
4.1.12	Stasiun CTBN.....	65
4.1.13	Stasiun CTUL	69
4.1.14	Stasiun CJEM	73
4.1.15	Stasiun CBLR.....	76
4.1.16	Stasiun CBTL	80
4.2	Perbandingan ZWD Stasiun CORS dengan Stasiun Meteorologi.....	83
4.2.1	Stasiun CMLG dengan Stasiun Malang	84
4.2.2	Stasiun CNGA dengan Stasiun Sawahan	86
4.2.3	Stasiun CSMN dengan Stasiun Kalianget	88

4.2.4 Stasiun CPAS dengan Stasiun Tretes	90
4.3 Analisis Variasi Temporal	93
4.3.1 Analisis Rerata Tahunan (<i>mean annual</i>)	94
4.3.2 Dekomposisi <i>Time Series</i>	98
4.3.3 <i>Trend</i>	99
4.3.4 <i>Seasonal</i> dan Periodogram	103
4.4 Analisis Variasi Spasial.....	106
4.4.1 Distribusi Spasial	106
4.4.2 Analisis Variasi Tahunan.....	107
4.4.3 Analisis Variasi Bulanan	109
4.4.4 Analisis Variasi Harian.....	117
4.4.5 Analisis <i>Trend</i> Spasial	120
BAB V PENUTUP.....	123
5.1 Kesimpulan.....	123
5.2 Saran.....	124
DAFTAR PUSTAKA	125
LAMPIRAN.....	129
BIODATA PENULIS.....	147

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Sebaran InaCORS.....	7
Gambar 2.2 Propagasi sinyal pada GNSS	7
Gambar 2.3 Periodogram curah hujan selama 250 tahun.....	13
Gambar 3.1 Sebaran stasiun CORS dan BMKG di Jawa Timur .	17
Gambar 3.2 Diagram Alir.....	20
Gambar 4.1 Grafik Nilai ZTD Stasiun CLMG.....	26
Gambar 4.2 Grafik Nilai ZWD Stasiun CLMG	27
Gambar 4.3 Grafik Nilai ZTD Stasiun CLUM.....	29
Gambar 4.4 Grafik Nilai ZWD Stasiun CLUM	31
Gambar 4.5 Grafik Nilai ZTD Stasiun CMAG	33
Gambar 4.6 Grafik Nilai ZWD Stasiun CMAG.....	35
Gambar 4.7 Grafik Nilai ZTD Stasiun CMLG.....	36
Gambar 4.8 Grafik Nilai ZWD Stasiun CMLG	38
Gambar 4.9 Grafik Nilai ZTD Stasiun CNGA.....	40
Gambar 4.10 Grafik Nilai ZWD Stasiun CNGA.....	41
Gambar 4.11 Grafik Nilai ZTD Stasiun CPAC.....	44
Gambar 4.12 Grafik Nilai ZWD Stasiun CPAC	46
Gambar 4.13 Grafik Nilai ZTD Stasiun CPAI	48
Gambar 4.14 Grafik Nilai ZWD Stasiun CPAI.....	49
Gambar 4.15 Grafik Nilai ZTD Stasiun CPAS	51
Gambar 4.16 Grafik Nilai ZWD Stasiun CPAS.....	53
Gambar 4.17 Grafik Nilai ZTD Stasiun CSIT.....	55
Gambar 4.18 Grafik Nilai ZWD Stasiun CSIT	57
Gambar 4.19 Grafik Nilai ZTS Stasoun CSMN.....	59

Gambar 4.20 Grafik Nilai ZWD Stasiun CSMN.....	61
Gambar 4.21 Grafik Nilai ZTD Stasiun CSMP.....	62
Gambar 4.22 Grafik Nilai ZWD Stasiun CSMP	64
Gambar 4.23 Grafik Nilai ZTD Stasiun CTBN.....	66
Gambar 4.24 Grafik Nilai ZWD Stasiun CTBN	68
Gambar 4.25 Grafik Nilai ZTD Stasiun CTUL.....	70
Gambar 4.26 Grafik Nilai ZWD Stasiun CTUL	72
Gambar 4.27 Grafik Nilai ZTD Stasiun CJEM.....	74
Gambar 4.28 Grafik Nilai ZWD Stasiun CJEM.....	75
Gambar 4.29 Grafik Nilai ZTD Stasiun CBLR.....	77
Gambar 2.30 Grafik Nilai ZWD Stasiun CBLR	79
Gambar 4.31 Grafik Nilai ZTD Stasiun CBTL.....	81
Gambar 4.32 Grafik Nilai ZWD Stasiun CBTL.....	82
Gambar 4.33 Grafik perbandingan Nilai ZWD Stasiun CMLG – Malang.....	84
Gambar 4.34 <i>Scatter Plot</i> Perbandingan Nilai ZWD Stasiun CMLG – Malang	86
Gambar 4.35 Grafik Perbandingan Nilai ZWD Stasiun CNGA - Sawahan	86
Gambar 4.36 <i>Scatter Plot</i> Perbandingan Nilai ZWD Stasiun CNGA – Sawahan	88
Gambar 4.37 Grafik Perbandingan Nilai ZWD Stasiun CSMN – Kalianget	89
Gambar 4.38 <i>Scatter Plot</i> ZWD Perbandingan Nilai ZWD Stasiun CSMN – Kalianget.....	90
Gambar 4.39 Grafik Perbandingan Nilai ZWD Stasiun CPAS – Tretes.....	91

Gambar 4.40 <i>Scatter Plot</i> Perbandingan Nilai ZWD Stasiun CPAS - Tretes.....	92
Gambar 4.41 Grafik Nilai ZWD Tahun 2015	94
Gambar 4.42 Grafik Nilai ZWD tahun 2016 – 2018.....	96
Gambar 4.43 Nilai ZWD bulanan tahun 2015 - 2018	98
Gambar 4.44 Dekomposisi <i>Time Series</i> Stasiun CMLG	99
Gambar 4.45 Grafik Tren Linier CMLG dalam Periode Tiga dan Empat Tahun	100
Gambar 4.46 Persebaran Nilai Tren Periode Tiga Tahun	101
Gambar 4.47 Persebaran Nilai Tren Periode Empat Tahun	102
Gambar 4.48 <i>Scatter plot</i> Perbandingan Nilai Tren Linier dengan Koordinat Lintang Tiap Stasiun	103
Gambar 4.49 Grafik Nilai <i>Seasonal</i> Stasiun CMLG	104
Gambar 4.50 Periodogram Tahun 2015 – 2018	104
Gambar 4.51 Periodogram Tahun 2015, 2016, 2017, dan 2018	105
Gambar 4.52 Variasi Spasial Nilai ZWD di Jawa Timur	107
Gambar 4.53 <i>Scatter Plot</i> Perbandingan Nilai ZWD dengan Tinggi Stasiun	107
Gambar 4.54 Variasi Spasial Nilai ZWD Tahunan (2015 – 2018)	108
Gambar 4.55 Variasi Spasial Nilai ZWD Bulanan Tahun 2015	111
Gambar 4.56 Variasi Spasial Nilai ZWD Bulanan Tahun 2016	113
Gambar 4.57 Variasi Spasial Nilai ZWD Bulanan Tahun 2017	115
Gambar 4.58 Variasi Spasial Nilai ZWD Bulanan Tahun 2018	117
Gambar 4.59 Variasi Spasial Nilai ZWD Harian Tahun 2017 (<i>DOY</i> 97, 104, 111, dan 118).....	118

Gambar 4.60 Variasi Spasial Nilai ZWD Harian Tahun 2018 (<i>DOY</i> 304, 311, 318, dan 325).....	119
Gambar 4.61 <i>Trend</i> Spasial	120

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Kriteria Koefisien Korelasi	12
Tabel 3.1 Koordinat Stasiun CORS	18
Tabel 3.2 Koordinat Stasiun BMKG.....	19
Tabel 4.1 Nilai ZTD Stasiun CMLG.....	26
Tabel 4.2 Tabel Nilai ZWD Stasiun CLMG	28
Tabel 4.3 Nilai ZTD Stasiun CLUM.....	30
Tabel 4.4 Nilai ZWD Stasiun CLUM.....	31
Tabel 4.5 Nilai ZTD Stasiun CMAG	33
Tabel 4.6 Nilai ZWD Stasiun CMAG	35
Tabel 4.7 Nilai ZTD Stasiun CMLG.....	37
Tabel 4.8 Nilai ZWD Stasiun CMLG.....	39
Tabel 4.9 Nilai ZTD Stasiun CNGA	40
Tabel 4.10 Nilai ZWD Stasiun CNGA.....	42
Tabel 4.11 Nilai ZTD Stasiun CPAC.....	44
Tabel 4.12 Nilai ZWD Stasiun CPAC.....	46
Tabel 4.13 Nilai ZTD Stasiun CPAI	48
Tabel 4.14 Nilai ZWD Stasiun CPAI.....	50
Tabel 4.15 Nilai ZTD Stasiun CPAS	52
Tabel 4.16 Nilai ZWD Stasiun CPAS	53
Tabel 4.17 Nilai ZTD Stasiun CSIT.....	56
Tabel 4.18 Nilai ZWD Stasiun CSIT	57
Tabel 4.19 Nilai ZTD Stasiun CSMN	59
Tabel 4.20 Nilai ZWD Stasiun CSMN.....	61
Tabel 4.21 Nilai ZTD Stasiun CSMP.....	63

Tabel 4.22 Nilai ZWD Stasiun CSMP	64
Tabel 4.23 Nilai ZTD Stasiun CTBN.....	67
Tabel 4.24 Nilai ZWD Stasiun CTBN	68
Tabel 4.25 Nilai ZTD Stasiun CTUL.....	70
Tabel 4.26 Nilai ZWD Stasiun CTUL.....	72
Tabel 4.27 Nilai ZTD Stasiun CJEM	74
Tabel 4.28 Nilai ZWD Stasiun CJEM.....	76
Tabel 4.29 Nilai ZTD Stasiun CBLR.....	77
Tabel 4.30 Nilai ZWD Stasiun CBLR.....	79
Tabel 4.31 Nilai ZTD Stasiun CBTL	81
Tabel 4.32 Nilai ZWD Stasiun CBTL.....	83
Tabel 4.33 Nilai Korelasi ZWD Stasiun CMLG-Malang	85
Tabel 4.34 Nilai Korelasi ZWD Stasiun CNGA - Sawahan.....	87
Tabel 4.35 Nilai Korelasi ZWD Stasiun CSMN - Kalianget	89
Tabel 4.36 Nilai Korelasi ZWD Stasiun CPAS - Tretes	91

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pemanfaatan *Global Navigastion Satellite System* (GNSS) kini tidak hanya sebagai teknologi dalam penentuan posisi, tetapi juga digunakan dalam beberapa studi, seperti pengukuran pasang surut air laut, aplikasi dalam geodinamika, pengamatan uap air di atmosfer, pergerakan lempeng, dan estimasi terjadinya gempa (Nistor 2016). Teknologi GNSS juga dapat dikembangkan sebagai sistem penginderaan jauh atmosfer dengan hasil beresolusi tinggi (Bevis 1994).

Dalam pemanfaatannya sebagai sistem penginderaan jauh atmosfer, hal ini berkaitan dengan pergerakan sinyal di atmosfer. Sinyal dari satelit akan dikirimkan menuju *receiver* pada permukaan dengan melewati atmosfer. Pada saat melewati lapisan troposfer, sinyal akan mengalami penundaan sehingga mengakibatkan adanya penyimpangan jarak antara satelit dan *receiver* yang disebut *Slant Tropospheric Delay* (STD). Dengan menggunakan fungsi pemetaan parameter, STD dapat dikonversi menjadi *Zenith Tropospheric Delay* (ZTD) yang dipengaruhi oleh suhu, tekanan, dan kelembapan (Susilo 2012).

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

Penelitian mengenai ZTD ini penting karena *delay* pada troposfer merupakan salah satu sumber kesalahan utama dalam penggunaan GNSS (Nistor 2016). Selain itu, *Zenith Tropospheric Delay* (ZTD) adalah parameter penting dari

atmosfer, yang mencerminkan cuaca dan iklim, variasi, dan gerakan vertikal atmosfer (Jin 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 radiosone dan *satellite radiometer sounding* (Bevis 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 telah mendirikan stasiun CORS yang tersebar di seluruh Indonesia, khususnya di Provinsi Jawa Timur terdapat 18 stasiun yang telah beroperasi secara kontinyu. Stasiun tersebut terdistribusi secara merata di berbagai kota sehingga dengan menggunakan data CORS tentu mendukung untuk mendapatkan data dengan resolusi spasial yang tinggi.

Pada penelitian ini, dilakukan perhitungan nilai ZTD dan ZWD tanpa ZHD, mengingat 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, proses dilakukan dengan 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 kontinyu selama periode waktu tertentu. Oleh karena itu, pada penelitian ini dipilih penggunaan data dari stasiun CORS yang memiliki data kontinyu 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.

Di Indonesia, beberapa studi telah membahas mengenai pemodelan *Zenith Tropospheric Delay* tetapi sebagian besar bersamaan dengan perhitungan uap air, antara lain Susilo (2012) mengenai pemantauan PWV di wilayah Jawa Barat dan Dhota (2012) menganalisis variasi temporal dari *delay* troposfer GPS. Namun, penelitian-penelitian tersebut sebagian besar fokus di wilayah Jawa Barat. Bamahry (2013) melakukan studi mengenai variasi temporal kandungan uap air di wilayah Jawa Timur, tetapi terbatas 8 stasiun yang hanya berfokus di wilayah sekitar Kota Surabaya. Oleh karena itu, perlu adanya penelitian mengenai pemodelan variasi *Zenith Tropospheric Delay* secara khusus dengan sebaran stasiun yang lebih terdistribusi secara merata.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah :

1. Bagaimana nilai dari *Zenith Total Delay* (ZTD) dan *Zenith Wet Delay* (ZWD) dari stasiun CORS di Wilayah Jawa Timur?
2. Bagaimana korelasi perbandingan nilai *Zenith Wet Delay* (ZWD) antara data dari stasiun CORS dan stasiun meteorologi.
3. Bagaimana karakteristik variasi spasial dan temporal dari ZWD di wilayah Jawa Timur?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah :

- Data CORS yang digunakan hanya milik Badan Informasi Geospasial yang berada di wilayah Jawa Timur sebanyak 14 stasiun, yaitu CJEM, CLMG, CLUM, CMAG, CMLG, CNGA, CPAC, CPAI, CPAS, CSIT, CSMN, CSMP, CTBN, CTUI, dua stasiun di wilayah Jawa Tengah, CBLR dan CBTL pada tahun 2015-2018.

- Wilayah Provinsi Jawa Timur yang digunakan dalam penelitian ini hanya yang berada di Pulau Jawa dan Madura.
- Perhitungan nilai *Zenith Tropospheric Delay* yang dimaksud dalam penelitian ini hanya untuk *Zenith Total Delay* dan *Zenith Wet Delay*.
- Data yang digunakan sebagai uji pembandingan adalah data meteorologi berupa temperatur dan kelembaban,
- Variasi pemodelan yang dilakukan adalah spasial dan temporal dengan analisis rerata tahunan, bulanan dan harian.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Menentukan nilai dari ZTD dan ZWD stasiun CORS di Wilayah Jawa Timur.
2. Melakukan perhitungan korelasi perbandingan nilai ZWD antara data dari stasiun CORS dan stasiun meteorologi.
3. Menganalisis karakteristik variasi spasial dan temporal dari ZWD di wilayah Jawa Timur.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah adanya pemodelan variasi temporal dan spasial dari troposfer yang didapatkan dari data CORS. Penelitian ini diharapkan dapat menjadi sumber informasi dan digunakan untuk studi lebih lanjut, baik mengenai *delay* pada troposfer maupun mengenai karakteristik troposfer. Selain itu, dengan adanya penelitian ini dapat memperkuat penelitian-penelitian yang lain bahwa GPS memiliki resolusi yang baik dalam penginderaan jauh atmosfer yang kemudian dapat dimanfaatkan sebagai studi mengenai cuaca/iklim.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Global Navigation Satellite System (GNSS)*

Global Navigation Satellite System atau GNSS adalah sistem navigasi yang digunakan untuk menentukan posisi di atas permukaan bumi. GNSS terdiri dari beberapa sistem satelit diantaranya adalah *Global Positioning System (GPS)* milik Amerika Serikat, GLONASS milik Rusia, GALILEO milik Uni Eropa, dan COMPASS milik China. Sistem GNSS menggunakan konstelasi dua atau lebih satelit di angkasa untuk menghitung dan mengirimkan informasi posisi (dalam bentuk koordinat absolut lintang, bujur, dan ketinggian) dimanapun di permukaan bumi ini ke penerima di permukaan bumi. Sistem ini dimiliki, dioperasikan dan dikontrol oleh *United States Department of Defense (DoD)*. Dengan adanya GNSS, maka sistem GPS yang sebelumnya hanya mampu menerima 24 satelit, jika ditambah GLONASS bisa menjadi sekitar 50 satelit. Implikasinya adalah kapanpun kegiatan penggunaan GPS dilakukan kita tidak akan khawatir akan ketersediaan jumlah satelit yang mengorbit tepat di atas kita (Marjuki 2016).

GPS sebagai salah satu satelit di GNSS pada dasarnya adalah sistem navigasi. Prinsip navigasi pada dasarnya berdasarkan pada pengukuran yang disebut *pseudorange* (jarak semu) antara pengguna dan empat satelit. Apabila koordinat satelit pada kerangka referensi yang sesuai telah diketahui, maka koordinat antena pengguna / *receiver* dapat ditentukan. Pengamatan tiga rentang sudah cukup memadai dari sudut pandang geometri. Pengamatan keempat diperlukan karena GPS menggunakan teknik rentang satu arah dan waktu *receiver* belum tersinkronisasi dengan waktu satelit. Kesalahan sinkronisasi inilah yang menjadi alasan penggunaan istilah "*pseudorange*/jarak semu" (Seeber 2003).

Pada umumnya, GPS terdiri atas tiga segmen utama, yaitu:

- segmen angkasa (*space segment*), yang terdiri dari satelit-satelit GPS. Satelit ini bisa dianalogikan sebagai stasiun

radio di angkasa yang dilengkapi dengan antenna untuk mengirim dan menerima sinyal gelombang. Satelit ini juga dilengkapi alat untuk mengontrol *attitude* dari satelit serta sensor-sensor lainnya.

- Segmen sistem kontrol (*control system segment*), yang berfungsi mengontrol dan memantau operasional satelit dan memastikan bahwa satelit berfungsi. Disamping memantau, segmen ini berfungsi menentukan orbit dari seluruh satelit GPS.
- Segmen pengguna, terdiri dari para pengguna yang menggunakan alat penerima sinyal GPS (*GPS receiver*) yang diperlukan untuk menerima dan memproses sinyal dari satelit GPS untuk penentuan posisi, kecepatan, dan waktu (Abidin 2001).

CORS (*Continuously Operating Reference Station*) adalah salah satu teknologi berbasis GNSS yang dimanfaatkan untuk berbagai aplikasi terkait penentuan posisi. CORS merupakan jaringan kerangka geodetik aktif berupa stasiun permanen yang dilengkapi dengan *receiver* yang dapat menerima sinyal dari satelit GPS dan satelit GNSS lainnya, yang beroperasi secara kontinyu selama dua puluh empat jam. Dalam pemanfaatannya CORS dapat menyediakan data penentuan posisi secara *real time* ataupun *post-processing* dan menyediakan jaringan terbuka agar data-data posisi yang dihasilkan dapat diakses secara aktif oleh pengguna (Madena, dkk 2014).

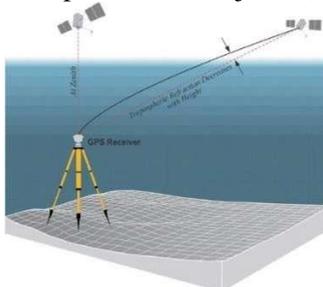
Indonesia melalui Badan Informasi Geospasial telah menyediakan layanan data CORS dengan berbagai stasiun yang tersebar di seluruh Indonesia yang dinamakan InaCORS (<http://inacors.big.go.id/>). Stasiun InaCORS dimulai pada tahun 1996 dengan dibangunnya tiga CORS di Cibinong (BAKO), Sampali (SAMP), dan Parepare (PARE). Pada gambar di bawah ini ditunjukkan sebaran dari stasiun InaCORS di seluruh Indonesia oleh Badan Informasi Geospasial (BIG).



Gambar 2.1 Sebaran InaCORS
(Badan Informasi Geospasial 2018)

2.2 Propagasi sinyal dalam troposfer

Sinyal-sinyal dari setiap satelit *Global Positioning System* (GPS) yang mengorbit 22.000 km di atas permukaan bumi akan diterima oleh alat penerima (*receiver*) dengan sebelumnya melalui lapisan Atmosfer. Sinyal tersebut berupa gelombang elektromagnetik. Dengan sifatnya, sinyal akan mengalami hambatan (*delay*) pada lapisan troposfer. Sebagian dari energi sinyal mengalami refraksi oleh gas-gas yang tidak terionisasi seperti nitrogen, oksigen, argon, karbondioksida dan molekul air, akibatnya menimbulkan *delay* seperti diilustrasikan dalam gambar 2.2. Efek utama dari troposfer adalah kecepatan dan waktu atau dengan kata lain terhadap hasil ukuran jarak (Abidin 2001).



Gambar 2.2 Propagasi sinyal pada GNSS
(Sickle 2018)

Pada frekuensi sinyal GPS di bawah 30 GHz, magnitudo dari bias troposfer tidak tergantung pada frekuensi sinyal, oleh sebab itu besarnya tidak dapat diestimasi menggunakan pengamatan pada dual frekuensi (L1 dan L2), perlu diketahui bahwa *pseudorange* dan fase keduanya diperlambat oleh lapisan troposfer dan besarnya magnitudo bias troposfer pada 2 data pengamatan tersebut dapat dikatakan sama. Magnitudo bias troposfer berkisar sekitar $\approx 2,3$ m di arah zenith sampai ≈ 20 m pada 10° diatas horizon (Abidin 2001).

Bias troposfer biasanya dibagi menjadi komponen kering dan komponen basah. Berbagai model troposfer telah dikembangkan untuk mewakili bias troposfer terintegrasi. Secara umum, permukaan parameter meteorologi, seperti tekanan, suhu, dan kelembaban adalah input yang diperlukan untuk model ini. *Zenith hydrostatic delay* (ZHD) memengaruhi sekitar 90% dari total keterlambatan troposfer. Dengan penggunaan model ZHD dapat di estimasi hingga ketelitian lebih dari 1%. *Zenith wet delay* (ZWD) berpengaruh sekitar 10% dari total *delay*, dan model *zenith wet delay* memiliki akurasi 10-20%. Komponen basah tergantung pada uap air yang sulit untuk dimodelkan (Tregoning & Herring 2006).

2.2.1 *Zenith Total Delay* (ZTD)

Zenith Total Delay (ZTD) merupakan bias troposfer yang dipengaruhi perambatan (*delay*) sinyal GPS pada arah Zenith. Sedangkan bias yang dihasilkan dari komponen kering dan basah pada arah zenith dikenal dengan *Zenith Hydrostatic Delay* (ZHD) dan *Zenith Wet Delay* (ZWD). Perhitungan ZTD didapatkan dari penjumlahan kedua komponennya (Davis, dkk 1985) :

$$ZTD = ZWD + ZHD \quad (2.1)$$

2.2.2 Zenith Hydrostatic Delay (ZHD)

Zenith Hydrostatic delay (ZHD) dapat dimodelkan secara akurat dengan menggunakan model, seperti model Hopfield, Saastamoinen, dan sebagainya. Berikut merupakan persamaan dari perhitungan ZHD dengan model Saastamoinen (1972):

$$ZHD = \frac{0,0022767P_o}{1-0,00266 \cos(2\emptyset)-0,00028h_{ref}} \quad (2.2)$$

Dimana :

P_o = tekanan total pada permukaan. (hPa)

\emptyset = posisi lintang *receiver* gps ($^{\circ}$) dan

h_{ref} = tinggi permukaan dari ellipsoid (m).

2.2.3 Zenith Wet Delay (ZWD)

Model pada ZWD bergantung pada kandungan uap air sepanjang lintasan sinyal, biasanya lebih sulit untuk diestimasi secara teliti. Dengan menggunakan data meteorologi di permukaan bumi, magnitude dari komponen basah hanya bisa diprediksi sampai ketelitian 3-4 cm. Dalam pengestimasiannya, ZWD dapat ditentukan dengan model Saastamoinen (1972) menurut konstanta Smith & Weintraub (1953) sebagai berikut :

$$ZWD = 0,002768 x (1255 + 0,05T) \frac{e}{T} \quad (2.3)$$

Dengan :

T = Temperatur (K)

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

$$e = \frac{RH}{100} \times 6,1078 \times \exp^{17,269388(T-273,16)/(T-35,86)} \quad (2.4)$$

Dengan :

RH = kelembapan relatif (%)

2.3 *Gridding*

Gridding merupakan proses untuk menghasilkan nilai Z dengan interval secara teratur dari data yang tersebar acak. Pada data tersebut terdapat ‘lubang’ atau tidak memiliki nilai, sehingga proses *gridding* inilah yang akan mengisi nilai tersebut dengan melakukan ekstrapolasi atau interpolasi dari data XYZ yang telah ada. Terdapat beberapa metode *gridding*, diantaranya *kriging*, *Inverse Distance Weighted (IDW)*, *natural neighbor*, *nearest neighbor*, *moving average*, *data metric*, dan sebagainya (Al-Sudani 2019).

Inverse Distance Weighted (IDW) merupakan metode interpolasi dengan memperhitungkan jarak sebagai bobot. Jarak yang dimaksud disini adalah jarak (datar) dari titik data (sampel) terhadap blok yang akan diestimasi (Fajri 2016). *Natural Neighbor* merupakan interpolasi dengan algoritma yang mencari titik-titik berdekatan dengan titik sampel dan mengaplikasikan bobot pada titik tersebut dengan dihubungkan pada *Thiessen Polygon* (Sibson 1981). Metode *data metrics* membuat grid dengan berisi informasi mengenai data pada tiap titiknya. Metode ini tidak seperti menggunakan interpolasi *weighted averages* untuk mendapat nilai Z (Chin-Sung dkk 2004).

Metode *kriging* adalah metode interpolasi spasial sederhana dengan berdasarkan autokorelasi spasial dengan menggunakan semivariogram. Salah satu metode *kriging* adalah *ordinary kriging* yang mengasumsikan bahwa nilai rata-rata dari data adalah konstan dan tren perlu dihilangkan untuk mendapatkan nilai estimasi (Goovaerts 1998). Rumus untuk mengestimasi nilai yang kosong pada metode ini adalah :

$$Z(S_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(S_i) \quad (2.5)$$

Dengan :

$Z(S_0)$ = Nilai estimasi

λ_i = Pembobot yang menentukan ukuran jarak antar titik

i = banyak data yang digunakan

$Z(S_0)$ = Nilai yang diketahui (Cressie 1993)

Metode *Ordinary Kriging* dipilih karena telah banyak digunakan pada penelitian-penelitian sebelumnya dan mendapatkan hasil yang baik karena pada metode estimasi spasial ini, varians kesalahan dapat diminimalkan (Lefohn, Knudsen dan Shadwick 2005). Metode ini merupakan pengembangan dari metode *kriging* biasa dan menurut Yamamoto (2015) (Yamamoto 2005) telah menunjukkan ketepatan estimasi yang lebih baik dari metode *kriging* sebelumnya.

2.4 Korelasi

Korelasi dilakukan untuk menentukan besarnya hubungan atau kedekatan antara dua variabel. Tingkat korelasi yang terjadi dapat dilihat melalui grafik korelasi atau diagram pencar (*scatter plot*) (Widyatmoko 2019). Dalam menentukan kekuatan korelasi dapat menggunakan koefisien korelasi Pearson yang dapat dihitung menggunakan algoritma berikut (Hinkle & Wiersma 2002):

$$R_{xy} = \frac{n(\sum xy) - (\sum x)(\sum y)}{\sqrt{(n\sum x^2 - (\sum x)^2)(n\sum y^2 - (\sum y)^2)}} \quad (2.6)$$

Dimana :

n = jumlah data

x, y = variabel

Rentang nilai dari koefisien korelasi berada di antara -1 dan 1. Pada nilai positif menunjukkan korelasi searah sedangkan koefisien negatif berarti korelasi berlawanan arah. Nilai R tidak mungkin satu dan tidak mungkin nol. Koefisien sama dengan 1 hanya terjadi pada korelasi dirinya sendiri misalnya korelasi X ke X, Y ke Y. Adapun r sama dengan nol tidak pernah ada karena apapun yang ada di dunia pasti berkorelasi. Koefisien korelasi R merupakan bilangan murni dimana tidak memiliki satuan (Lestari, dkk 2017). Untuk memudahkan dalam melakukan interpretasi mengenai kekuatan hubungan antara dua variabel, berikut kriteria untuk nilai koefisien korelasinya:

Tabel 2.1 Kriteria Koefisien Korelasi

Rentang	Kriteria
$0,90 \leq r < 1,00$	Sangat kuat
$0,70 \leq r \leq 0,90$	Kuat
$0,50 \leq r < 0,70$	Cukup kuat
$0,30 \leq r < 0,50$	Lemah
$0,00 < r < 0,30$	Sangat lemah

(Hinkle & Wiersma 2002)

2.5 Dekomposisi *Time Series*

Dekomposisi *time series* dilakukan menggunakan metode *seasonal-trend decomposition prosedur based on Loess* (STL). Metode STL adalah proses pemisahan data untuk mendekomposisi data *time series* menjadi tiga komponen, *trend*, *seasonal*, dan *remainder*. Komponen *tren* merupakan variasi dari frekuensi rendah dalam data yang menunjukkan perubahan level jangka panjang yang tidak stationer. Komponen *seasonal* merupakan variasi nilai dari frekuensi musiman yang bergantung periode dari data. Komponen *remainder* merupakan variasi sisa diluar nilai *trend* dan *seasonal* atau disebut juga residu (Cleveland, dkk 1990). Berikut merupakan rumus dari dekomposisi :

$$Y_t = T_t + S_t + R_t \quad (2.7)$$

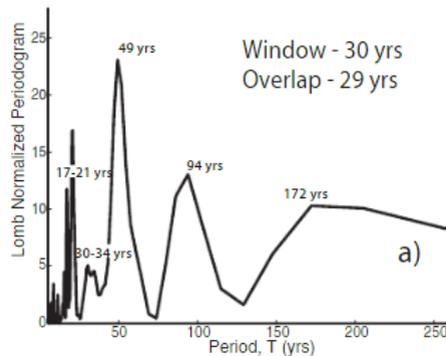
Dengan =

- Y_t = raw data
- T_t = nilai *trend*
- S_t = nilai *seasonal*
- R_t = nilai *remainder*
- t = waktu

2.6 Periodogram

Salah satu metode untuk analisis komponen *seasonal* adalah dengan metode analisis spektral. Analisis spektral dilakukan menggunakan Periodogram teknik Lomb atau The *Lomb-Scargle periodogram*. Periodogram dengan teknik Lomb merupakan metode dalam analisis data *time series* berdasarkan

frekuensi yang setara dengan *least square* dari gelombang sinus. Metode ini dapat mengekstraksi karakteristik frekuensi dengan data yang tidak memiliki periode waktu yang teratur (Scargle 1982). Gambar merupakan contoh grafik periodogram dengan metode Lomb pada data curah hujan selama 250 tahun. Dengan menggunakan metode ini, dapat diketahui variasi musiman dari perulangan frekuensi atau periode yang dominan dari suatu data (Marani & Zanetti 2015).



Gambar 2.3 Periodogram curah hujan selama 250 tahun (Marani & Zanetti 2015)

2.7 GIPSY-OASIS

Perangkat lunak *GNSS Inferred Positioning System and Orbit Analysis Simulation* (GIPSY-OASIS) dikembangkan oleh *the Jet Propulsion Laboratory* (JPL) mulai dari pertengahan tahun 1980-an. Perangkat lunak ini awalnya bertujuan untuk mendukung penentuan orbit yang presisi berdasarkan GPS dari satelit altimetri Topex/Poseidon dan merupakan pengembangan dari perangkat lunak untuk VLBI (*Very Long Baseline Interferometri*). Pada GIPSY-OASIS dengan data GPS dapat ditentukan berbagai macam, diantaranya (Desai, dkk 2014):

- Posisi dan kecepatan orbit
- Posisi dari stasiun bumi
- Jam *transmitter* dan *receiver*

- Parameter orientasi bumi
- *Zenith tropospheric delay* dan komponen troposfer
- Dan sebagainya.

Pada pengolahan ZTD dan komponennya pada perangkat lunak ini, proses dilakukan berdasarkan metode *precise point positioning* (PPP). Dengan menggunakan metode PPP, proses perhitungan akan dilakukan tiap stasiun secara terpisah. Pada GIPSY dapat dengan otomatis mengatasi kesalahan jam *receiver* dan parameter lainnya tetapi tetap bergantung pada kualitas dari *global parameter* yang biasanya dapat dihilangkan dengan metode *differensial* (Iwabuchi, dkk 2004). 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)

2.8 Penelitian sebelumnya

Penelitian sebelumnya telah dilakukan oleh Susilo (2012) mengenai pemantauan *Precipitable Water Vapor* (PWV) di wilayah Jawa Barat menggunakan GPS Kontinyu. Pada penelitian ini bertujuan untuk monitoring variasi spasial temporal dari uap air di atas wilayah Jawa Barat dengan data yang digunakan berasal dari 14 stasiun kontinyu GPS Bakosurtanal. Pengolahan data menggunakan perangkat lunak GAMIT 10.4 Analisis spasial-temporal mengindikasikan terjadi *delay* karena pengaruh suhu. Variasi temporal mengikuti pola parameter meteorologi. Variasi spasial temporal secara umum memiliki siklus dengan minimum pada Bulan Mei – September dan maksimum pada Bulan Oktober – April. Variasi spasial PWV sangat dipengaruhi topografi, kondisi meteorology lokal, dan siklus monsun Asia-Australia.

Selain itu, Dhota (2012) menganalisis variasi temporal dari *delay* troposfer menggunakan GPS. Dalam penelitian ini dilakukan pengolahan GPS menggunakan perangkat lunak Bernese untuk menentukan nilai *delay troposfer* dan dilakukan analisis

temporal dari nilai ZHD dan ZWD. Hasil penelitian menunjukkan peningkatan jumlah uap air adalah saat tengah hari dimana suhu naik yang mengakibatkan penguapan meingkat sehingga jumlah uap air di atmosfer bertambah. Perubahan gradasi warna menunjukkan adanya perubahan kondisi meteorologis di titik pengamatan yang terjadi secara temporal. Perubahan nilai dari PWV disebabkan adanya pola musim.

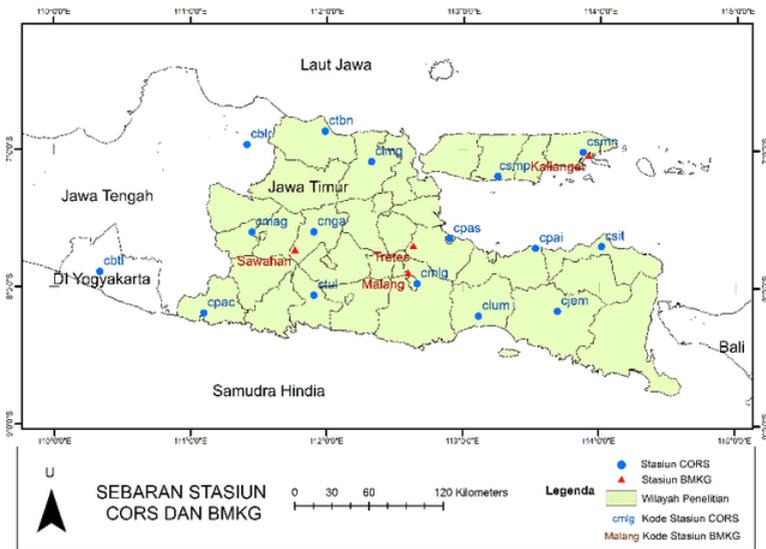
Jin (2007) dalam penelitiannya yang berjudul *Seasonal Variability of GPS-Derived Zenith Tropospheric Delay (1994–2006) and Climate Implications* melakukan analisis dari nilai ZTD. Suanggan menyatakan bahwa ZHD sebanding dengan tekanan atmosfer di lokasi. Namun, untuk ZWD sangat bervariasi karena beragamnya iklim dan berkaitan dengan suhu dan uap air. Nilai ZTD menurun seiring dengan meningkatnya ketinggian yang dikarenakan variasi tekanan atmosfer. ZHD sangat proposional apabila berada di tekanan atmosfer yang stabil. ZWD berkorelasi positif dengan suhu dan juga berkorelasi dengan kelembapan relatif. Korelasi rata-rata koedisien ZWD dengan suhu permukaan sekitar 0.8 dan koefisien korelasi antara ZTD dan ZWD sekitar 0.9 yang mencermikan akurasi yang baik antara variasi ZTD dan ZWD.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Lokasi Penelitian

Lokasi yang akan dijadikan wilayah studi dalam penelitian ini adalah Provinsi Jawa Timur yang terbatas pada bagian Pulau Jawa dan Pulau Madura. Pada gambar di bawah ini merupakan sebaran lokasi dari stasiun CORS milik BIG dan stasiun meteorologi, klimatologi, dan geofisika milik BMKG yang akan dijadikan sumber data dalam penelitian ini.



Gambar 3.1 Sebaran stasiun CORS dan BMKG di Jawa Timur

Berikut merupakan nilai 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.

Tabel 3.1 Koordinat Stasiun CORS

Kode	Lokasi	X(°)	Y(°)	H(m)
cjem	Jember	113,693	-8,175	121,880
clmg	Lamongan	112,327	-7,093	39,590
clum	Lumajang	113,115	-8,214	195,060
cmag	Magetan	111,451	-7,606	127,230
cmlg	Malang	112,663	-7,980	474,670
cnga	Nganjuk	111,905	-7,605	86,620
cpac	Pacitan	111,098	-8,196	37,620
cpai	Paiton	113,530	-7,719	44,180
cpas	Pasuruan	112,901	-7,651	43,340
csit	Situbondo	114,013	-7,703	72,270
csmn	Sumenep	113,875	-7,018	40,740
csmg	Sampang	113,252	-7,195	46,090
ctbn	Tuban	111,986	-6,872	36,160
ctul	Tulungagung	111,906	-8,066	123,720
cblr	Blora	111,415	-6,969	118,390
cbtl	Bantul	110,335	-7,893	72,590

Di bawah ini ditampilkan 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.

Tabel 3.2 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

3.2 Data dan Peralatan

3.1.1 Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

- Data observasi (*o) satelit GPS dari stasiun CORS (*Continuously Operating Reference Stations*) milik BIG (sesuai tabel 3.1). Data yang digunakan mulai tahun 2015 hingga 2018 kecuali stasiun CJEM dan CBTL. Pada stasiun CJEM, data yang digunakan pada tahun 2015 hingga 2018. Pada stasiun CBTL, data yang digunakan pada tahun 2015, 2017, dan 2018.
- Data temperatur dan kelembaban relatif dari 4 stasiun meteorologi, klimatologi, geofisika milik BMKG di wilayah Jawa Timur (sesuai tabel 3.2). Data yang digunakan pada tahun 2015 hingga 2018
- Peta batas wilayah Provinsi Jawa Timur

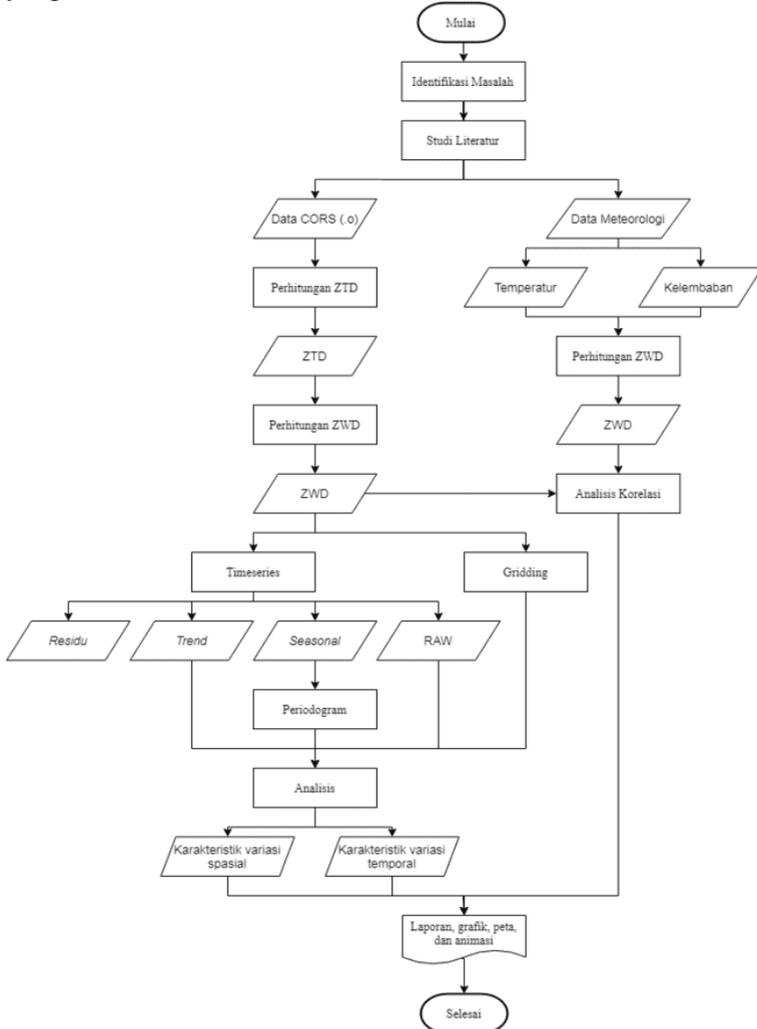
3.1.2 Peralatan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari perangkat lunak dan perangkat keras, yaitu :

- Perangkat keras digunakan adalah perangkat komputer
- Perangkat lunak yang digunakan adalah :
 - GIPSY 6.4
 - Matlab R2019a
 - Surfer 10
 - Grapher 14
 - RStudio
 - Microsoft Office 2016

3.3 Tahapan Penelitian

Berikut merupakan diagram alir dari tahapan penelitian yang akan dilakukan :



Gambar 3.2 Diagram Alir

- Berikut merupakan penjelasan dari diagram alir di atas
- a. Identifikasi Masalah
Proses ini dilakukan untuk mengidentifikasi masalah mengenai penelitian yang akan dilakukan, yang meliputi perumusan masalah, menentukan tujuan dan manfaat penelitian.
 - b. Studi Literatur
Studi literatur dilakukan untuk mengumpulkan referensi yang dapat digunakan menunjang penelitian selama waktu penelitian. Studi literatur dilakukan dari berbagai sumber, seperti buku, jurnal, paper, dan sebagainya.
 - c. Pengumpulan Data
Pada proses ini dilakukan persiapan penelitian dengan mengumpulkan data yang akan digunakan selama penelitian, yaitu data CORS dan data meteorologi.
 - d. Data CORS
Data CORS merupakan data utama yang digunakan yaitu data CORS dari stasiun milik BIG yang terdiri dari 16 stasiun sesuai dengan daftar stasiun pada tabel 3.1. Data CORS yang akan digunakan merupakan data observasi (*.o). Data yang digunakan memiliki interval sebesar 300 detik.
 - e. Data Meteorologi
Data meteorologi dibutuhkan sebagai data penunjang dalam menentukan perbandingan hasil dari penelitian. Data meteorologi yang digunakan adalah data temperatur dan kelembaban dari 4 stasiun meteorologi, klimatologi, dan geofisika milik BMKG di provinsi Jawa Timur.
 - f. Perhitungan ZTD
Perhitungan nilai *zenith total delay* dari seluruh data CORS menggunakan perangkat GIPSY6.4.
 - g. Perhitungan ZWD.
Melakukan perhitungan komponen *zenith wet delay* menggunakan data CORS dan meteorologi. Untuk perhitungan menggunakan data CORS dilakukan

menggunakan perangkat lunak GIPSY6.4 berdasarkan nilai ZTD. Untuk perhitungan menggunakan data meteorologi, dilakukan menurut konstanta Smith dan Weintraub (1953) yang tertera pada rumus 2.3 menggunakan perangkat lunak MATLAB.

h. Analisis Korelasi ZWD

Kemudian dilakukan uji perbandingan berdasarkan nilai ZWD dari data CORS dan meteorologi untuk dilakukan validasi nilai ZWD. Perbandingan dilakukan dengan menghitung korelasi antar keduanya dengan korelasi *pearson* pada rumus 2.5. Pada analisis ini diketahui adanya variabel *dependent* yaitu nilai ZWD dan variabel *independent* adalah nilai CORS dan meteorologi. Nilai ZWD dari data meteorologi merupakan nilai yang menjadi referensi karena berasal dari data primer berupa pengamatan langsung suhu dan kelembaban. Selain itu, perhitungan nilai ZWD dari data meteorologi menggunakan model Saastamoinen yang telah banyak diuji oleh penelitian-penelitian sebelumnya.

i. *Gridding*

Gridding dilakukan untuk mendapatkan nilai ZWD pada wilayah yang tidak terdapat data. *Gridding* dilakukan dengan perangkat lunak *surfer* dengan menggunakan metode *kriging*. *Gridding* dilakukan dengan batas koordinat lintang pada $-6,5^{\circ}$ hingga -9° lintang selatan dan $110,5^{\circ}$ hingga 115° bujur timur. Ukuran grid persegi sebesar $0,25 \times 0,25$ derajat sehingga didapatkan grid sebesar 11 baris dan 19 kolom. Ukuran grid diambil berdasarkan setengah dari rata-rata jarak antar stasiun. Visualisasi dari hasil nilai yang berbentuk grid ke dalam gambar dilakukan di perangkat lunak Matlab. *Gridding* dilakukan dengan interval data harian, bulanan, tahunan, dan empat tahunan. Untuk mempermudah pemahaman, hasil grid akan divisualisasikan dalam bentuk animasi.

- j. Dekomposisi *Time series*
Proses dekomposisi *time series* dilakukan untuk memisahkan komponen *time series* yang terdiri dari *trend*, *seasonal*, dan *residu*. Metode yang digunakan adalah *seasonal-trend decomposition prosedur based on Loess* (STL). Proses ini dilakukan pada perangkat lunak *Rstudio*. Proses ini dilakukan pada tiap-tiap stasiun.
- k. Perhitungan *Periodogram*
Periodogram dilakukan untuk mengekstrak sinyal periodik dalam membentuk variasi dari ZWD. Hal ini berguna untuk melihat kejadian ekstrem yang terjadi dalam suatu periode waktu. Proses ini dilakukan pada perangkat lunak Matlab dengan metode *Lomb-Scargle periodogram*. Perhitungan ini dilakukan berdasarkan nilai *seasonal* yang dihasilkan pada proses dekomposisi.
- l. Analisis dan Pembuatan Laporan
Pada tahap akhir, dilakukan analisis berdasarkan hasil pengolahan *time series* dan *gridding* sehingga didapatkan karakteristik variasi spasial dan temporal dari ZWD di wilayah Jawa Timur. Selain itu, hasil dari penelitian ini akan disajikan dalam bentuk laporan tugas akhir.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB IV HASIL DAN ANALISIS

4.1 Perhitungan Nilai ZTD dan ZWD

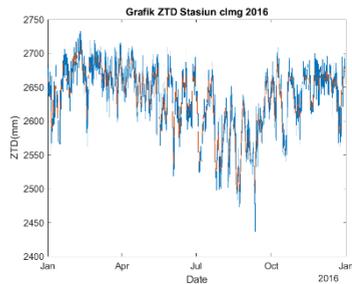
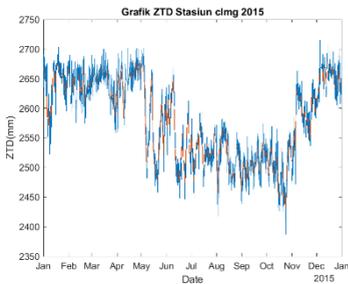
Proses pengolahan dimulai dari menghitung nilai *Zenith Total Delay* (ZTD) dan *Zenith Wet Delay* (ZWD) pada perangkat lunak GIPSY. Pengolahan dilakukan pada tiap stasiun dalam satu tahun. Nilai yang dihasilkan dengan interval data tiap lima menit. Berikut merupakan hasil dari pengolahan ZTD dan ZWD pada masing – masing stasiun.

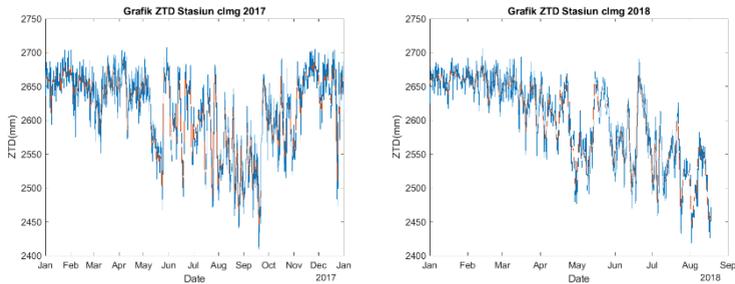
4.1.1 Stasiun CLMG

Stasiun CMLG berada pada wilayah Kabupaten Lamongan pada koordinat $7^{\circ}5'33,345''$ LS $112^{\circ}19'35,478''$ BT dengan tinggi ellipsoid 39,586 m.

a. *Zenith Total Delay* (ZTD)

Pada stasiun CMLG didapatkan nilai ZTD mulai bulan Januari tahun 2015 hingga Agustus 2018. Hasil perhitungan tiap tahunnya dapat dilihat pada grafik di bawah ini. Grafik berwarna merah merupakan nilai rata-rata harian.





Gambar 4.1 Grafik Nilai ZTD Stasiun CLMG

Di bawah ini merupakan tabel rata-rata nilai bulanan pada stasiun CLMG. Berdasarkan hasil pengolahan didapatkan nilai rata-rata terendah ZTD pada tahun 2015 yaitu bulan Oktober dan tertinggi pada bulan Desember. Untuk tahun 2016, rata-rata nilai tertinggi pada bulan Februari dan terendah pada bulan Agustus. Tahun 2017 dan 2018 memiliki nilai rata-rata tertinggi dan terendah pada bulan yang sama, yaitu bulan Januari untuk tertinggi dan Bulan Agustus untuk terendah. Nilai rata-rata paling tinggi terjadi pada tahun 2016 dan nilai rata-rata terendah pada tahun 2015.

Tabel 4.1 Nilai ZTD Stasiun CMLG

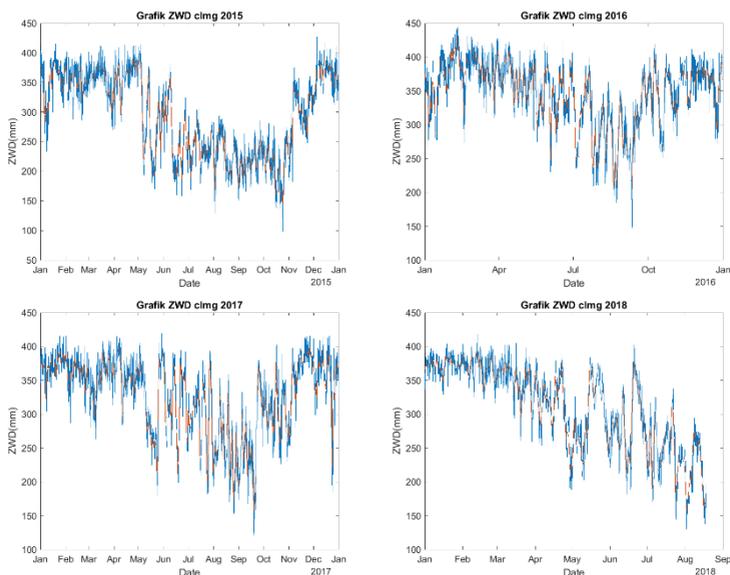
Nilai Zenith Total Delay CLMG (mm)				
Bulan	2015	2016	2017	2018
Jan	2639,722	2646,733	2661,509	2661,296
Feb	2640,425	2682,408	2650,446	2657,462
Mar	2644,348	2669,186	2642,017	2638,436
Apr	2650,633	2658,064	2645,859	2600,438
Mei	2568,732	2642,464	2600,967	2581,606
Jun	2547,019	2628,202	2605,842	2577,902
Jul	2529,496	2593,329	2587,325	2532,860
Agu	2515,792	2569,972	2536,983	2504,560

Sep	2507,026	2597,025	2553,185	
Okt	2496,397	2634,727	2592,184	
Nov	2588,377	2646,167	2651,910	
Des	2652,368	2651,286	2641,091	

= rata-rata tertinggi
 = rata-rata terendah

b. Zenith Wet Delay (ZWD)

. Banyak nilai *Zenith wet delay* (ZWD) yang didapatkan dari hasil pengolahan sama dengan banyak nilai ZTD, yaitu pada rentang bulan Januari 2015 hingga Agustus 2018. Berikut merupakan grafik dari nilai ZWD di stasiun CLMG.



Gambar 4.2 Grafik Nilai ZWD Stasiun CLMG

Rata-rata nilai ZWD dapat dilihat pada tabel di bawah ini. Nilai tersebut merupakan rata-

rata bulanan pada setiap tahunnya. Nilai rata-rata tertinggi dan terendah terletak pada bulan yang sama dengan nilai rata-rata tertinggi dan terendah dari ZTD. Dapat dilihat bahwa nilai rata-rata tertinggi dari tahun 2015 – 2018 berada pada tahun 2016 dan nilai rata-rata terendah pada tahun 2015.

Tabel 4.2 Tabel Nilai ZWD Stasiun CLMG

Nilai <i>Zenith Wet Delay</i> CLMG (mm)				
Bulan	2015	2016	2017	2018
Jan	351,322	358,333	373,109	372,957
Feb	352,025	394,008	362,046	369,062
Mar	355,948	380,786	353,617	350,036
Apr	362,233	369,664	357,459	312,038
Mei	280,332	354,064	312,567	293,206
Jun	258,619	339,802	317,442	289,502
Jul	241,096	304,929	298,925	244,460
Agu	227,392	281,572	248,583	216,160
Sep	218,626	308,625	264,785	
Okt	207,997	346,327	303,784	
Nov	299,977	357,767	363,510	
Des	363,968	362,886	352,691	

 = rata-rata tertinggi

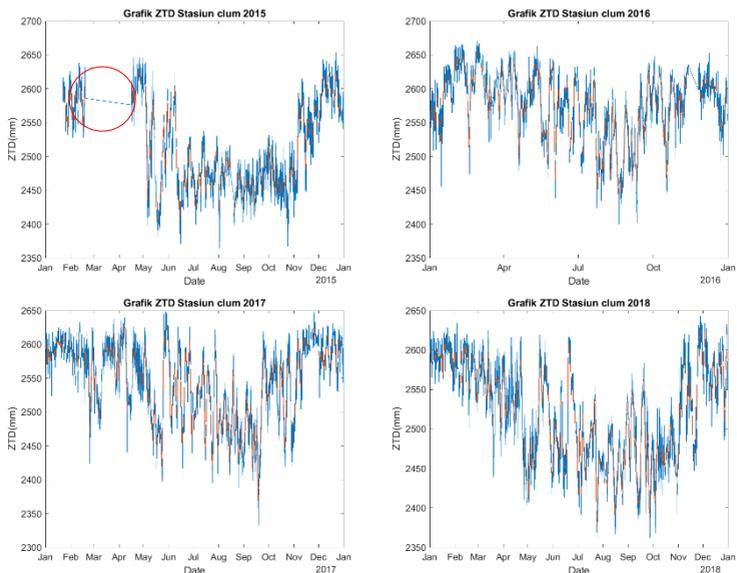
 = rata-rata terendah

4.1.2 Stasiun CLUM

Stasiun CLUM berada di wilayah Kabupaten Lumajang pada koordinat $8^{\circ}12'49,492''$ LS $113^{\circ}6'52,915''$. Ketinggian stasiun CLUM dari ellipsoid adalah 39,586 m.

a. *Zenith Total Delay* (ZTD)

Pada stasiun CLUM didapatkan nilai ZTD pada rentang waktu bulan Januari 2015 sampai Desember 2018, namun ada kekosongan pada bulan Maret 2015 yang ditandai dengan lingkaran merah. Nilai tersebut dapat dilihat pada grafik di bawah ini dengan warna biru, sedangkan warna merah merupakan nilai rata-rata harian.



Gambar 4.3 Grafik Nilai ZTD Stasiun CLUM

Rata-rata nilai tiap bulan dapat dilihat pada tabel di bawah ini. Dapat dilihat bahwa nilai rata-rata tertinggi berada pada bulan April. Sedangkan rata-rata terendah pada bulan Oktober 2015, Februari 2016, Januari 2017 dan Januari 2018.

Tabel 4.3 Nilai ZTD Stasiun CLUM

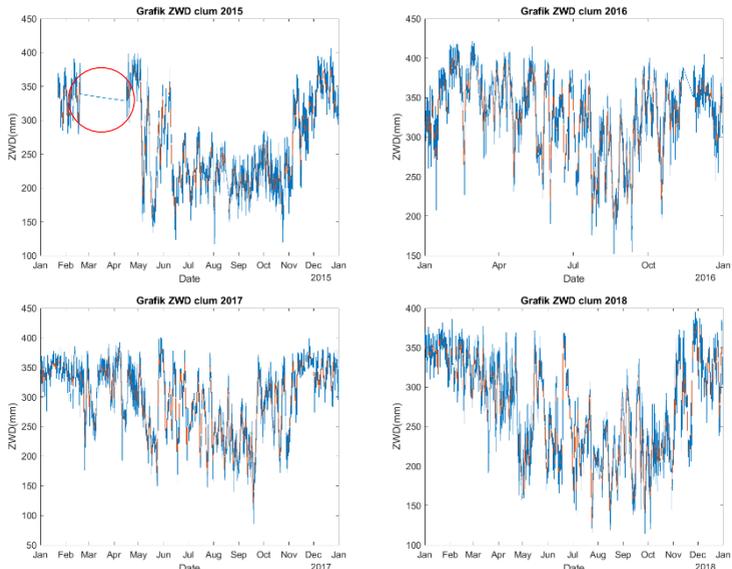
Nilai <i>Zenith Total Delay</i> CLUM (mm)				
Bulan	2015	2016	2017	2018
Jan	2581,760	2579,672	2594,766	2595,325
Feb	2578,988	2620,205	2573,999	2579,780
Mar		2604,922	2565,856	2557,616
Apr	2606,190	2589,153	2569,145	2528,165
Mei	2502,538	2587,482	2525,623	2506,943
Jun	2489,301	2566,749	2535,439	2504,735
Jul	2471,607	2540,100	2514,240	2466,719
Agu	2460,108	2516,782	2478,649	2459,880
Sep	2464,303	2553,821	2489,017	2474,194
Okt	2466,850	2572,509	2530,558	2464,316
Nov	2538,307	2590,017	2585,000	2548,580
Des	2593,265	2588,210	2586,039	2568,974

 = rata-rata tertinggi

 = rata-rata terendah

b. *Zenith Wet Delay* (ZWD)

Nilai ZWD dari stasiun CLUM dapat dilihat pada grafik di bawah ini. Garis berwarna merah menunjukkan rata-rata nilai ZWD harian. Pada stasiun CLUM didapatkan data ZWD pada bulan Januari 2015 sampai Desember 2018 tetapi terdapat kekosongan pada bulan Maret 2015 yang ditandai dengan lingkaran berwarna merah.



Gambar 4.4 Grafik Nilai ZWD Stasiun CLUM

Pada tabel di bawah ini, ditampilkan nilai ZWD dalam rata-rata bulanan. Berdasarkan tabel tersebut dapat diketahui bahwa rata-rata nilai ZWD terendah pada tahun 2015 hingga 2018 berada pada bulan Agustus sedangkan untuk nilai rata-rata tertinggi memiliki perbedaan. Pada tahun 2015, nilai rata-rata tertinggi berada pada bulan April, tahun 2016 berada pada bulan Februari, tahun 2017 dan 2018 berada pada bulan Januari.

Tabel 4.4 Nilai ZWD Stasiun CLUM

Nilai <i>Zenith Wet Delay</i> CLUM (mm)				
Bulan	2015	2016	2017	2018
Jan	334,160	332,072	347,166	347,725
Feb	331,388	372,605	326,399	331,389

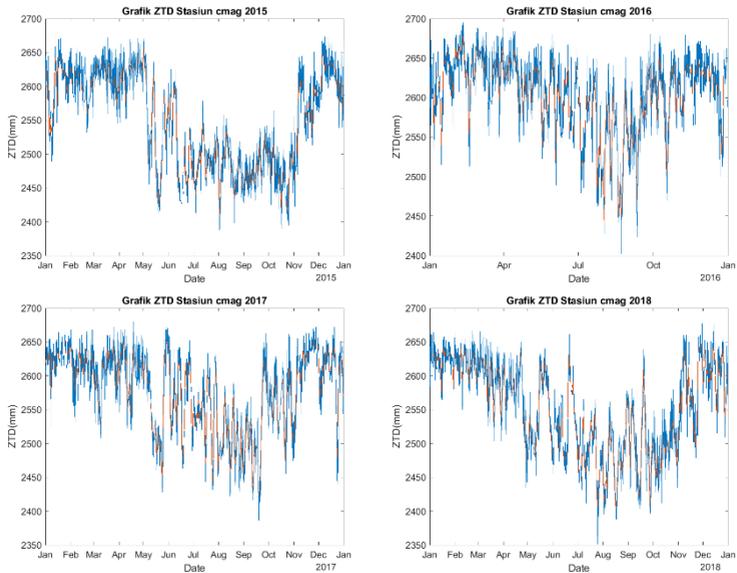
Mar		357,322	318,256	310,016
Apr	358,590	341,950	321,545	280,565
Mei	254,938	339,882	278,023	259,343
Jun	241,701	319,149	287,839	257,135
Jul	224,007	292,500	266,640	219,119
Agu	212,508	269,182	231,049	212,280
Sep	216,703	306,221	241,417	226,594
Okt	219,250	324,909	282,958	216,716
Nov	290,707	342,417	337,400	300,980
Des	345,665	340,610	338,439	321,374

4.1.3 Stasiun CMAG

Stasiun CMAG berada di wilayah Kabupaten Magetan pada koordinat $7^{\circ}36'23,090''$ LS $111^{\circ}27'5,164''$ BT dengan ketinggian ellipsoid adalah 127,226 m.

a. *Zenith Total Delay (ZTD)*

Hasil dari pengolahan ZTD untuk stasiun CMAG didapatkan nilai pada rentang waktu Januari 2015 hingga Desember 2018. Nilai tersebut dapat dilihat pada grafik di bawah ini. Warna biru menunjukkan nilai ZTD dan warna merah menunjukkan nilai rata-rata harian



Gambar 4.5 Grafik Nilai ZTD Stasiun CMAG

Hasil nilai ZTD juga dapat dilihat pada tabel di bawah ini yang merupakan rata-rata bulanan dari nilai tersebut. Di stasiun CMLG, nilai rata-rata tertinggi tahun 2015 berada pada bulan April, sedangkan untuk tahun 2016 berada pada bulan Februari, untuk tahun 2017, dan 2018 berada pada bulan Januari. Nilai rata-rata terendah tahun 2015 berada pada bulan Oktober, sedangkan tahun 2016, 2017, dan 2018 pada bulan yang sama, yaitu Agustus.

Tabel 4.5 Nilai ZTD Stasiun CMAG

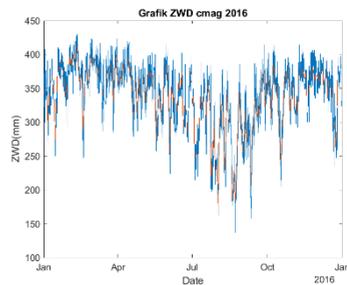
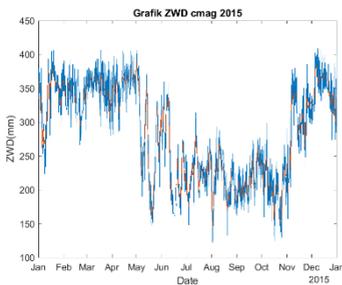
Nilai Zenith Total Delay CMAG (mm)				
Bulan	2015	2016	2017	2018
Jan	2602,924	2615,092	2628,750	2626,195

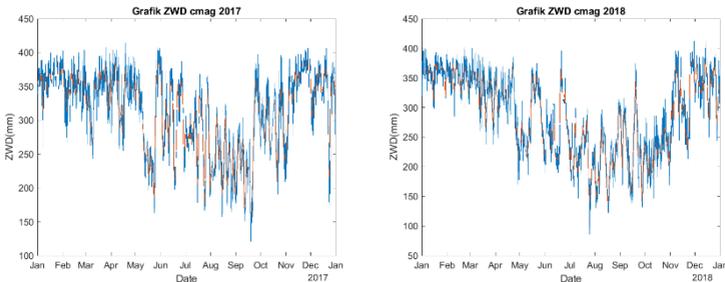
Feb	2603,359	2642,617	2616,362	2617,834
Mar	2617,493	2638,151	2605,843	2596,684
Apr	2620,618	2625,115	2612,153	2570,201
Mei	2531,261	2611,669	2557,891	2550,098
Jun	2505,923	2598,409	2567,205	2533,635
Jul	2491,123	2561,064	2540,476	2486,719
Agu	2476,363	2540,167	2504,020	2475,897
Sep	2480,258	2575,802	2523,855	2497,300
Okt	2471,485	2602,575	2556,032	2492,719
Nov	2567,721	2624,818	2618,788	2580,103
Des	2617,601	2615,530	2606,033	2603,383

= rata-rata tertinggi
 = rata-rata terendah

b. Zenith Wet Delay (ZWD)

Pada stasiun CMAG didapatkan nilai ZWD selama empat tahun, mulai pada Januari 2015 hingga Desember 2018. Nilai tersebut ditampilkan oleh garis warna biru pada grafik di bawah ini. Untuk garis berwarna merah merupakan nilai rata-rata harian.





Gambar 4.6 Grafik Nilai ZWD Stasiun CMAG

Pada tabel di bawah ini menampilkan nilai ZWD dalam rata-rata bulanan. Dapat diketahui bahwa nilai rata-rata tertinggi pada tahun 2015 berada pada bulan April dan nilai rata-rata terendah pada bulan Oktober. Pada tahun 2016, nilai rata-rata tertinggi dan terendah berurut pada bulan Februari dan Agustus. Pada tahun 2017 dan 2018, nilai rata-rata tertinggi pada bulan Januari dan rata-rata terendah pada bulan Agustus.

Tabel 4.6 Nilai ZWD Stasiun CMAG

Nilai <i>Zenith Wet Delay</i> CMAG (mm)				
Bulan	2015	2016	2017	2018
Jan	337,724	349,892	363,550	360,995
Feb	338,159	377,417	351,162	352,634
Mar	352,293	372,951	340,643	331,484
Apr	355,418	359,915	346,953	305,001
Mei	266,061	346,469	292,691	284,898
Jun	240,723	333,209	302,005	268,435
Jul	225,923	295,864	275,276	221,519
Agu	211,163	274,967	238,820	210,697
Sep	215,058	310,602	258,655	232,100

Okt	206,285	337,375	290,832	227,519
Nov	302,521	359,618	353,588	314,903
Des	352,401	350,330	340,833	338,183

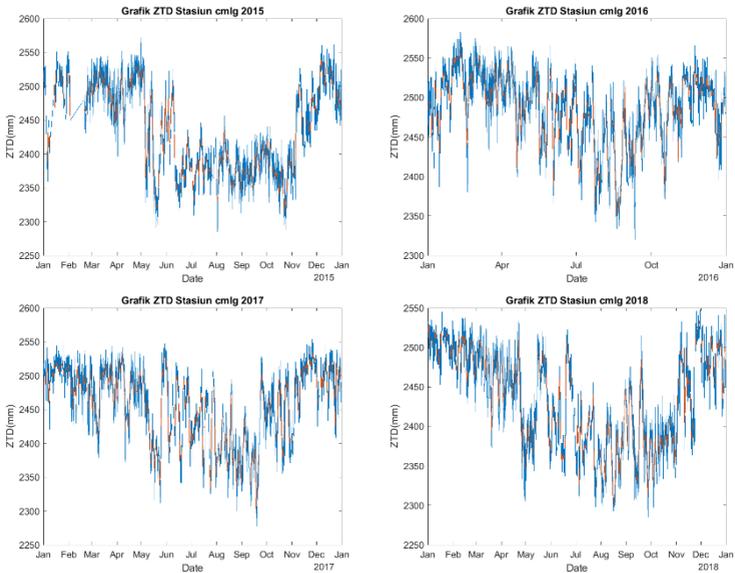
= rata-rata tertinggi
 = rata-rata terendah

4.1.4 Stasiun CMLG

Stasiun CMLG berada di wilayah Kota Malang pada koordinat $7^{\circ}58'46,582''$ LS $12^{\circ}39'45,644''$ BT dengan tinggi ellipsoid adalah 474,667 m.

a. Zenith Total Delay (ZTD)

Berikut ini merupakan grafik dari nilai ZTD hasil pengolahan data stasiun CMLG. Didapatkan hasil nilai ZTD pada rentang waktu Januari 2015 hingga Desember 2018.



Gambar 4.7 Grafik Nilai ZTD Stasiun CMLG

Di bawah ini ditampilkan tabel untuk dapat melihat nilai ZTD dalam rata-rata bulanan. Rata-rata nilai tertinggi pada tahun 2015 berada pada bulan April, pada tahun 2016 berada pada bulan Februari, pada tahun 2017 dan 2018 berada pada bulan Januari. Untuk rata-rata nilai terendah, tahun 2016, 2017, dan 2018 berada pada bulan yang sama yaitu Agustus sedangkan tahun 2015 berada pada bulan Oktober.

Tabel 4.7 Nilai ZTD Stasiun CMLG

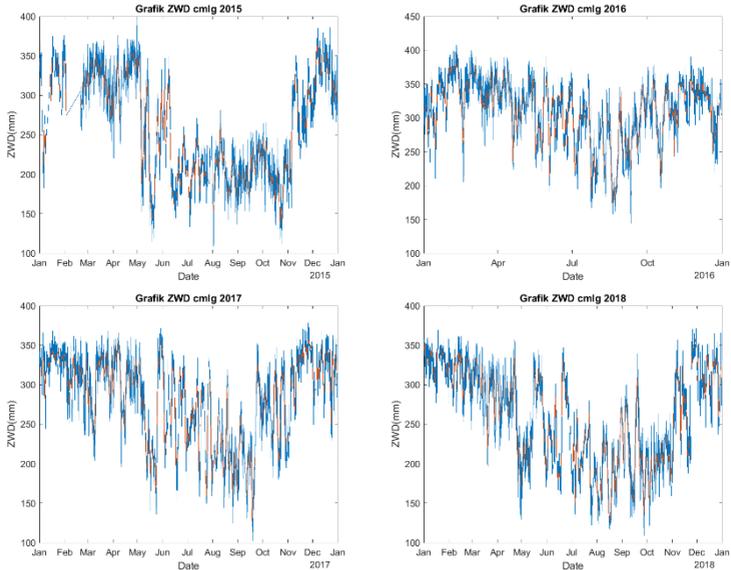
Nilai <i>Zenith Total Delay</i> CMLG (mm)				
Bulan	2015	2016	2017	2018
Jan	2501,462	2497,932	2506,039	2504,825
Feb	2486,903	2527,564	2488,290	2491,467
Mar	2498,354	2518,800	2478,705	2475,448
Apr	2504,045	2497,829	2484,644	2442,092
Mei	2419,576	2490,557	2434,748	2423,675
Jun	2399,168	2477,561	2444,451	2421,488
Jul	2381,814	2446,419	2425,972	2379,061
Agu	2377,416	2428,340	2387,122	2366,509
Sep	2382,590	2458,131	2404,234	2390,114
Okt	2371,948	2484,485	2445,423	2377,707
Nov	2449,832	2506,968	2497,721	2459,436
Des	2503,161	2496,922	2494,215	2485,761

 = rata-rata tertinggi
 = rata-rata terendah

b. *Zenith Wet Delay* (ZWD)

Berikut merupakan grafik dari nilai ZWD hasil pengolahan data dari stasiun CMLG. Untuk stasiun CMLG, nilai ZWD didapatkan dari bulan

Januari 2015 hingga 2018. Warna biru merepresentasikan nilai ZWD tiap data dan warna merah menunjukkan rata-rata harian.



Gambar 4.8 Grafik Nilai ZWD Stasiun CMLG

Berikut merupakan tabel rata-rata bulanan dari nilai ZWD di stasiun CMLG. Nilai rata-rata tertinggi pada tahun 2015 berada pada bulan Januari, untuk tahun 2016 pada bulan Februari. Pada tahun 2017 dan 2018 memiliki nilai rata-rata tertinggi dan rata-rata terendah pada bulan yang sama, yaitu Januari untuk tertinggi dan Agustus untuk terendah. Sedangkan nilai rata-rata terendah untuk tahun 2015 berada pada bulan Oktober dan untuk tahun 2016 pada bulan Agustus.

Tabel 4.8 Nilai ZWD Stasiun CMLG

Nilai <i>Zenith Wet Delay</i> CMLG (mm)				
Bulan	2015	2016	2017	2018
Jan	325,762	322,232	330,339	329,125
Feb	311,203	351,864	312,590	315,767
Mar	322,654	343,100	303,005	299,748
Apr	328,345	322,129	308,944	266,392
Mei	243,876	314,857	259,048	247,975
Jun	223,468	301,861	268,751	245,788
Jul	206,114	270,719	250,272	203,361
Agu	201,716	252,640	211,422	190,809
Sep	206,890	282,431	228,534	214,414
Okt	196,248	308,785	269,723	202,007
Nov	274,132	331,268	322,021	283,736
Des	327,461	321,222	318,515	310,061

 = rata-rata tertinggi

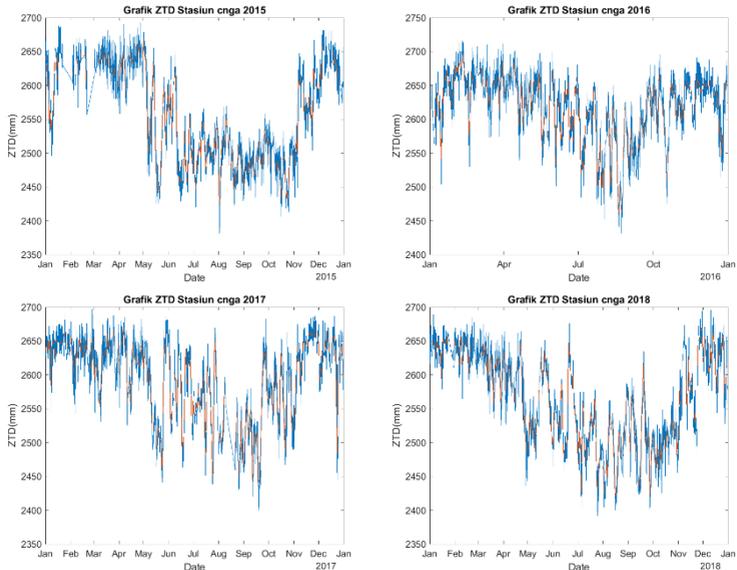
 = rata-rata terendah

4.1.5 Stasiun CNGA

Stasiun CNGA berada pada wilayah Kabupaten Nganjuk pada koordinat $7^{\circ}36'16,934''$ LS $111^{\circ}54'19,086''$ BT dengan ketinggian dari ellipsoid 86,620 m.

a. *Zenith Total Delay* (ZTD)

Hasil dari pengolahan untuk data dari stasiun CNGA dapat dilihat pada grafik di bawah ini yang ditunjukkan dengan garis berwarna biru. Garis berwarna merah menunjukkan rata-rata harian dari nilai ZTD. Nilai ZTD yang didapatkan dari stasiun CNGA dalam rentang waktu bulan Januari 2015 hingga Desember 2018



Gambar 4.9 Grafik Nilai ZTD Stasiun CNGA

Untuk lebih jelasnya, dapat dilihat pada tabel di bawah ini. Tabel tersebut menampilkan rata-rata nilai ZTD dalam rentang bulanan. Sama seperti beberapa stasiun sebelumnya, rata-rata nilai ZTD tertinggi pada tahun 2015 berada pada bulan April, pada tahun 2016 berada pada bulan Februari, pada tahun 2017 dan 2018 berada pada bulan Januari. Begitu pula untuk rata-rata nilai terendah, pada tahun 2015 berada pada bulan Oktober sedangkan untuk tahun 2016, 2017, dan 2018 berada pada bulan Agustus.

Tabel 4.9 Nilai ZTD Stasiun CNGA

Nilai <i>Zenith Total Delay</i> CNGA (mm)				
Bulan	2015	2016	2017	2018
Jan	2607,272	2630,803	2643,056	2641,081

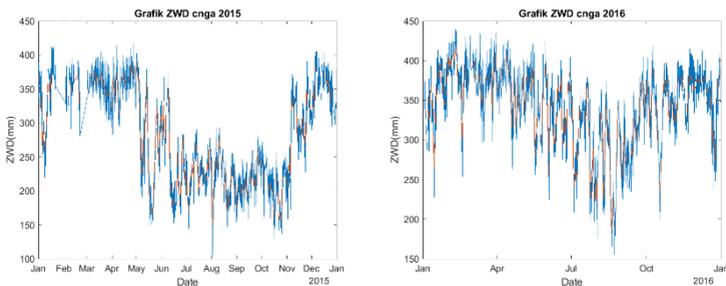
Feb	2630,639	2658,174	2632,097	2636,028
Mar	2632,195	2654,251	2622,990	2613,955
Apr	2635,764	2641,746	2624,273	2581,543
Mei	2547,255	2629,769	2569,061	2553,742
Jun	2517,023	2610,274	2576,541	2547,799
Jul	2503,843	2571,585	2558,577	2498,454
Agu	2489,474	2551,095	2504,602	2492,883
Sep	2491,538	2586,492	2532,059	2507,959
Okt	2481,602	2616,607	2565,281	2500,183
Nov	2569,023	2635,642	2633,862	2593,968
Des	2630,288	2629,529	2625,594	2624,970

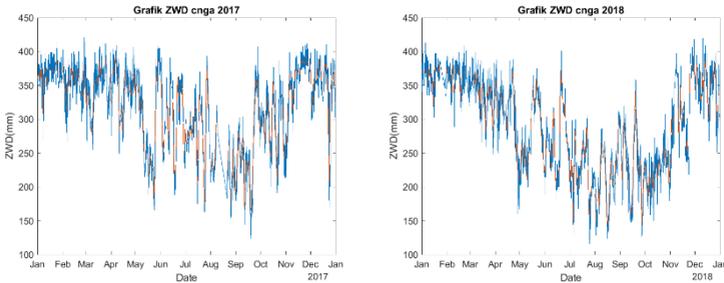
= rata-rata tertinggi
 = rata-rata terendah

b. Zenith Wet Delay (ZWD)

Berikut merupakan grafik nilai ZWD di stasiun CNGA pada rentang waktu Januari 2015 hingga Desember 2018. Dapat diketahui nilai ZWD direpresentasikan oleh garis berwarna biru dan rata-rata harian direpresentasikan oleh garis berwarna merah.

Gambar 4.10 Grafik Nilai ZWD Stasiun CNGA





Dapat dilihat pula rata-rata nilai ZWD dalam waktu per bulan pada tabel di bawah ini. Nilai rata-rata tertinggi tiap tahunnya berada pada bulan April 2015, Februari 2016, Januari 2017, dan Januari 2018. Nilai rata-rata pada Februari 2016 memiliki nilai paling tinggi dibanding tahun-tahun lainnya. Pada tahun 2015, rata-rata terendah berada pada bulan Oktober sedangkan tahun 2016, 2017, dan 2018 berada pada bulan Agustus. Nilai rata-rata terendah dari semua tahun berada pada Oktober 2015.

Tabel 4.10 Nilai ZWD Stasiun CNGA

Nilai <i>Zenith Wet Delay</i> CNGA (mm)				
Bulan	2015	2016	2017	2018
Jan	331,272	354,803	367,056	365,081
Feb	354,639	382,174	356,097	360,028
Mar	356,195	378,251	346,990	337,955
Apr	359,764	365,746	348,273	305,543
Mei	271,255	353,769	293,061	277,742
Jun	241,023	334,274	300,541	271,799
Jul	227,843	295,585	282,577	222,454
Agu	213,474	275,095	228,602	216,883
Sep	215,538	310,492	256,059	231,959

Okt	205,602	340,607	289,281	224,183
Nov	293,023	359,642	357,862	317,968
Des	354,288	353,529	349,594	348,970

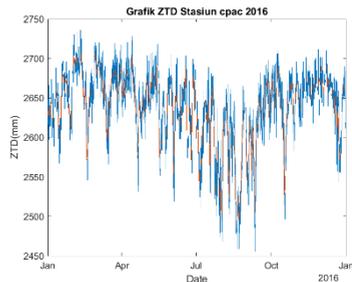
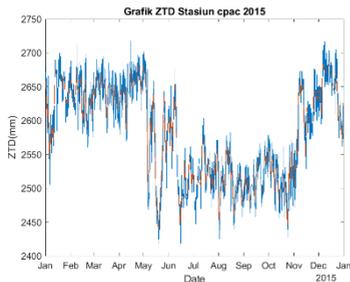
= rata-rata tertinggi
 = rata-rata terendah

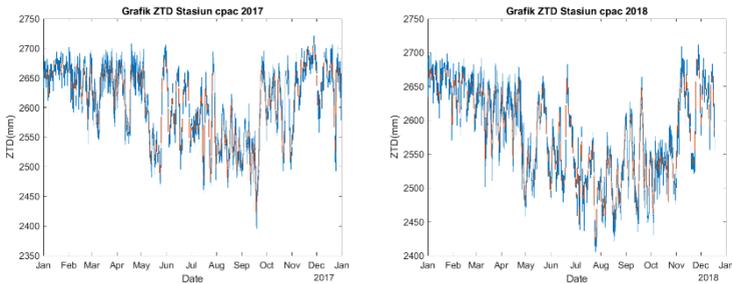
4.1.6 Stasiun CPAC

Stasiun CPAC berada di wilayah Kabupaten Pacitan pada koordinat $8^{\circ}11'45,619''$ LS $111^{\circ}5'52,030''$ BT dengan tinggi elipsoidnya adalah 37,621 m

a. Zenith Total Delay (ZTD)

Di bawah ini merupakan grafik nilai ZTD dari stasiun CPAC pada bulan Januari 2015 hingga Desember 2018. Nilai tersebut direpresentasikan dengan garis berwarna biru sedangkan garis berwarna merah merupakan rata-rata harian.





Gambar 4.11 Grafik Nilai ZTD Stasiun CPAC

Selain itu, nilai ZTD dapat dilihat berdasarkan rata-rata bulanan pada tabel di bawah ini. Berdasarkan tabel dapat diketahui bahwa pada tahun 2015, nilai rata-rata tertinggi berada pada bulan April dan rata-rata terendah pada bulan Agustus. Pada tahun 2016, nilai rata-rata tertinggi pada bulan Februari dan nilai rata-rata terendah pada bulan Agustus. Pada tahun 2017, nilai rata-rata tertinggi pada bulan Januari dan nilai rata-rata terendah pada bulan Agustus. Pada tahun 2018, nilai rata-rata tertinggi pada bulan Januari dan nilai rata-rata terendah pada bulan Juli. Nilai rata-rata terendah pada bulan Juli 2018 memiliki nilai yang hampir sama dengan bulan Agustus 2018.

Tabel 4.11 Nilai ZTD Stasiun CPAC

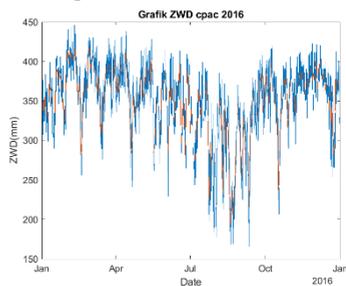
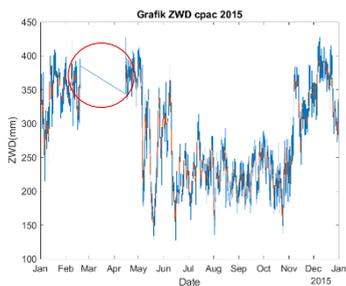
Nilai <i>Zenith Total Delay</i> CPAC (mm)				
Bulan	2015	2016	2017	2018
Jan	2629,391	2641,498	2661,879	2661,498
Feb	2633,654	2670,226	2643,878	2643,917
Mar	2644,304	2664,983	2633,343	2618,335
Apr	2650,375	2652,482	2637,191	2601,125
Mei	2565,131	2649,749	2583,261	2568,716

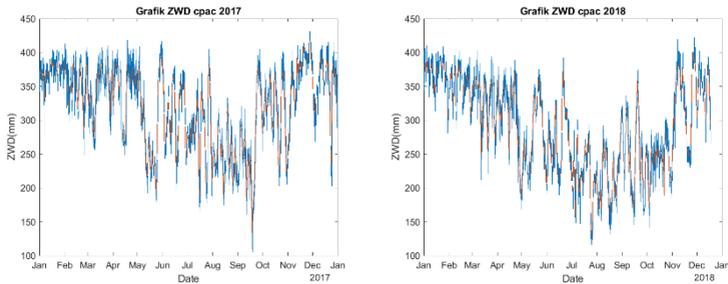
Jun	2537,122	2636,547	2596,741	2561,379
Jul	2525,583	2595,863	2569,958	2507,286
Agu	2507,240	2571,521	2534,943	2507,704
Sep	2515,772	2615,107	2552,192	2539,180
Okt	2512,826	2643,127	2598,527	2530,503
Nov	2606,906	2663,863	2656,867	2619,737
Des	2646,393	2649,573	2640,735	2633,379

= rata-rata tertinggi
 = rata-rata terendah

b. Zenith Wet Delay (ZWD)

Selain ZTD, didapatkan pula nilai ZWD di stasiun CPAC. Nilai ZWD yang didapatkan mulai Januari 2015 hingga Desember 2018 tetapi terdapat kekosongan pada Maret 2015 yang ditandai dengan lingkaran berwarna merah. Garis berwarna biru menunjukkan nilai ZWD dan garis berwarna merah menunjukkan rata-rata harian.





Gambar 4.12 Grafik Nilai ZWD Stasiun CPAC

Di bawah ini merupakan tabel nilai rata-rata bulanan dari ZWD di stasiun CPAC. Pada tahun 2015 didapatkan nilai rata-rata tertinggi pada bulan April dan nilai rata-rata terendah pada bulan Agustus. Pada tahun 2016, nilai rata-rata tertinggi pada bulan Februari dan terendah pada bulan Agustus. Pada tahun 2017, nilai rata-rata terendah pada bulan Agustus dan tertinggi pada bulan Januari. Pada tahun 2018 memiliki nilai rata-rata tertinggi pada bulan Januari. Nilai rata-rata terendah tahun 2018 berada pada bulan Juli walaupun nilainya tidak berbeda jauh dengan rata-rata pada bulan Agustus.

Tabel 4.12 Nilai ZWD Stasiun CPAC

Nilai <i>Zenith Wet Delay</i> CPAC (mm)				
Bulan	2015	2016	2017	2018
Jan	338,912	355,584	372,537	371,698
Feb	349,844	381,164	354,218	353,239
Mar		374,536	340,790	328,535
Apr	372,592	360,522	350,817	311,325
Mei	271,064	359,931	292,891	278,916
Jun	246,290	349,202	308,768	271,579

Jul	232,948	315,637	285,087	217,486
Agu	219,116	284,593	244,951	217,904
Sep	225,662	323,996	265,367	249,380
Okt	221,845	350,525	310,896	240,703
Nov	314,767	373,558	366,421	329,937
Des	357,453	363,127	351,322	343,579

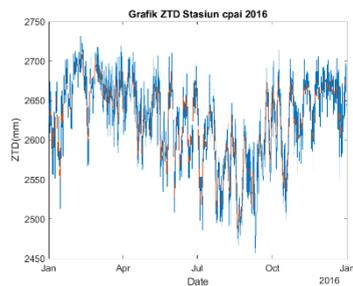
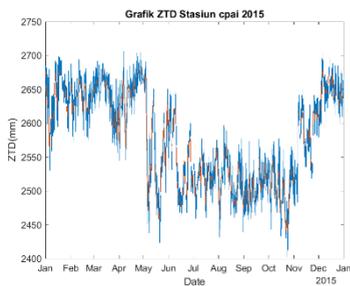
= rata-rata tertinggi
 = rata-rata terendah

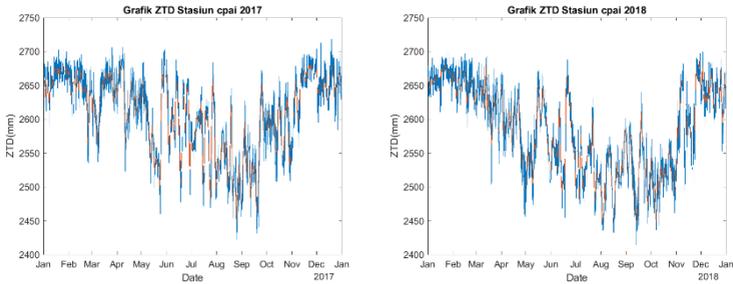
4.1.7 Stasiun CPAI

Stasiun CPAI berada pada wilayah Paiton, Kabupaten Probolinggo pada koordinat $7^{\circ}43'7,511''$ LS $113^{\circ}31'49,507''$ BT dengan tinggi ellipsoid 44,178 m.

a. Zenith Total Delay (ZTD)

Berikut merupakan grafik nilai hasil pengolahan di stasiun CPAI untuk ZTD. Nilai tersebut mulai pada bulan Januari 2015 hingga Desember 2018. Garis berwarna biru menunjukkan nilai ZTD dan garis berwarna merah menunjukkan rata-rata harian dari nilai tersebut.





Gambar 4.13 Grafik Nilai ZTD Stasiun CPAI

Nilai ZTD juga dapat dilihat pada tabel di bawah ini yang merupakan nilai rata-rata bulanan. Nilai rata-rata tertinggi pada tahun 2015 berada di bulan Desember, tahun 2016 berada pada bulan Februari, tahun 2017 dan 2018 berada pada bulan Januari. Nilai rata-rata terendah pada tahun 2015 berada pada bulan Oktober, sedangkan untuk tahun 2016 dan 2017 berada pada bulan yang sama yaitu bulan Agustus. Pada tahun 2018 berada pada bulan Oktober

Tabel 4.13 Nilai ZTD Stasiun CPAI

Nilai Zenith Total Delay CPAI (mm)				
Bulan	2015	2016	2017	2018
Jan	2638,418	2628,302	2661,366	2662,259
Feb	2637,191	2676,883	2646,706	2652,912
Mar	2638,841	2662,989	2636,551	2626,863
Apr	2645,305	2642,019	2634,306	2584,793
Mei	2555,703	2630,324	2592,673	2573,564
Jun	2541,044	2617,608	2595,749	2568,379
Jul	2525,314	2579,289	2575,861	2530,446
Agu	2514,365	2559,515	2525,789	2516,945

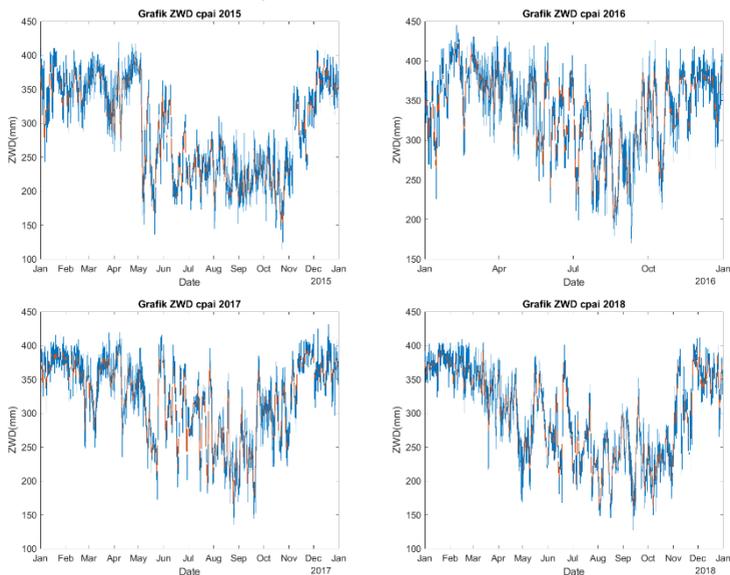
Sep	2506,007	2584,469	2548,627	2520,840
Okt	2502,106	2618,452	2584,958	2513,886
Nov	2583,638	2645,966	2654,193	2610,004
Des	2647,159	2657,823	2653,255	2640,666

= rata-rata tertinggi

= rata-rata terendah

b. Zenith Wet Delay (ZWD)

Berdasarkan hasil pengolahan, didapatkan nilai ZWD di stasiun CPAI pada bulan Januari 2015 hingga Desember 2018. Nilai tersebut ditampilkan pada grafik di bawah ini dengan garis berwarna biru. Garis berwarna merah menunjukkan nilai rata-rata harian.



Gambar 4.14 Grafik Nilai ZWD Stasiun CPAI

Pada tabel di bawah ini dapat dilihat nilai ZWD dalam rentang bulanan. Pada tahun 2015, nilai rata-rata tertinggi berada pada bulan Desember tetapi nilai tersebut tidak berbeda jauh dengan rata-rata nilai pada bulan April. Nilai terendah tahun 2015 berada pada bulan Oktober. Tahun 2016, nilai rata-rata tertinggi pada bulan Februari dan terendah pada bulan Agustus. Pada tahun 2017 dan 2018 nilai rata-rata tertinggi berada pada bulan yang sama yaitu Januari sedangkan rata-rata terendah pada bulan Agustus 2017 dan Oktober 2018

Tabel 4.14 Nilai ZWD Stasiun CPAI

Nilai <i>Zenith Wet Delay</i> CPAI (mm)				
Bulan	2015	2016	2017	2018
Jan	351,218	341,102	374,166	375,059
Feb	349,991	389,683	359,506	365,712
Mar	351,641	375,789	349,351	339,663
Apr	358,105	354,819	347,106	297,593
Mei	268,503	343,124	305,473	286,364
Jun	253,844	330,408	308,549	281,179
Jul	238,114	292,089	288,661	243,246
Agu	227,165	272,315	238,589	229,745
Sep	218,807	297,269	261,427	233,640
Okt	214,906	331,252	297,758	226,686
Nov	296,438	358,766	366,993	322,804
Des	359,959	370,623	366,055	353,466

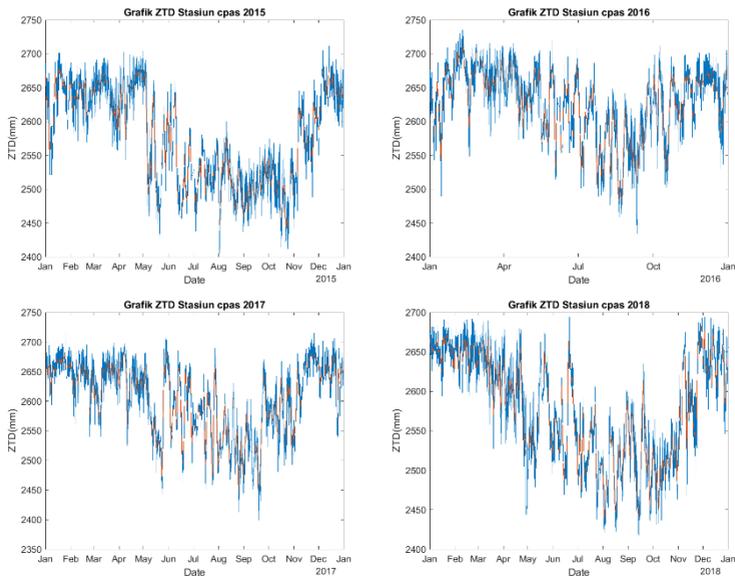
 = rata-rata tertinggi
 = rata-rata terendah

4.1.8 Stasiun CPAS

Stasiun CPAS berada di wilayah Kabupaten Pasuruan pada koordinat $7^{\circ}39'5,066''$ LS $112^{\circ}54'3.726''$ BT dengan ketinggian dari ellipsoid 43,339 m.

a. Zenith Total Delay (ZTD)

Nilai ZTD yang didapatkan di Stasiun CPAS mulai pada bulan Januari 2015 hingga Desember 2018. Nilai tersebut dapat dilihat pada garis berwarna biru yang terdapat di grafik di bawah ini. Nilai berwarna merah merupakan nilai rata-rata harian.



Gambar 4.15 Grafik Nilai ZTD Stasiun CPAS

Tabel di bawah ini menunjukkan nilai rata-rata ZTD setiap bulannya di stasiun CPAS. Pada tahun 2015, nilai rata-rata tertinggi berada pada bulan April dan nilai

rata-rata terendah pada bulan Oktober. Berbeda dengan tahun 2015, nilai rata-rata tertinggi tahun 2016 pada bulan Februari dan nilai rata-rata terendah pada bulan Agustus. Pada tahun 2017 dan 2018 nilai rata-rata tertinggi berada pada bulan yang sama, yaitu bulan Januari. Sedangkan untuk rata-rata terendah pada bulan Agustus 2017 dan Oktober 2018

Tabel 4.15 Nilai ZTD Stasiun CPAS

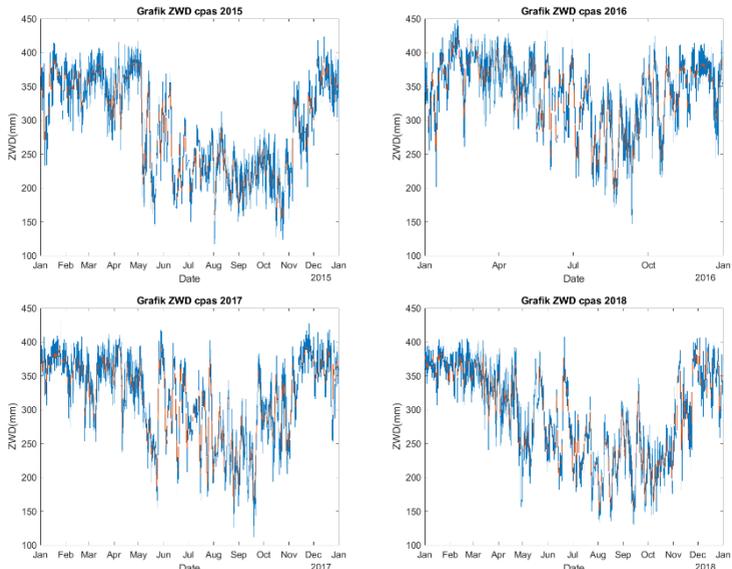
Nilai <i>Zenith Total Delay</i> CPAS (mm)				
Bulan	2015	2016	2017	2018
Jan	2637,306	2635,915	2659,305	2654,550
Feb	2636,102	2675,448	2640,094	2648,282
Mar	2642,546	2666,263	2637,165	2630,078
Apr	2650,009	2649,699	2637,392	2593,198
Mei	2559,623	2634,704	2585,922	2567,918
Jun	2538,208	2619,566	2592,780	2561,027
Jul	2521,670	2582,151	2569,165	2520,705
Agu	2510,067	2561,136	2526,128	2507,315
Sep	2502,577	2576,222	2541,101	2518,757
Okt	2498,444	2620,165	2576,520	2507,171
Nov	2580,107	2643,009	2646,403	2601,046
Des	2643,968	2648,508	2647,761	2634,239

 = rata-rata tertinggi

 = rata-rata terendah

b. *Zenith Wet Delay* (ZWD)

Nilai ZWD di stasiun CPAS dapat dilihat pada grafik berwarna biru di bawah ini. Garis berwarna merah merupakan nilai rata-rata harian. Di stasiun CPAS, didapatkan nilai ZWD mulai pada bulan Januari hingga Desember 2018.



Gambar 4.16 Grafik Nilai ZWD Stasiun CPAS

Tabel di bawah ini menunjukkan nilai ZWD di stasiun CPAS dalam waktu per bulan yang merupakan hasil rata-rata data pada setiap bulannya. Nilai rata-rata tertinggi pada tahun 2015 berada pada bulan April, tahun 2106 pada bulan Februari, tahun 2017 dan 2018 pada bulan Januari. Nilai rata-rata terendah pada tahun 2015 berada pada bulan Oktober sedangkan tahun 2016 dan 2017 pada bulan Agustus. Pada tahun 2018 berada pada bulan Oktober

Tabel 4.16 Nilai ZWD Stasiun CPAS

Nilai <i>Zenith Wet Delay</i> CPAS (mm)				
Bulan	2015	2016	2017	2018
Jan	350,006	348,615	372,005	367,250

Feb	348,802	388,148	352,794	360,982
Mar	355,246	378,963	349,865	342,778
Apr	362,709	362,399	350,092	305,898
Mei	272,323	347,404	298,622	280,618
Jun	250,908	332,266	305,480	273,727
Jul	234,370	294,851	281,865	233,405
Agu	222,767	273,836	238,828	220,015
Sep	215,277	288,922	253,801	231,457
Okt	211,144	332,865	289,220	219,871
Nov	292,807	355,709	359,103	313,746
Des	356,668	361,208	360,461	346,939

 = rata-rata tertinggi

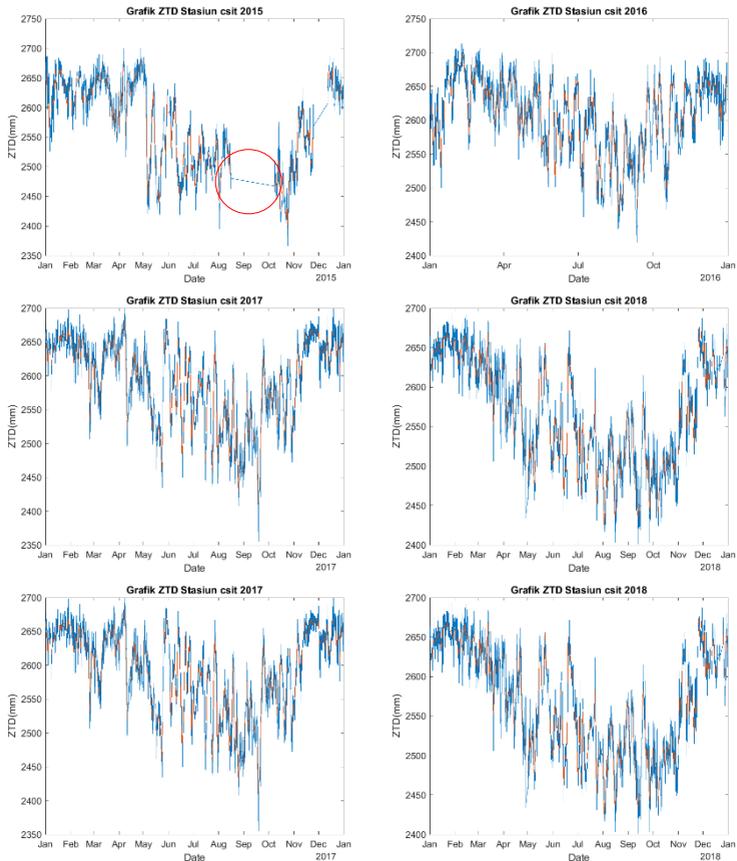
 = rata-rata terendah

4.1.9 Stasiun CSIT

Stasiun CSIT berada di wilayah Kabupaten Situbondo pada koordinat $7^{\circ}42'11,945''$ LS $114^{\circ}0'46,372''$ BT dengan elevasi dari ellipsoid adalah 72,272 m.

a. *Zenith Total Delay* (ZTD)

Di bawah ini merupakan grafik dari nilai ZTD di stasiun CSIT pada Januari 2015 hingga Desember 2018 tetapi terjadi kekosongan data pada bulan September 2015 yang ditandai dengan lingkaran berwarna merah.



Gambar 4.17 Grafik Nilai ZTD Stasiun CSIT

Nilai ZTD juga dapat dilihat pada tabel berikut. Nilai-nilai pada tabel merupakan hasil rata-rata setiap bulan. Pada tahun 2015, nilai rata-rata tertinggi berada pada bulan April. Tahun 2016, nilai rata-rata tertinggi pada bulan Februari. Tahun 2017 dan 2018, nilai rata-rata tertinggi pada bulan Januari. Nilai rata-rata terendah tahun 2015 berada pada bulan Oktober. Nilai rata-rata

terendah tahun 2016 dan 2017 berada pada bulan Agustus. Untuk tahun 2018 berada pada bulan Oktober

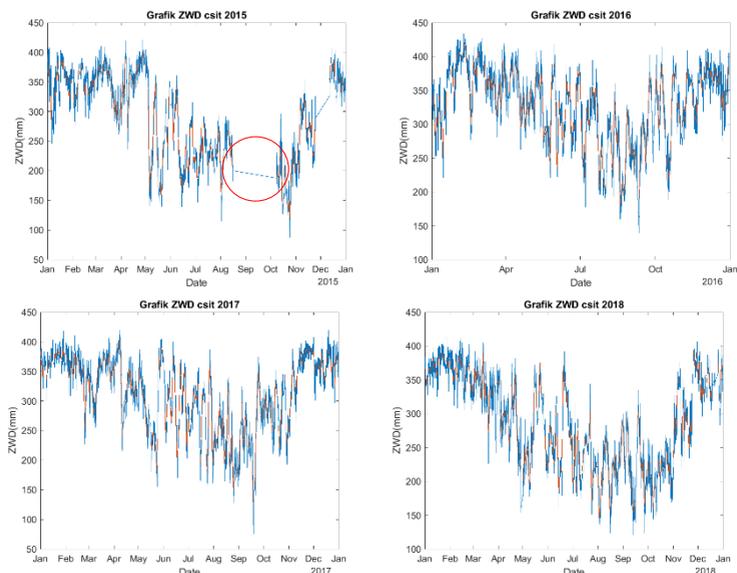
Tabel 4.17 Nilai ZTD Stasiun CSIT

Nilai <i>Zenith Total Delay</i> CSIT (mm)				
Bulan	2015	2016	2017	2018
Jan	2632,603	2612,014	2649,116	2651,475
Feb	2623,502	2662,854	2630,150	2641,780
Mar	2627,671	2639,690	2622,274	2618,610
Apr	2637,978	2625,482	2614,101	2573,875
Mei	2534,793	2610,415	2571,939	2544,715
Jun	2524,216	2592,407	2575,091	2553,104
Jul	2509,564	2566,331	2558,471	2510,668
Agu	2512,872	2541,603	2507,093	2499,290
Sep		2558,284	2531,674	2501,583
Okt	2467,965	2600,271	2563,949	2493,179
Nov	2546,854	2624,742	2634,899	2592,722
Des	2636,781	2643,872	2642,646	2627,841

 = rata-rata tertinggi
 = rata-rata terendah

b. *Zenith Wet Delay* (ZWD)

Nilai ZWD pada stasiun CSIT ditampilkan dalam grafik berwarna biru di bawah ini. Sama dengan ZTD, nilai ZWD pada stasiun CSIT mulai pada tahun 2015 hingga 2018 namun ada kekosongan pada September 2015 yang ditandai dengan lingkaran berwarna merah.



Gambar 4.18 Grafik Nilai ZWD Stasiun CSIT

Pada tabel di bawah ini dapat dilihat nilai dari ZWD stasiun CSIT. Nilai pada tabel merupakan nilai rata-rata bulanan. Rata-rata bulanan tertinggi setiap tahunnya berada pada bulan April 2015, Februari 2016, Januari 2017 dan Januari 2018. Sedangkan rata-rata terendah berada pada bulan Oktober 2015 dan Agustus untuk tahun 2016, dan 2017. Pada tahun 2018 rata-rata terendah pada bulan Oktober

Tabel 4.18 Nilai ZWD Stasiun CSIT

Nilai <i>Zenith Wet Delay</i> CSIT (mm)				
Bulan	2015	2016	2017	2018
Jan	352,703	332,114	369,216	371,575
Feb	343,602	382,954	350,250	361,880

Mar	347,771	359,790	342,374	338,710
Apr	358,078	345,582	334,201	293,975
Mei	254,893	330,515	292,039	264,815
Jun	244,316	312,507	295,191	273,204
Jul	229,664	286,431	278,571	230,768
Agu	232,972	261,703	227,193	219,390
Sep		278,384	251,774	221,683
Okt	188,065	320,371	284,049	213,279
Nov	266,954	344,842	354,999	312,822
Des	356,881	363,972	362,746	347,941

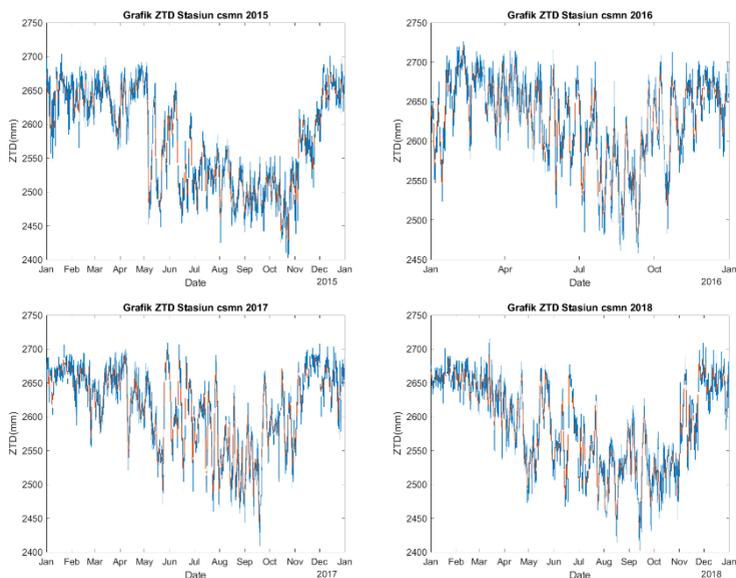
 = rata-rata tertinggi
 = rata-rata terendah

4.1.10 Stasiun CSMN

Stasiun CSMN berada di wilayah Kabupaten Sumenep pada koordinat $7^{\circ}1'5,948''$ LS $113^{\circ}52'30.669''$ BT dengan elevasi ellipsoid 40.739 m.

a. *Zenith Total Delay* (ZTD)

Berikut merupakan grafik dari *zenith total delay* di stasiun CSMN. Nilai ZTD yang didapatkan pada stasiun CSMN mulai pada Januari 2015 hingga Desember 2018. Nilai tersebut ditandai dengan garis berwarna biru dan garis berwarna merah.



Gambar 4.19 Grafik Nilai ZTS Stasoun CSMN

Di bawah ini merupakan tabel yang menunjukkan nilai rata-rata dari total *zenith* dalam waktu bulanan. Pada stasiun CSMN, rata-rata tertinggi pada tiap tahun terdapat pada bulan April 2015, Februari 2016, Januari 2017 dan 2018. Sedangkan nilai rata-rata terendah terdapat pada bulan Oktober 2015 dan Agustus 2016 dan 2017. Pada tahun 2018 berada pada bulan Oktober

Tabel 4.19 Nilai ZTD Stasiun CSMN

Nilai <i>Zenith Total Delay</i> CSMN (mm)				
Bulan	2015	2016	2017	2018
Jan	2641,317	2629,690	2664,985	2659,255
Feb	2636,998	2679,409	2648,799	2652,645
Mar	2637,034	2659,929	2641,833	2635,297

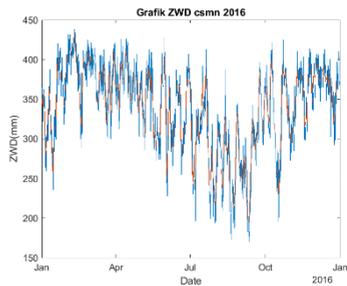
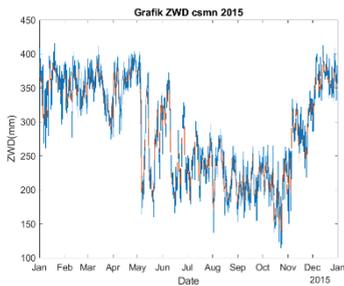
Apr	2651,774	2659,921	2632,026	2585,174
Mei	2558,044	2635,084	2601,991	2585,833
Jun	2552,867	2614,085	2604,489	2572,957
Jul	2527,487	2587,813	2584,872	2536,655
Agu	2508,705	2562,378	2533,326	2520,491
Sep	2497,158	2576,297	2553,630	2526,050
Okt	2490,602	2623,981	2584,134	2518,733
Nov	2569,507	2642,433	2654,860	2611,326
Des	2647,866	2658,828	2652,638	2650,094

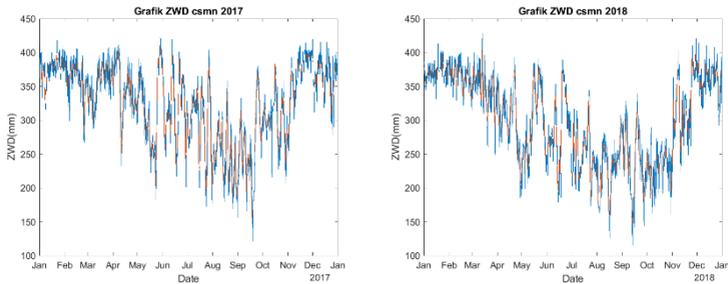
= rata-rata tertinggi

= rata-rata terendah

b. *Zenith Wet Delay (ZWD)*

Pada stasiun CSMN, dihasilkan nilai ZWD pada rentang waktu Januari 2015 hingga Desember 2018. Nilai tersebut dapat dilihat pada grafik di bawah ini.





Gambar 4.20 Grafik Nilai ZWD Stasiun CSMN

Di bawah ini merupakan tabel yang menunjukkan nilai ZWD pada rata-rata bulanan. Rata-rata tertinggi pada stasiun CSMN berada pada bulan April 2015, Februari 2016, Januari 2017 dan Januari 2018. Untuk rata-rata terendah pada tahun 2015 berada pada bulan Oktober, sedangkan untuk tahun 2016 dan 2017 berada pada bulan yang sama yaitu Agustus. Pada tahun 2018 berada pada bulan Oktober.

Tabel 4.20 Nilai ZWD Stasiun CSMN

Nilai <i>Zenith Wet Delay</i> CSMN (mm)				
Bulan	2015	2016	2017	2018
Jan	353,317	341,690	376,985	371,255
Feb	348,998	391,409	360,799	364,645
Mar	349,034	371,929	353,833	347,702
Apr	363,774	371,921	344,026	297,174
Mei	270,044	347,084	313,991	297,833
Jun	264,867	326,085	316,489	284,957
Jul	239,487	299,813	296,872	248,655
Agu	220,705	274,378	245,326	232,491
Sep	209,158	288,297	265,630	238,050
Okt	202,602	335,981	296,134	230,733

Nov	281,507	354,433	366,860	323,326
Des	359,866	370,828	364,638	362,094

= rata-rata tertinggi

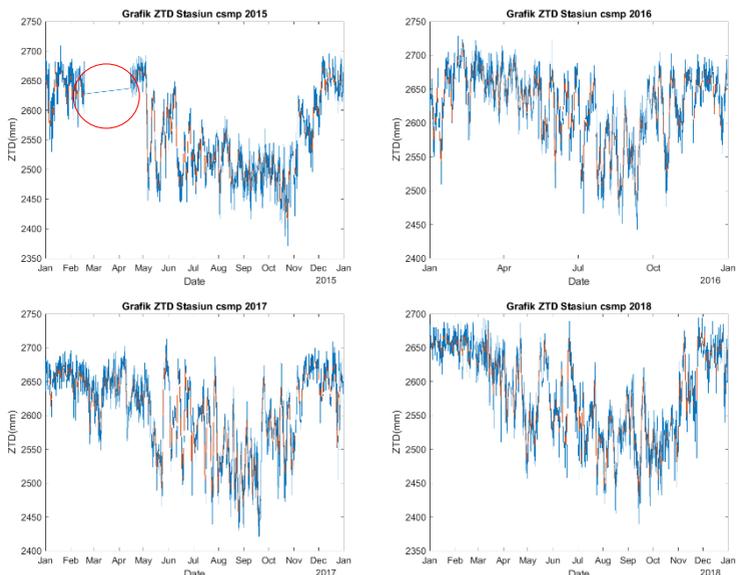
= rata-rata terendah

4.1.11 Stasiun CSMP

Stasiun CSMP berada di wilayah Kabupaten Sampang pada koordinat $7^{\circ}11'43,611''$ LS $113^{\circ}15'7,007''$ BT dan tinggi ellipsoid 46,094 m

a. Zenith Total Delay (ZTD)

Di bawah ini merupakan grafik nilai *Zenith Total Delay* di stasiun CSMP pada tahun 2015 hingga 2018. Namun, terdapat kekosongan nilai pada bulan Maret 2015.



Gambar 4.21 Grafik Nilai ZTD Stasiun CSMP

Di bawah ini ditampilkan nilai rata-rata bulanan dari ZTD di stasiun CSMP. Nilai rata-rata tertinggi pada tahun 2015 berada pada bulan April dan terendah pada bulan Oktober. Tahun 2016, rata-rata tertinggi pada bulan Februari dan terendah pada bulan Agustus. Pada tahun 2017, nilai rata-rata tertinggi pada bulan Januari dan terendah pada bulan Agustus. Pada tahun 2018, nilai rata-rata tertinggi pada bulan Januari dan terendah pada bulan Oktober.

Tabel 4.21 Nilai ZTD Stasiun CSMP

Nilai <i>Zenith Total Delay</i> CSMP (mm)				
Bulan	2015	2016	2017	2018
Jan	2635,914	2631,620	2660,279	2656,292
Feb	2635,808	2675,135	2644,643	2650,595
Mar		2663,700	2634,705	2629,311
Apr	2658,736	2652,078	2638,268	2581,198
Mei	2560,215	2635,903	2595,498	2572,063
Jun	2541,349	2617,491	2596,064	2570,816
Jul	2521,628	2580,728	2578,301	2528,845
Agu	2510,698	2558,444	2525,449	2518,440
Sep	2495,144	2580,258	2543,676	2516,502
Okt	2482,049	2620,995	2575,425	2507,547
Nov	2572,848	2644,432	2651,489	2606,808
Des	2645,832	2654,501	2645,568	2639,114

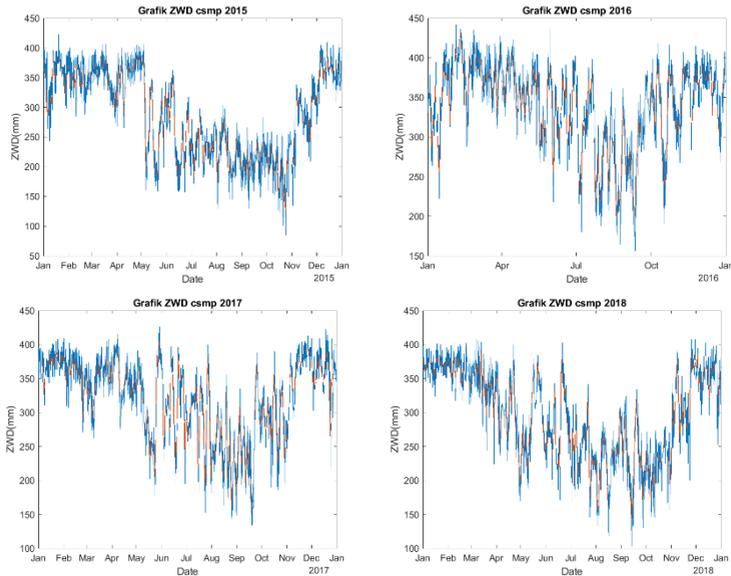
 = rata-rata tertinggi

 = rata-rata terendah

b. *Zenith Wet Delay* (ZWD)

Di bawah ini merupakan grafik nilai ZWD di stasiun CSMP. Nilai pada ZWD di stasiun CSMP terdapat mulai tahun 2015 hingga 2018.

Pada grafik berwarna merah merupakan rata – rata harian.



Gambar 4.22 Grafik Nilai ZWD Stasiun CSMP

Selain itu, ditampilkan pula nilai rata-rata bulanan dalam bentuk tabel di bawah ini. Nilai rata-rata tertinggi tiap tahunnya berada pada bulan April 2015, Februari 2016, Januari 2017 dan Januari 2018. Nilai rata-rata terendah tahun 2015 dan 2018 berada pada bulan Oktober sedangkan tahun 2016 dan 2017 berada pada bulan Agustus.

Tabel 4.22 Nilai ZWD Stasiun CSMP

Nilai Zenith Wet Delay CSMP (mm)				
Bulan	2015	2016	2017	2018
Jan	349,314	345,020	373,679	369,692
Feb	348,247	388,535	358,043	363,995

Mar	351,948	377,100	348,105	342,711
Apr	361,142	365,478	351,668	294,598
Mei	273,615	349,303	308,898	285,463
Jun	254,749	330,891	309,464	284,216
Jul	235,028	294,128	291,701	242,245
Agu	224,098	271,844	238,849	231,840
Sep	208,544	293,658	257,076	229,902
Okt	195,449	334,395	288,825	220,947
Nov	286,248	357,832	364,889	320,208
Des	359,232	367,901	358,968	352,514

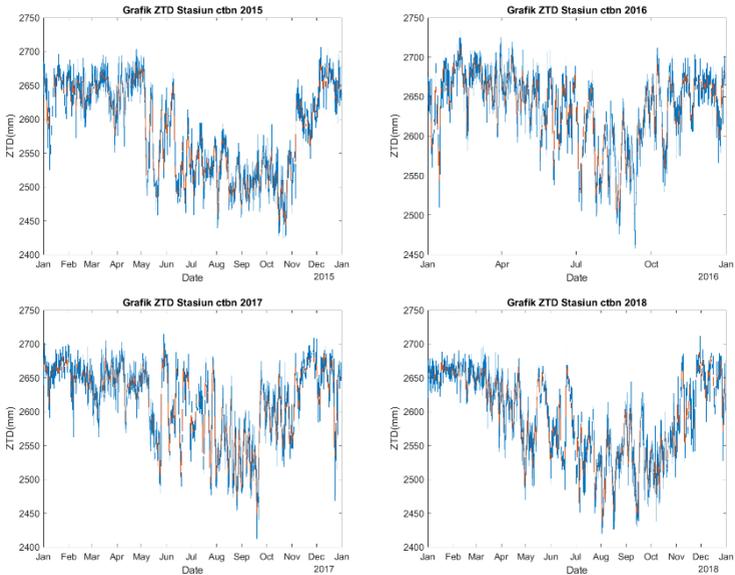
 = rata-rata tertinggi
 = rata-rata terendah

4.1.12 Stasiun CTBN

Stasiun CTBN berada di wilayah Kabupaten Tuban pada koordinat $6^{\circ}52'20,114''$ LS $111^{\circ}59'11,162''$ BT dengan elevasi dari ellipsoid 36,160 m.

a. *Zenith Total Delay* (ZTD)

Nilai *zenith total delay* di stasiun CTBN ditampilkan pada grafik di bawah ini dengan warna biru. Nilai yang didapatkan pada rentang waktu 2015 hingga 2018.



Gambar 4.23 Grafik Nilai ZTD Stasiun CTBN

Di bawah ini merupakan tabel rata-rata nilai bulanan dari ZTD di stasiun CTBN. Dari tabel tersebut dapat diketahui nilai rata-rata tertinggi dan terendah dari setiap tahunnya. Tahun 2015, nilai rata-rata tertinggi pada bulan Desember dan terendah pada bulan Oktober. Tahun 2016, nilai tertinggi pada bulan Februari dan terendah pada bulan Agustus. Tahun 2017 dan 2018 rata-rata tertinggi dan terendah pada bulan yang sama yaitu Januari untuk rata-rata tertinggi dan Agustus untuk rata-rata terendah.

Tabel 4.23 Nilai ZTD Stasiun CTBN

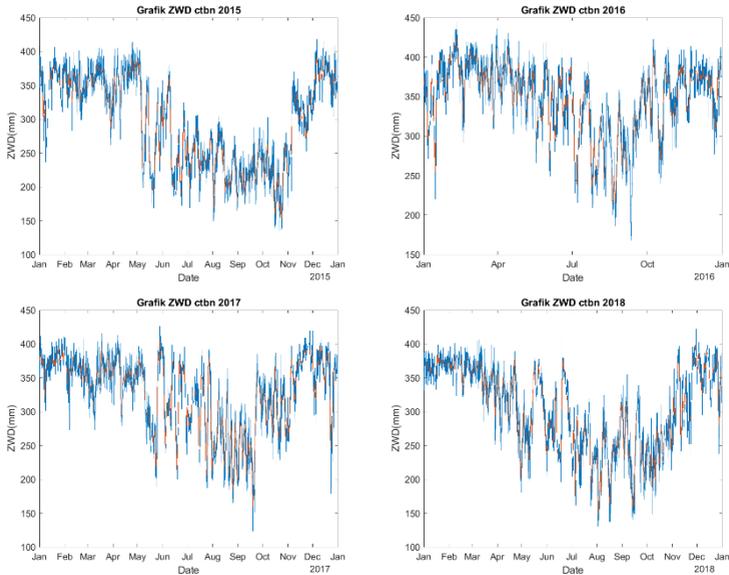
Nilai <i>Zenith Total Delay</i> CTBN (mm)				
Bulan	2015	2016	2017	2018
Jan	2647,332	2642,687	2664,150	2659,659
Feb	2638,492	2679,224	2652,271	2654,662
Mar	2643,658	2669,397	2641,882	2638,547
Apr	2652,441	2662,330	2644,389	2600,853
Mei	2573,343	2644,913	2615,779	2585,230
Jun	2550,792	2632,298	2607,279	2576,750
Jul	2535,868	2593,197	2590,130	2531,127
Agu	2518,094	2573,806	2538,726	2524,667
Sep	2513,088	2598,807	2548,887	2530,926
Okt	2503,818	2634,485	2595,378	2536,402
Nov	2594,898	2650,285	2649,524	2616,459
Des	2652,538	2654,028	2639,660	2646,037

 = rata-rata tertinggi

 = rata-rata terendah

b. *Zenith Wet Delay* (ZWD)

Pada stasiun CTBN, didapatkan pula nilai ZWD yang ditampilkan pada grafik di bawah ini dengan garis berwarna biru. Nilai tersebut mulai pada Januari 2015 hingga Desember 2018. Terdapat pula garis berwarna merah yang menunjukkan nilai rata-rata harian.



Gambar 4.24 Grafik Nilai ZWD Stasiun CTBN

Di bawah ini merupakan tabel nilai rata-rata bulanan untuk ZWD di stasiun CTBN. Nilai rata-rata tertinggi pada tahun 2015 berada pada bulan April tetapi nilainya tidak berbeda jauh dengan bulan Desember dan terendah pada bulan Oktober. Tahun 2016, rata-rata tertinggi pada bulan Februari dan terendah pada bulan Agustus. Tahun 2017 dan 2018, rata-rata tertinggi pada bulan Januari dan terendah pada bulan Agustus.

Tabel 4.24 Nilai ZWD Stasiun CTBN

Nilai <i>Zenith Wet Delay</i> CTBN (mm)				
Bulan	2015	2016	2017	2018
Jan	358,032	353,387	374,850	370,359

Feb	349,192	389,924	362,971	365,362
Mar	354,358	380,097	352,582	349,247
Apr	363,141	373,030	355,089	311,553
Mei	284,043	355,613	326,479	295,930
Jun	261,492	342,998	317,979	287,450
Jul	246,568	303,897	300,830	241,827
Agu	228,794	284,506	249,426	235,367
Sep	223,788	309,507	259,587	241,626
Okt	214,518	345,185	306,078	247,102
Nov	305,598	360,985	360,224	327,159
Des	363,238	364,728	350,360	356,737

 = rata-rata tertinggi

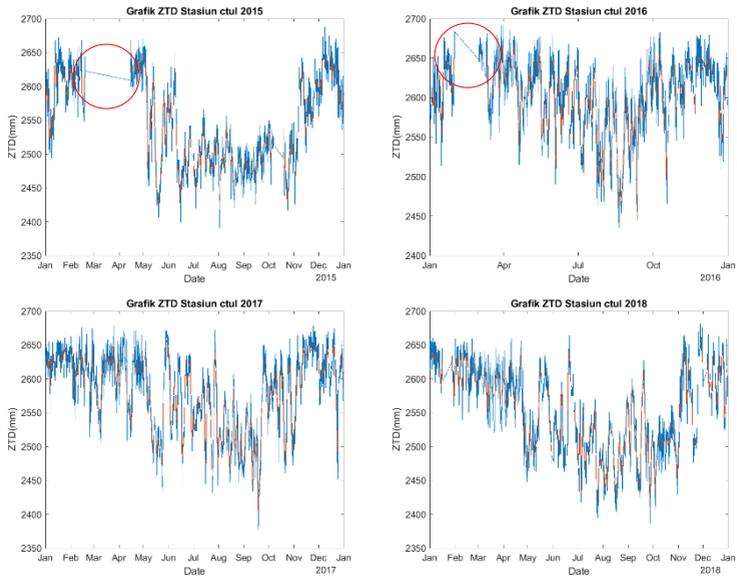
 = rata-rata terendah

4.1.13 Stasiun CTUL

Stasiun CTUL berada di wilayah Kabupaten Tulungagung pada koordinat $8^{\circ}3'55,866''$ LS $111^{\circ}54'21,867''$ BT dengan elevasi dari ellipsoid 123,722 m.

a. *Zenith Total Delay (ZTD)*

Berikut ini merupakan nilai ZTD dari stasiun CTUL. Nilai yang didapatkan mulai tahun 2015 hingga 2018 tetapi terdapat kekosongan pada Maret 2015 dan Februari 2016 yang ditandai dengan lingkaran berwarna merah.



Gambar 4.25 Grafik Nilai ZTD Stasiun CTUL

Di bawah ini merupakan nilai rata-rata bulanan nilai ZTD pada tiap tahunnya. Tahun 2015, nilai rata-rata tertinggi pada bulan April dan terendah pada bulan Agustus. Tahun 2016, nilai rata-rata tertinggi pada bulan Maret dan terendah pada bulan Agustus. Pada tahun 2017 dan 2018 rata-rata tertinggi pada bulan Januari dan terendah pada bulan Agustus.

Tabel 4.25 Nilai ZTD STasiun CTUL

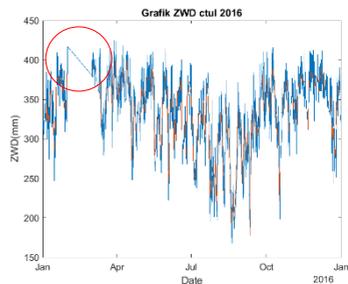
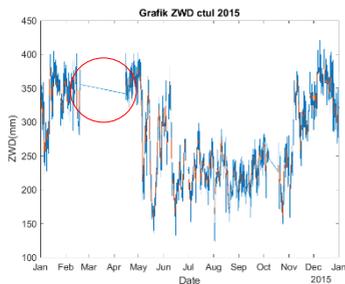
Nilai Zenith Total Delay CTUL (mm)				
Bulan	2015	2016	2017	2018
Jan	2597,006	2614,402	2628,664	2623,365
Feb	2609,972		2613,990	2613,359

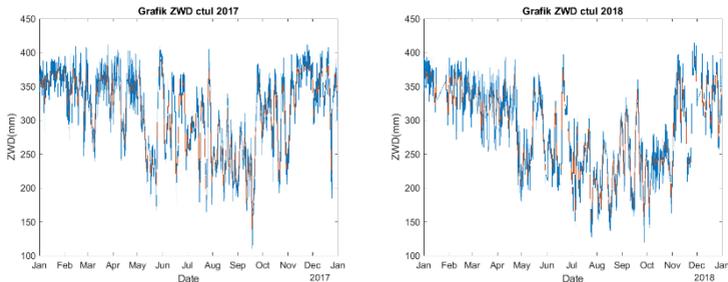
Mar		2633,972	2605,822	2594,844
Apr	2627,832	2616,962	2607,756	2569,474
Mei	2535,135	2612,848	2558,119	2546,742
Jun	2508,338	2601,257	2570,014	2539,732
Jul	2496,059	2564,267	2548,779	2492,707
Agu	2487,110	2546,588	2511,324	2484,714
Sep	2493,185	2582,201	2525,941	2512,176
Okt	2495,181	2606,680	2566,768	2499,478
Nov	2571,890	2630,911	2625,696	2584,804
Des	2615,389	2619,261	2612,182	2601,252

= rata-rata tertinggi
 = rata-rata terendah

b. Zenith Wet Delay (ZWD)

Berikut merupakan grafik dari nilai ZWD di stasiun CTUL. Sama seperti pada nilai ZTD, nilai ZWD terdapat kekosongan pada Maret 2015 dan Februari 2016. Nilai ZWD digambarkan dengan garis berwarna biru dan rata-rata harian digambarkan dengan garis berwarna merah.





Gambar 4.26 Grafik Nilai ZWD Stasiun CTUL

Rata-rata bulanan nilai ZWD pada tiap tahun dapat dilihat pada tabel di bawah ini. Berdasarkan tabel tersebut, dapat diketahui nilai rata-rata tertinggi dan terendah tiap tahunnya. Rata-rata terendah tahun 2015 hingga 2018 berada pada bulan Agustus. Rata-rata tertinggi berada pada bulan yang berbeda, yaitu April 2015, Maret 2016, Januari 2017, dan Januari 2018.

Tabel 4.26 Nilai ZWD Stasiun CTUL

Nilai <i>Zenith Wet Delay</i> CTUL (mm)				
Bulan	2015	2016	2017	2018
Jan	329,906	347,302	361,564	356,265
Feb	342,872		346,890	346,259
Mar		366,872	338,722	327,744
Apr	360,732	349,862	340,656	302,374
Mei	268,035	345,748	291,019	279,642
Jun	241,238	334,157	302,914	272,632
Jul	228,959	297,167	281,679	225,607
Agu	220,010	278,260	244,224	217,614
Sep	226,085	315,101	258,841	245,076

Okt	228,081	339,580	299,668	232,378
Nov	304,790	363,811	358,596	317,704
Des	348,289	352,161	345,082	334,152

= rata-rata tertinggi

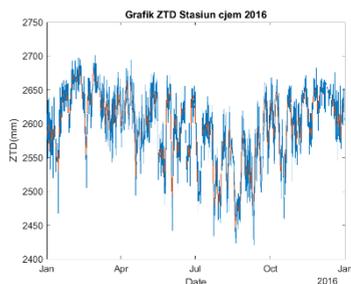
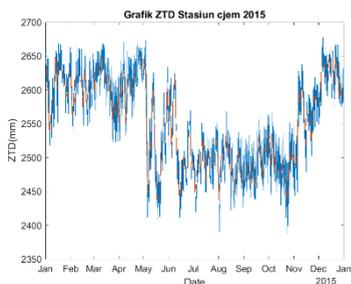
= rata-rata terendah

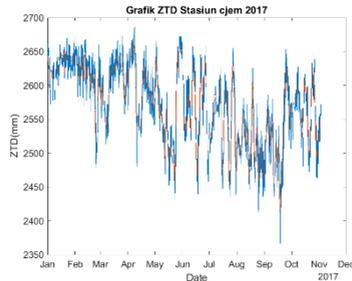
4.1.14 Stasiun CJEM

Stasiun CJEM berada di wilayah Kabupaten Jember pada koordinat $8^{\circ}10'29,517''$ LS $113^{\circ}41'35,594''$ BT dan elevasi dari ellipsoid 121.876 m.

a. Zenith Total Delay (ZTD)

Pada stasiun CJEM, hanya didapatkan nilai ZTD dalam waktu tiga tahun, yaitu 2015, 2016, dan 2017. Pada tahun 2017, nilai didapatkan mulai bulan Januari hingga November. Nilai tersebut dapat dilihat pada grafik di bawah ini dengan garis berwarna biru sedangkan garis berwarna merah menunjukkan rata-rata harian dari nilai tersebut.





Gambar 4.27 Grafik Nilai ZTD Stasiun CJEM

Nilai rata-rata bulanan dari ZTD di stasiun CJEM dapat dilihat pada tabel di bawah ini. Nilai rata-rata tertinggi pada tiap tahunnya berada pada bulan Desember 2015, Februari 2016, dan Januari 2017. Nilai rata-rata terendah terdapat pada bulan yang sama, yaitu Agustus.

Tabel 4.27 Nilai ZTD Stasiun CJEM

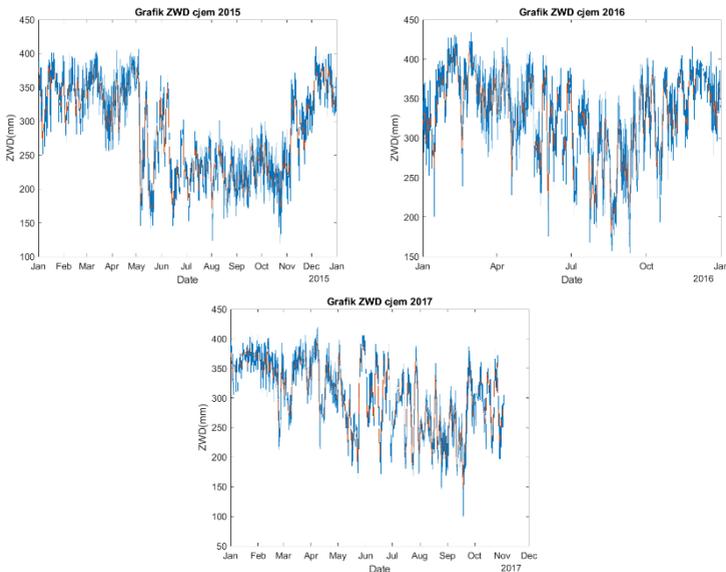
Nilai <i>Zenith Total Delay</i> CJEM (mm)			
Bulan	2015	2016	2017
Jan	2610,325	2604,208	2633,679
Feb	2603,889	2647,280	2614,030
Mar	2608,653	2622,474	2603,933
Apr	2612,822	2608,074	2600,410
Mei	2526,503	2601,458	2564,300
Jun	2515,380	2584,702	2566,781
Jul	2495,912	2552,263	2548,112
Agu	2487,885	2532,216	2508,794
Sep	2491,575	2560,943	2526,199
Okt	2489,534	2596,198	2561,475
Nov	2556,581	2617,357	2537,887
Des	2619,181	2624,013	

= rata-rata tertinggi

= rata-rata terendah

b. *Zenith Wet Delay (ZWD)*

Nilai ZWD dapat dilihat pada grafik di bawah ini. Rentang waktu nilai yang didapatkan sama dengan pada ZTD yaitu Januari 2015 hingga November 2017.



Gambar 4.28 Grafik Nilai ZWD Stasiun CJEM

Di bawah ini ditunjukkan nilai ZWD dalam rata-rata bulanan. Pada tahun 2015, rata-rata tertinggi berada pada bulan Desember dan terendah pada bulan Agustus. Tahun 2016, nilai rata-rata tertinggi pada bulan Februari dan terendah pada bulan Agustus juga. Tahun 2017, nilai rata-rata tertinggi pada bulan Januari dan terendah pada bulan Agustus.

Tabel 4.28 Nilai ZWD Stasiun CJEM

Nilai <i>Zenith Wet Delay</i> CJEM (mm)			
Bulan	2015	2016	2017
Jan	343,725	337,608	367,079
Feb	337,289	380,680	347,430
Mar	342,053	355,874	337,333
Apr	346,222	341,474	333,810
Mei	259,903	334,858	297,700
Jun	248,780	318,102	300,181
Jul	229,312	285,663	281,512
Agu	221,285	265,616	242,194
Sep	224,975	294,343	259,599
Okt	222,934	329,598	294,875
Nov	289,981	350,757	271,287
Des	352,581	357,413	

 = rata-rata tertinggi

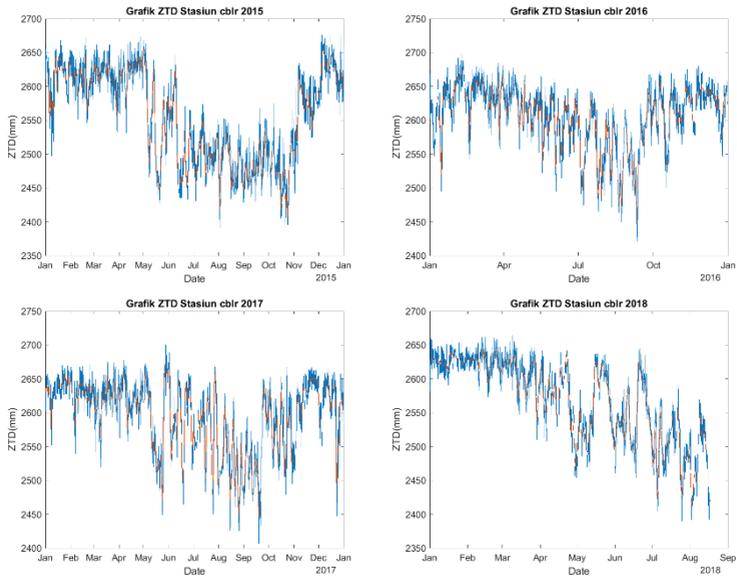
 = rata-rata terendah

4.1.15 Stasiun CBLR

Stasiun CBLR berada di wilayah Kabupaten Blora, Jawa Tengah pada koordinat 6°58'9,214" LS 111°24'53,159" BT dengan elevasi dari ellipsoid 118,394 m.

a. *Zenith Total Delay* (ZTD)

Di bawah ini merupakan grafik dari nilai ZTD di stasiun CBLR. Di stasiun CBLR, didapatkan nilai pada bulan Januari 2015 hingga Oktober 2018. Grafik yang menggambarkan nilai ZTD diberi warna biru sedangkan warna merah merupakan rata-rata harian.



Gambar 4.29 Grafik Nilai ZTD Stasiun CBLR

Berikut merupakan tabel yang menampilkan nilai ZTD dalam rata-rata bulanan. Pada tahun 2015, nilai rata-rata tertinggi pada bulan April dan terendah pada bulan Oktober. Tahun 2016, nilai rata-rata tertinggi pada bulan Februari dan terendah pada bulan Agustus. Tahun 2017 dan 2018, nilai rata-rata tertinggi pada bulan Januari dan terendah pada bulan Agustus.

Tabel 4.29 Nilai ZTD Stasiun CBLR

Nilai <i>Zenith Total Delay</i> CBLR (mm)				
Bulan	2015	2016	2017	2018
Jan	2613,414	2615,550	2636,653	2627,465
Feb	2608,715	2646,247	2630,179	2626,030
Mar	2615,449	2638,101	2620,455	2606,913

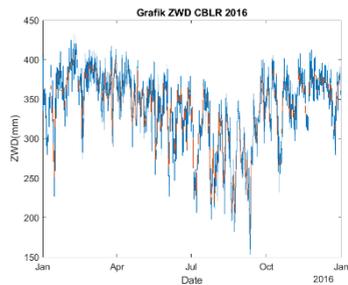
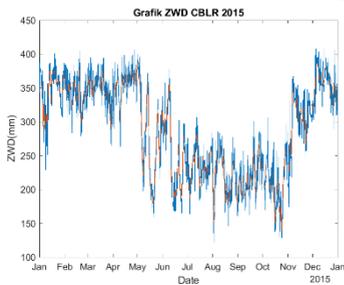
Apr	2622,753	2624,503	2622,735	2572,481
Mei	2544,578	2609,764	2588,347	2556,820
Jun	2518,534	2592,023	2592,620	2547,176
Jul	2501,724	2560,041	2575,597	2495,414
Agu	2484,965	2549,571	2526,195	2481,733
Sep	2484,720	2570,083	2540,934	
Okt	2473,668	2610,731	2571,379	
Nov	2568,799	2626,184	2625,094	
Des	2622,340	2627,510	2607,651	

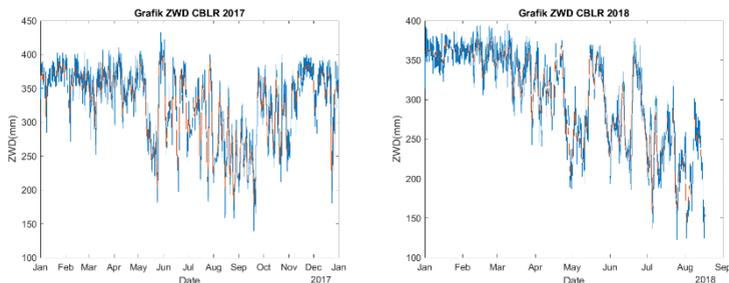
= rata-rata tertinggi

= rata-rata terendah

b. *Zenith Wet Delay (ZWD)*

Nilai ZWD pada stasiun CBLR ditampilkan dalam grafik di bawah ini. Sama seperti ZTD, nilai ZWD yang didapatkan mulai Januari 2015 hingga Agustus 2018. Nilai tersebut ditampilkan dalam grafik berwarna biru sedangkan grafik berwarna merah menunjukkan nilai rata-rata harian.





Gambar 2.30 Grafik Nilai ZWD Stasiun CBLR

Berikut merupakan tabel yang menunjukkan rata-rata bulanan dari nilai ZWD di stasiun CBLR. Nilai tertinggi pada tiap tahunnya berada pada bulan April 2015, Februari 2016, Januari 2017, dan Januari 2018. Nilai rata-rata terendah pada tahun 2015 berada pada bulan Oktober dan tahun 2016, 2017, dan 2018 berada pada bulan Agustus.

Tabel 4.30 Nilai ZWD Stasiun CBLR

Nilai <i>Zenith Wet Delay</i> CBLR (mm)				
Bulan	2015	2016	2017	2018
Jan	346,014	348,150	369,253	360,065
Feb	341,315	378,847	362,779	358,630
Mar	348,049	370,701	352,173	339,513
Apr	355,353	357,103	355,335	305,081
Mei	277,178	342,364	320,947	289,420
Jun	251,134	324,623	325,220	279,776
Jul	234,324	292,641	308,197	228,014
Agu	216,228	282,171	258,795	214,333
Sep	217,320	302,683	273,534	
Okt	206,268	343,331	303,979	

Nov	301,399	358,784	357,694	
Des	354,940	360,110	340,251	

= rata-rata tertinggi

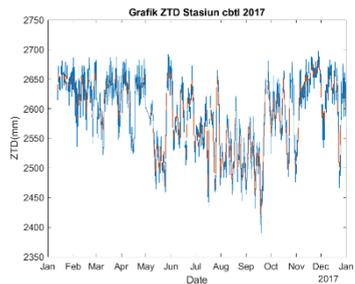
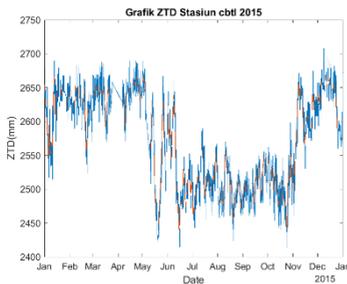
= rata-rata terendah

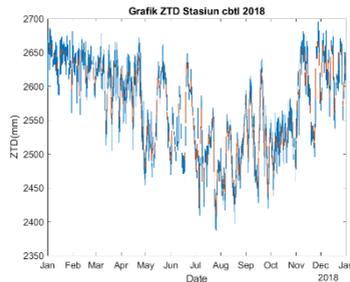
4.1.16 Stasiun CBTL

Stasiun CBTL berada di wilayah Kabupaten Bantul, Yogyakarta pada koordinat $7^{\circ}53'33,102''$ LS $110^{\circ}20'7,742''$ BT dengan ketinggian ellipsoid 72.593 m.

a. Zenith Total Delay (ZTD)

Nilai ZTD di stasiun CBTL ditampilkan dalam grafik di bawah ini. Pada stasiun CBTL didapatkan hanya tiga tahun, yaitu 2015, 2017 dan 2018. Nilai tersebut ditampilkan pada grafik berwarna biru sedangkan garis berwarna merah menunjukkan nilai rata-rata harian.





Gambar 4.31 Grafik Nilai ZTD Stasiun CBTL

Berikut ini merupakan nilai rata-rata bulanan tiap tahun dalam bentuk grafik. Nilai rata-rata bulanan tertinggi pada tahun 2015 berada pada bulan April sedangkan tahun 2017 dan 2018 berada pada bulan Januari. Nilai rata-rata terendah berada pada bulan yang sama dari ketiga tahun tersebut, yaitu bulan Agustus.

Tabel 4.31 Nilai ZTD Stasiun CBTL

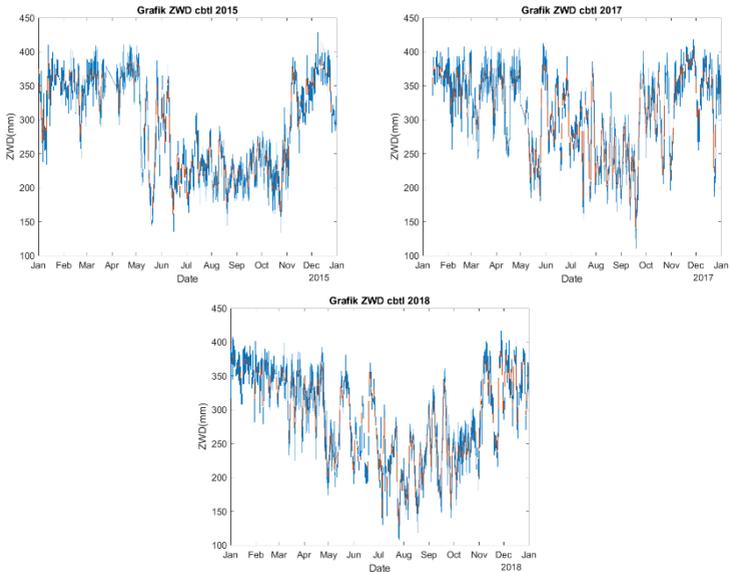
Nilai <i>Zenith Total Delay</i> CBTL (mm)			
Bulan	2015	2017	2018
Jan	2617,410	2648,160	2643,170
Feb	2621,739	2628,713	2626,617
Mar	2636,352	2619,964	2610,568
Apr	2643,141	2627,219	2587,789
Mei	2561,331	2556,618	2559,552
Jun	2526,363	2587,865	2549,188
Jul	2511,582	2557,185	2489,645
Agu	2497,779	2519,331	2490,957
Sep	2507,728	2535,254	2528,408
Okt	2503,637	2583,800	2521,512

Nov	2603,854	2641,649	2602,084
Des	2640,460	2615,898	2622,261

= rata-rata tertinggi
 = rata-rata terendah

b. *Zenith Wet Delay (ZWD)*

Nilai ZWD di stasiun CBTL juga hanya terdapat pada tiga tahun, yaitu 2015, 2017, dan 2018. Nilai tersebut ditampilkan pada grafik di bawah ini dengan garis berwarna biru sedangkan garis berwarna merah menunjukkan nilai rata-rata harian.



Gambar 4.32 Grafik Nilai ZWD Stasiun CBTL

Di bawah ini merupakan tabel nilai rata-rata bulanan dari ZWD di stasiun CBTL. Nilai rata-rata tertinggi pada tahun 2015 berada pada bulan April dan terendah pada bulan Agustus.

Tahun 2017 dan 2018, nilai rata-rata tertinggi pada bulan Januari dan terendah pada bulan Agustus.

Tabel 4.32 Nilai ZWD Stasiun CBTL

Nilai <i>Zenith Wet Delay</i> CBTL (mm)			
Bulan	2015	2017	2018
Jan	337,810	368,560	363,570
Feb	342,139	349,113	347,017
Mar	356,752	340,364	330,968
Apr	363,541	347,619	308,189
Mei	278,761	277,018	279,952
Jun	246,763	308,265	269,588
Jul	231,982	277,585	210,045
Agu	218,179	239,731	211,357
Sep	228,128	255,654	248,808
Okt	224,037	304,200	241,912
Nov	324,254	362,049	322,484
Des	360,860	336,298	342,661

 = rata-rata tertinggi
 = rata-rata terendah

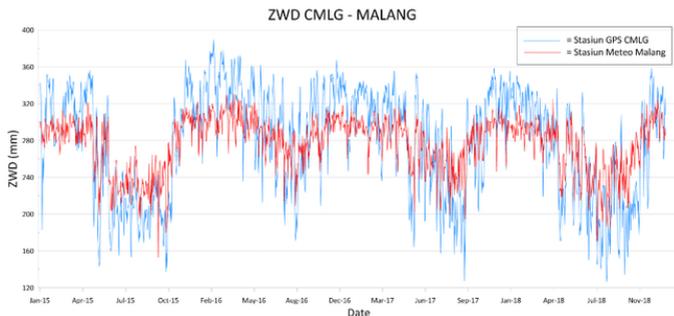
4.2 Perbandingan ZWD Stasiun CORS dengan Stasiun Meteorologi

Perbandingan nilai ZWD dari GPS dengan data meteorologi bertujuan untuk mengetahui hubungan dari kedua nilai tersebut. Pemilihan nilai ZWD yang dibandingkan didasarkan dengan beberapa faktor, diantaranya, 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.

4.2.1 Stasiun CMLG dengan Stasiun Malang

Perbedaan nilai ZWD dari data GPS dan meteorologi dapat dilihat pada grafik di bawah ini. 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 dapat dibuktikan dengan nilai ZWD dari GPS memiliki nilai yang lebih tinggi dan juga lebih rendah dibanding nilai ZWD dari data meteorologi.



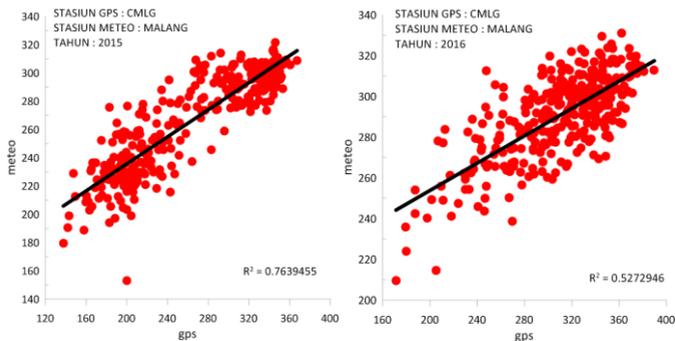
Gambar 4.33 Grafik perbandingan Nilai ZWD Stasiun CMLG – Malang

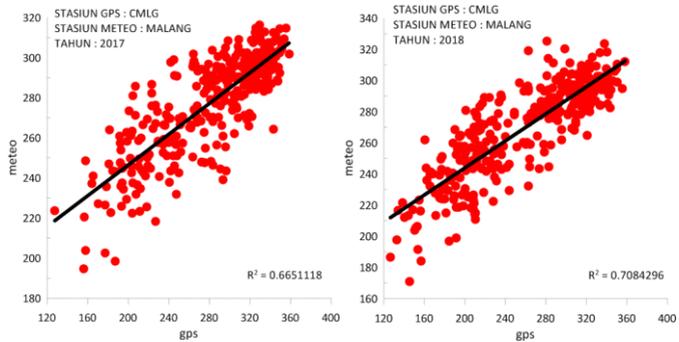
Kesamaan pola dari nilai ZWD kedua stasiun juga terbukti dengan perhitungan korelasi dari setiap tahun yang ditampilkan dalam tabel di bawah ini. Pada tahun 2015 hingga 2018 kuat dengan nilai terendah pada tahun 2016. RMS error dari tiap tahun menunjukkan nilai yang tidak berbeda jauh diantara 0,035 hingga 0,039 m.

Tabel 4.33 Nilai Korelasi ZWD Stasiun CMLG-Malang

Perbandingan CMLG – Malang			
Tahun	R	Kriteria	RMSe (m)
2015	0,874	Kuat	0,037
2016	0,726	Kuat	0,037
2017	0,816	Kuat	0,035
2018	0,842	Kuat	0,039

Pada gambar di bawah ini menunjukkan hubungan kedua nilai ZWD dalam bentuk *scatter plot* dengan tertuliskan pula nilai koefisien determinasi (R^2). Berdasarkan arah dari garis linear maka menunjukkan bahwa hubungan keduanya positif. Dapat dilihat pula bahwa pada tahun 2016, titik-titik terletak sedikit menyebar dibanding pada tahun-tahun lainnya. Oleh karena itu, korelasi dari kedua nilai pada tahun 2016 lebih kecil dibandingkan lainnya.

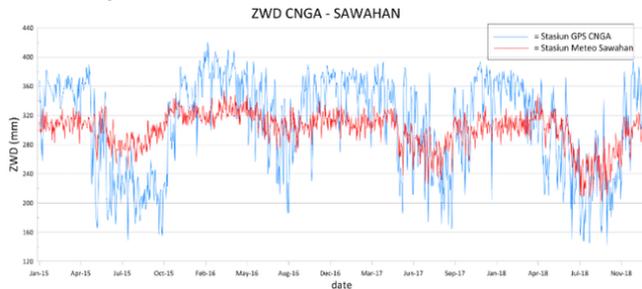




Gambar 4.34 *Scatter Plot* Perbandingan Nilai ZWD Stasiun CMLG – Malang

4.2.2 Stasiun CNGA dengan Stasiun Sawahan

Grafik di bawah ini menunjukkan perbandingan nilai ZWD dari data GPS di stasiun CNGA dan data meteorologi dari stasiun Sawahan. Berdasarkan grafik dapat dilihat ada beberapa perbedaan pola nilai pada tiap tahunnya. Sama seperti pada stasiun CMLG-Malang, nilai ZWD dari stasiun GPS memberikan hasil nilai dengan perbedaan yang lebih signifikan dibanding dari data meteorologi.



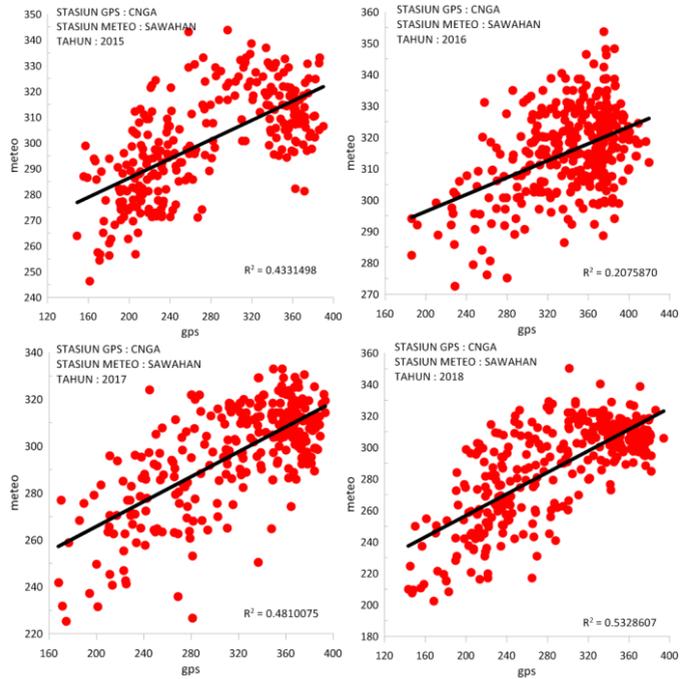
Gambar 4.35 Grafik Perbandingan Nilai ZWD Stasiun CNGA - Sawahan

Hubungan dari kedua nilai ZWD dapat dilihat melalui koefisien korelasi pada tabel di bawah ini. Berdasarkan koefisien korelasi maka dapat diketahui hubungan kedua nilai ZWD pada tahun 2015 dan 2017 adalah cukup kuat dan 2018 adalah kuat sedangkan tahun 2016 lemah. Nilai RMSe tertinggi berada pada tahun 2015 dan terendah pada tahun 2018.

Tabel 4.34 Nilai Korelasi ZWD Stasiun CNGA - Sawahan

Perbandingan CNGA - Sawahan			
Tahun	r	Kriteria	RMSe (m)
2015	0,658	Cukup Kuat	0,063
2016	0,456	Lemah	0,049
2017	0,694	Cukup Kuat	0,049
2018	0,730	Kuat	0,046

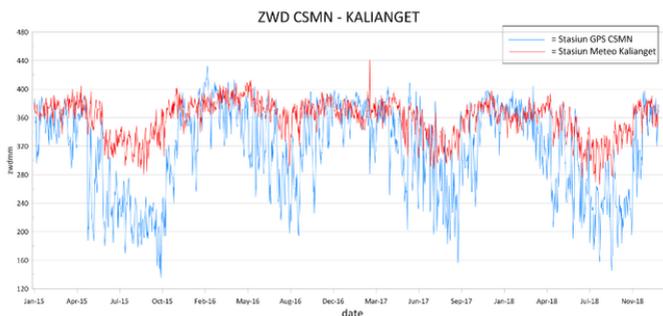
Selain dengan grafik perbandingan dan nilai koefisien korelasi di atas, hubungan nilai ZWD stasiun CNGA dengan Sawahan dapat dilihat melalui *scatter plot* di bawah ini. Hasilnya menunjukkan titik-titik plot terletak lebih menyebar dibandingkan dengan stasiun CMLG-Malang sehingga koefisien determinasinya juga menunjukkan nilai lebih kecil. Hubungan kedua nilai terkecil berada pada tahun 2016.



Gambar 4.36 Scatter Plot Perbandingan Nilai ZWD Stasiun CNGA – Sawahan

4.2.3 Stasiun CSMN dengan Stasiun Kalianget

Nilai ZWD dari data GPS stasiun CSMN dan data meteorologi stasiun Kalianget dapat dilihat pada grafik di bawah ini. Keduanya memiliki pola yang hampir sama walaupun nilai ZWD dari data meteorologi tidak turun secara signifikan seperti nilai ZWD dari data GPS.



Gambar 4.37 Grafik Perbandingan Nilai ZWD Stasiun CSMN – Kalianget

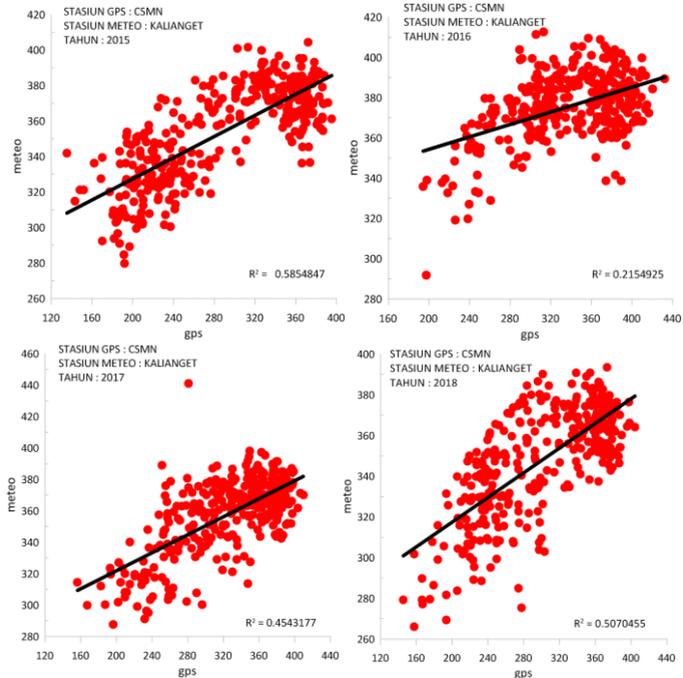
Hasil perhitungan korelasi dan *RMS error* dari kedua data ZWD dapat dilihat pada tabel berikut. Tahun 2015 dan 2018 menunjukkan kedua data tersebut memiliki korelasi yang kuat dan paling tinggi dibanding tahun lainnya. Pada tahun 2016, hubungannya lemah dengan nilai koefisien korelasi 0,464. Tahun 2017 hubungan kedua nilai tersebut cukup kuat. *RMS error* paling kecil terjadi pada tahun 2017 sedangkan paling besar terjadi pada tahun 2015 dengan nilai 0,084 m.

Tabel 4.35 Nilai Korelasi ZWD Stasiun CSMN - Kalianget

Perbandingan CSMN - Kalianget			
Tahun	r	Kriteria	RMS _e (m)
2015	0,765	Kuat	0,084
2016	0,464	Lemah	0,059
2017	0,674	Cukup Kuat	0,054
2018	0,712	Kuat	0,067

Gambar di bawah ini menunjukkan titik persebaran nilai ZWD dari data meteorologi dan GPS. Pada grafik tersebut juga ditampilkan nilai koefisien

determinasi yang merupakan kuadrat dari nilai koefisien korelasi. Persebaran titik data dari stasiun CSMN dan Kalianget beberapa terlihat mengumpul dan beberapa tersebar jauh dari kumpulan data lainnya.

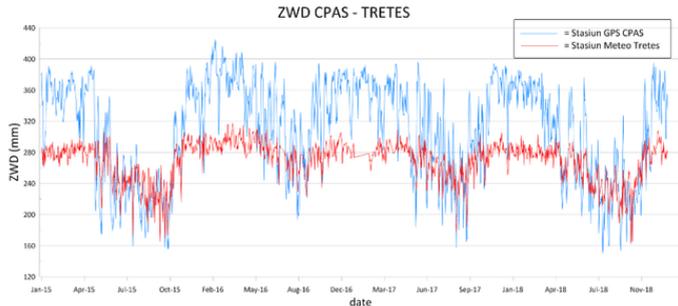


Gambar 4.38 Scatter Plot ZWD Perbandingan Nilai ZWD Stasiun CSMN – Kalianget

4.2.4 Stasiun CPAS dengan Stasiun Tretes

Grafik di bawah ini menunjukkan perbandingan nilai ZWD dari data GPS pada stasiun CPAS dan data meteorologi dari stasiun Tretes. Pada perbandingan dua stasiun ini, nilai ZWD dari data meteorologi berada pada kisaran bagian nilai rendah dari data GPS. Hal ini berbanding terbalik dengan perbandingan pada stasiun

CSMN - Kalianget yang nilai ZWD dari data meteorologi terletak di bagian nilai tinggi dari ZWD data GPS. Oleh karena itu, pada stasiun ini kenaikan nilai ZWD dari data meteorologi tidak terlalu signifikan dibandingkan dari data GPS.



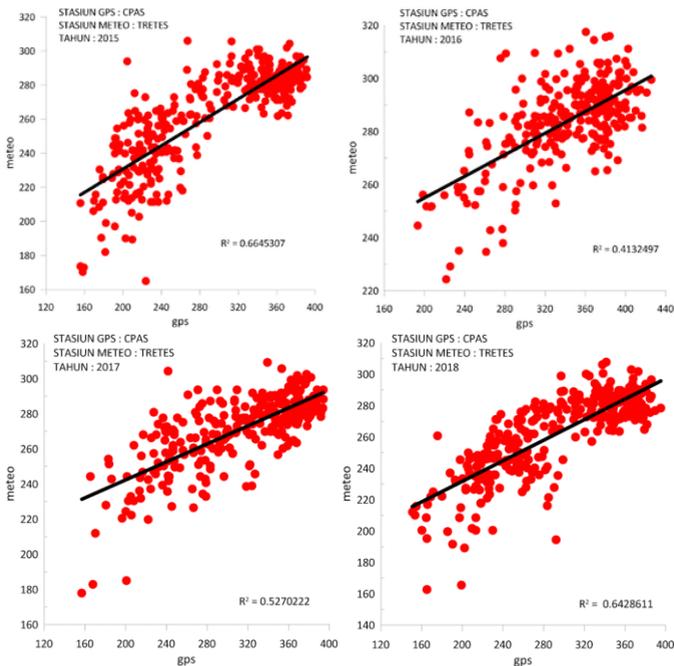
Gambar 4.39 Grafik Perbandingan Nilai ZWD Stasiun CPAS – Tretes

Koefisien korelasi dari kedua nilai ZWD menunjukkan hubungan yang sangat kuat tahun 2015, 2017 dan 2018 sedangkan pada tahun 2016 hubungannya cukup kuat. Nilai koefisien korelasi tertinggi pada tahun 2015 sebesar 0,815 dan terendah pada tahun 2016 sebesar 0,643. Nilai *RMS error* terendah terjadi pada tahun 2015 dan 2018 sedangkan nilai tertinggi pada tahun 2016 sebesar 0,070 m.

Tabel 4.36 Nilai Korelasi ZWD Stasiun CPAS - Tretes

Perbandingan CPAS - Tretes			
Tahun	r	Kriteria	RMSe (m)
2015	0,815	Kuat	0,052
2016	0,643	Cukup Kuat	0,070
2017	0,726	Kuat	0,060
2018	0,802	Kuat	0,052

Kedua nilai ZWD dari data GPS stasiun CPAS dan data meteorologi stasiun Tretes ditampilkan dalam bentuk *scatter plot* pada gambar di bawah ini. Korelasi pada tahun 2016 merupakan yang paling kecil dikarenakan sebaran data yang lebih menyebar dibanding dengan sebaran pada tahun-tahun lainnya.



Gambar 4.40 *Scatter Plot* Perbandingan Nilai ZWD Stasiun CPAS - Tretes

Berdasarkan perhitungan korelasi dari empat pasang stasiun CORS dan milik BMKG menunjukkan bahwa nilai korelasi ZWD dari data GPS dan meteorologi memiliki hubungan kuat dengan rata-rata seluruh korelasi sebesar 0,712. Apabila dianalisis dari tiap stasiun, perbandingan data ZWD CMLG-Malang menunjukkan nilai rata-rata nilai koefisien korelasi tertinggi

sebesar 0,814 dengan hubungan kuat, kemudian CPAS-Tretes sebesar 0,746 dengan hubungan kuat, CSMN-Kalianget sebesar 0,654 dengan hubungan cukup kuat, dan paling kecil CNGA-Sawahan sebesar 0,634 dengan hubungan cukup kuat.

Nilai koefisien korelasi tertinggi berada pada tahun 2015 di CMLG-Malang dan terendah berada pada tahun 2016 di CNGA-Sawahan. Dari keempat perhitungan tersebut, pada tahun 2016 selalu menghasilkan nilai koefisien korelasi yang terkecil pada masing-masing stasiun.

Dengan nilai-nilai tersebut, dapat dianalisis bahwa nilai ZWD dari data GPS memiliki hubungan yang kuat dengan nilai ZWD dari data meteorologi. Adanya selisih nilai ZWD dari kedua data tersebut terjadi karena adanya perbedaan, diantaranya :

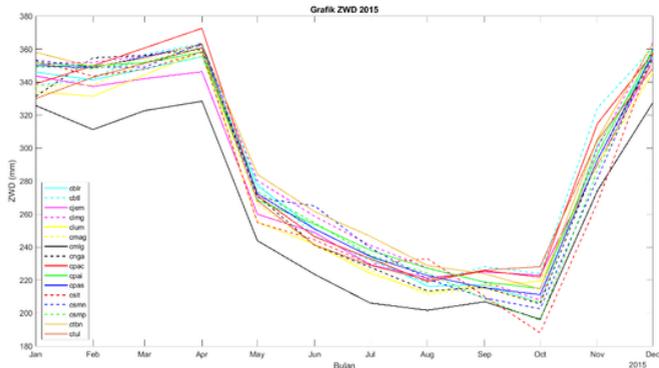
- a. Perbedaan interval data. Pada data GPS memiliki interval 300 detik sedangkan data meteorologi merupakan data harian sehingga diperlukan adanya penyesuaian nilai ZWD data GPS menjadi interval harian dengan dilakukan perhitungan rata-rata,
- b. Perbedaan metode pengolahan. Data GPS diolah menjadi nilai ZWD menggunakan GIPSY 6.4 sedangkan data meteorologi diolah menggunakan Matlab dengan model Saastamoinen dengan menggunakan data temperatur dan kelembaban relatif. Dengan perbedaan model dan data yang digunakan dapat menyebabkan adanya selisih nilai ZWD, namun karena nilai korelasi yang kuat dan RMS error yang kecil maka pengolahan ini dapat dilanjutkan untuk dianalisis.

4.3 Analisis Variasi Temporal

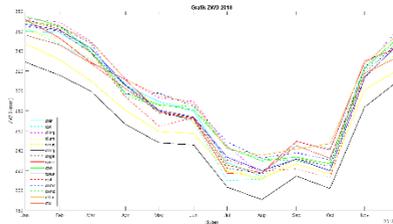
Analisis variasi temporal dilakukan dengan berbagai metode, yaitu : analisis rerata tahunan, dekomposisi *time series* yang mencakup *trend* dan *seasonal*, dan periodogram.

4.3.1 Analisis Rerata Tahunan (*mean annual*)

Analisis rerata tahunan dilakukan dengan menghitung rata-rata dari data pada tiap bulan dalam satu tahun kemudian ditampilkan dalam grafik untuk dapat mengetahui perubahan nilai dari waktu ke waktu. Pada grafik di bawah ini menunjukkan nilai ZWD pada tahun 2015. Pada bulan Januari hingga April nilai ZWD stabil 330 hingga 360 mm kecuali CMLG. Pada waktu tersebut nilai ZWD cenderung tinggi yang kemudian turun secara signifikan menuju bulan Mei hingga mencapai nilai sekitar 240 hingga 280 mm. Pada bulan Mei hingga Oktober, nilai ZWD perlahan semakin menurun dan mencapai nilai terendah pada bulan Oktober kecuali stasiun CLUM, CPAC, CTUL, CJEM, dan CBTL. Kelima stasiun tersebut mengalami nilai terendah pada bulan Agustus tetapi perubahan nilai antara Agustus hingga Oktober tidak banyak berubah. Setelah bulan Oktober nilai ZWD terus meningkat hingga menyamai nilai pada bulan Januari – April bahkan pada beberapa stasiun, nilai tertinggi terletak pada bulan Desember.



Gambar 4.41 Grafik Nilai ZWD Tahun 2015



Gambar 4.42 Grafik Nilai ZWD tahun 2016 – 2018

Tahun 2018, nilai tertinggi berada pada bulan Januari dan langsung turun hingga Bulan Mei dan mengalami titik terendah pada bulan Agustus. Nilai ZWD sempat mengalami kenaikan pada bulan September kemudian turun lagi pada bulan Oktober yang nilainya hampir menyamai bulan Agustus. Selanjutnya baru naik secara signifikan hingga bulan Desember.

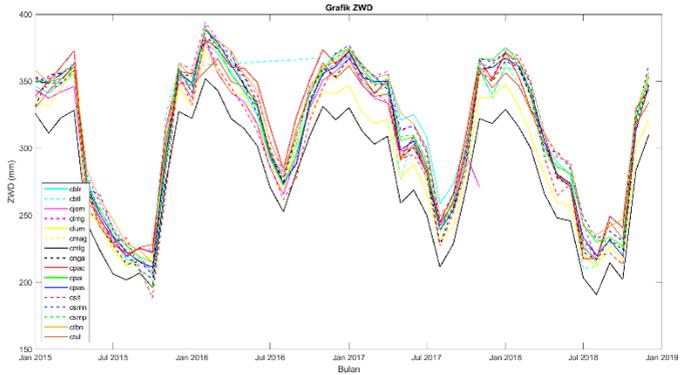
Perubahan naik turunnya nilai ZWD dapat disebabkan oleh adanya aktivitas angin monsun Asia dan Australia. Menurut Ramage (1971) terdapat dua sistem angin monsun di Asia, Monsun Musim Dingin Asia Timur (*the East Asian Winter Monsoon*) atau monsun Asia dan Monsun Musim Panas Asia Selatan (*the South Asian Summer Monsoon*) atau 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.

Pada tahun 2016-2018, pada bulan Oktober hingga April, setiap stasiun memiliki nilai ZWD yang lebih tinggi daripada bulan April hingga Oktober. Hal ini membuktikan bahwa nilai ZWD pada musim hujan memiliki nilai yang tinggi sedangkan pada musim kemarau nilai ZWDnya lebih rendah. Selain itu, dapat pula dianalisis dari puncak tertinggi dan terendah. Menurut data dari 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. Selain itu, terbukti pula dengan data BPS (2018) yang menerangkan bahwa rata-rata curah hujan terendah pada tahun 2017 terjadi pada bulan Agustus yang menjadi puncak kemarau. Dapat dilihat pada gambar 4. bahwa 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-tahun yang lain. Sebagai gambaran, nilai tertinggi pada tahun 2015 terdapat pada bulan April, sedangkan pada tahun lainnya terdapat pada bulan Januari – Februari dan terendah pada bulan Oktober sedangkan tahun lainnya berada pada bulan Agustus. 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. Curah hujan tertinggi pada tahun 2015 terjadi pada Bulan April yang sesuai dengan nilai ZWD yang mengalami puncak tertinggi pada bulan April. Dengan berkurangnya curah hujan dapat ditunjukkan dengan gambar 4.11 bahwa nilai ZWD yang lebih rendah dibandingkan tahun-tahun yang lain. Selanjutnya penurunan tajam pada bulan Mei terjadi karena periode bulan Mei hingga Oktober terjadi penurunan curah hujan yang disebabkan adanya fenomena El Nino (Efendi, Hidayat dan Agustina 2019). Hal inilah yang

membuktikan bahwa nilai ZWD dipengaruhi oleh fenomena El Nino dan La Nina.

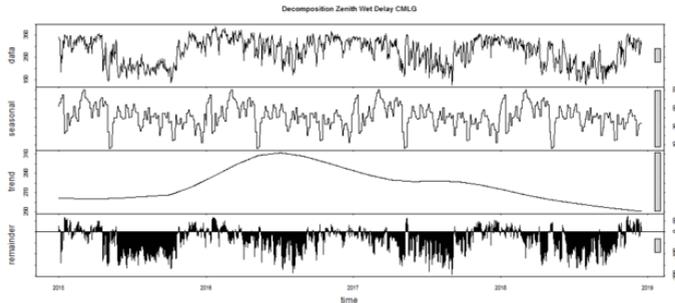


Gambar 4.43 Nilai ZWD bulanan tahun 2015 - 2018

Puncak nilai ZWD tertinggi terjadi pada Februari 2016 karena pada bulan tersebut nilai curah hujan telah kembali normal (Efendi, 2019). 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 & Singh 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).

4.3.2 Dekomposisi *Time Series*

Proses dekomposisi dengan metode STL (*seasonal-trend decomposition prosedur based on Loess*) bertujuan untuk membagi data dalam tiga komponen, yaitu *trend*, *seasonal*, dan *remainder*. Analisis yang dilakukan mengenai *trend* dan *seasonal*. Pada gambar di bawah ini menunjukkan hasil dekomposisi *time series*.



Gambar 4.44 Dekomposisi *Time Series* Stasiun CMLG

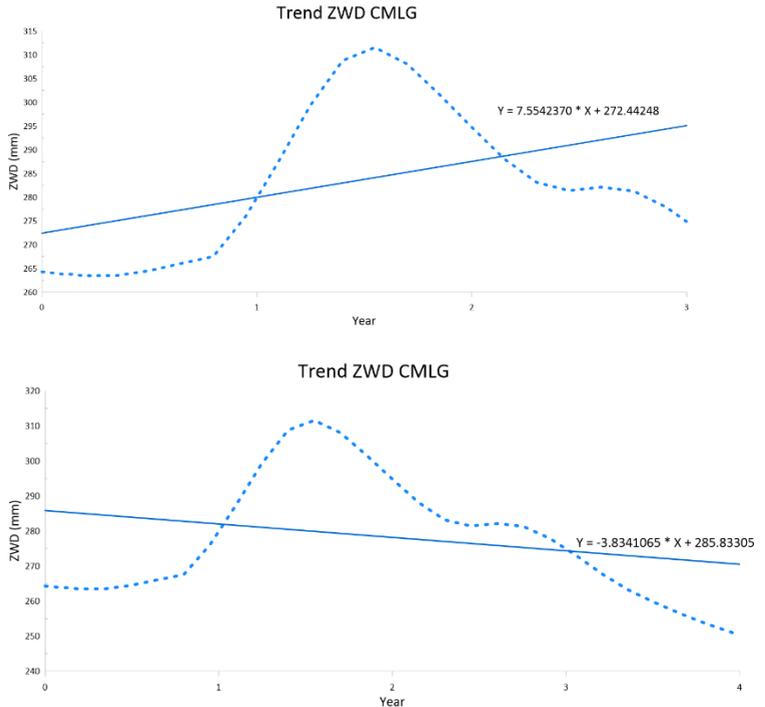
Grafik pada baris pertama menunjukkan data *timeseries* dari ZWD tahun 2015 – 2018. Selanjutnya menunjukkan komponen dari hasil dekomposisi, yaitu baris kedua menunjukkan nilai *trend*, baris ketiga menunjukkan *seasonal*, dan baris keempat menunjukkan *remainder*. Seluruh nilai dalam grafik di atas bersatuan millimeter.

4.3.3 *Trend*

Berdasarkan hasil dari dekomposisi, nilai tren dapat digambarkan dalam tren linier yang dapat menunjukkan nilai penurunan dan kenaikan nilai ZWD pada masing-masing stasiun. Gambar 4.11 menunjukkan adanya pola kenaikan hingga tahun 2017 dan kemudian penurunan pada tahun 2018 sehingga pada sub bab ini akan membahas perbandingan trend dalam dua periode, yaitu dalam waktu tiga tahun dan empat tahun.

Pada gambar di bawah ini merupakan salah satu nilai tren linier pada stasiun CMLG. Tren pada nilai ZWD CMLG periode empat tahun menunjukkan pola yang menurun pada grafik liniernya sedangkan pada periode tiga tahun menunjukkan adanya pola kenaikan. Nilai tren merupakan nilai gradien atau kemiringan dari garis linier, sehingga pada stasiun CMLG dalam periode tiga tahun,

trennya adalah 7,554 mm/tahun dan dalam periode empat tahun, trennya sebesar -3,834 mm/tahun.

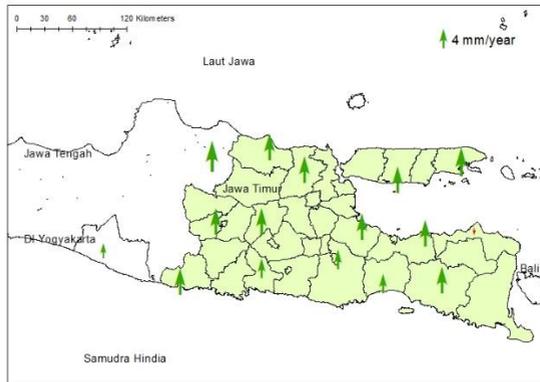


Gambar 4.45 Grafik Tren Linier CMLG dalam Periode Tiga dan Empat Tahun

Untuk mengetahui tren pada setiap stasiun dapat dilihat pada gambar 4.46, nilai tren telah diplot sesuai dengan koordinat dari stasiun yang menjadi sumber data. Pada gambar, nilai tren diwakili oleh ukuran panah. Panah ke atas berwarna hijau menunjukkan adanya pola kenaikan sedangkan panah ke bawah berwarna merah menunjukkan adanya pola penurunan.

Dari kedua gambar, menunjukkan adanya perbedaan. Pada periode tiga tahun, nilai tren didominasi

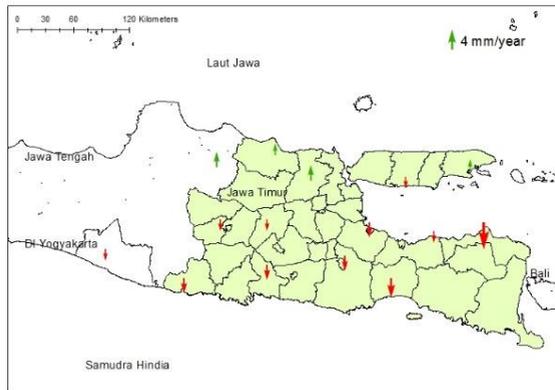
oleh pola kenaikan dengan rata-rata sebesar 10,385 mm/th dengan kenaikan terbesar pada stasiun CBLR dengan nilai 15,400 mm/th dan penurunan terjadi pada stasiun CSIT dengan tren -0,780 mm/th.



Gambar 4.46 Persebaran Nilai Tren Periode Tiga Tahun

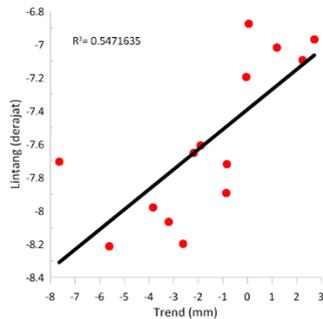
Gambar 4.47 menunjukkan persebaran nilai tren dengan periode empat tahun, nilai dari lima stasiun menunjukkan adanya pola kenaikan sedangkan sepuluh sisanya menunjukkan adanya pola penurunan. Rata-rata tren dari seluruh stasiun sebesar -1,628 mm dengan pola penurunan. Pola penurunan terkecil berada pada stasiun CSIT dengan tren -7,647 mm dan pola kenaikan terbesar terjadi di stasiun CBLR dengan nilai 2,715. Pada periode ini tidak dicantumkan nilai tren stasiun CJEM karena hanya memiliki data selama tiga tahun.

Dapat dilihat bahwa adanya persamaan antara nilai tren dari kedua periode waktu di atas, stasiun dengan tren tertinggi adalah CBLR dan stasiun dengan tren terendah adalah CSIT.



Gambar 4.47 Persebaran Nilai Tren Periode Empat Tahun

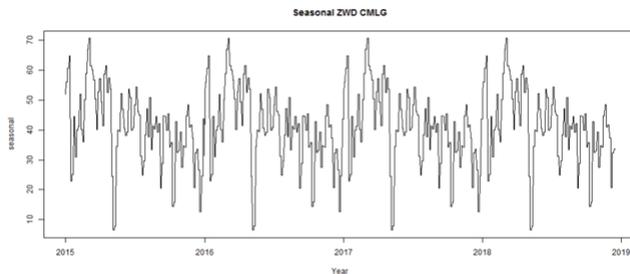
Pada grafik di bawah ini menunjukkan hubungan antara nilai tren dengan koordinat lintang dari stasiun CORS. Nilai tren yang digunakan merupakan tren dengan periode empat tahun. Nilai tren memiliki hubungan yang kuat dengan koordinat lintang dengan nilai korelasi sebesar 0.740. Hal ini sejalan dengan penelitian dari Jin, dkk (2007) yang menyebutkan bahwa pada belahan bumi utara rata-rata menunjukkan nilai tren yang positif sedangkan pada belahan bumi selatan menunjukkan nilai tren negatif. Berdasarkan hal tersebut membuktikan bahwa koordinat lintang dapat mempengaruhi nilai tren dari ZWD.



Gambar 4.48 *Scatter plot* Perbandingan Nilai Tren Linier dengan Koordinat Lintang Tiap Stasiun

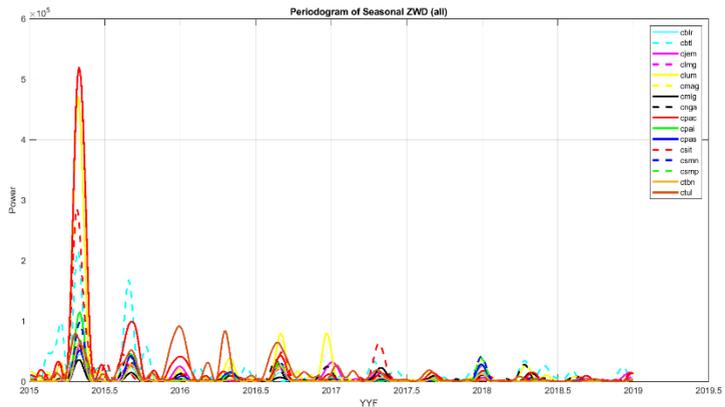
4.3.4 *Seasonal* dan Periodogram

Komponen kedua yang akan dianalisis adalah *seasonal* atau musiman. Pada hasil dekomposisi didapatkan nilai *seasonal* yang menunjukkan variasi dari nilai ZWD dalam suatu rentang waktu tertentu. Pada gambar di bawah ini merupakan grafik musiman dari CMLG yang diambil dari hasil dekomposisi. Dapat dilihat pada grafik tersebut bahwa pola dari faktor musiman ini mengalami perulangan tiap tahunnya. Nilai-nilai ini bergantung pada nilai ZWD di setiap stasiun. Untuk lebih jelasnya, komponen *seasonal* dapat dianalisis berdasarkan spektral dengan metode periodogram teknik Lomb.



Gambar 4.49 Grafik Nilai *Seasonal* Stasiun CMLG

Periodogram dengan teknik Lomb bertujuan untuk mengekstrak sinyal dari nilai seasonal sehingga diketahui pola dari sinyal periodik. Berikut merupakan periodogram dalam periode empat tahun untuk seluruh stasiun.



Gambar 4.50 Periodogram Tahun 2015 – 2018

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. Hal ini dikarenakan pada tahun 2015 terjadi kejadian ekstrem yang membuat Pada pola *annual*, CPAC, CLUM, CSIT, dan CBTL memiliki sinyal yang dominan kuat. Di bawah ini ditampilkan pula nilai periodogram dengan periode satu tahunan sehingga didapatkan empat grafik dari tahun 2015 – 2018.

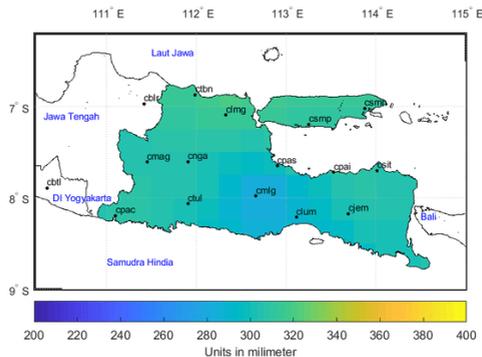
iklim lain yang berhubungan dengan revolusi bumi mengelilingi matahari (Susilo 2012). Selain itu, Sinyal periodik tahunan merupakan efek dari kekuatan sinar matahari tahunan (Mitchell 1976).

4.4 Analisis Variasi Spasial

Dalam melakukan analisis variasi spasial ZWD di wilayah Provinsi Jawa Timur dibuatlah data dalam grid yang diinterpolasi dengan metode kriging. Grid yang dibuat berukuran 0,25 x 0,25 derajat. Nilai ZWD terlebih dahulu dihitung rata-rata sesuai waktu yang dibutuhkan, yaitu harian, bulanan, tahunan, dan empat tahunan. Untuk rentang waktu harian akan dijadikan animasi sebagai visualisasi variasi dari ZWD dengan tujuan mempermudah dalam melihat pergerakan pola variasinya.

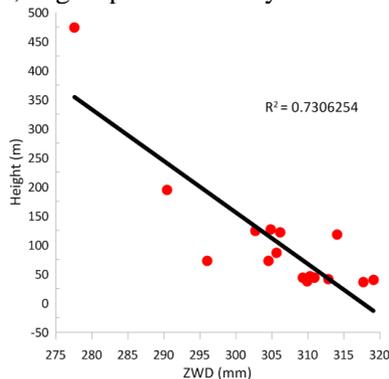
4.4.1 Distribusi Spasial

Di bawah ini akan merupakan distribusi spasial dari nilai ZWD yang telah dirata-rata selama empat tahun. 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.



Gambar 4.52 Variasi Spasial Nilai ZWD di Jawa Timur

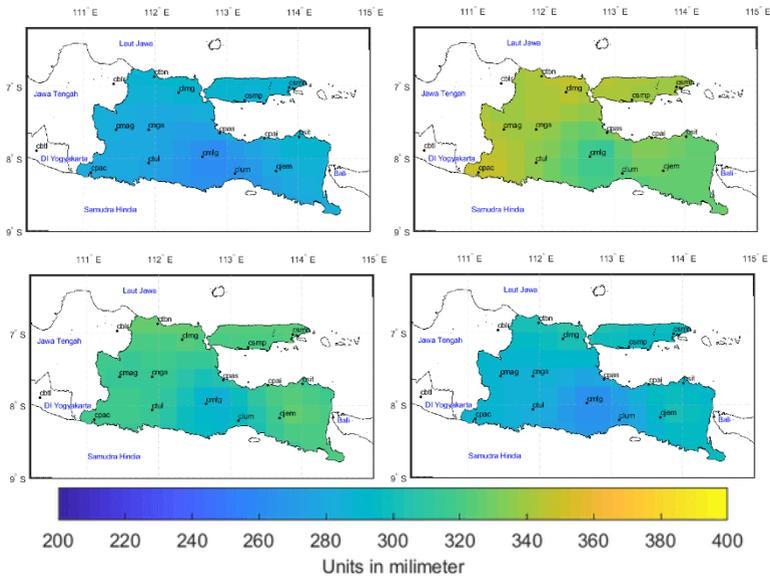
Hubungan antara tinggi stasiun dengan nilai ZWD dapat dilihat pada grafik di bawah ini. Tinggi yang dimaksud adalah tinggi ellipsoid berdasarkan hasil pengukuran GPS. Hasilnya menunjukkan korelasi negatif dengan nilai 0.855. Nilai tersebut menunjukkan bahwa hubungan keduanya kuat sehingga dapat diketahui bahwa semakin tinggi stasiun maka semakin rendah nilai ZWDnya, begitu pula sebaliknya.



Gambar 4.53 Scatter Plot Perbandingan Nilai ZWD dengan Tinggi Stasiun

4.4.2 Analisis Variasi Tahunan

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



Gambar 4.54 Variasi Spasial Nilai ZWD Tahunan (2015 – 2018)

Distribusi spasial dari nilai ZWD tampak memiliki pola yang seragam yang terlihat dari nilai pada wilayah stasiun CMLG selalu lebih terendah dibandingkan wilayah lain. Hal tersebut sesuai dengan analisis sebelumnya mengenai adanya faktor topografi dari stasiun. Apabila dianalisis lebih detail, tahun 2016 memperlihatkan adanya pola yang lebih beragam antar wilayah. Wilayah yang cukup tinggi di sekitar stasiun CBTL, CPAC, dan CSMN. Hal tersebut sesuai dengan tinggi dari stasiun ketiganya berada diantara 36 – 40 m. Namun, ada perbedaan di wilayah stasiun CMAG yang memiliki nilai hampir sama dengan stasiun CPAC, padahal stasiun CMAG berada pada ketinggian 127,23 m yang hampir sama dengan stasiun CJEM dan CTUL. Hal ini disebabkan adanya pengaruh dari tekanan uap air yang disebabkan adanya perbedaan kelembaban udara di wilayah tersebut.

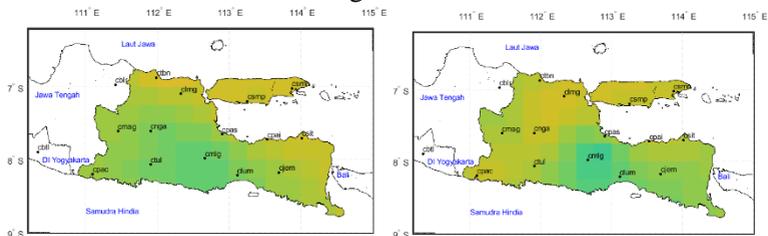
Sehingga dengan adanya perbedaan temperatur dan kelembaban, kondisi atmosfer di wilayah tersebut akan berbeda yang memungkinkan adanya perbedaan cuaca sehingga mempengaruhi nilai ZWD.

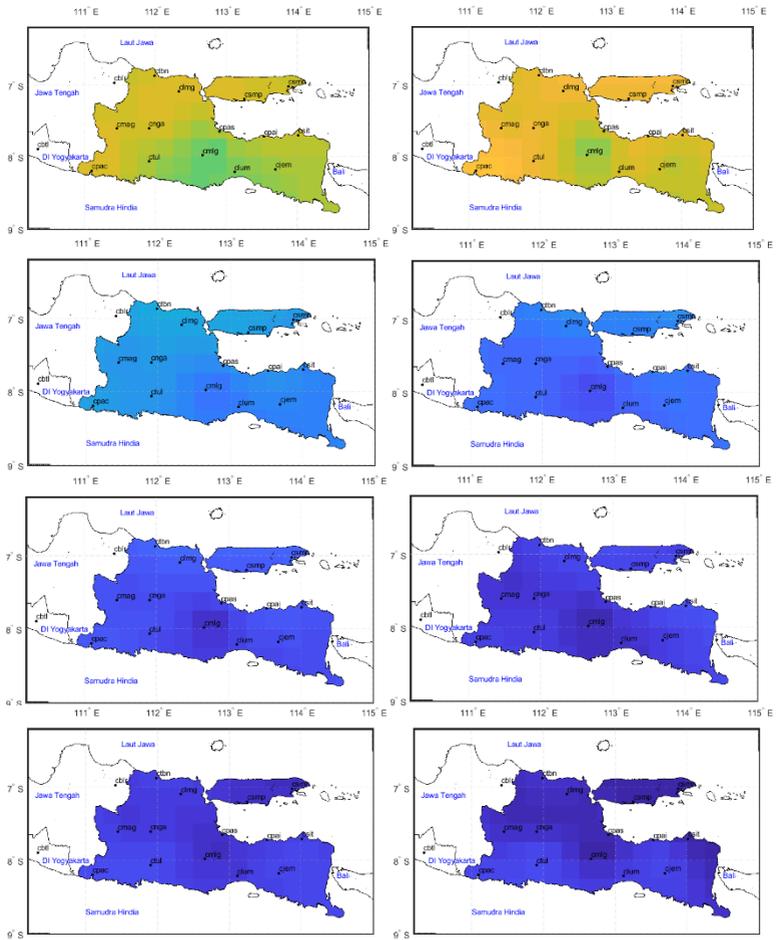
4.4.3 Analisis Variasi Bulanan

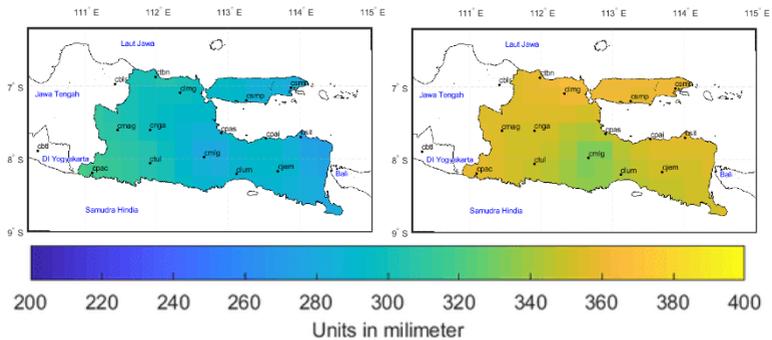
Analisis pola variasi spasial dalam waktu bulanan akan dilakukan pada tiap tahun sebagai berikut :

a. 2015

Gambar di bawah ini merupakan hasil gridding bulanan dengan urutan dari kiri atas bulan Januari hingga ke kanan bawah adalah bulan Desember. Pola distribusi pada bulan Januari hingga Maret memiliki nilai yang cenderung tinggi sedangkan pada bulan Mei hingga Oktober 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.



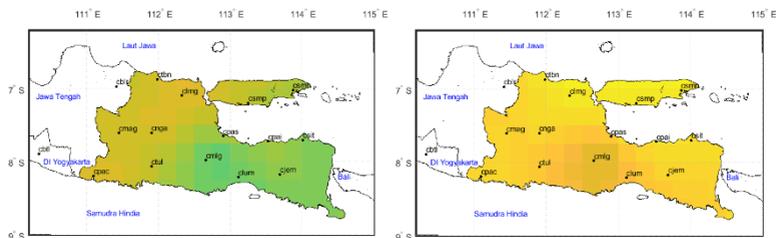


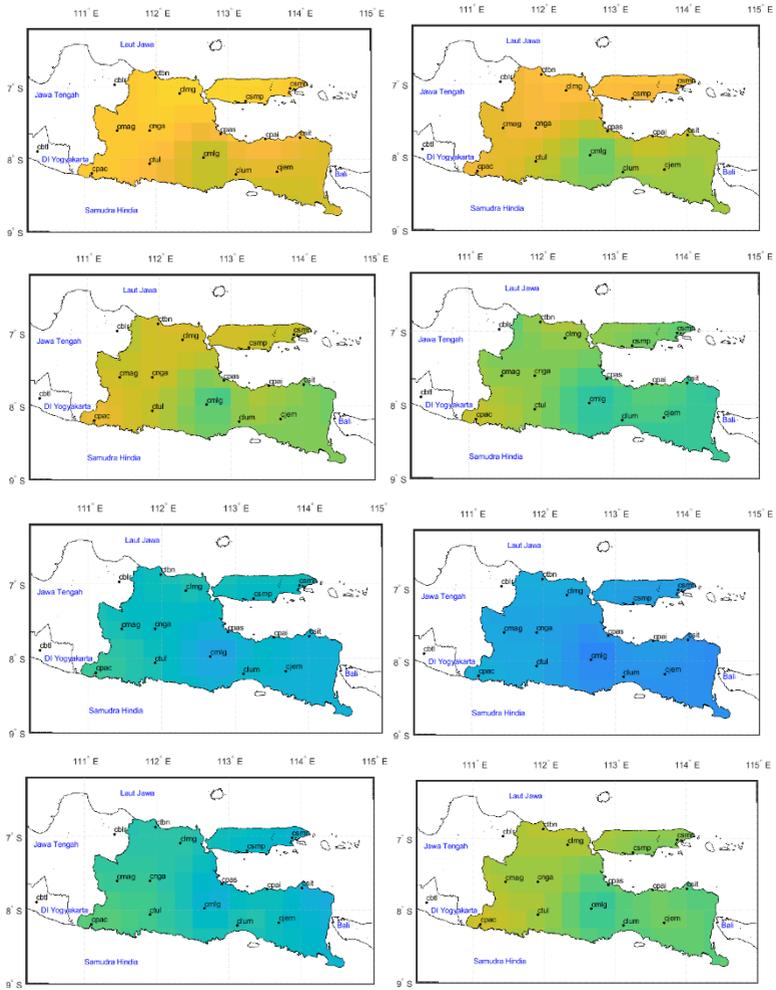


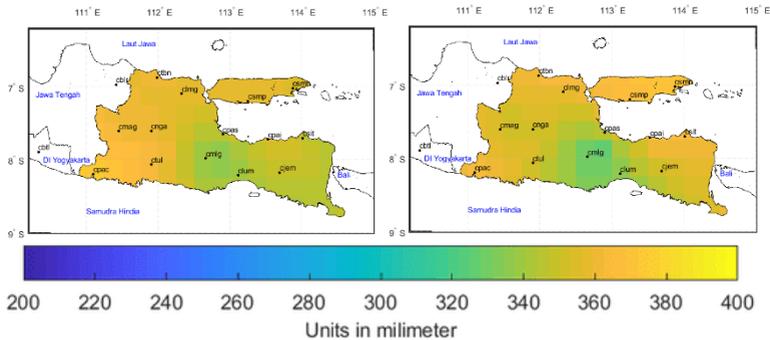
Gambar 4.55 Variasi Spasial Nilai ZWD Bulanan Tahun 2015

b. 2016

Pada tahun 2016, terlihat pola nilai ZWD yang tinggi pada bulan Januari hingga bulan Juni. Pada bulan Juli hingga September nilainya cenderung rendah dan kembali tinggi pada bulan Oktober. Bulan dengan nilai tertinggi adalah Februari dengan variasi nilai yang paling tinggi berada di bagian 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 seperti pada bulan Januari, April, dan Oktober. Pada bagian timur menunjukkan nilai yang lebih rendah dibanding bagian barat.



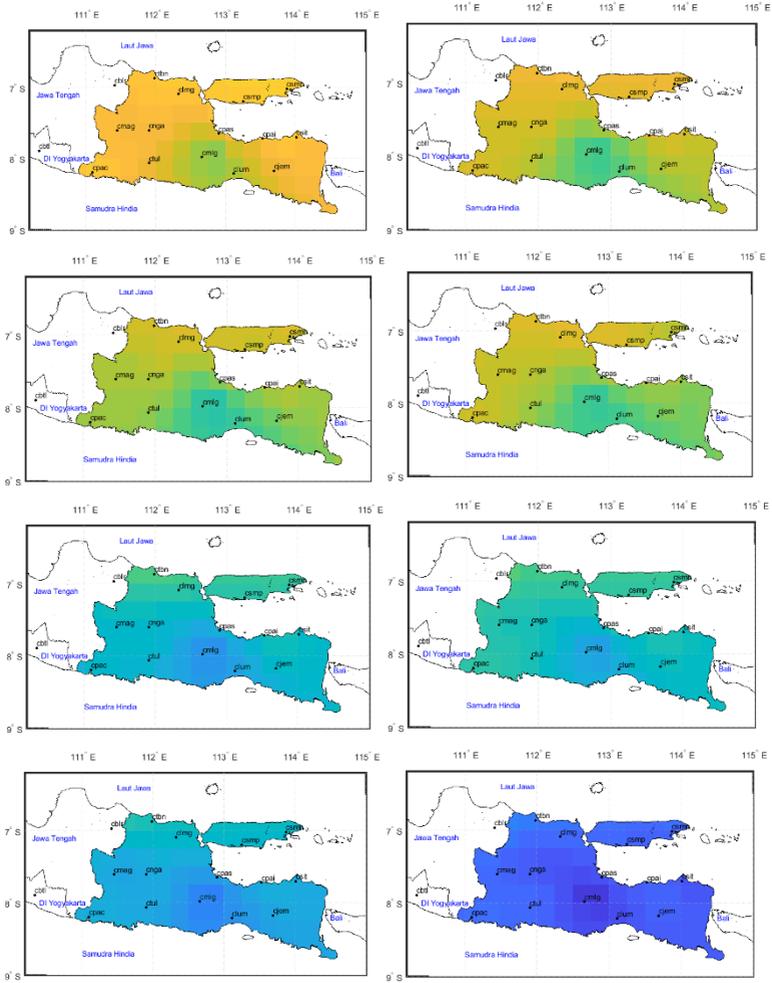


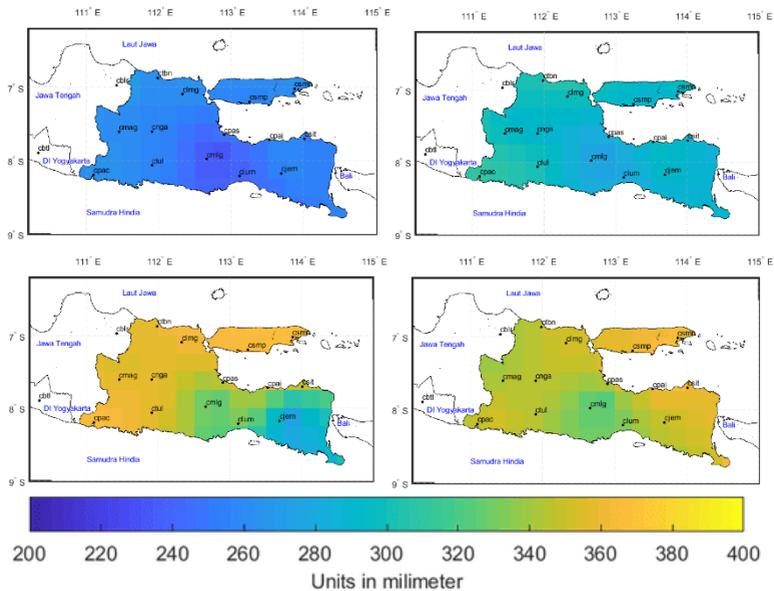


Gambar 4.56 Variasi Spasial Nilai ZWD Bulanan Tahun 2016

c. 2017

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 berada pada bulan Mei hingga Oktober. Pada bulan Januari mengalami nilai paling tinggi yang berada di sekitar Pulau Madura dan Jawa bagian Utara. Pada nilai terendah yang terjadi pada bulan Agustus, sebarannya merata hampir di seluruh Jawa Timur memiliki nilai yang sama. Variasi yang terlihat berbeda secara signifikan terdapat pada bulan November, wilayah Jawa Timur 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.

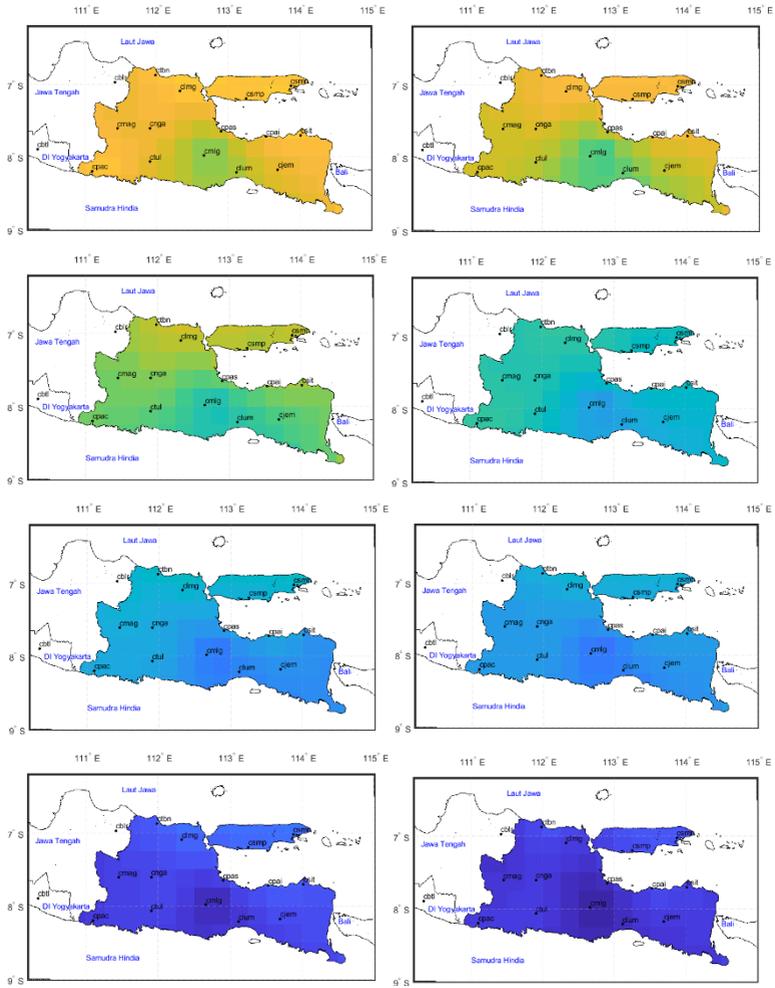


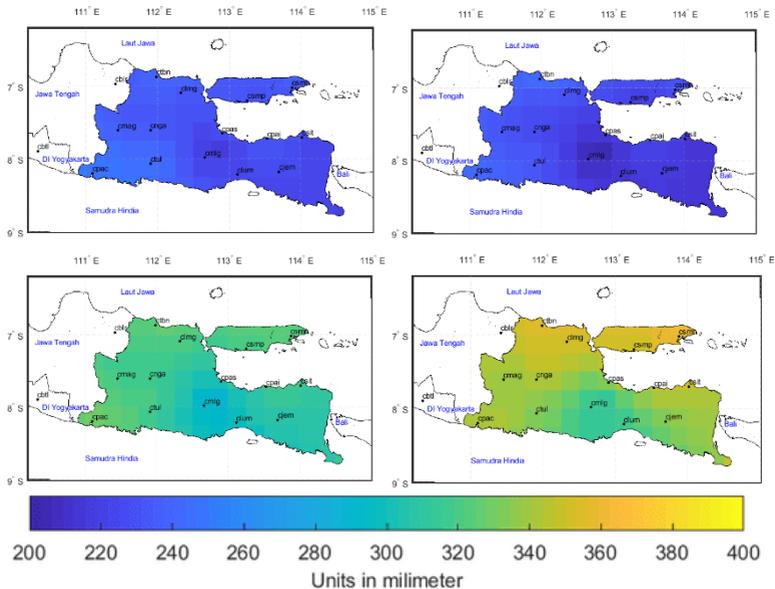


Gambar 4.57 Variasi Spasial Nilai ZWD Bulanan Tahun 2017

d. 2018

Rata-rata sebaran nilai ZWD pada tahun 2018 memiliki nilai yang cenderung paling rendah diantara tahun sebelumnya. Pada tahun 2018, pola dengan nilai tinggi terjadi pada bulan Januari hingga Maret dan Desember. Pada bulan April hingga Juni nilainya cenderung rendah bahkan pada Agustus sampai Oktober nilainya sangat rendah dibanding bulan lainnya. Pola nilai terendah tersebar secara merata di seluruh bagian Jawa Timur dengan nilai paling rendah pada wilayah daerah CMLG sedangkan pola distribusi nilai tertinggi berada di wilayah Pulau Maduwa dan Jawa Timur bagian utara.





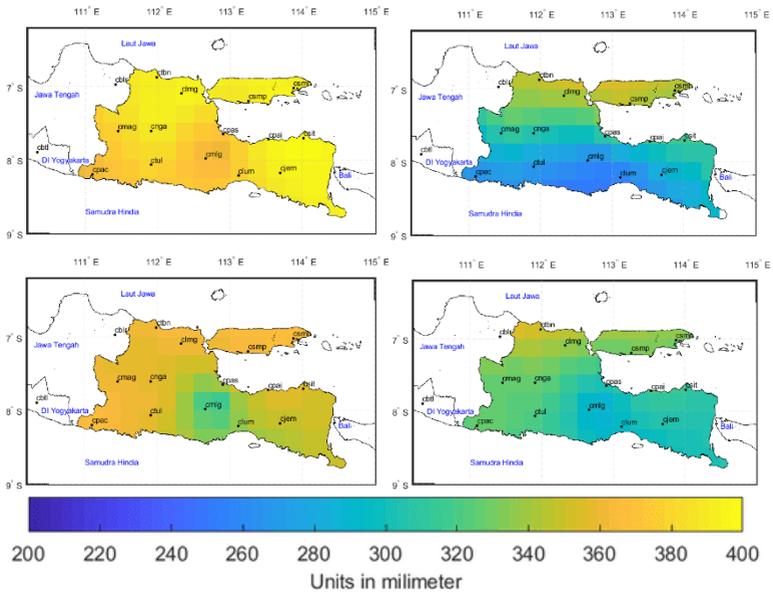
Gambar 4.58 Variasi Spasial Nilai ZWD Bulanan Tahun 2018

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

4.4.4 Analisis Variasi Harian

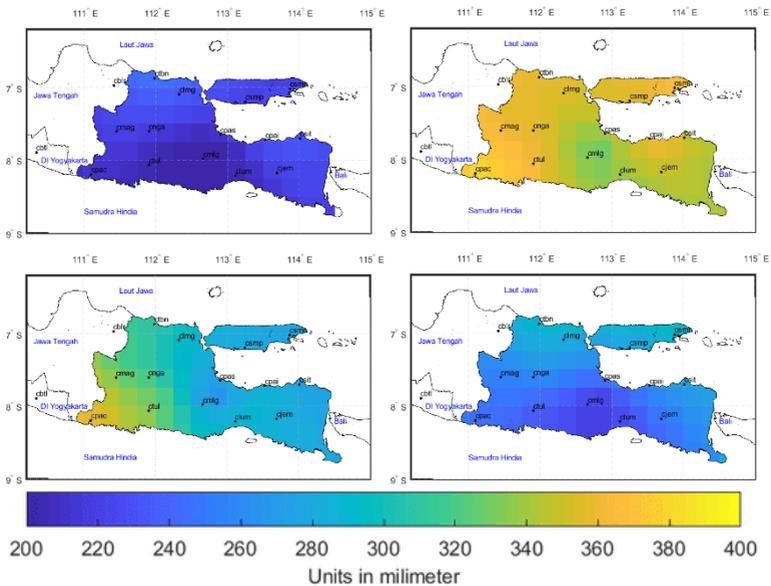
Pola distribusi harian dari ZWD menunjukkan bahwa pada bulan Maret dan April mengalami perubahan nilai secara naik turun dalam satu bulan. Sebagai contoh, pada gambar di bawah ini merupakan penggambaran

visual pada bulan April 2017 *doy* 97, 104, 111, dan 118. Terdapat penurunan dan kenaikan nilai pada satu bulan yang sama secara signifikan. Pada *doy* 97, nilai ZWD bahkan mencapai 400 mm, berselang seminggu nilainya turun drastis dengan didominasi nilai yang rendah. Berselang seminggu kemudian, nilai meningkat kembali dan turun.



Gambar 4.59 Variasi Spasial Nilai ZWD Harian Tahun 2017 (*DOY* 97, 104, 111, dan 118)

Aktivitas penurunan dan kenaikan yang signifikan dalam satu bulan juga terjadi pada bulan Oktober 2018. Berikut merupakan variasi spasial pada *doy* 304, 311, 318, dan 325. Terlihat pada minggu kedua bulan Oktober mengalami peningkatan yang signifikan dibanding minggu sebelumnya. Pada minggu selanjutnya kembali menurun hingga pada *doy* 325.



Gambar 4.60 Variasi Spasial Nilai ZWD Harian Tahun 2018 (DOY 304, 311, 318, dan 325)

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 inilah yang menyebabkan nilai harian ZWD mengalami kenaikan dan penurunan yang acak dalam satu bulan.

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

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. Terlepas dari hal tersebut, sama seperti nilai tren secara temporal, nilai tren ini dipengaruhi oleh koordinat dalam lintang.

Berdasarkan hasil analisis variasi spasial empat tahunan, tahunan, bulanan, dan harian, nilai ZWD dipengaruhi oleh beberapa faktor, diantaranya faktor topografi yaitu tinggi stasiun, faktor kondisi meteorologi lokal seperti suhu dan kelembaban udara, cuaca, dan angin monsun.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang didapat dari penelitian ini adalah :

1. Nilai ZTD dan ZWD dari data CORS didapatkan dari 14 stasiun di Jawa Timur dan 2 stasiun di Jawa Tengah. 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 ZTD dan ZWD tertinggi pada tiap stasiun rata-rata terjadi pada bulan April 2015, Februari 2016, Januari 2017 dan 2018 sedangkan untuk rata-rata terendah terjadi pada bulan Oktober di tahun 2015, Agustus di tahun 2016, 2017, dan 2018.
2. Rata-rata koefisien korelasi nilai pada stasiun CMLG-Malang sebesar 0,814 dengan hubungan sangat kuat, CPAS-Tretes sebesar 0,746 dengan hubungan kuat, CSMN-Kalianget sebesar 0,654 dengan hubungan kuat, dan CNGA-Sawahen sebesar 0,634 dengan hubungan kuat. Jadi, korelasi nilai ZWD dari data CORS dan meteorologi sebesar 0,712 dengan hubungan kuat.
3. Karakteristik dari variasi spasial dan temporal nilai ZWD dari data CORS di wilayah Jawa Timur adalah sebagai berikut :
 - a. Nilai ZWD dalam variasi temporal pada bulan Oktober – April memiliki nilai yang cenderung tinggi dan April – Oktober memiliki nilai yang cenderung rendah.
 - b. 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.
 - c. Rata-rata tren nilai ZWD dengan periode empat tahun sebesar 1,628 mm/tahun dengan pola

penurunan. Tren linier memiliki hubungan yang kuat dengan keberadaan stasiun dalam koordinat lintang dengan korelasi sebesar 0,740.

- d. Pola sinyal periodik dalam periodogram menunjukkan pola *annual* atau tahunan dan empat bulanan. Sinyal terkuat pada awal tahun dan terjadi pola bulanan tiap tahunnya dengan kekuatan yang terus melemah. Faktor yang mempengaruhi sinyal adalah perubahan suhu, presipitasi, dan faktor iklim.
- e. 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.
- f. Variasi spaial nilai ZWD dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu kondisi meteorologi lokal seperti suhu dan kelembabab, cuaca, angin monsun yang menyebabkan adanya musim.
- g. Tren spasial menunjukkan pola penurunan pada sekitar stasiun CMLG dan lainnya mengalami pola kenaikan dengan kenaikan terbesar di wilayah Pulau Madura

5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan terkait penelitian ini adalah :

1. Perlu dilakukan perhitungan ZTD untuk lebih banyak stasiun dan dapat pula ditambahkan analisis mengenai ZHD dan PWV.
2. Perlu dilakukan analisis lebih lanjut mengenai hubungan nilai ZWD dari GPS dengan data meteorologi dengan suhu dan kelembaban.
3. Perlu dikembangkannya analisis temporal dengan waktu yang lebih lama sehingga dapat dilihat pola musiman yang lebih panjang.

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.
- Abidin, Hasanuddin Z. 2001. Geodesi Satelit. 1st. Jakarta: PT. Pradnya Pramitha.
- Al-Sudani, Hussein Ilaibi Zamil. 2019. Preliminary Training Course in Surfer Application in Countouring Mapping. Iraq: University of Technology.
- Ardila, Yananto, and Rini Mariana Sibarani. 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 17 (2): 65-73.
- Badan Pusat Statistika (BPS). 2018. Jumlah Curah Hujan Menurut Bulan di Provinsi Jawa Timur, 2006-2017. Diakses pada 11 Juni, 2020. <https://jatim.bps.go.id/dynamictable/2018/01/23/274/jumlah-curah-hujan-menurut-bulan-di-provinsi-jawa-timur-2006-2016.html>.
- Bai, Z. 2004. Near-Real-Time GPS Sensing of Atmosphere Water Vapour. Queensland: Cooperative Research Centre for Satellite Systems.
- Bamahry, Fikri. 2013. Studi Analisis Variasi Temporal Kandungan Uap Air Menggunakan Data Pengamatan Gps. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Bevis, Michael, and Steven, Chiswell, Steven Businger. 1994. "GPS Meteorology : Mapping Zenith Wet Delays onto Precipitable Water." Journal of Applied Meteorology 33 (-): 379-386.
- Bevis, Michael, Steven Businger, Thomas A. Herring, and Cristian Rocken. 1992. "GPS Meteorology' Remote Sensing of Atmospheric Water Vapor Using the Global Positioning

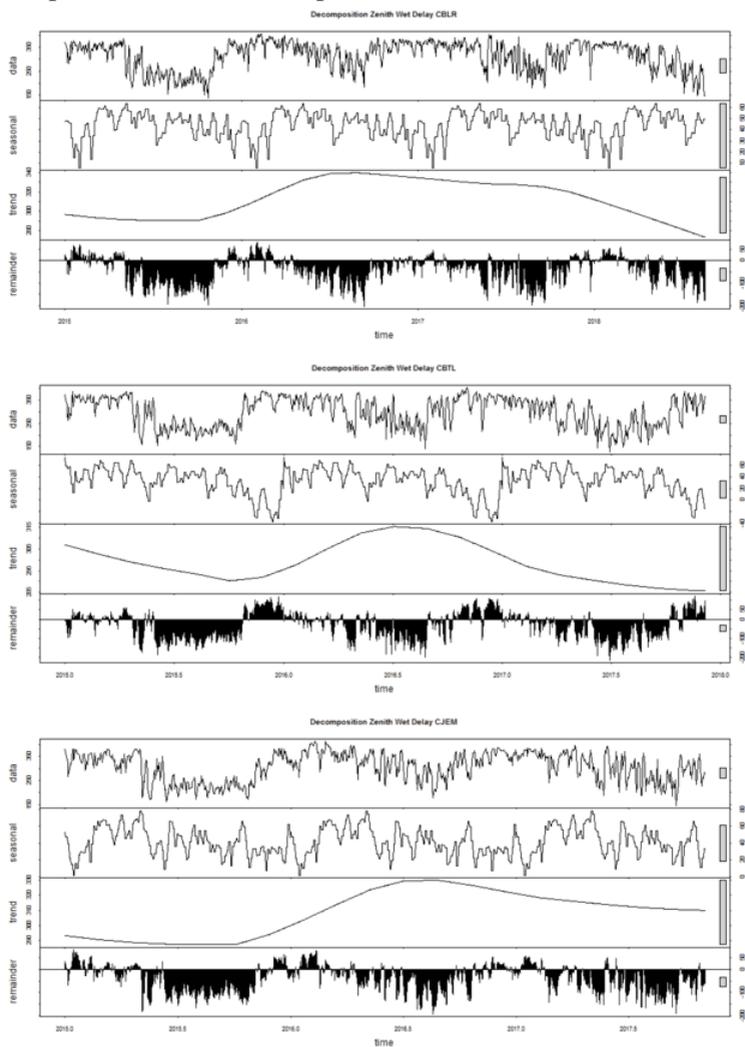
- System." *Journal Of Geophysical Research* 97 (D14): 15787-15801.
- Chin-Sung, Yang, Kao Szu-Pyng, Lee Fen-Bin, and Huang Pen-Shan. 2004. *Twelve Different Interpolation Methods : A Case Study Of Surfer 8.0*. Taichung, Taiwan: Feng Chia University.
- Cleveland, Robert B., William S. Cleveland, Jean E. McRae, and Irma Terpenning. 1990. "STL : A Seasonal-Trend Decomposition Procedure Based on Loess." *Journal of Official Statistics* 6 (1): 3-73.
- Cressie, Noel A. 1993. *Statistics for Spatial Data*. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- 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.
- Dhota, Pradipta, Wedyanto Kuntjoro, and Kosasih Prijatna. 2012. "Temporal Variation Analysis From Troposphere Delay Using GPS." *Indonesian Journal of Geospatial* 1 (5): 54-70.
- Efendi, Usman, Anistia Malinda Hidayat, and Lisa Agustina. 2019. *Analisis Fenomena El Nino tahun 2015 dan Dampaknya terhadap Anomali Curah Hujan di Semarang*. Jakarta: STMKG.
- Fajri, Ihsanul. 2016. *Perbandingan Metode Interpolasi IDW, Kriging, dan Spline pada Data Spasial Suhu Permukaan Laut*. Undergraduate Thesis, Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Goovaerts, P. 1998. "Ordinary Kriging revisited." *Math Geol* 30 (1): 21-42.
- Hinkle, E, and Wiersma. 2002. *Applied Statistics for Behavioral*. 5th. USA: Cengage Learning.
- Iwabuchi, T., Y. Shoji, S. Shimada, and H. Nakamura. 2004. "Tsukuba GPS Dense Net Campaign Observations: Comparison of the Stacking Maps of Post-fit Phase

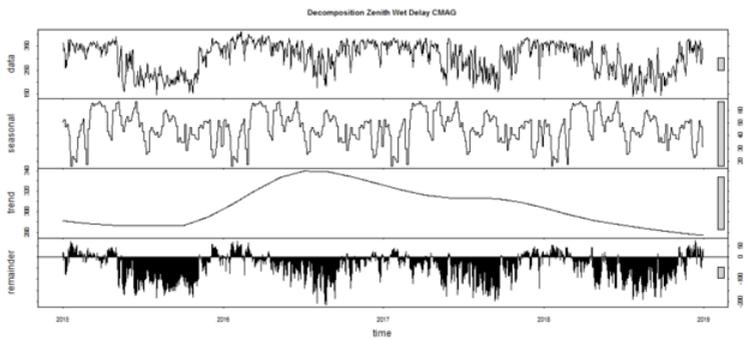
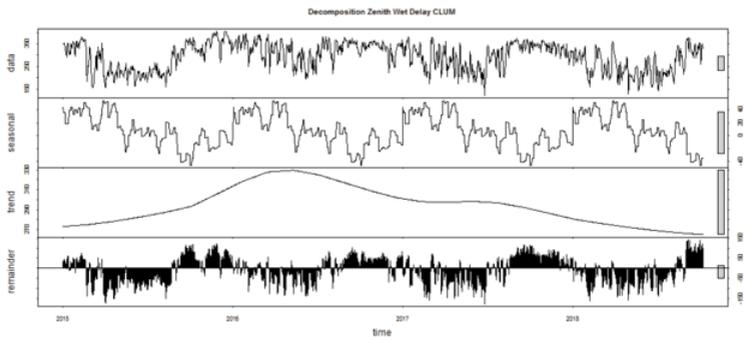
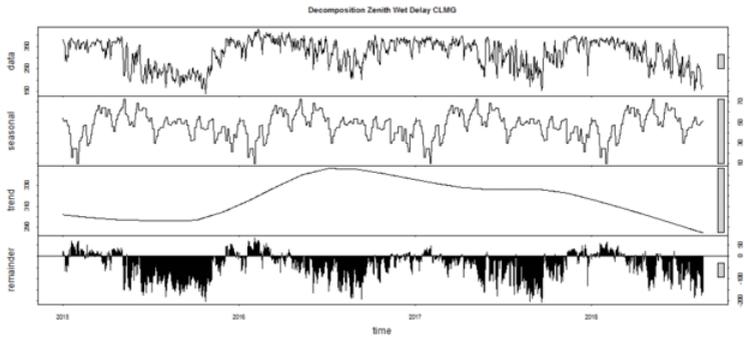
- Residuals Estimated from Three Software Packages." *Journal of the Meteorological Society of Japan* 82 (1B): 315-330.
- Jin, Shuanggen, Park Jong Uk, Cho Jung Ho, and Park Pil Ho. 2007. "Seasonal Variability of GPS-Derived Zenith Tropospheric Delay (1994-2006) and Climate Implication." *Journal of Geophysical Research* 112: 1-11.
- Khaniani, Ali Sam, and Mahdi Ghahremani. 2018. "Estimation Of GPS Tropospheric Delays Using Different Data Processing Strategies In Iran." *Annuals Of Geophysics*, 61 (6): 1-15.
- Lefohn, Allen S., H. Peter Knudsen, and Douglas S. Shadwick. 2005. *Using Ordinary Kriging to Estimate the Seasonal W126 and N100 24-h Concentrations for the Year*. Montana: University of Montana.
- Madena, Arinda Yusi, M. Sabri, and Bambang Darmo Yuwono. 2014. "Verifikasi Koordinat Titik Dasar Teknik Orde 3 dengan Pengukuran GNSS Real Time Kinematin Menggunakan Stasiun CORS Geodesi UNDIP di Kota Semarang." *Jurnal Geodesi Undip* 3 (1): 263-274.
- Marani, M., and S. Zanetti. 2015. "Long-term Oscillations in Rainfall Extremes in 268 Year Daily Time Series." *Water Resource Research* 51: 639-647.
- Mitchell, J. M. 1976. "An Overview of Climatic Variability and Its Causal." *Quaternary Research* 6: 481-493.
- 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.
- 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.
- Rakhecha, P.R. and V.P. Singh. 2009. *Applied Hydrometeorology*. Berlin: Springer-Verlag.

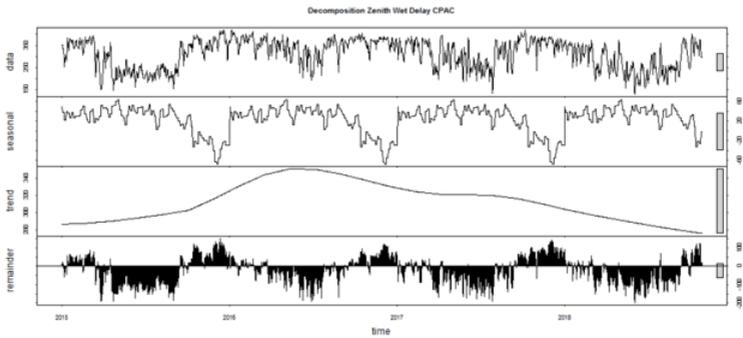
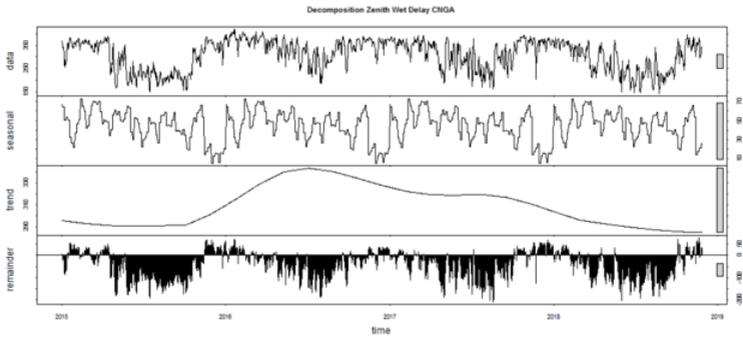
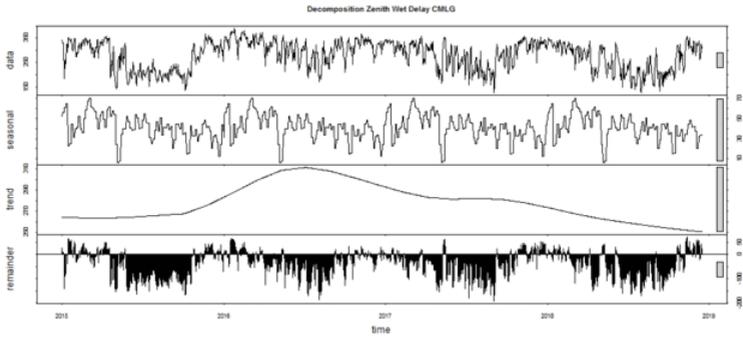
- Ramage, C S. 1971. *Monsoon Meteorology*. New York: Academic Press.
- Scargle, J. D. 1982. "Studies in Astronomical Time Series Analysis. II. Statistical Aspects of Spectral Analysis of Unevenly Spaced Data." *The Astrophysical Journal* 263: 835-853.
- Sibson, R. 1981. "A Brief Description of Natural Neighbor Interpolation." In *Interpolating Multivariate Data*, by R Sibson, 21-36. New York: John Wiley&Sons.
- 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.
- Thayer, D. 1974. "An improved equation for the radio refractive index of air." *Radio Science* 9: 803-807.
- Widyatmoko, Eka Trimas. 2019. "Uji Skema Parameterisasi Model WRF - ARW Saat Kejadian Hujan Ekstrem (Studi Kasus Stasiun Meteorologi Minangkabau)." *Buletin BBMKG Wilayah II* 9 (3): 1-11.
- Yamamoto, J.K. 2005. "Comparing Ordinary Kriging Interpolation Variance and Indicator kriging conditional variance for assessing uncertainties at unsampled locations." *Application of Computers and Operations Research in the Mineral Industry* -.

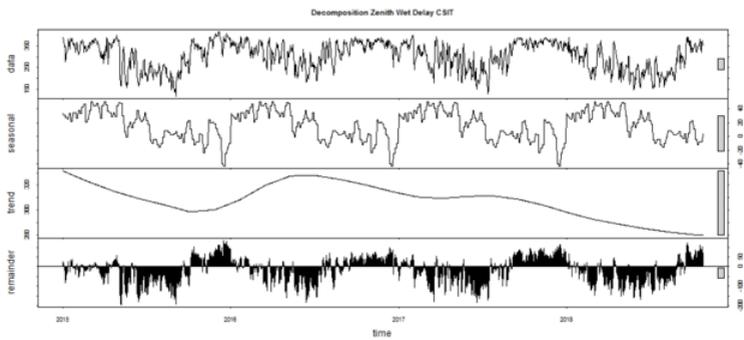
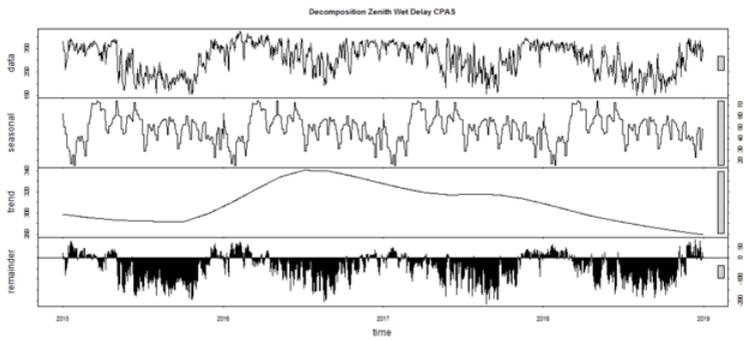
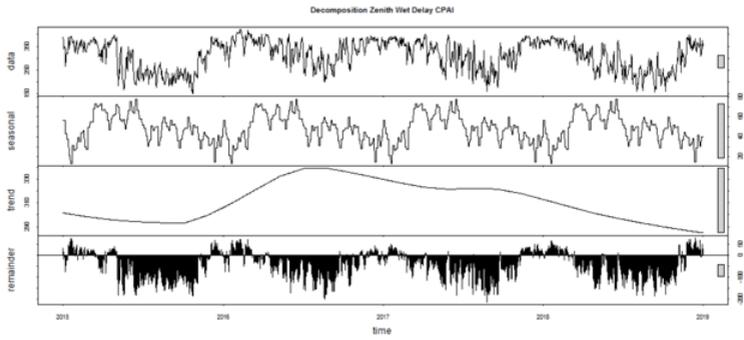
LAMPIRAN

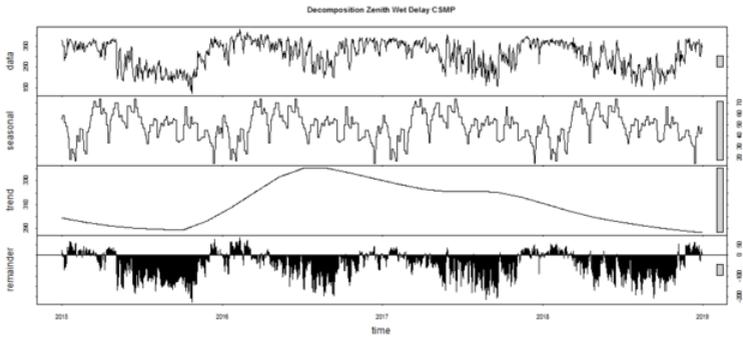
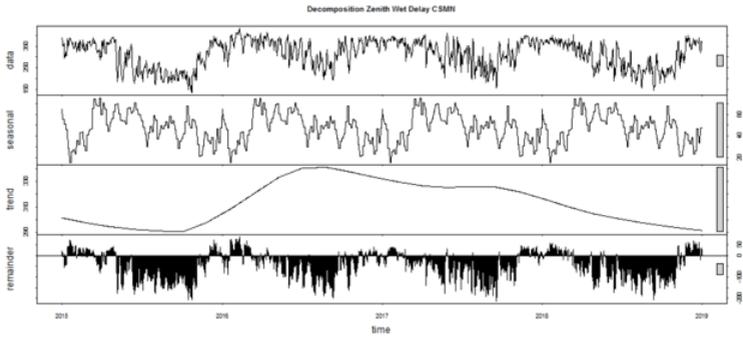
Lampiran 1. Grafik Dekomposisi

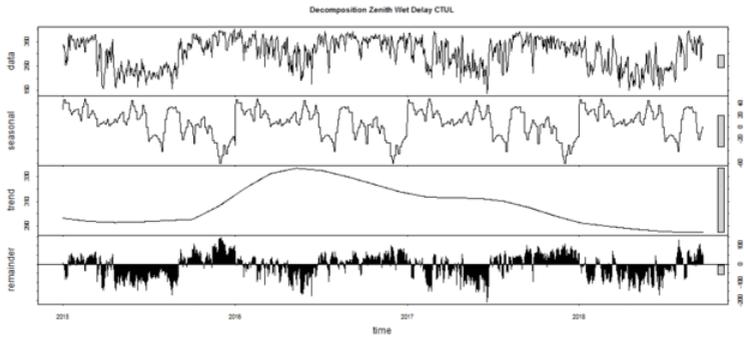
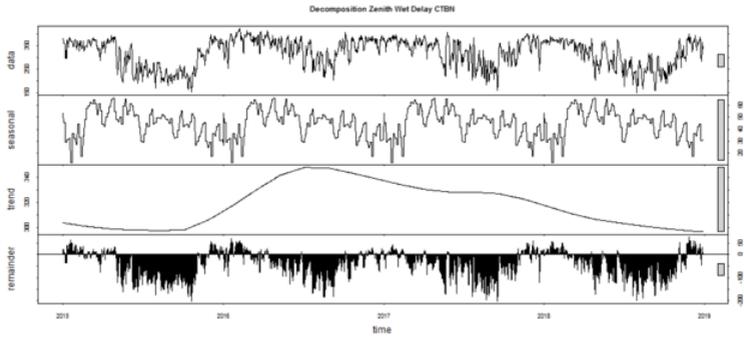




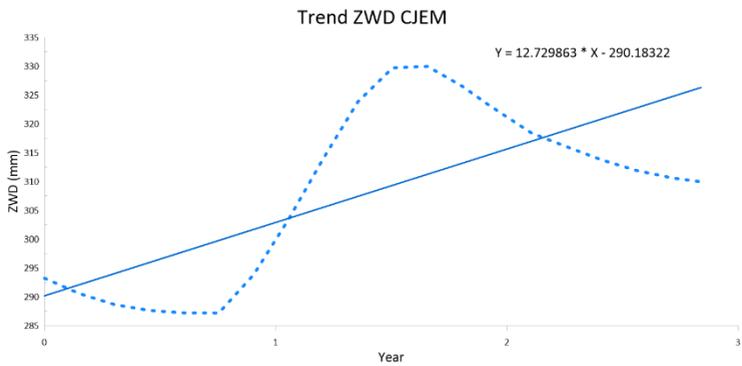
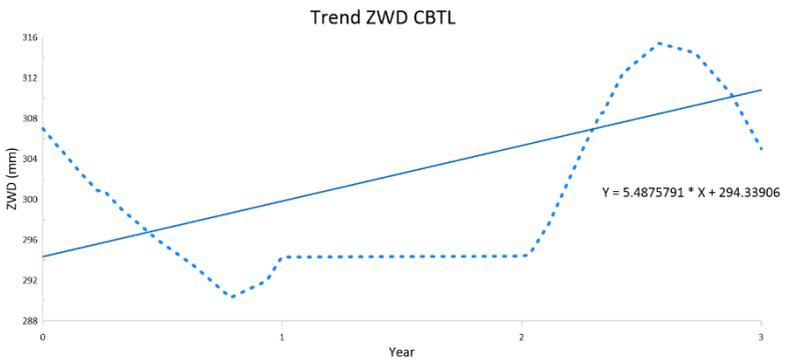
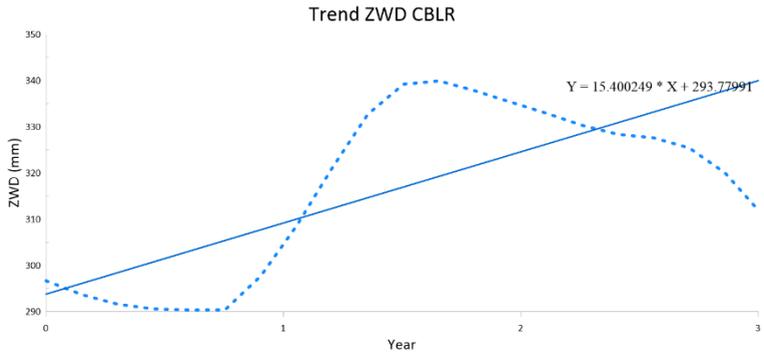


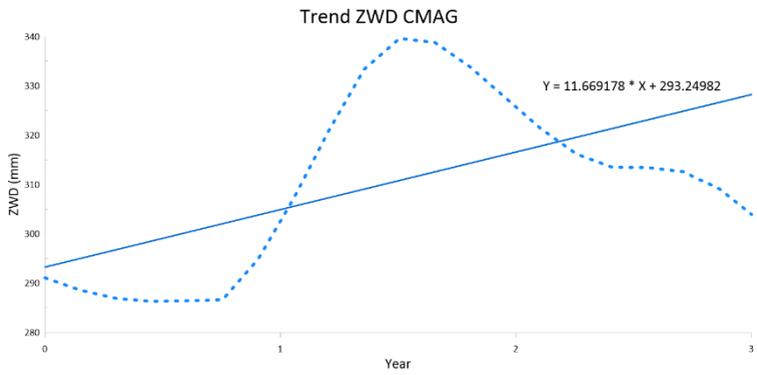
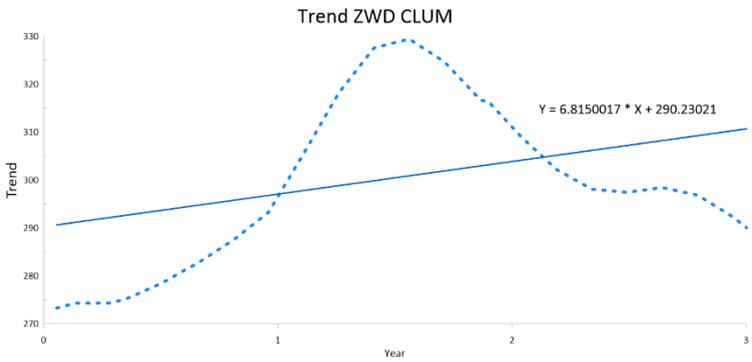
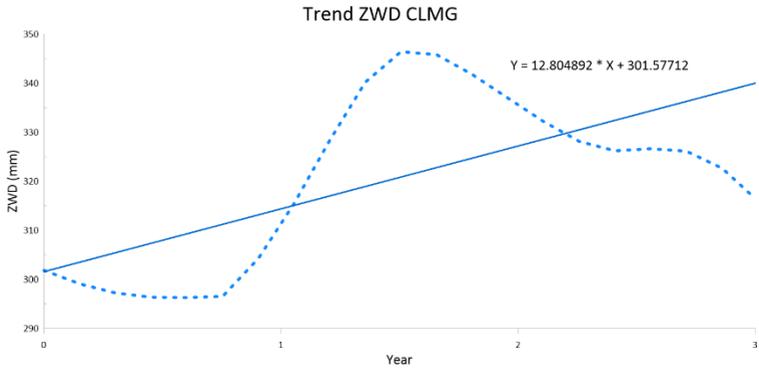


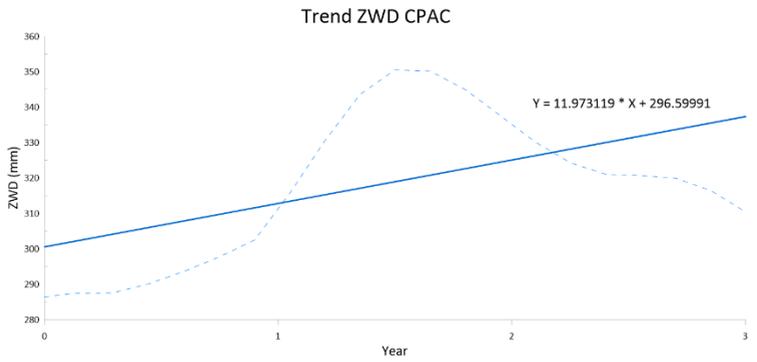
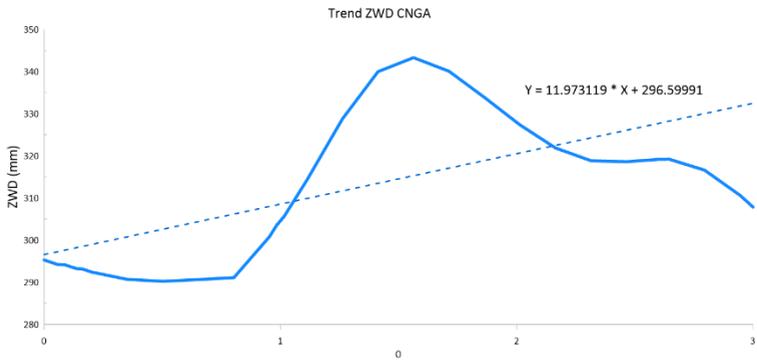
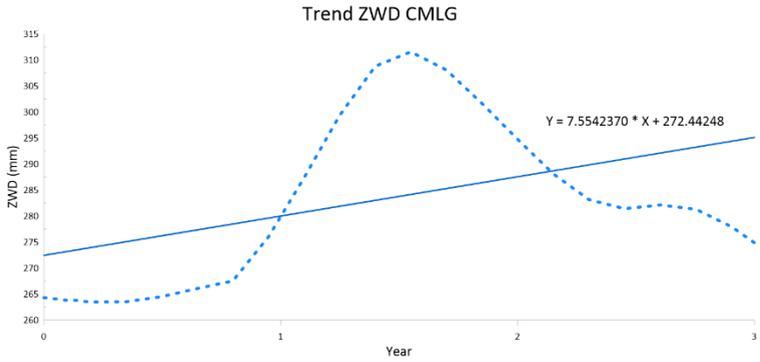


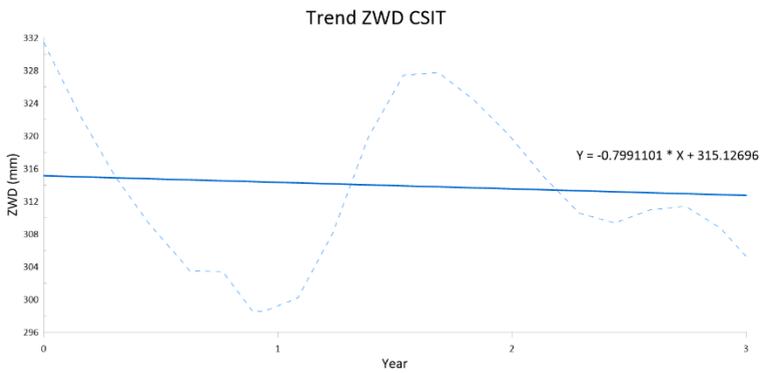
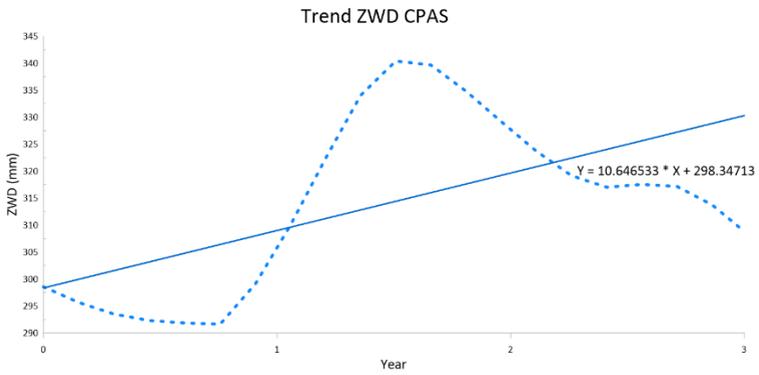
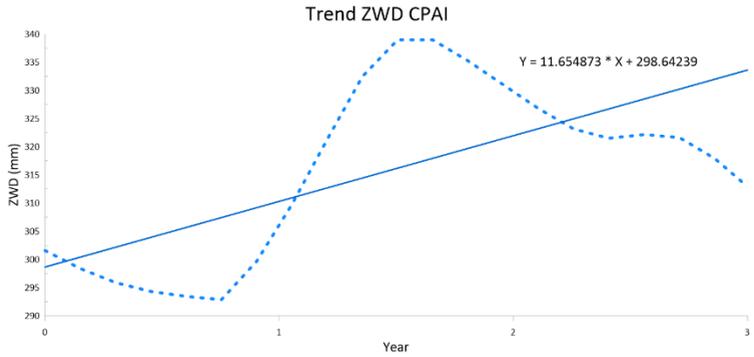


Lampiran 2. Grafik Tren Linier periode tiga tahun

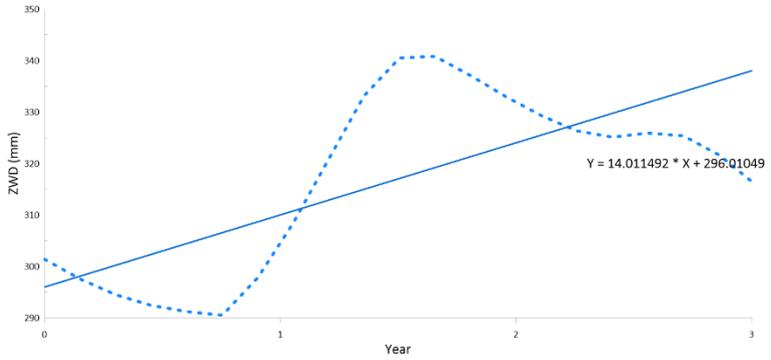




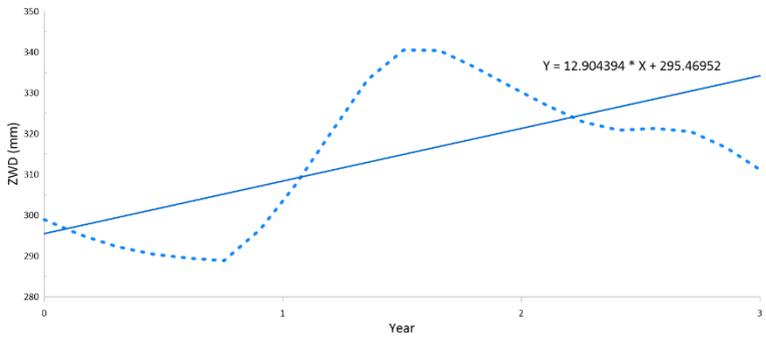


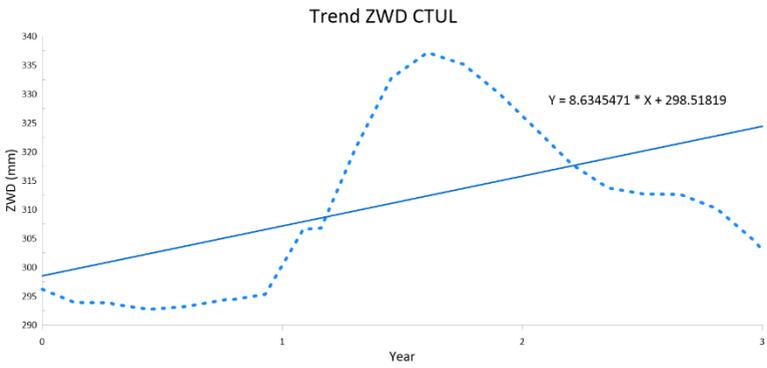
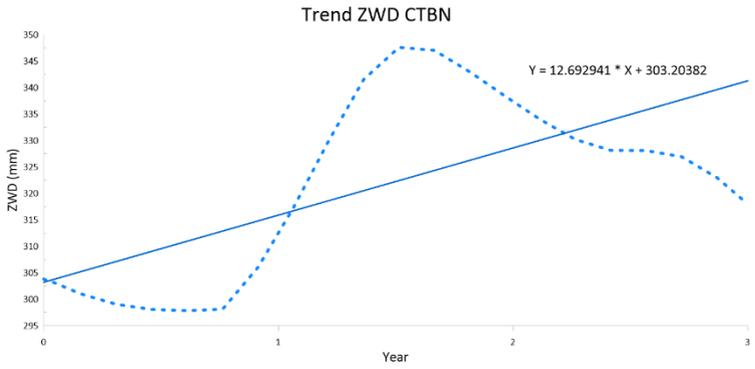


Trend ZWD CSMN

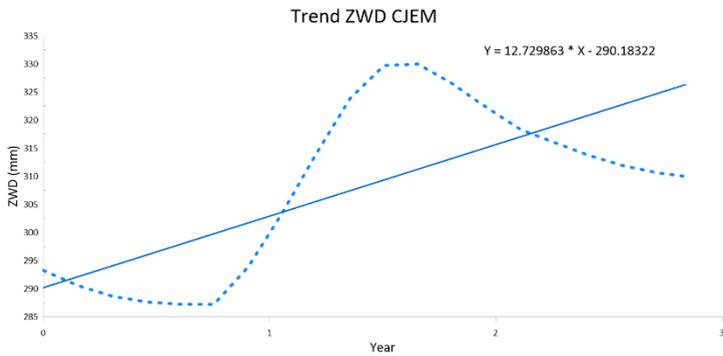
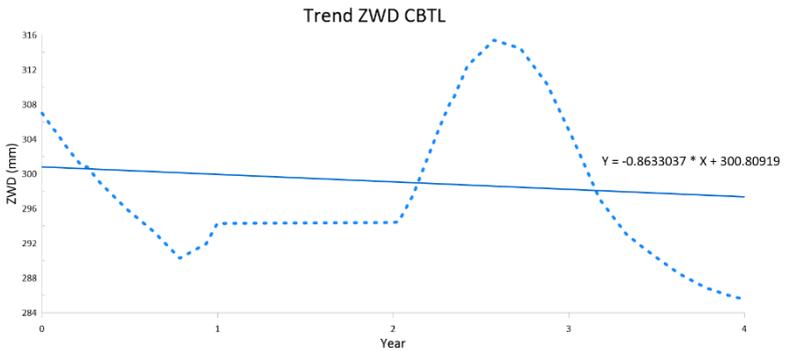
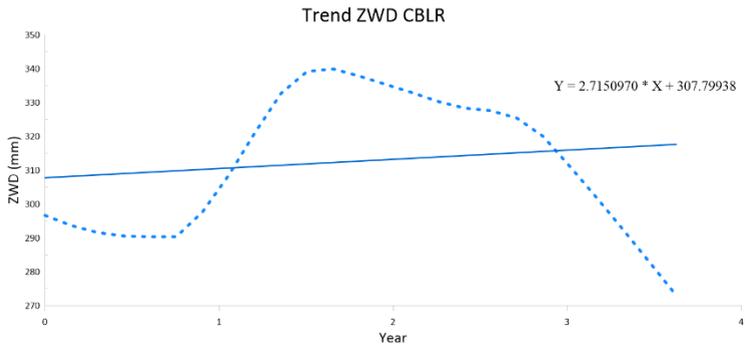


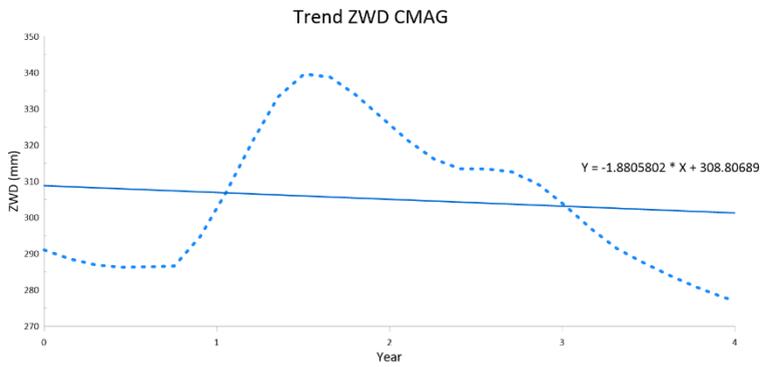
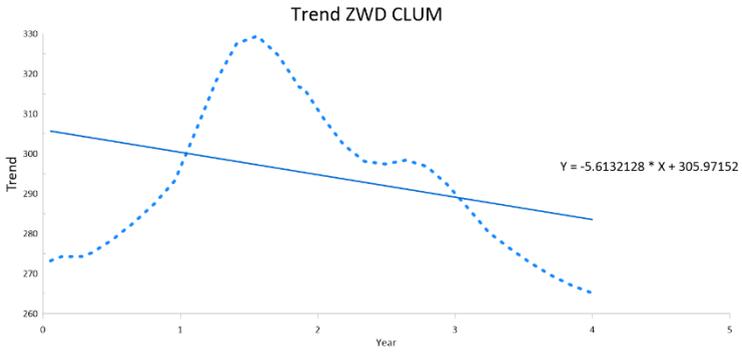
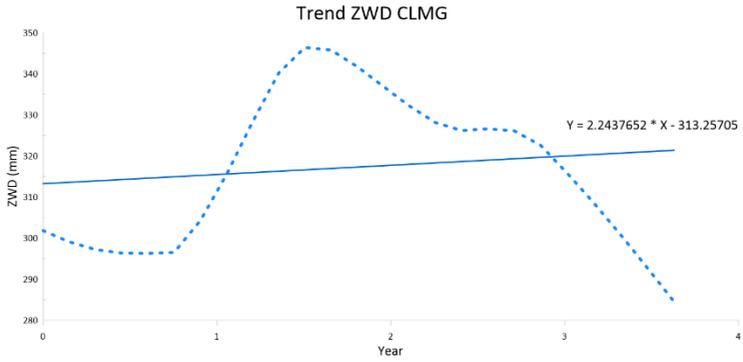
Trend ZWD CSMP

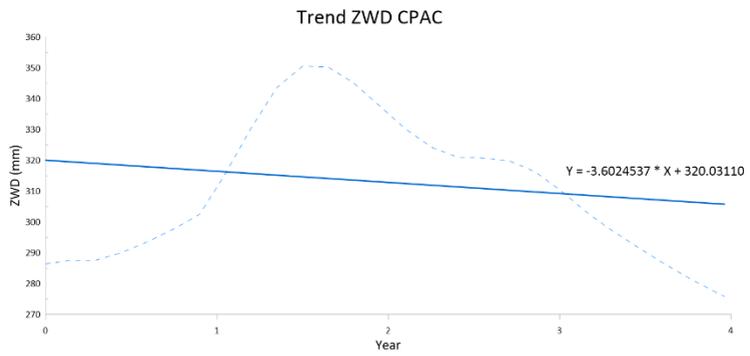
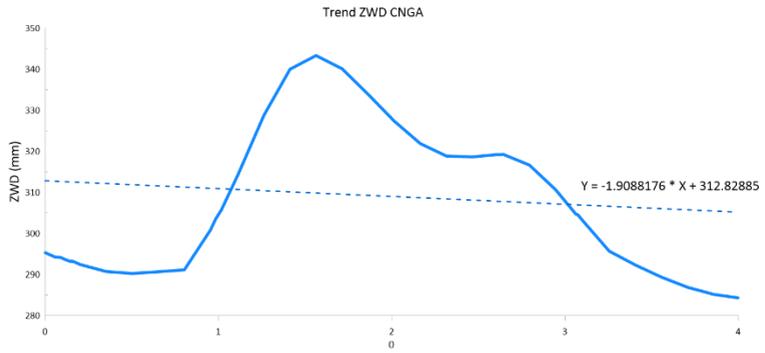
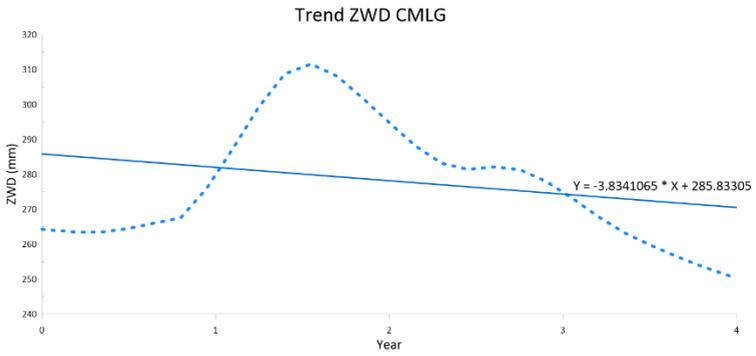


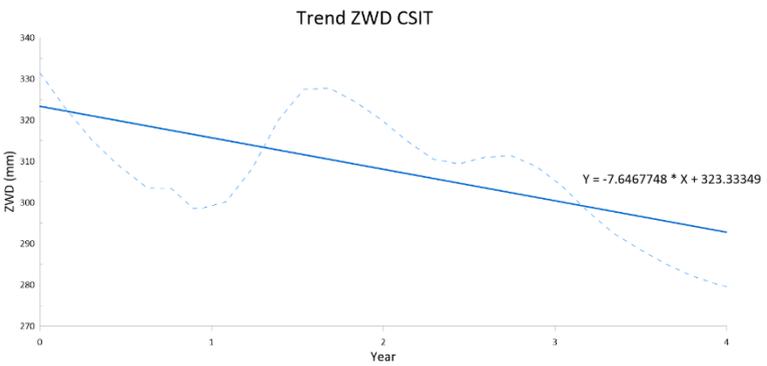
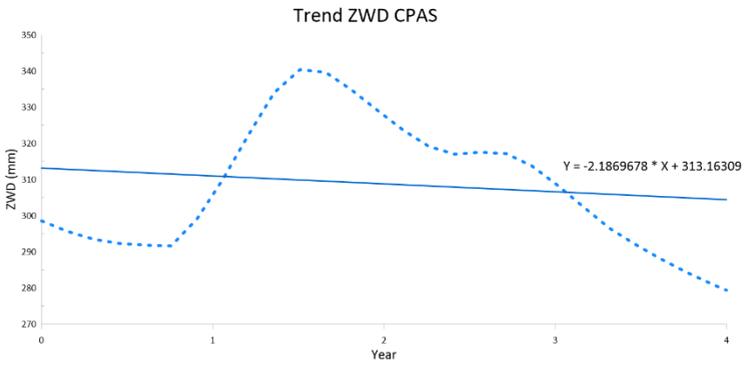
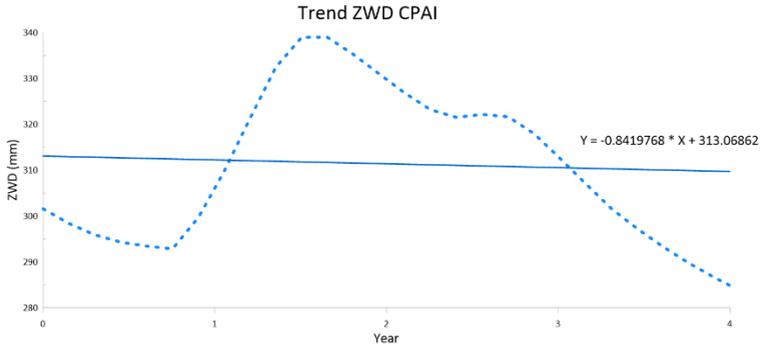


Lampiran 3. Grafik Tren Linier Periode Empat Tahun

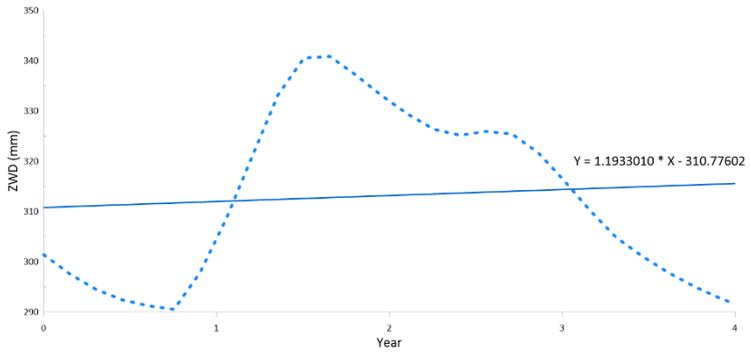




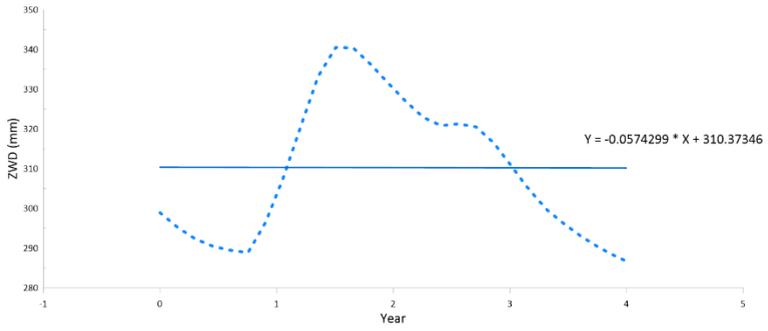


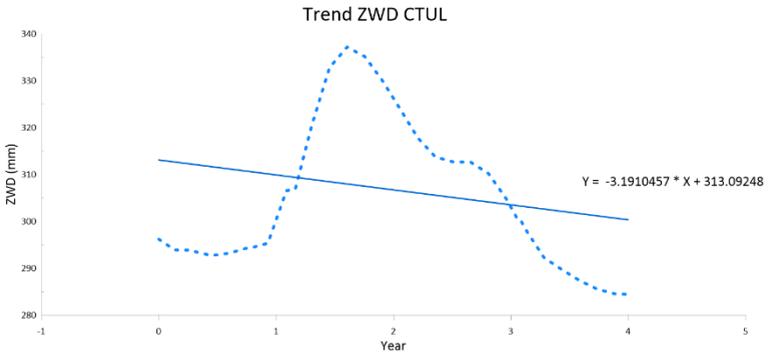
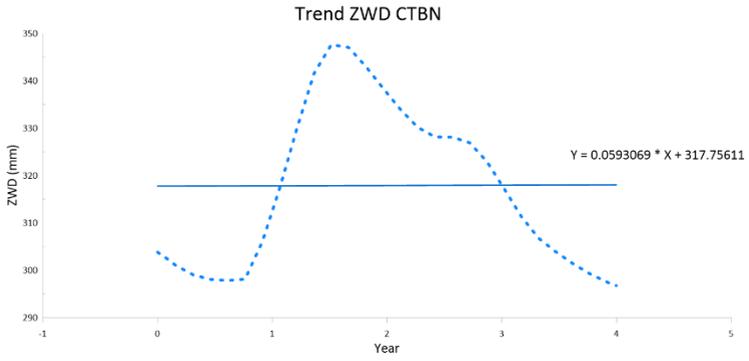


Trend ZWD CSMN



Trend ZWD CSMP





BIODATA PENULIS



Norma Aji Cemara Mannani. Penulis lahir di Kabupaten Malang pada 5 April 1998 yang merupakan anak pertama dari dua bersaudara. Penulis menempuh Pendidikan di TK Al Hikmah (2002-2004), SD Islam Sabilillah Malang (2004-2010), SMP Negeri 3 Malang (2010-2013), dan SMA Negeri 1 Malang (2013-2016). Penulis kemudian melanjutkan pendidikan sarjana di perguruan tinggi di Departemen Teknik Geomatika Institut

Teknologi Sepuluh Nopember. Penulis aktif dalam berbagai kegiatan dan organisasi mahasiswa, di antaranya menjadi pemandu ITS, Sekretaris Departemen Keprofesian dan Akademik (DKA) Himpunan Mahasiswa Geomatika ITS. Penulis juga aktif mengikuti pelatihan di antara LKMM Pra TD hingga PP LKMM, PKTI, dan berbagai pelatihan lainnya. Penulis pernah melakukan magang di Badan Pertanahan Kabupaten OKU dan kerja praktek di Airnav Indonesia cabang Surabaya. Pada penelitian ini, penulis memilih bidang GNSS dengan judul “ANALISIS VARIASI NILAI *ZENITH TROPOSPHERIC DELAY* (ZTD) DI PROVINSI JAWA TIMUR MENGGUNAKAN DATA CORS TAHUN 2015-2018”.