



TUGAS AKHIR - RM 184831

**ANALISIS PERBANDINGAN ESTIMASI
KANDUNGAN UAP AIR MENGGUNAKAN DATA
METEOROLOGI, DATA ERA-INTERIM, DAN
GLOBAL POSITIONING SYSTEM
(STUDI KASUS: KOTA SURABAYA)**

MEIDIANA HERMAWATI
NRP 033 1154 0000 006

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

DEPARTEMEN TEKNIK GEOMATIKA
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2019



TUGAS AKHIR - RM 184831

**ANALISIS PERBANDINGAN ESTIMASI
KANDUNGAN UAP AIR MENGGUNAKAN DATA
METEOROLOGI, DATA ERA-INTERIM, DAN
GLOBAL POSITIONING SYSTEM
(STUDI KASUS: KOTA SURABAYA)**

MEIDIANA HERMAWATI
NRP 033 1154 0000 006

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

DEPARTEMEN TEKNIK GEOMATIKA
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2019

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



FINAL ASSIGNMENT - RM 184831

**COMPARATIVE ANALYSIS OF THE
ESTIMATION PRECIPITABLE WATER VAPOR
USING METEOROLOGICAL DATA, ERA-
INTERIM DATA, AND GLOBAL POSITION
SYSTEM
(CASE STUDY: SURABAYA CITY)**

MEIDIANA HERMAWATI
NRP 033 1154 0000 006

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

Geomatics Engineering Department
Faculty of Civil Environmental and Geo Engineering
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2019

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

**ANALISIS PERBANDINGAN ESTIMASI KANDUNGAN
UAP AIR MENGGUNAKAN DATA METEOROLOGI,
DATA ERA-INTERIM, DAN GLOBAL POSITIONING
SYSTEM**

(STUDI KASUS: KOTA SURABAYA)

Nama Mahasiswa : Meidiana Hermawati
NRP : 033 1154 0000 006
Departemen : Teknik Geomatika
Dosen Pembimbing : Dr. Eko Yuli Handoko, S.T.,M.T.

ABSTRAK

Dalam mempelajari fenomena iklim dan cuaca, distribusi uap air berkaitan erat dengan fenomena meteorologi seperti distribusi awan dan cuaca. Selain dengan menghitung penundaan perambatan sinyal GPS akibat uap air (Zenith Wet Delay/ZWD), informasi kandungan uap air dapat diestimasi dari pengamatan meteorologi (temperatur, tekanan, dan kelembaban) di permukaan Bumi. Selain pengamatan langsung di permukaan Bumi, saat ini berbagai data temperatur, tekanan, kelembaban, dan Total Column Water Vapour global telah tersedia, seperti Data ERA-Interim, model yang disediakan oleh ECMWF (European Center for Medium-Range Weather Forecasts). Oleh karena adanya ketiga sumber data untuk menentukan jumlah uap air di udara, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis perbandingan estimasi total kandungan uap air (Precipitable Water Vapor) dari data meteorologi permukaan, data ERA-Interim, dan GPS dengan studi kasus di Kota Surabaya untuk mengetahui data terbaik untuk mendapatkan estimasi Precipitable Water Vapor di Kota Surabaya. Titik GPS yang digunakan adalah Stasiun CORS CSBY, sedangkan data meteorologi didapat dari stasiun meteorologi Perak Surabaya dan era-interim dari ECMWF pada koordinat 7°15' LS dan 112°45' BT. Dari hasil penelitian didapatkan

perhitungan estimasi Precipitable Water Vapor menggunakan GPS menghasilkan estimasi PWV CSBY minimum 0,228 mm; maksimum 0,732 mm; rata-rata 0,556 mm; standar deviasi 0,083 mm. PWV Perak menghasilkan minimum 0,395 mm; maksimum 0,864 mm; rata-rata 0,595 mm; standar deviasi 0,037 mm. Sedangkan ERA Interim minimum 0,462 mm; maksimum 0,759 mm; rata-rata 0,643 mm; standar deviasi 0,043 mm. Setelah dilakukan interpolasi IDW pada hasil Perak dan ERA-Interim ke CSBY memberikan pola yang bagus dan cenderung sama, kekuatan hubungannya sedang dengan koefisien korelasi 0,567 dan RMSE 0,156. Sedangkan setelah dilakukan interpolasi Natural Neighbor dari ketiga titik ke titik Surabaya didapatkan hubungan CSBY dan Perak memiliki kekuatan hubungan yang rendah dengan koefisien korelasi 0,419 dan RMSE 0,063. Serta, CSBY dan ERA-Interim memiliki kekuatan hubungan sedang dengan koefisien korelasi 0,546 dengan RMSE 0,148.

Kata Kunci: Precipitable Water Vapor, GPS, Data Meteorologi, ERA-Interim, Korelasi

**COMPARATIVE ANALYSIS OF THE ESTIMATION OF
PRECIPITABLE WATER VAPOR USING
METEOROLOGICAL DATA, ERA-INTERIM DATA, AND
GLOBAL POSITION SYSTEM
(CASE STUDY: SURABAYA CITY)**

Name : Meidiana Hermawati
NRP : 033 1154 0000 006
Departement : Geomatics Engineering
Supervisor : Dr. Eko Yuli Handoko,S.T.,M.T.

ABSTRACT

In studying climate and weather phenomena, the distribution of water vapor is closely related to meteorological phenomena such as cloud distribution and weather. In addition to calculating the delay in propagation of GPS signals due to water vapour (Zenith Wet Delay / ZWD), information on the content of moisture can be estimated from meteorological observations (temperature, pressure, and humidity) on the surface of the Earth. Besides, data from direct observations on the surface of the Earth, various global data on temperature, pressure, humidity, and Total Column Water are now available, such as ERA-Interim Data, models provided by ECMWF (European Center for Medium-Range Weather Forecasts). Because of the three data sources to determine the amount of water vapor in the air, this study aims to analyze the comparison of estimated total water vapor content (Precipitable Water Vapor) from surface meteorological data, ERA-Interim data, and GPS with case studies in Surabaya to find out the data best to get Precipitable Water Vapor estimates in Surabaya City. The GPS point used is the CORS CSBY Station, while the meteorological data is obtained from the Perak Surabaya meteorological station and the interim era from ECMWf at coordinates $7^{\circ} 15' S$ and $112^{\circ} 45' E$. From the results of the study, the calculation of estimated Precipitable Water Vapor using GPS

yields a minimum CSBY PWV estimate of 0.228 mm; maximum of 0.732 mm; an average of 0.556 mm; standard deviation of 0.083 mm. Perak PWV produces a minimum of 0.395 mm; maximum 0.864 mm; an average of 0.595 mm; standard deviation of 0.037 mm. Whereas the ERA-Interim PWV is a minimum of 0.462 mm; maximum of 0.759 mm; an average of 0.643 mm; standard deviation of 0.043 mm. After IDW interpolation on Perak results and ERA-Interim results to CSBY gives a good pattern and tends to be the same, the strength of the relationship is medium with a correlation coefficient of 0.567 and RMSE of 0.156. Whereas after the Natural Neighbor interpolation from the three points to the Surabaya point, the relationship between CSBY and Perak has a low relationship strength with a correlation coefficient of 0.419 and RMSE 0.063. As well, CSBY and ERA-Interim have the strength of a moderate relationship with a correlation coefficient of 0.546 with RMSE of 0.148.

Keyword: Precipitable Water Vapor, GPS, Meteorological Data, ERA-Interim, Correlation.

**ANALISIS PERBANDINGAN ESTIMASI KANDUNGAN
UAP AIR MENGGUNAKAN DATA METEOROLOGI,
DATA ERA-INTERIM, DAN GLOBAL POSITIONING
SYSTEM
(STUDI KASUS: KOTA SURABAYA)**

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada

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

Oleh:

MEIDIANA HERMAWATI
NRP. 0331154000006

SURABAYA, 22 JULI 2019

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir

Dr. Eko Yuli Handoko, S.T., M.
NIP. 19740727 200003 1 001



“Halaman ini sengaja dikosongkan”

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur disampaikan kehadirat Allah SWT atas segala limpahan rahmat, taufiq dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian untuk tugas akhir yang berjudul “**Analisis Perbandingan Estimasi Kandungan Uap Air Menggunakan Data Meteorologi, Data ERA-Interim, dan Global Positioning System (Studi Kasus: Kota Surabaya)**” dengan lancar.

Selama pelaksanaan penelitian untuk Tugas Akhir ini, banyak pihak yang telah memberikan bantuan serta dukungan kepada penulis. Untuk itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua penulis, Moch. Makhlis dan Herlina serta adik Mila Fatimah Sari yang selalu memberikan doa dan dukungannya untuk kelancaran penelitian ini.
2. Bapak Dr. Eko Yuli Handoko, S.T.,M.T., selaku dosen pembimbing penulis yang telah memberikan kesempatan, kesabaran serta dukungan dalam bimbingan hingga dapat terselesaikannya Tugas Akhir ini.
3. Bapak Mokhammad Nur Cahyadi, ST., M.Sc., Ph.D., selaku Ketua Departemen Teknik Geomatika ITS yang telah membimbing dan menasehati penulis.
4. Segenap Bapak Ibu Dosen beserta staf Teknik Geomatika ITS yang telah memberikan ilmu dan membantu kelancaran pengerjaan Tugas Akhir.
5. Badan Informasi Geospasial serta Stasiun Meteorologi Maritim II Perak - Surabaya yang telah berkenan membantu dalam penyediaan data penelitian.
6. Keluarga besar Teknik Geomatika ITS angkatan 2015. Serta semua pihak yang telah membantu dan mendukung hingga terselesaikannya Tugas Akhir ini.

Kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan oleh penulis untuk penyempurnaan penelitian ini. Semoga laporan ini dapat bermanfaat untuk semua pihak, khususnya untuk mahasiswa

Departemen Teknik Geomatika Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Akhir kata, semoga Allah SWT senantiasa melimpahkan karunianya kepada pihak-pihak yang telah membantu penulis dalam melaksanakan penelitian ini.

Surabaya, Juli 2019

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR TABEL	xix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan	3
1.5 Manfaat	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Atmosfer Bumi dan Karakteristiknya	5
2.2 <i>Global Positioning System</i>	6
2.3 Akibat Atmosfer dalam Propagasi Sinyal GPS ..	10
2.4 Fungsi Pemetaan	13
2.5 ERA-Interim	14
2.6 GIPSY-OASIS	14
2.7 Regresi Linear	15
2.8 Korelasi	16
2.9 <i>Inverse Distance Weighting</i>	16

2.10	<i>Natural Neighbor Interpolation</i>	17
2.11	Penelitian Sebelumnya	18
BAB III	METODOLOGI PENELITIAN	21
3.1	Lokasi Penelitian	21
3.2	Alat dan Bahan	22
3.2.1	Peralatan	22
3.2.2	Data.....	23
3.3	Tahapan Penelitian	23
BAB IV	HASIL DAN ANALISIS	29
4.1	Hasil.....	29
4.1.1	Hasil <i>Zenith Wet Delay</i> CORS CSBY	29
4.1.2	Hasil <i>Zenith Wet Delay</i> Perak.....	30
4.1.3	Hasil <i>Zenith Wet Delay</i> ERA-Interim.....	32
4.1.4	Hasil <i>Precipitable Water Vapor</i> CORS CSBY..	33
4.1.5	Hasil <i>Precipitable Water Vapor</i> Perak	35
4.1.6	Hasil <i>Precipitable Water Vapor</i> ERA-Interim ..	36
4.2	Analisis	37
4.2.1	Analisis perbandingan PWV CORS CSBY dengan Interpolasi Perak dan ERA-Interim.....	37
4.2.2	Analisis perbandingan PWV CORS CSBY dengan Perak.....	39
4.2.3	Analisis perbandingan PWV CORS CSBY dengan ERA-Interim.....	40

BAB V PENUTUP	43
5.1 Kesimpulan	43
5.2 Saran	44
DAFTAR PUSTAKA	45
BIODATA PENULIS	48

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1	Beberapa Klasifikasi Atmosfer Bumi (Seeber 2003)	5
Gambar 2. 2	Profil temperatur atmosfer secara vertikal (Central Weather Bureau 2019)	6
Gambar 2. 3	<i>Global Positioning System</i> (GPS), konfigurasi 24 satelit (Seeber 2003).....	7
Gambar 2. 4	Prinsip Dasar Penentuan Posisi dengan GPS (Seeber 2003)	8
Gambar 2. 5	Efek Troposfer terhadap sinyal satelit (Abidin 2001)	11
Gambar 2. 6	Interpolasi Natural Neighbor. Bulatan berwarna menggambarkan bobot interpolasi (w_i) (Tsidaev 2016)	18
Gambar 3. 1	Lokasi Penelitian	21
Gambar 3. 2	Diagram Alir Penelitian Bagian 1	24
Gambar 3. 3	Diagram Alir Penelitian Bagian 2	25
Gambar 4. 1	<i>Zenith Wet Delay</i> CSBY 2016	29
Gambar 4. 2	<i>Zenith Wet Delay</i> Perak 2016.....	31
Gambar 4. 3	<i>Zenith Wet Delay</i> ERA-Interim 2016.....	32
Gambar 4. 4	<i>Precipitable Water Vapor</i> CSBY 2016.....	34
Gambar 4. 5	<i>Precipitable Water Vapor</i> Perak 2016	35
Gambar 4. 6	<i>Precipitable Water Vapor</i> ERA-Interim 2016	36
Gambar 4. 7	Grafik Perbandingan PWV CSBY dengan hasil interpolasi Perak dan ERA-Interim 2016	38
Gambar 4. 8	Korelasi PWV CSBY dengan PWV interpolasi Perak dan ERA-Interim 2016.....	38
Gambar 4. 9	Hasil PWV dari Interpolasi CSBY dan interpolasi Perak pada koordinat Surabaya	39
Gambar 4. 10	Korelasi PWV CSBY dan Perak pada Koordinat Surabaya.....	40

Gambar 4. 11 Hasil PWV dari Interpolasi CSBY dan interpolasi ERA-Interim pada koordinat Surabaya	41
Gambar 4. 12 Korelasi PWV CSBY dan ERA-Inrterim pada Koordinat Surabaya.....	41

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1	Konstanta untuk Persamaan 2.7	12
Tabel 2. 2	Koefisien Neill Mapping Function (Neill 1996) ..	13
Tabel 3. 1	Koordinat Lokasi Penelitian.....	21
Tabel 4. 1	Hasil Pengolahan ZWD CORS CSBY 2016.....	30
Tabel 4. 2	Hasil perhitungan ZWD Perak 2016	31
Tabel 4. 3	Hasil Perhitungan ZWD ERA-Interim 2016.....	33
Tabel 4. 4	Hasil Perhitungan PWV CORS CSBY 2016	34
Tabel 4. 5	Hasil Perhitungan PWV Perak 2016	35
Tabel 4. 6	Hasil Perhitungan PWV ERA-Interim 2016	37
Tabel 5. 1	Hasil Penelitian	43
Tabel 5. 2	Analisis Korelasi Penelitian	44

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Atmosfer umumnya didiskripsikan sebagai lapisan udara yang melingkupi Bumi. Atmosfer bumi sebagian besar terdiri atas gas-gas Nitrogen dan Oksigen, serta gas-gas lain dengan presentase yang sangat kecil. Serta, sebagian kecil kandungan atmosfer lainnya adalah partikel uap air. Dalam perambatan sinyal satelit, sinyal yang dipancarkan oleh satelit dan diterima oleh *receiver* di Bumi akan mengalami penyimpangan jarak akibat perlambatan waktu tempuh sinyal saat melewati atmosfer. Dalam perlambatan atau penundaan sinyal satelit akibat atmosfer, atmosfer dibagi dalam dua lapisan, yaitu lapisan ionosfer dan lapisan troposfer.

Perlambatan atau penyimpangan sinyal satelit di ionosfer diakibatkan oleh elektron-elektron yang mempengaruhi kecepatan, arah, polarisasi, dan kekuatan dari sinyal satelit yang melaluinya (Abidin 2001). Sedangkan pada troposfer, komponen kering dari gas-gas penyusun troposfer dan komponen basah yaitu uap air adalah penyebab terjadinya penundaan sinyal GPS. Akibat penundaan propagasi sinyal GPS (*Global Positioning System*) pada troposfer disebut dengan *tropospheric delay*. Sedangkan efek penyimpangan jarak akibat perlambatan waktu sinyal GPS ke *receiver* disebut *Slant Tropospheric Delay*. Dengan menggunakan fungsi pemetaan, *Slant Tropospheric Delay* (STD) selanjutnya dapat diubah menjadi *Zenith Tropospheric Delay* (ZTD). ZTD umumnya dapat dibagi menjadi dua, yaitu *Zenith Hydrostatic Delay* (ZHD) yang diakibatkan oleh komponen kering dan *Zenith Wet Delay* (ZWD) yang diakibatkan oleh komponen basah (Hofmann-Wellenhof dkk 2012).

Dalam mempelajari fenomena iklim dan cuaca, distribusi uap air berkaitan erat dengan fenomena meteorologi seperti distribusi awan dan cuaca. Untuk menyatakan secara kuantitatif jumlah uap air di atas suatu titik tertentu pada permukaan Bumi

biasanya digunakan istilah *Total Column Water Vapor* (TCWV) atau dimaksud juga dengan *Integrated Water Vapor* (IWV) untuk menyatakan massa uap air per unit area dan *Precipitable Water Vapor* (PWV) jika mengacu pada kandungan uap air pada ketinggian kolom udara yang sama (Bevis dkk. 1992). Informasi mengenai PWV dapat diestimasi dengan mengkonversikan ZWD dengan data suhu di permukaan.

Selain dengan menghitung penundaan perambatan sinyal GPS akibat uap air (*Zenith Wet Delay/ZWD*), informasi kandungan uap air dapat diestimasi dari pengamatan meteorologi (temperatur, tekanan, dan kelembaban) di permukaan Bumi. Selain pengamatan langsung di permukaan Bumi, saat ini berbagai data temperatur, tekanan, kelembaban, dan *Total Column Water Vapor* global telah tersedia, seperti model yang disediakan oleh *ECMWF* (*European Center for Medium-Range Weather Forecasts*) salah satunya berupa data ERA-Interim.

Oleh karena adanya ketiga sumber data untuk menentukan jumlah uap air di kolom udara, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis perbandingan estimasi kandungan uap (*Precipitable Water Vapor*) dari data meteorologi permukaan, model ECMWF, dan GPS dengan studi kasus di Kota Surabaya. Lokasi pengamatan yang digunakan adalah satu titik GPS CORS (*Continuously Operated Reference System*) di Surabaya, yaitu GPS CORS CSBY. Untuk data meteorologi diambil dari Stasiun Meteorologi Kelas II Maritim Perak II - Surabaya dan ERA-Interim dari model ECMWF pada koordinat $7^{\circ}15'$ LS dan $112^{\circ}45'$ BT. Hasil dari data meteorologi permukaan selanjutnya dibuat korelasi perbandingan dengan hasil data GPS dan model ECMWF untuk mengetahui data terbaik untuk mendapatkan estimasi *Precipitable Water Vapor* di Kota Surabaya.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian kali ini antara lain:

1. Berapa estimasi kandungan uap air (PWV) di Kota Surabaya dari data GPS, pengamatan meteorologi permukaan dan data ERA-Interim?
2. Bagaimana korelasi perbandingan antara hasil estimasi kandungan uap air (PWV) di Kota Surabaya dari data GPS, pengamatan meteorologi permukaan, dan data ERA-Interim?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian kali ini antara lain :

1. Penelitian ini memanfaatkan 1 stasiun pengamatan GPS CORS yaitu GPS CORS CSBY (Surabaya) milik BIG.
2. Data meteorologi permukaan yang diamati adalah data temperatur dari rinex meteorologi (*m) pada GPS CORS CSBY. Dan data temperatur dan kelembaban relatif pada stasiun meteorologi di Pelabuhan Tanjung Perak
3. Data ERA-Interim dari model ECMWF (*European Center for Medium-Range Weather Forecasts*) yang digunakan adalah data temperatur permukaan (*two-meter Temperature*) dan data temperatur titik embun udara (*two-meter dewpoint temperature*) pada koordinat $7^{\circ}15'$ LS dan $112^{\circ}45'$ BT.

1.4 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini antara lain:

1. Mengestimasi *Precipitable Water Vapor* (PWV) dari data yang didapat dari pengukuran GPS, pengamatan meteorologi permukaan, dan data ERA-Interim pada CORS CSBY, Stasiun Meteorologi Kelas II Maritim Perak II – Surabaya, dan koordinat $7^{\circ}15'$ LS dan $112^{\circ}45'$ BT.
2. Menganalisis korelasi perbandingan dari hasil estimasi *Precipitable Water Vapor* (PWV) dari data pengukuran GPS, pengamatan meteorologi permukaan, dan data

ERA-Interim model pada CORS CSBY, Stasiun Meteorologi Kelas II Maritim Perak II – Surabaya, dan koordinat $7^{\circ}15'$ LS dan $112^{\circ}45'$ BT.

1.5 Manfaat

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah dihasilkan estimasi *Precipitable Water Vapor* (PWV) dari tiga model sumber data, yakni pengukuran GPS, pengamatan meteorologi permukaan, dan data ERA-Interim model *European Center for Medium-Range Weather Forecasts* (ECMWF) adalah dapat memberikan informasi terkait keadaan atmosfer, lebih khususnya terkait dengan massa uap air di troposfer yang berhubungan dengan perubahan iklim, cuaca, dan curah hujan. Selain itu, dengan adanya penelitian ini diharapkan dapat menambah perbendaharaan penelitian khususnya di bidang *Geodesy Surveying*.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Atmosfer Bumi dan Karakteristiknya

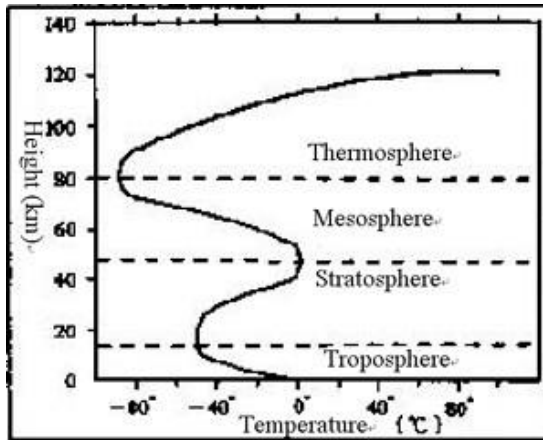
Atmosfer biasanya didiskripsikan sebagai lapisan udara yang melingkupi Bumi. Atmosfer dapat diklasifikasikan menjadi beberapa lapisan. Berdasarkan kriteria yang digunakan dalam klasifikasi, dikenal beberapa lapisan-lapisan atmosfer.

Ketinggian [km]	Temperatur	Ionisasi	Medan Magnet	Propagasi	Teknis
100.000	Thermos - fer	Protonos - fer	Magnetos - fer	Ionosfer	Atmosfer Atas
10.000		-----			
1.000		Ionosfer			
100	Mesosfer	-----	-----	-----	Atmosfer Bawah
	Stratosfer	Netros - fer	Dinamos - fer	Troposfer	
10	Troposfer				

Gambar 2. 1 Beberapa Klasifikasi Atmosfer Bumi (Seeber 2003)

Atmosfer bumi terdiri atas beberapa jenis gas seperti Oksigen, Nitrogen, Helium, dan Argon. Secara umum tiga gas utama yang membentuk atmosfer adalah Nitrogen (sekitar 78%), Oksigen (sekitar 21%), dan Argon (sekitar 1%). Di bawah ketinggian 200 km atmosfer didominasi oleh gas-gas Oksigen (O₂) dan Nitrogen (N₂); sementara di atas 200 km yang mendominasi adalah atom-atom Oksigen (O). Dengan semakin membesarnya ketinggian, pengaruh medan magnetik Bumi terhadap partikel-partikel dalam atmosfer akan semakin membesar (Abidin 2001).

Berdasarkan profil temperaturnya, lapisan atmosfer Bumi umum dibagi atas Troposfer, Stratosfer, Mesosfer, dan Termosfer, seperti yang diilustrasikan dalam Gambar 2.2



Gambar 2. 2 Profil temperatur atmosfer secara vertikal
(Central Weather Bureau 2019)

Dalam hal ini troposfer adalah lapisan paling bawah dari atmosfer Bumi yang mempunyai ketinggian sekitar 8-15 meter di atas permukaan Bumi, bergantung pada lintang. Temperatur pada lapisan troposfer semakin turun dengan semakin meningkatnya ketinggian. Lalu pada lapisan stratosfer, temperatur semakin mengalami kenaikan hingga lapisan mesosfer. Lapisan stratosfer memiliki rentang temperatur dari 0°C hingga -40°C . Di lapisan mesosfer, suhu atmosfer kembali mengalami penurunan, yaitu dari 0°C hingga -80°C .

2.2 Global Positioning System

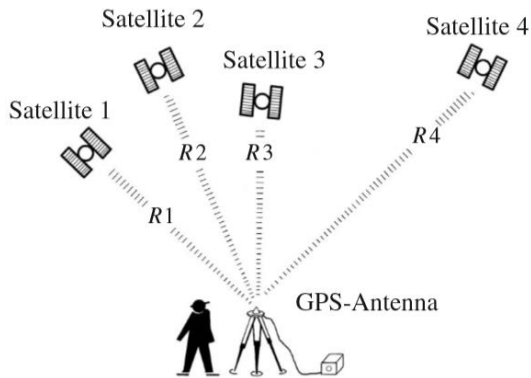
NAVSTAR GPS (NAVigation System with Time And Ranging Global Positioning System) adalah sistem navigasi radio berbasis satelit yang menyediakan informasi posisi tiga dimensi, navigasi, dan informasi waktu sesuai kebutuhan pengguna. Sistem ini tersedia secara terus menerus berkelanjutan di seluruh dunia, dan tidak tergantung pada kondisi meteorologi. GPS telah dikembangkan di Amerika Serikat sejak 1973, dan merupakan sistem militer dengan akses terbatas untuk

pengguna masyarakat sipil. Sistem ini telah digunakan sebagai solusi masalah geodetik sejak tahun 1983. Pengaturan akhirnya telah tersedia sejak tahun 1995 dan terdiri dari 24 satelit yang mengorbit pada ketinggian 20200 km di atas permukaan bumi. Sistem pengaturan satelit telah didesain sedemikian rupa sehingga 4 (empat) satelit secara bersamaan terlihat di atas cakrawala, di mana saja di Bumi, 24 jam sehari (Seeber, 2003).



Gambar 2. 3 Global Positioning System (GPS), konfigurasi 24 satelit (Seeber 2003)

GPS 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 tersinkronasi dengan waktu satelit. Kesalahan sinkronisasi inilah yang menjadi alasan penggunaan istilah “*pseudorange*/jarak semu” (Seeber 2003).



Gambar 2. 4 Prinsip Dasar Penentuan Posisi dengan GPS
(Seeber 2003)

Selain GPS milik Amerika Serikat, di mana secara efektif telah tersedia secara global. Dikenal juga Sistem Navigasi Satelit Global (Global Navigation Satellite System) yang adalah perpaduan dari GPS dan GLONASS milik Rusia, yang juga telah efektif menyediakan layanan global. Sedangkan sistem GNSS yang sedang dikembangkan adalah sistem Galileo milik Eropa yang dikembangkan *Union Europe* (UE) bekerja sama dengan ESA, sistem navigasi regional Beidou dikembangkan negara China, sistem navigasi IRNSS dikembangkan oleh India, dan QZSS akan dikembangkan oleh Jepang (Bakara, 2011).

Continuously Operated Reference System (CORS) menyediakan data Sistem Navigasi Satelit Global (GNSS) yang terdiri dari pengukuran *carrier phase* dan *code range* dalam mendukung penentuan posisi tiga dimensi, meteorologi, cuaca, dan aplikasi geofisika.

Data CORS dapat digunakan untuk meningkatkan ketepatan penentuan posisi. CORS meningkatkan koordinat secara *post-processed* yang dapat mendekati akurasi sentimeter, baik secara horizontal maupun vertikal (NOAA 2019).

Sinyal GPS terbagi atas 3 komponen, yaitu :

- a. P(Y) code dan C/A code sebagai penginformasi jarak
- b. *Navigation Message* sebagai pemberi informasi jarak satelit
- c. *Carrier wave* (gelombang pembawa) berupa gelombang L1 dan L2 atau kombinasi dari keduanya

Sedangkan data pengamatan dasar GPS dari kode P(Y) dan C/A adalah berupa waktu tempuh (Δt) dan fase (*carrier phase*, ϕ) dari *carrier wave* L1 dan L2. Hasil pengamatan selain terkait dengan posisi pengamat, dipengaruhi juga oleh parameter-parameter bias dan dapat dituliskan dalam persamaan sebagai berikut (Abidin 2006).

$$P_i = \rho + d\rho + dtrop + dion_i + (dt - dT) + MP_i + \vartheta P_i \dots \dots \dots (2.1)$$

$$L_i = \rho + d\rho + dtrop + dion_i + (dt - dT) + MC_i + \vartheta C_i + \lambda_i N_i \dots \dots \dots (2.2)$$

dengan:

P_i = $c \cdot \Delta t_i$ (pseudorange pada frekuensi f_i (m), ($i = 1, 2$)),

L_i = $\lambda_i \cdot \phi_i$ (jarak fase pada frekuensi f_i (m), ($i = 1, 2$)),

ρ = jarak geometris antara satelut dengan receiver (m),

c = kecepatan cahaya dalam ruang hampa (m/s),

λ = panjang gelombang dari sinyal (m) atau c/f (f = frekuensi),

$d\rho$ = kesalahan jarak yang diakibatkan oleh kesalahan orbit (ephemeris),

$dtrop$ = kesalahan akibat refraksi troposfer (m),

$dion_i$ = kesalahan akibat refraksi ionosfer (m),

dt, dT = kesalahan dan offset dari jam receiver dan jam satelit (m),

MP_i, MC_i = efek multipath pada pengamatan P_i dan L_i ,

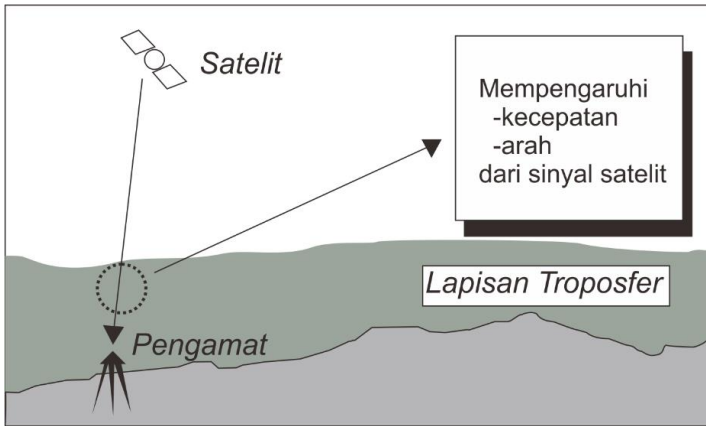
N_i, N_2 = ambiguitas fase dari fase sinyal L1 dan L2 (jumlah gelombang),

$\vartheta P_i, \vartheta C_i$ = gangguan (noise) pada pengamatan P_i dan L_i

2.3 Akibat Atmosfer dalam Propagasi Sinyal GPS

Dalam perambatan sinyal GPS dari satelit ke *receiver*, atmosfer dibagi ke dalam dua lapisan yaitu troposfer dan ionosfer (Seeber 2003). Perlambatan atau penyimpangan sinyal satelit di ionosfer diakibatkan oleh elektron-elektron yang mempengaruhi kecepatan, arah, polarisasi, dan kekuatan dari sinyal satelit yang melaluinya. Sedangkan bias troposfer biasanya dipisahkan menjadi dua komponen, yaitu komponen kering ($\approx 90\%$ dari bias total) dan komponen basah (Abidin 2001). Pada troposfer, komponen kering dari gas-gas penyusun troposfer dan komponen basah yaitu uap air adalah penyebab terjadinya penundaan sinyal GPS. Akibat penundaan propagasi sinyal GPS (*Global Positioning System*) pada troposfer disebut dengan efek *tropospheric delay*. Sedangkan efek penyimpangan jarak akibat perlambatan waktu sinyal GPS ke *receiver* disebut *Slant Tropospheric Delay*. Dengan menggunakan fungsi pemetaan, *Slant Tropospheric Delay* (STD) selanjutnya dapat diubah menjadi *Zenith Tropospheric Delay* (ZTD). ZTD umumnya dapat dibagi menjadi dua, yaitu *Zenith Hydrostatic Delay* (ZHD) yang diakibatkan oleh komponen kering dan *Zenith Wet Delay* (ZWD) yang diakibatkan oleh komponen basah (Hofmann-Wellenhof dkk 2012).

Troposfer adalah lapisan netral (tidak ada ion-ion seperti di ionosfer) dan memiliki suhu yang semakin menurun dengan kenaikan ketinggian. Lapisan troposfer ini mempunyai ketebalan sekitar 9-16 km, tergantung dengan tempat dan waktu. Ketika melalui troposfer sinyal satelit akan mengalami refraksi yang mempengaruhi jarak karena troposfer mengakibatkan sinyal satelit mengalami perubahan kecepatan dan arah dari sinyal satelit (Abidin 2001).



Gambar 2. 5 Efek Troposfer terhadap sinyal satelit (Abidin 2001)

Efek dari komponen basah (ZWD), yang terutama tergantung pada kandungan uap air sepanjang lintasan sinyal, biasanya lebih sulit untuk diestimasi secara teliti dari data pengamatan meteorologi di permukaan bumi. Untuk mendapatkan ketelitian yang lebih baik dari *magnitude* komponen basah digunakan WVR (*Water Vapor Radiometer*) yang dapat mengukur kandungan uap air sepanjang lintasan sinyal. Akan tetapi instrumen ini cukup mahal harganya, ukurannya cukup besar, dan juga cukup berat (Abidin 2001).

Namun, pemodelan ZHD dan ZWD menggunakan data meteorologi telah dilakukan oleh Saastamoinen (1972) dengan menggunakan konstanta k_1 , k_2 , dan k_3 dari Smith dan Weintraub (1953). Model Saastamoinen adalah sebagai berikut.

$$ZHD = \frac{0.0022767 \times P_0}{1 - 0.00266 \times \cos^2 \varphi - 0.00028 h} \dots \dots \dots (2.3)$$

$$ZWD = 0.002768 \times (1255 + (0.05T) \frac{P_w}{T}) \dots \dots \dots (2.4)$$

Dimana, P_0 adalah tekanan atmosfer (mbar), φ adalah *altitude* dan h adalah ketinggian pengamat dengan datum ellipsoid (km). P_w adalah tekanan uap air (mbar) dan T adalah

suhu permukaan (Kelvin). P_w dapat dihitung dari kelembaban relatif dengan persamaan Murray (1966).

$$P_w = RH \times P_{ws} \dots \dots \dots (2.5)$$

$$P_w = RH \times 6.1078 \times \exp^{17.269388(T-273.16)/(T-35.86)} \quad (2.6)$$

Tekanan uap air dapat juga diperoleh dari pengolahan *dewpoint temperature* (temperatur titik embun) (Veisala 2013)

$$Td = \frac{Tn}{\left[\frac{m}{10^{\log(\frac{Pw}{A})}} - 1 \right]} \dots \dots \dots (2.7)$$

Dimana,

Td = Temperatur titik embun (°C)

Tn, m, dan A adalah konstanta seperti yang ditampilkan pada Tabel 2.1

Tabel 2. 1 Konstanta untuk Persamaan 2.7

Wujud	A	m	Tn	Error maks	Temperatur
es	6.114742	9.778707	273.1466	0.05%	-70 s.d. 0°C
cair	6.116441	7.591386	240.7263	0.08%	-20 s.d. +50°C
cair	6.004918	7.337936	229.3975	0.02%	+50 s.d. +100°C

Untuk menentukan *Precipitable Water* (PW) dapat digunakan persamaan dari (Bevis dkk. 1992), yakni:

$$PW = II ZWD \dots \dots \dots (2.8)$$

Dimana II adalah konstanta non-dimensional dan dapat dinyatakan dengan,

$$II = \frac{10^6}{\rho R_v \left[\left(\frac{k_3}{T_m} \right) + k'_2 \right]} \dots \dots \dots (2.9)$$

Dengan ρ adalah densitas air dalam bentuk cair dan R_v adalah konstanta uap air dalam milibar ($R_v = 461.5181 \text{ kg/K}$).

Sedangkan $k'_2 = k_2 - mk_1$ dengan k_1, k_2, k_3 adalah besaran-besaran yang telah diketahui untuk menghitung refraktivitas atmosfer. Untuk T_m yang merupakan temperatur rata-rata dari troposfer, yang dapat dimodelkan dari suhu permukaan (T_0) dan dapat diestimasi melalui persamaan Bevis.

$$T_m = 50.40 + 0.789T_0 \dots \dots \dots (2.10)$$

Apabila PW dikalikan dengan densitas uap air ($\rho = 10^3 \text{ kg/m}^3$) maka didapatkan TCWV (*Total Column Water Vapor*) dalam besaran kg/m^2 .

$$PW = TCWV/\rho \dots \dots \dots (2.11)$$

2.4 Fungsi Pemetaan

Penundaan yang terjadi di troposfer dari satelit ke *receiver* masih terpengaruhi oleh sudut miring (*Slant Tropospheric Delay*). Untuk itu diperlukan perubahan arah sudut miring ke arah sudut *zenith* dengan menggunakan *Mapping Function* atau fungsi pemetaan. Dikenal beberapa fungsi pemetaan, salah satunya adalah fungsi pemetaan Neill (Neill 1996) yang bergantung pada lintang dari lokasi ($^\circ$), tinggi di atas permukaan laut (km), *day of year (doy)*, dan tidak terpengaruh oleh temperatur, tekanan, dan kelembaban pada stasiun. Persamaan fungsi pemetaan Neill dapat dituliskan sebagai berikut:

$$mf(el) = \frac{1 + \frac{a}{b}}{1 + \frac{1+c}{a}} \dots \dots \dots (2.12)$$

$$\sin el + \frac{b}{\sin el + \frac{b}{\sin el + c}}$$

Koefisien a,b,c dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan :

$$kofef(\varphi, doy) = kofef_{rata-rata}(\varphi) - kofef_{amp}(\varphi) \cos(2\pi \frac{doy - doy_w}{365,25}) \dots \dots (2.13)$$

Fase (doy_w) didefinisikan dengan $doy = 28$ untuk lintang Utara dan $doy = 211$ untuk lintang Selatan. *Koef* merupakan nilai a,b, dan c dan dapat diinterpolasi dari tabel 2.1

Tabel 2. 2 Koefisien Neill Mapping Function (Neill 1996)

Koef	$\varphi = 15^\circ$	$\varphi = 30^\circ$	$\varphi = 45^\circ$
$a_{rata-rata}$	$1,276993333 \times 10^{-4}$	$1,2683230 \times 10^{-1}$	$1,2465397 \times 10^{-3}$
$b_{rata-rata}$	$2,9153695 \times 10^{-3}$	$2,9152299 \times 10^{-3}$	$2,9288445 \times 10^{-3}$
$c_{rata-rata}$	$62,610505 \times 10^{-3}$	$62,837393 \times 10^{-3}$	$63,721774 \times 10^{-3}$

a_{amp}	0	$1,2709626 \times 10^{-5}$	$2,6523662 \times 10^{-5}$
b_{amp}	0	$2,1414979 \times 10^{-5}$	$3,0160779 \times 10^{-5}$
c_{amp}	0	$9,0128400 \times 10^{-5}$	$4,3497037 \times 10^{-5}$

Koef	$\varphi = 60^\circ$	$\varphi = 75^\circ$
$a_{rata-rata}$	$1,2196049 \times 10^{-3}$	$1,2045996 \times 10^{-3}$
$b_{rata-rata}$	$2,9022565 \times 10^{-3}$	$2,9024912 \times 10^{-4}$
$c_{rata-rata}$	$63,824265 \times 10^{-3}$	$64,258455 \times 10^{-3}$
a_{amp}	$3,4000452 \times 10^{-5}$	$4,1202191 \times 10^{-5}$
b_{amp}	$7,2562722 \times 10^{-5}$	$11,723375 \times 10^{-5}$
c_{amp}	$84,795348 \times 10^{-5}$	$170,37206 \times 10^{-5}$

2.5 ERA-Interim

European Center for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF) menyediakan data re-analisis atmosfer global bernama data ERA-Interim yang tersedia dari tahun 1979 hingga sekarang, diproduksi dengan menggunakan model prediksi cuaca numerik (*Numerical Weather Prediction (NWP) Model*) (Dee dkk., 2011). Resolusi horizontal dari ERA-Interim adalah $0.75^\circ \times 0.75^\circ$, dengan resolusi temporal 6 jam. Pada penelitian yang dilakukan oleh Namaoui, 2017, estimasi nilai PW diinterpolasi dari 4 titik grid yang mengelilingi stasiun GPS, dibobotkan dengan metode *inverse distance* ke stasiun GPS, dan dikoreksi perbedaan *altitude*-nya dari permukaan grid dan stasiun GPS. Untuk perhitungan T_m , integrasi dimulai dari tinggi stasiun GPS, atau parameter meteorologi di ekstrapolasi dari tinggi permukaan grid sampai tinggi stasiun GPS.

2.6 GIPSY-OASIS

GIPSY-OASIS atau GIPSY atau *GNSS-Inferred Positioning System and Orbit Analysis Simulation Software* merupakan perangkat lunak yang dikembangkan dan dikelola oleh Near Earth Tracking Applications and Systems groups. GIPSY dapat melakukan analisis data dari Sistem Navigasi Satelit Global (GNSS) diantaranya GPS, GLONASS milik

Rusia, DORIS milik Prancis, dan sistem SLR (Satellite Laser Ranging). Aplikasi GIPSY mampu mengolah data untuk mendapatkan penentuan posisi dan waktu berbasis GNSS dengan akurasi tingkat cm. Penentuan posisi terestrial ini selanjutnya dapat digunakan untuk penelitian geofisika seperti deformasi bumi dan lempeng tektonik. Selain itu, GIPSY mampu melakukan analisis aliran es, studi iklim melalui pengamatan troposfer dan ionosfer, kerangka referensi dan parameter rotasi Bumi, penentuan posisi pesawat, dan penentuan orbit satelit seperti Topex/Poseidon, Jason-1, Jason-2/OSTM, GRACE, Champ, dan lain-lain.

2.7 Regresi Linear

Analisis regresi adalah sebuah teknik statistika untuk menginvestigasi dan memodelkan hubungan antara variabel-variabel. Dalam analisis regresi juga dikenal grafik “*scatter diagram*”. Grafik ini dapat secara jelas menampilkan hubungan antara variabel x dan variabel y . Apabila y merupakan suatu variabel atau nilai dan x merupakan variabel lain, misalnya waktu, maka persamaan dari garis lurus yang menghubungkan dua variabel ini adalah

$$y = \beta_0 + \beta_1 x \dots \dots \dots (2.14)$$

Dimana β_0 adalah perpotongan dan β_1 merupakan kemiringan. Karena titik-titik data tidak jatuh tepat pada garis lurus, maka persamaan (2.14) harus dimodifikasi. Apabila persimpangan antara nilai pengamatan y dan garis lurus ($\beta_0 + \beta_1 x$) adalah *error* ε . Mudah untuk berpikir bahwa ε merupakan kesalahan statistic, yaitu variabel acak yang terhitung kegagalan model untuk sesuai dengan data secara tepat.

$$y = \beta_0 + \beta_1 x + \varepsilon \dots \dots \dots (2.15)$$

Persamaan (2.15) disebut model regresi linear. Biasanya, x disebut variabel independen, predictor, atau regressor dan

y disebut variabel dependen atau respon (Montgomery 2012).

2.8 Korelasi

Korelasi dapat digambarkan sebagai tingkat hubungan antara dua variabel, sedangkan regresi menyatakan bentuk hubungan antara nilai-nilai yang ditentukan dari satu variabel (variabel independen, eksogen, pembawa atau prediktor) dan rata-rata dari semua nilai yang sesuai dari variabel. kedua (variabel dependen, hasil, variabel respons, variabel yang dijelaskan) (Asuero dkk 2006)

Pearson (Product-Moment) korelasi r dikembangkan oleh Pearson (1896) yang pertama kali memperkenalkan konsep korelasi. Faktanya, grafik korelasi, juga dikenal sebagai diagram pencar (*scatter*). Sedangkan koefisien korelasi menunjukkan tingkat korelasi secara kuantitatif sehingga dapat ditentukan kelasnya seperti yang ditunjukkan pada tabel 2.3 (Asuero dkk 2006).

$$r_{xy} = \frac{\sum(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum(x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum(y_i - \bar{y})^2}} = \frac{S_{xy}}{\sqrt{S_{xx}S_{yy}}} \dots \dots \dots (2.16)$$

Tabel 2. 3 Kekuatan Korelasi

Nilai r	Interpretasi
0.90 sampai 1.00	Korelasi sangat tinggi
0.70 sampai 1.89	Korelasi tinggi
0.50 sampai 0.69	Korelasi sedang
0.30 sampai 0.49	Korelasi rendah
0.00 sampai 0.29	Korelasi sedikit jika ada

2.9 Inverse Distance Weighting

Inverse Distance Weighting didasarkan pada asumsi bahwa nilai-nilai terdekat berkontribusi lebih besar pada nilai-nilai yang diinterpolasi daripada pengamatan pada titik yang lebih jauh. Dengan kata lain, untuk metode ini pengaruh data dari titik yang diketahui berbanding terbalik dengan jarak ke

lokasi yang tidak diketahui. Keuntungan IDW adalah metode interpolasi ini intuitif dan efisien. Interpolasi ini berfungsi paling baik dengan titik-titik yang didistribusikan secara merata

Bentuk paling sederhana dari interpolasi IDW disebut, metode Shepard [4] dan menggunakan fungsi bobot yang diberikan pada persamaan sebagai berikut.

$$w_i = \frac{h_i^p}{\sum_{j=0}^n h_j^p} \dots\dots\dots(2.17)$$

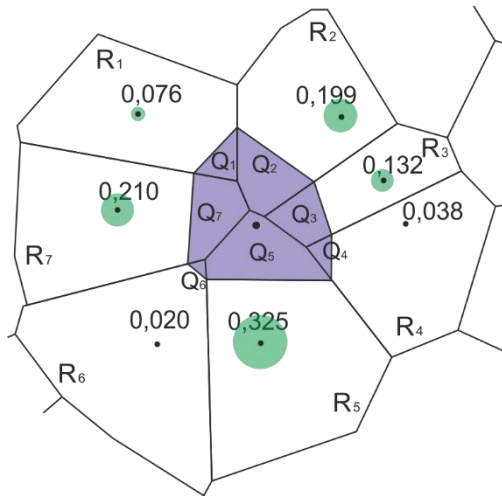
Dimana p adalah bilangan real positif yang disebut parameter daya (umumnya p=2) dan h_j adalah jarak dari titik dispersi ke titik interpolasi (Azpurua dan Dos Ramos 2010)

2.10 Natural Neighbor Interpolation

Algoritma *Natural Neighbor* telah dikembangkan pada 1981 oleh Robin Sibson (Sibson 1981). Data yang dimasukkan untuk algoritma adalah sekumpulan titik-titik $\{(x_i, y_i)_{i=0}^N\}$ dengan beberapa nilai fungsi f, yang ditentukan pada titik-titik ini $\{f(x_i, y_i)_{i=0}^N\}$. Konsep dari algoritma ini adalah untuk menghitung diagram Voronoi untuk semua titik awal (x_i, y_i) , lalu selanjutnya menambahkan setiap titik yang akan diinterpolasi. Nilai dari $G(x, y)$, yang didistribusikan ke titik interpolasi, tergantung dari seberapa banyak area dari elemen diagram awal yang “diambil” dari wilayah titik tambahan yang baru.

$$G(x, y) = \sum_{i=1}^N w_i f(x_i, y_i) \dots\dots\dots(2.18)$$

Pada persamaan diatas $f(x_i, y_i)$ adalah nilai pengamatan pada titik (x_i, y_i) , $w_i = \frac{Q_k}{R_k}$ adalah perbandingan dari area yang “diambil”. R_k adalah area dari elemen diagram Voronoi awal untuk titik P_k . Sedangkan Q_k adalah area perpotongan dari R_k dan elemen yang baru dibuat dari titik (x, y) (Tsidaev 2016).



Gambar 2. 6 Interpolasi *Natural Neighbor*. Bulatan berwarna menggambarkan bobot interpolasi (w_i) (Tsidaev 2016)

2.11 Penelitian Sebelumnya

Penelitian sebelumnya oleh Bamahry (2012), mengamati kandungan uap air di atmosfer dengan memanfaatkan hitungan estimasi perlambatan dan pembelokan sinyal GPS di lapisan troposfer dan menggunakan 8 (delapan) stasiun GPS CORS Badan Informasi Geospasial (BIG) untuk mengestimasi kandungan uap air di sekitar wilayah lokasi penelitian, yaitu Tuban, Lamongan, Mojokerto, Surabaya, Nganjuk, Malang, Pasuruan, dan Sampang. Penelitian ini menghasilkan plotting grafik variasi temporal dengan rerata kandungan uap air pada musim kemarau berada antara 20-45 mm, sedangkan pada musim hujan berada antara 45-65 mm, bulan terkering pada tahun 2012 adalah bulan Agustus, dan bulan terbasah pada tahun 2012 adalah bulan Januari.

Penelitian terkait estimasi *precipitable water vapor* melalui pengukuran GPS dengan studi kasus selain Indonesia, salah satunya dilakukan oleh Fernandez dkk. (2010) yaitu dengan menggunakan 4 GPS CORS di Argentina (Buenos

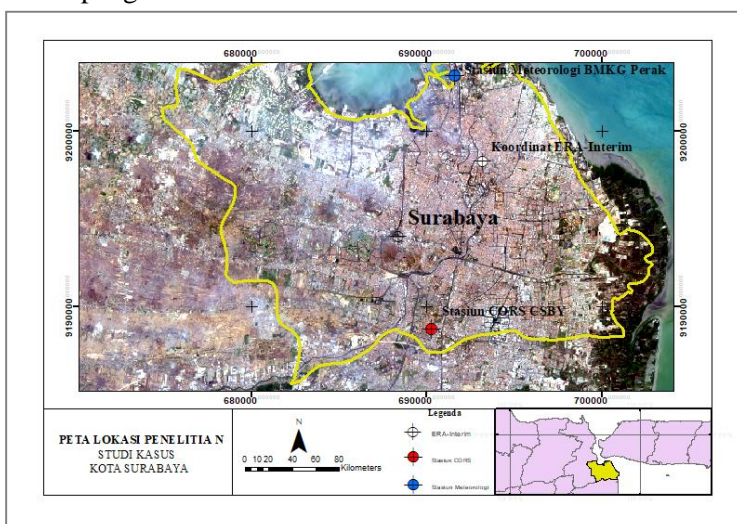
Aires, Cordoba Rosario, dan Salta). Pengamatan dilakukan selama satu tahun (2006-2007). Tujuannya adalah untuk menganalisis kecenderungan estimasi PWV GPS menggunakan nilai temperatur rata-rata troposfer (T_m) dari model Bevis, model Sapucci, dan yang diperoleh dari variabel-variabel integrasi numerik yang disediakan oleh *National Centre of Enviromental Prediction* (NCEP). Dari analisis hasil, diketahui bahwa perhitungan PWV dari GPS menggunakan T_m dari model Bevis menunjukkan kecenderungan yang sama dengan model Sapucci di bawah 0.5 mm. Perbedaan antara nilai T_m yang dihitung dari model Sapucci dan integrasi numerik dari NCEP sekitar 15K, meskipun hal ini tidak menunjukkan kesalahan yang signifikan dalam estimasi PWV.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian ini terletak pada Kota Surabaya, Jawa Timur dengan tiga lokasi penelitian, yaitu di stasiun CORS CSBY, stasiun meteorologi Kelas II Maritim Perak II – Surabaya, dan koordinat 7°15' LS dan 112°45' BT untuk lokasi pengambilan data ERA-Interim.



Gambar 3. 1. Lokasi Penelitian
(Sumber : penulis)

Koordinat ketiga lokasi penelitian adalah sebagai berikut.

Tabel 3. 1 Koordinat Lokasi Penelitian

Titik	<i>Longitude</i>	<i>Latitude</i>	Alamat
CSBY	112°43'25,63"BT	7°20'4,64"LS	Jalan Gayungsari I No. 19, Gayungan,

			Kec. Gayungan, Surabaya
Perak	112°44'7,19"BT	7°12'19,9"LS	Jalan Kalimas Baru No. 97B, Perak Utara, Pabean Cantian, Surabaya
ERA- Interim	112°45'00"BT	7°15'00"LS	Jalan Kusuma Bangsa, Tambaksari, Surabaya
Surabaya	112°42'20.53"BT	7°17'19.40"LS	Jalan Bundaran Satelit, Putat Gede, Kec.Sukomanunggal, Surabaya

3.2 Alat dan Bahan

Bagian ini menjelaskan mengenai data dan peralatan yang akan digunakan dalam melaksanakan penelitian.

3.2.1 Peralatan

Peralatan yang dibutuhkan dalam penelitian ini terdiri dari beberapa perangkat keras dan lunak:

- a. Perangkat Keras
 - Satu Perangkat Komputer.
- b. Perangkat Lunak
 - Perangkat lunak GIPSY/OASIS.
 - Perangkat lunak MATLAB
 - Perangkat lunak pengolah SIG
 - Notepad++
 - *Microsoft Office* Lisensi ITS.

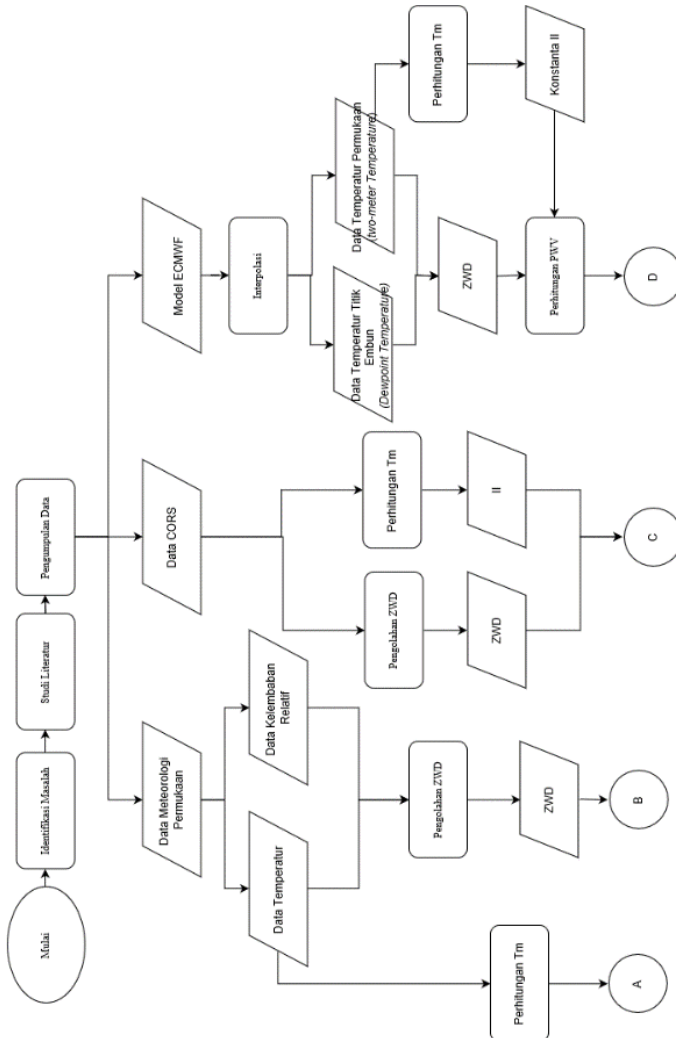
3.2.2 Data

Pada penelitian ini, dibutuhkan beberapa data untuk menunjang pelaksanaan penelitian. Berikut adalah data yang dibutuhkan dalam penelitian ini:

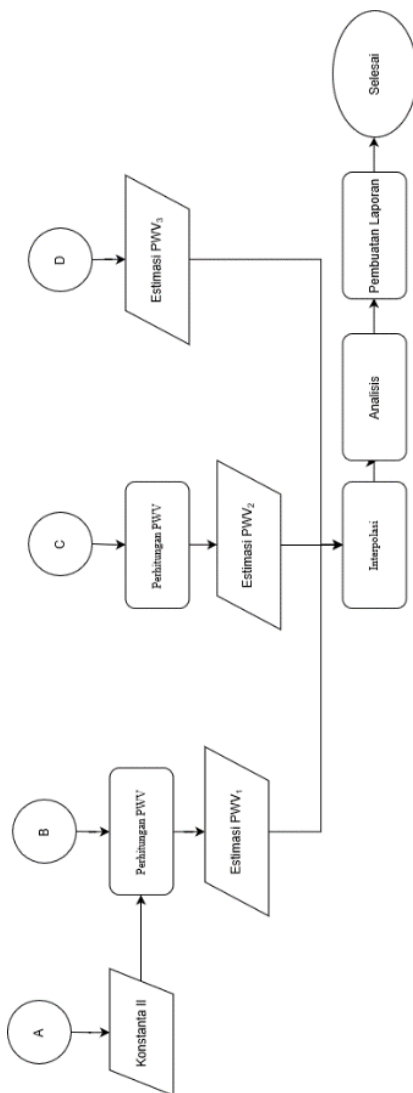
- Data GPS CORS CSBY (Rinex Observasi dan Meteorologi) Januari 2016-Desember 2016.
- Data Temperatur Permukaan dan Kelembaban Relatif dari stasiun meteorologi Kelas II Maritim Perak II – Surabaya Januari 2016-Desember 2016.
- Data Temperatur Permukaan (*two-meter Temperature*) dan data temperatur titik embun udara (*two-meter dewpoint temperature*) pada koordinat 7°15' LS dan 112°45' BT dari data ERA-Interim Model ECMWF Januari 2016-Desember 2016.

3.3 Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian tugas akhir ini yang direncanakan adalah sebagai berikut :



Gambar 3. 2 Diagram Alir Penelitian Bagian 1



Gambar 3. 3 Diagram Alir Penelitian Bagian 2

Berikut ini adalah penjelasan dari tahapan diagram alir penelitian di atas:

- a. Identifikasi Masalah
Pada tahap ini dilakukan identifikasi awal mengenai kasus yang akan diteliti, baik pada perumusan masalah, tujuan dan manfaat dari Analisis Perbandingan Estimasi Kandungan Uap Air Menggunakan Data Meteorologi Permukaan, ERA-Interim, dan *Global Positioning System*.
- b. Studi Literatur
Studi literature berupa pengumpulan referensi yang akan menunjang langkah-langkah pengolahan sampai pada analisis dan penyajian data, diantaranya meliputi perhitungan ZTD, ZHD, ZWD, mengekstraksi data RINEX, data meteorologi dan ERA-Interim. Selain itu, juga terkait perbandingan dan korelasi data.
- c. Pengumpulan Data
Pengumpulan data bertujuan untuk mengumpulkan data yakni, data CORS dan pengamatan meteorologis pada GPS CORS, serta data ERA-Interim yang dibutuhkan.
- d. Data CORS
Merupakan data posisi yang ditentukan terdiri dari 4 (empat) dimensi yaitu, garis bujur, garis lintang, ketinggian, dan waktu. Data CORS pada GPS CORS CSBY terdiri atas RINEX Meteorologi, RINEX Navigasi, dan RINEX Observasi. Untuk GPS CORS CSBY membutuhkan data dari Januari 2016-Desember 2016
- e. Data Meteorologi Permukaan
Data meteorologi permukaan merupakan data pengamatan temperatur dan kelembabab relatif pada Stasiun Meteorologi Perak Januari 2016 hingga

Desember 2016.

f. Data ERA-Interim

Data ERA-Interim dari model ECMWF yang dibutuhkan adalah data temperatur permukaan (*two-meter temperature*) dan temperatur titik embun (*dewpoint temperature*). Data yang diunduh adalah pada waktu yang sama dengan data meteorologi permukaan dan data RINEX dari CORS CSBY.

g. Perhitungan ZWD (*Zenith Wet Delay*)

ZWD didapatkan dari pengolahan RINEX Observasi CORS CSBY menggunakan *software* GIPSY. Sedangkan untuk data dari Perak dan ERA-Interim menggunakan persamaan dari Smith dan Weintraub (1953) dan diolah menggunakan perangkat lunak MATLAB.

h. Perhitungan Konstanta II

Konstanta II didapatkan melalui persamaan Bevis dkk (1992) menggunakan data temperatur. Konstanta II digunakan untuk mengkonversi *Zenith Wet Delay* menjadi *Precipitable Water Vapor*. Pada tahap ini, digunakan perangkat lunak Matlab

i. Interpolasi

Interpolasi dilakukan untuk mengetahui pola dan kesesuaian dari ketiga hasil terhadap satu sama lain. Interpolasi dilakukan dari Perak dan ERA-Interim ke CSBY menggunakan interpolasi *Inverse Distance Weighting*. Serta menggunakan *Natural Neighbor Interpolation* ke koordinat Surabaya ($7^{\circ}15'55''\text{LS}$ dan $112^{\circ}44'33''\text{BT}$)

j. Analisis Korelasi Perbandingan

Pada tahap ini dilakukan korelasi perbandingan hasil Estimasi *Precipitable Water Vapor* dengan sumber data meteorologis permukaan, data ERA-Interim dari model

ECMWF, dan GPS. Metode analisis korelasi perbandingan yang digunakan adalah scatter plot dan perhitungan koefisien korelasi dari ketiga data setelah di interpolasi

k. Tahap Akhir

Hasil akhir yang didapatkan dari Estimasi *Precipitable Water Vapor* akan disajikan dalam bentuk grafik serta dalam bentuk laporan tugas akhir sesuai dengan sistematika dan aturan yang sudah ditetapkan.

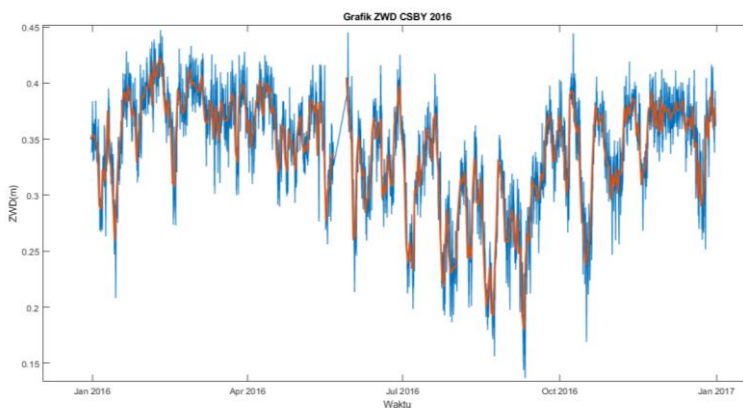
BAB IV HASIL DAN ANALISIS

4.1 Hasil

Hasil dari penelitian yang dilakukan meliputi hasil *Zenith Wet Delay* dari pengolahan RINEX Observasi CSBY menggunakan software GIPSY dan *Zenith Wet Delay* dari data meteorologi Perak dan model ERA-Interim. Setelah ZWD didapat lalu dilakukan perhitungan untuk mendapatkan *Precipitable Water Vapor*.

4.1.1 Hasil *Zenith Wet Delay* CORS CSBY

Hasil pengolahan *Zenith Wet Delay* dari RINEX Observasi (*o) CORS CSBY adalah sebagai berikut. Warna merah menunjukkan rata-rata harian dari pengolahan.



Gambar 4. 1 *Zenith Wet Delay* CSBY 2016

Secara lebih jelasnya, hasil dari pengolahan *Zenith Wet Delay* dari RINEX Observasi (*o) CORS CSBY ditampilkan pada Tabel 4.1. Pada tabel menunjukkan bahwa rata-rata bulanan, tertinggi adalah pada Bulan Februari 2016 dengan

rata-rata 0,387 m dan terendah pada Bulan Agustus 2016 dengan rata-rata 0,275 m.

Tabel 4. 1 Hasil Pengolahan ZWD CORS CSBY 2016

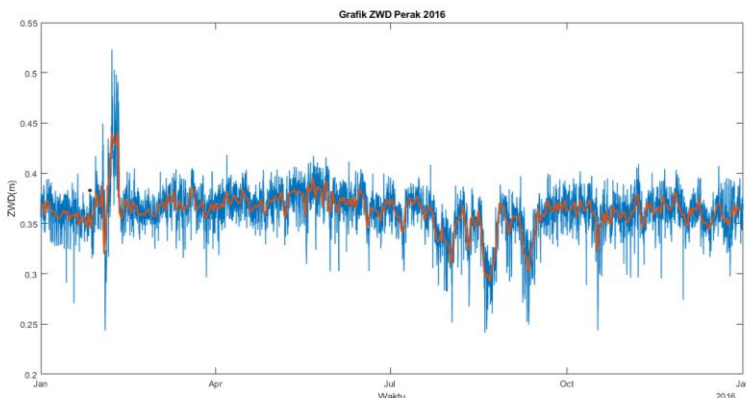
<i>Zenith Wet Delay CORS CSBY(m)</i>				
	Maksimum	Minimum	Rata-Rata	Standar Deviasi
Jan	0,424	0,209	0,347	0,039
Feb	0,447	0,276	0,387	0,031
Mar	0,426	0,302	0,376	0,024
Apr	0,423	0,292	0,361	0,028
Mei	0,439	0,258	0,353	0,034
Jun	0,420	0,214	0,331	0,038
Jul	0,405	0,189	0,293	0,052
Agu	0,358	0,159	0,275	0,045
Sep	0,400	0,138	0,297	0,052
Oct	0,442	0,172	0,332	0,047
Nov	0,413	0,257	0,354	0,031
Des	0,414	0,253	0,360	0,031

= rata-rata bulanan tertinggi

= rata-rata bulanan terendah

4.1.2 Hasil *Zenith Wet Delay* Perak

Hasil perhitungan *Zenith Wet Delay* dari data temperatur dan kelembaban relatif stasiun meteorologi Perak adalah sebagai berikut. Warna merah menunjukkan rata-rata harian dari perhitungan.



Gambar 4. 2 Zenith Wet Delay Perak 2016

Dari hasil perhitungan data meteorologi pada stasiun meteorologi Perak didapatkan rata-rata bulanan tertinggi pada Bulan Mei 2016 dengan rata-rata 0,378 m dan terendah pada Bulan Agustus 2016 dengan rata-rata 0,339 m. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4. 2 Hasil perhitungan ZWD Perak 2016

<i>Zenith Wet Delay Perak 2016</i>				
	Maksimum	Minimum	Rata-Rata	Standar Deviasi
Jan	0,417	0,271	0,360	0,015
Feb	0,523	0,244	0,374	0,034
Mar	0,405	0,297	0,368	0,015
Apr	0,418	0,318	0,371	0,013
Mei	0,417	0,302	0,378	0,017
Jun	0,412	0,302	0,368	0,015
Jul	0,408	0,282	0,357	0,019
Agu	0,389	0,241	0,339	0,028

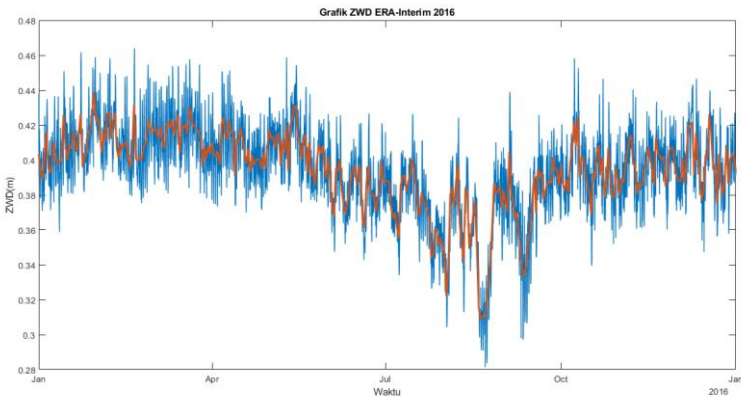
Sep	0,400	0,250	0,351	0,025
Oct	0,402	0,244	0,360	0,018
Nov	0,409	0,274	0,365	0,017
Des	0,407	0,297	0,358	0,016

= rata-rata bulanan tertinggi

= rata-rata bulanan terendah

4.1.3 Hasil Zenith Wet Delay ERA-Interim

Hasil perhitungan *Zenith Wet Delay* dari data temperatur dan temperatur titik embun ERA-Interim pada koordinat 7°15' LS dan 112°45' BT adalah sebagai berikut. Warna merah menunjukkan rata-rata harian dari perhitungan



.Gambar 4. 3 *Zenith Wet Delay* ERA-Interim 2016

Hasil yang didapatkan pada data yang diunduh dari ERA-Interim, rata-rata bulanan tertinggi pada Bulan Maret 2016 dengan rata-rata 0,415 m dan terendah pada Bulan Agustus 2016 dengan rata-rata 0,357 m. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel 4.3.

Tabel 4. 3 Hasil Perhitungan ZWD ERA-Interim 2016

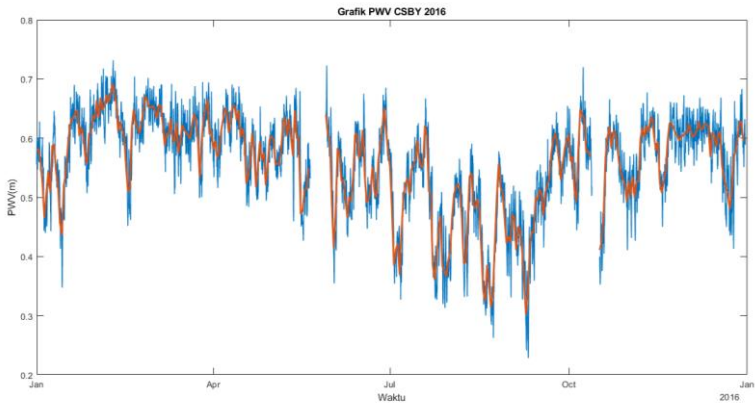
<i>Zenith Wet Delay ERA-Interim Data 2016</i>				
	Maksimum	Minimum	Rata-Rata	Standar Deviasi
Jan	0,462	0,359	0,408	0,018
Feb	0,464	0,375	0,412	0,017
Mar	0,458	0,377	0,415	0,017
Apr	0,451	0,370	0,406	0,016
Mei	0,459	0,373	0,408	0,017
Jun	0,427	0,343	0,385	0,017
Jul	0,426	0,326	0,374	0,019
Agu	0,424	0,281	0,357	0,030
Sep	0,439	0,297	0,376	0,025
Oct	0,458	0,339	0,395	0,018
Nov	0,440	0,360	0,397	0,017
Des	0,447	0,347	0,398	0,019

■ = rata-rata bulanan tertinggi

■ = rata-rata bulanan terendah

4.1.4 Hasil *Precipitable Water Vapor* CORS CSBY

Telah diketahui bahwa nilai *Precipitable Water Vapor* (PWV) didapatkan dari konversi ZWD menggunakan konstanta II sebagai konstanta pengali. Konstanta II didapatkan dari menghitung temperatur dengan persamaan Bevis dkk (1992). Untuk CORS CSBY, hasil dari perhitungan *Precipitable Water Vapor* adalah sebagai berikut.



Gambar 4. 4 *Precipitable Water Vapor CSBY 2016*

Rata-rata bulanan untuk kandungan uap air menghasilkan kesimpulan yang sama dengan ZWD dari CORS CSBY, yakni tertinggi pada Bulan Februari 2016 (0,633 mm) dan terendah pada Bulan Agustus 2016 (0,450 mm).

Tabel 4. 4 Hasil Perhitungan PWV CORS CSBY 2016

<i>Precipitable Water Vapor CSBY 2016 (mm)</i>				
	Maksimum	Minimum	Rata-Rata	Standar Deviasi
Jan	0,690	0,347	0,570	0,063
Feb	0,732	0,452	0,633	0,050
Mar	0,695	0,499	0,617	0,039
Apr	0,691	0,484	0,593	0,046
Mei	0,723	0,427	0,580	0,056
Jun	0,685	0,354	0,542	0,061
Jul	0,667	0,313	0,480	0,085
Agu	0,591	0,262	0,450	0,073
Sep	0,655	0,228	0,487	0,085

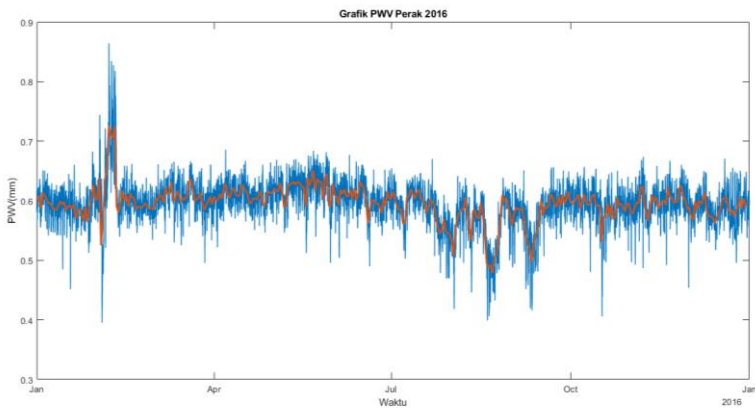
Oct	0,720	0,352	0,559	0,066
Nov	0,677	0,427	0,580	0,050
Des	0,683	0,413	0,589	0,051

■ = rata-rata bulanan tertinggi

■ = rata-rata bulanan terendah

4.1.5 Hasil *Precipitable Water Vapor* Perak

Sedangkan hasil PWV dari stasiun meteorologi Perak adalah sebagai berikut



Gambar 4. 5 *Precipitable Water Vapor* Perak 2016

Dari rata-rata bulanan dihasilkan kesimpulan yang sama dengan ZWD dari stasiun meteorologi Perak, yakni tertinggi pada bulan Mei 2016 (0,622 mm) dan terendah pada bulan Agustus 2016 (0,557 mm)

Tabel 4. 5 Hasil Perhitungan PWV Perak 2016

<i>Precipitable Water Vapor</i> Perak 2016 (mm)				
	Maksimum	Minimum	Rata-Rata	Stand. Deviasi
Jan	0,682	0,451	0,592	0,025

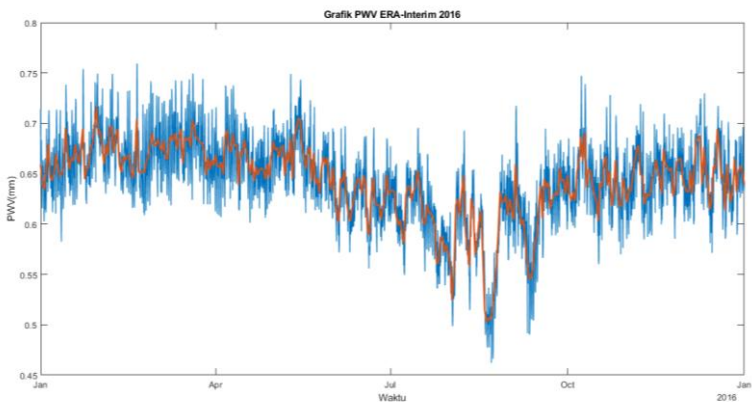
Feb	0,864	0,395	0,614	0,058
Mar	0,666	0,496	0,606	0,024
Apr	0,686	0,522	0,609	0,021
Mei	0,684	0,496	0,622	0,027
Jun	0,677	0,490	0,605	0,026
Jul	0,670	0,469	0,586	0,032
Agu	0,642	0,399	0,557	0,046
Sep	0,656	0,416	0,577	0,040
Oct	0,657	0,406	0,591	0,029
Nov	0,674	0,454	0,599	0,028
Des	0,671	0,496	0,588	0,027

 = rata-rata bulanan tertinggi

 = rata-rata bulanan terendah

4.1.6 Hasil *Precipitable Water Vapor* ERA-Interim

Hasil perhitungan PWV dari data ERA-Interim adalah sebagai berikut. Terlihat pada tabel 4.6 rata-rata PWV tertinggi pada bulan Maret 2016 dan terendah pada bulan Agustus 2016



Gambar 4. 6 *Precipitable Water Vapor* ERA-Interim 2016

Tabel 4. 6 Hasil Perhitungan PWV ERA-Interim 2016

<i>Precipitable Water Vapor</i> ERA-Interim 2016 (mm)				
	Maksimum	Minimum	Rata-Rata	Standar Deviasi
Jan	0,754	0,582	0,665	0,030
Feb	0,759	0,609	0,671	0,029
Mar	0,749	0,612	0,678	0,029
Apr	0,738	0,601	0,663	0,027
Mei	0,749	0,605	0,666	0,028
Jun	0,697	0,556	0,627	0,027
Jul	0,695	0,536	0,609	0,031
Agu	0,693	0,462	0,581	0,048
Sep	0,717	0,490	0,613	0,039
Oct	0,747	0,560	0,645	0,030
Nov	0,719	0,585	0,648	0,028
Des	0,730	0,571	0,650	0,030

= rata-rata bulanan tertinggi

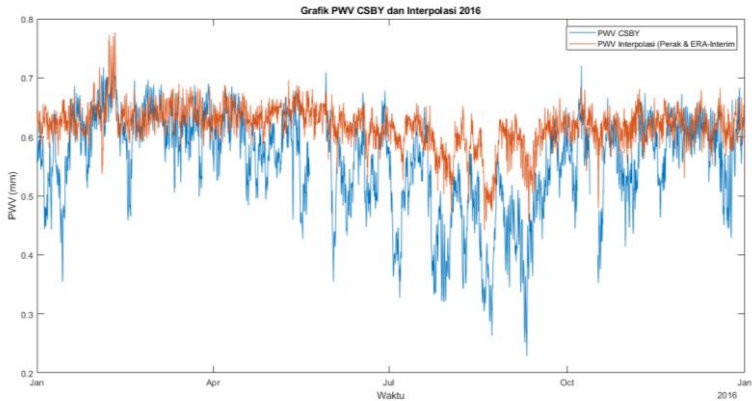
= rata-rata bulanan terendah

4.2 Analisis

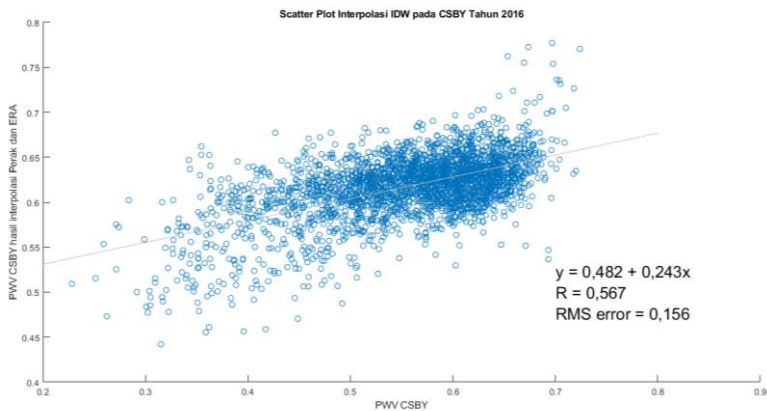
4.2.1 Analisis perbandingan PWV CORS CSBY dengan Interpolasi Perak dan ERA-Interim

Perbandingan *Precipitable Water Vapor* dari stasiun CORS CSBY dengan hasil interpolasi data meteorologi Perak dan ERA-Interim pada koordinat CSBY menggunakan interpolasi *Inverse Distance Weighting* memberikan pola yang bagus dan cenderung sama (Gambar 4.7). Korelasi antara keduanya berkekuatan sedang dengan koefisien

korelasi 0,567 dan RMS e 0,156 seperti yang ditampilkan pada gambar 4.8.



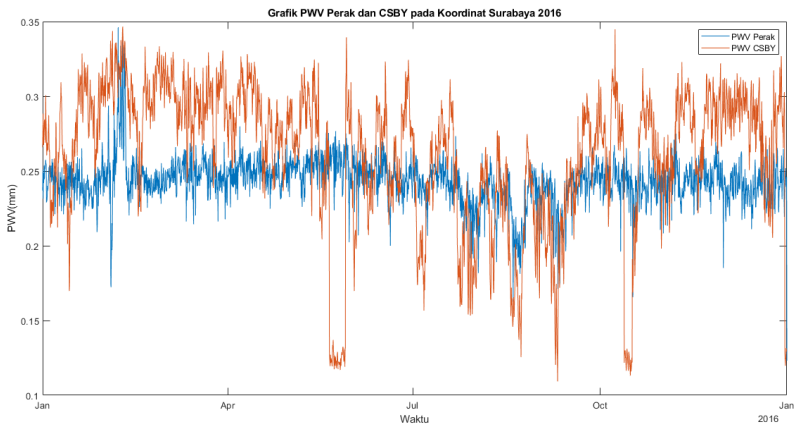
Gambar 4. 7 Grafik Perbandingan PWV CSBY dengan hasil interpolasi Perak dan ERA-Interim 2016



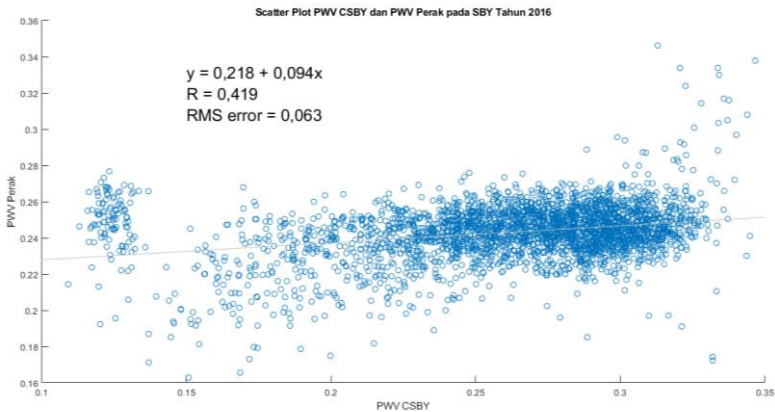
Gambar 4. 8 Korelasi PWV CSBY dengan PWV interpolasi Perak dan ERA-Interim 2016

4.2.2 Analisis perbandingan PWV CORS CSBY dengan Perak

Perbandingan *Precipitable Water Vapor* dari hasil interpolasi CSBY dengan hasil interpolasi data meteorologi Perak pada koordinat Surabaya menggunakan interpolasi *Natural Neighbor Interpolation* memberikan pola yang bagus dan cenderung sama (Gambar 4.9). Namun korelasi antara keduanya rendah dengan koefisien korelasi 0,419 dan RMS e 0,063 seperti yang ditampilkan pada gambar 4.10



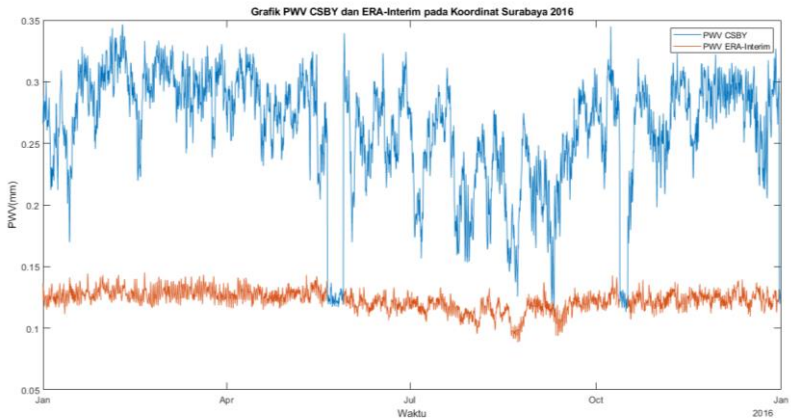
Gambar 4. 9 Hasil PWV dari Interpolasi CSBY dan interpolasi Perak pada koordinat Surabaya



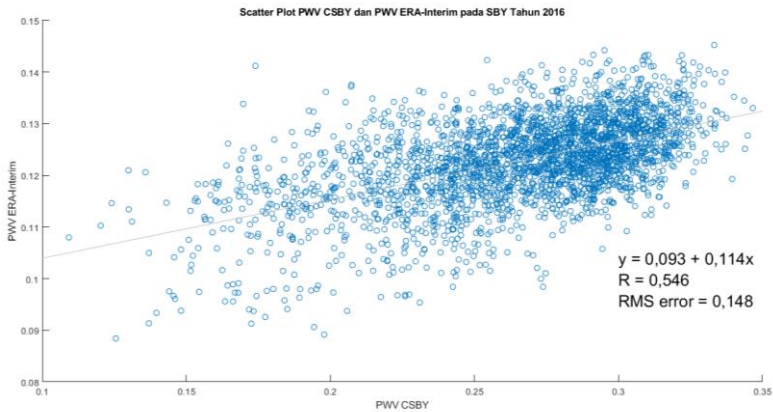
Gambar 4. 10 Korelasi PWV CSBY dan Perak pada Koordinat Surabaya

4.2.3 Analisis perbandingan PWV CORS CSBY dengan ERA-Interim

Perbandingan *Precipitable Water Vapor* dari hasil interpolasi CSBY dengan hasil interpolasi data meteorologi ERA-Interim pada koordinat Surabaya menggunakan interpolasi *Natural Neighbor Interpolation* memberikan pola yang tidak sama (Gambar 4.11). Namun korelasi antara keduanya berkekuatan sedang dengan koefisien korelasi 0,546 dan RMS e 0,148 seperti yang ditampilkan pada gambar 4.12



Gambar 4. 11 Hasil PWV dari Interpolasi CSBY dan interpolasi ERA-Interim pada koordinat Surabaya



Gambar 4. 12 Korelasi PWV CSBY dan ERA-Interim pada Koordinat Surabaya

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari penelitian ini dapat disimpulkan :

1. Estimasi *Precipitable Water Vapor* Januari 2016 – Desember 2016 yang dilakukan dari pengolahan GPS CORS CSBY, Stasiun Meteorologi Kelas II Maritim Perak II – Surabaya, dan koordinat 7°15' LS dan 112°45' BT menghasilkan nilai sebagai berikut.

Titik	Minimum	Maksimum	Rata-rata	Standar Deviasi
CSBY	0,228 mm	0,732 mm	0,556 mm	0,083 mm
Perak	0,395 mm	0,864 mm	0,595 mm	0,037 mm
ERA-Interim	0,462 mm	0,759 mm	0,643 mm	0,043 mm

Tabel 5. 1 Hasil Penelitian

2. Setelah dilakukan interpolasi dengan menggunakan *Inverse Distance Weighting* dan *Natural Neighbour Interpolation* didapatkan hubungan dari ketiga sumber data sebagai berikut

Interpolasi	Sumbu X	Sumbu Y	Koefisien Korelasi	Kekuatan Korelasi	RMSE
IDW	CSBY	Perak+ ERA-Interim	0,567	Sedang	0,156
Natural Neighbor	CSBY	Perak	0,419	Rendah	0,063

Natural Neighbor	CSBY	ERA-Interim	0,546	Sedang	0,148
------------------	------	-------------	-------	--------	-------

Tabel 5. 2 Analisis Korelasi Penelitian

5.2 Saran

Saran untuk penelitian yang akan dilakukan selanjutnya antara lain :

1. Diperlukan perbaikan metode dan strategi pengolahan GPS agar perkembangan *software* GPS sejalan dengan metode dan strategi yang tepat.
2. Sebaiknya menggunakan data meteorologi dan GPS lebih banyak agar interpolasi data meteorologi dapat dilakukan dengan data meteorologi sendiri dan data GPS dapat dilakukan interpolasi dengan data GPS sendiri dan rentang waktu penelitian dapat dilakukan lebih lama dan lebih luas.

DAFTAR PUSTAKA

- Abidin,H.Z. 2001. Geodesi Satelit. Jakarta: PT Pradnya Paramita
- Abidin,H.Z. 2006. Penentuan Posisi dengan GPS dan Aplikasinya. Jakarta: PT Pradnya Paramita
- Asuero, A.G., A. Sayago, dan A. G. Gonz´alez. 2006. “The Correlation Coefficient: An Overview”. Faculty of Pharmacy, The University of Seville, Seville 41012, Spain
- Azpuruua, M dan K. Dos Ramo. 2010. “A Comparison Of Spatial Interpolation Methods For Estimation Of Average Electromagnetic Field Magnitude”. Progress In Electromagnetics Research M, Vol. 14, 135–145
- Bakara, Jakondar. 2011. “Perkembangan Sistem Satelit Navigasi Global dan Aplikasinya”. Berita Dirgantara Vol. 12 No. 2 Juni 2011: 38-47, LAPAN, Jakarta.
- Bevis, Michael, Steven Businger, Thomas A. Herring, Christian Rocken, Richard A. Anthes, dan Randolph H. Ware. 1992. “GPS Meteorology: Remote Sensing of Atmospheri Water Vapor Using the Global Positioning System”. Journal of Geophysical Research, Vol. 97, No. D14:15787-15801.
- Bamahry, Fikri. 2013. “Studi Pemantauan Kandungan Uap Air Menggunakan Metode Inversi GPS”. Geoid: Journal of Geodesy and Geomatics Vol 9, No 1.
- Central Weather Bureau. 2019. The Atmosphere, <URL:<https://www.cwb.gov.tw/V7e/knowledge/encyclopedia/me006.htm>>. Dikunjungi pada tanggal 17 Januari 2019, jam 18.15
- Dee, D. P., and Coauthors. 2011. “The ERA-Interim reanalysis: Configuration and Performance of the Data Assimilation System”. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society. 137: 553–597
- Fernandes, M. Joana, Alexandra L. Nunes, Clara Lazaro. 2013. “Analysis and Inter-Calibration of Wet Path Delay Datasets

- to Compute the Wet Tropospheric Correction for CryoSat-2 over Ocean”. *Remote Sens*, Vol. 5:4977-5005.
- Fernandez, L.I., P. Salio, M.P. Natali, A.M. Meza. 2010. “Estimation of Precipitable Water Vapour from GPS Measurements in Argentina: Validation and Qualitative analysis of Result”. *Advances in Space Research* 46:879-894.
- Hofmann-Wellenhof, B., H. Lichtenegger, and J. Collins. 2001. “GPS, Theory, and Practice.” Springer-Verlag, Fifth edition, Wien, ISBN 3-211-82839-7:389
- Hopfield, H.S. 1969. “Two-quartic Tropospheric Refractivity Profile for Correction of Satellite Data”. *Journal of Geophysical Research*, Vol.74 No. 18:4487-4499.
- Montgomery, Douglas C., Elizabeth A. Peck, G. Geoffrey Vining, 2012. *Introduction to Linear Regression Analysis*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., Publication.
- Murray. 1966. “On the Computation of Saturation Vapour Pressure..”. *Bulletin Geodesique*, 107:13-34. E. H. Miller, *Journal of Applied Meteorology*, vol. 6, Issue 1, pp.203-204
- Namaoui, Houaria, Salem Kahlouche, Ahmed Hafid Belbachir, Roeland van Malderen, Hugues Brenot, and Eric Pottiaux. 2016. “GPS Water Vapor and Its Comparison with Radiosonde and ERA-Interim Data in Algeria”. *Adv. Atmos. Sci.*, 34(5):623-631.
- Niell, A.E. 1996. “Global Mapping Functions for the Atmospheric Delay at Radiowavelengths”. *J. Geophys. Res.* 101:3227-3246.
- NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration). 2019. *Continuously Operating Reference Station (CORS)*, <URL:<https://www.ngs.noaa.gov/CORS/>>. Dikunjungi pada tanggal 17 Januari 2019, jam 19.00
- Saastamoinen. 1973. “Contribution to the Theory of Atmospheric Refraction.”. *Bulletin Geodesique*, 107:13-34.

- Seeber, G. 2003. *Satellite Geodesy*. Berlin-New York: Walter de Gruyter.
- Sibson, R. 1981. A brief description of natural neighbor interpolation (Chapter 2). In V. Barnett. *Interpreting Multivariate Data*. Chichester: John Wiley. 21–36
- Smith, E. K., and S. Weintraub,. 1953. “The constants in the equation for atmospheric refractive index at radio frequencies”, *Proc. IRE*, 41, 1035-1037. Spilker
- Tsidaev, A. 2016. “Parallel algorithm for natural neighbor interpolation”. *CEUR Workshop Proceedings*, 1729, 78-83.
- Vaisala Oyj. 2013. *Humidity Conversion Formulas: Calculation formulas for humidity*. Helsinki: *Vaisala*

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BIODATA PENULIS



Penulis lahir di Kota Mojokerto, 18 Mei 1997 dan merupakan anak pertama dari pasangan Moch. Makhlis dan Herlina. Jenjang pendidikan penulis dimulai dari Taman Kanak-Kanak Cut Nyak Dien Kota Mojokerto, kemudian dilanjutkan dengan menempuh pendidikan dasar di SDN Mentikan IV Kota Mojokerto. Untuk jenjang sekolah menengah pertama ditempuh di SMPN 2 Kota Mojokerto dan dilanjutkan dengan menempuh pendidikan menengah atas di SMAN 1 Sooko Kabupaten

Mojokerto. Setelah lulus SMA pada tahun 2015, penulis melanjutkan studi dengan memilih Prodi S1 Departemen Teknik Geomatika Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Selama menjalani studi di Teknik Geomatika ITS, penulis aktif sebagai pemandu ITS, Konseptor Materi dan Metode pada acara GERIGI ITS 2017, Sekretaris Departemen Pengembangan Sumber Daya Mahasiswa Himpunan Mahasiswa Geomatika ITS 2017/2018. Penulis juga pernah mengikuti pelatihan diantaranya Pra LKMM TD FTSP 2015, LKMM TTD HIMAGE-ITS 2016, dan Pelatihan Pemandu LKMM FTSP 2016. Penulis pernah melakukan Kerja Praktik di Badan Pertanahan Negara Kantor Wilayah Jawa Timur.