



**TESIS - RG 142509**

**ANALISA PENENTUAN UNDULASI GEOID DENGAN METODE GRAVIMETRI  
(STUDI KASUS : KOTA SURABAYA)**

**Trini Noritha Martha Padama**

**3513201006**

**Pembimbing:**

**Dr. Ir. Muhammad Taufik**

**Ira Mutiara Anjasmara, ST., M.Phil.,Ph.D**

**PROGRAM MAGISTER  
BIDANG KEAHLIAN GEOMATIKA  
JURUSAN TEKNIK GEOMATIKA  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2016**



**TESIS - RG 142509**

**The Determination Analysis Of Geoid Undulation By Gravimetric Methodm (Study Case In Surabaya)**

**Trini Noritha Martha Padama**

**NRP 3513201006**

**Supervisor**

**Dr. Ir. Muhammad Taufik**

**Ira Mutiara Anjasmara, ST., M.PhiL.,Ph.D**

**MAGISTER PROGRAM  
GEOMATIC ENGINERRING DEPARTMENT  
FACULTY OF CIVIL ENGINEERING AND PLANNING  
SEPULUH NOPEMBER INSTUTUTE OF TECHNOLOGY  
SURABAYA  
201**

## LEMBAR PENGESAHAN TESIS

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh  
gelar  
**Magister Teknik (M.T.)**  
di  
**Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

oleh:

**Trini Noritha Martha Padama**  
**NRP. 3513201006**

**Tanggal Ujian: 18 Juli 2016**  
**Periode Wisuda: September 2016**

Disetujui oleh:



1. **Dr. Ir. Muhammad Taufik**  
**NIP. 195509191986031001**

(Pembimbing)



2. **Ira Mutiara Anjasmara, ST,M.Phil,Ph,D**  
**NIP. 197812312002122001**

(Pembimbing)



3. **M. Nur Cahyadi, ST,M.Sc,PhD**  
**NIP. 198112232005011002**

(Penguji)



**Direktur Program Pascasarjana,**

**Prof. Ir. Djauhar Manfaat, M.Sc., Ph.D.**  
**NIP. 1960120121987011001**

# **Analisa Penentuan Undulasi Geoid Dengan Metode Gravimetri**

## **(Studi Kasus : Kota Surabaya)**

**Nama Mahasiswa : Trini Noritha Martha Padama**

**NRP : 3513201006**

**Dosen Pembimbing : (1) Dr.Ir. Muhammad Taufik**

**(2) Ira Mutiara Anjasmara, ST, M.Phil, Ph.D**

### **Abstrak**

Surabaya merupakan suatu wilayah yang relarif rata dengan permukaan laut sehingga harus di lakukan pengamatan geoidnya. Sebagai ibukota Provinsi Jawa Timur Kota Surabaya terletak di tepi pantai utara Provinsi Jawa Timur atau tepatnya berada diantara  $7^{\circ} 9' - 7^{\circ} 21'$  Lintang Selatan dan  $112^{\circ} 36' - 112^{\circ} 54'$  Bujur Timur. Wilayahnya berbatasan dengan Selat Madura di sebelah Utara dan Timur, Kabupaten Sidoarjo di sebelah Selatan dan Kabupaten Gresik di sebelah Barat.

Geoid disebut sebagai model bumi yang mendekati sesungguhnya. Lebih jauh geoid dapat didefinisikan sebagai bidang ekipotensial yang berimpit dengan permukaan laut pada saat keadaan tenang dan tanpa gangguan, karena itu secara praktis geoid dianggap berhimpit dengan permukaan laut rata-rata (*Mean Sea Level-MSL*) [Kosasih, 2005].

Penentuan undulasi geoid dengan metode gravimetri didasarkan atas data anomali gaya berat hasil pengukuran gaya berat. Sedangkan penentuan undulasi geoid dengan metode astrogeodetik ditentukan dengan berdasarkan data komponen defleksi vertikal titik-titik di permukaan bumi.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai undulasi geoid yang berlokasi di kota Surabaya menggunakan metode gravimetri dengan memanfaatkan data pengukuran gaya berat yang bersifat lokal serta data model geopotensial global yaitu data EGM 2008.

**Kata kunci : Goid, Undulasi Geoid, Metode Gravimetri**

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

# **The Determination Analysis Of Geoid Undulation By Gravimetric Method (Study Case In Surabaya)**

**Name** : Trini Noritha Martha Padama  
**NRP** : 3513201006  
**Academic Adviser** : (1) DR.Ir. Muhammad Taufik  
(2) Ira Mutiara Anjasmara, ST, M.Phil, Ph

## **Abstract**

Surabaya is an area that relatively flat with sea level so it should be done the geoid observation. As a capital city of East Java Province, Surabaya city is located in northern coast side of the province at  $7^{\circ} 9' - 7^{\circ} 21' S$  and  $112^{\circ} 36' - 112^{\circ} 54' E$ . It borders Sunda Strait to its North and East, Sidoarjo Regency to its South and Gresik Regency to its West.

Geoid is representation of the physical earth model which it's relatively close to the real. Furthermore, geoid is defined as the equipotential field which coincides with the sea level when it is constant and undisturbed. Hence, practically geoid is considered to coincide with the mean sea level [Kosasih 2005].

The determination of geoid undulation by gravimetric method is based on gravity anomaly data of the measurement gravity results. While, the determination of geoid undulation by astrogeodetic method is based on vertical deflection points component data in earth's surface.

This research aims to find geoid undulation value at Surabaya city by using gravimetric method with utilized locally data of gravity measurement and global geopotential model data, namely EGM 2008 data.

*Key words : geoid, undulation geoid, gravimetric method.*

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***

## DAFTAR ISI

Halaman Judul	
Lembar Pengesahan .....	i
Lembar Pernyataan Keaslian Tesis .....	iii
Abstrak .....	v
Kata Pengantar .....	vii
Daftar Isi .....	ix
Daftar Tabel .....	xi
Daftar Gambar .....	xiii
<b>Bab I PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Perumusan Masalah .....	2
1.3 Batasan Masalah .....	2
1.4 Tujuan Penelitian .....	3
1.5 Manfaat Penelitian .....	3
<b>Bab II TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1 Teori Gaya Berat <i>Newton</i> .....	5
2.2 Koreksi Gaya Berat .....	6
2.2.1 Koreksi Apungan ( <i>Drift Correction</i> ) .....	6
2.2.2 Koreksi udara bebas ( <i>Free Air</i> ).....	7
2.2.3 Anomali Udara Bebas ( <i>Free Air</i> ).....	8
2.3 Perhitungan Undulasi Geoid.....	9
2.3.1 Fungsi <i>Stokes</i> .....	9
2.4 Geoid.....	9
2.5 Metode <i>Fast Fourier Transform</i> .....	11
2.6 Model geoid global .....	12
2.7 EGM 2008.....	13
2.8 Gravimeter .....	15



2.9	Penelitian Terdahulu .....	16
2.9.1	Pemodelan Geoid Lokal D.I. Yogyakarta Menggunakan Metode <i>Fast Fourier Transformation</i> dan <i>Least Square Collocation</i> .....	16
2.9.2	Penggunaan EGM2008, EGM1996 DAN GPS- <i>LEVELING</i> Untuk Tinggi Undulasi Geoid di Sulawesi.....	17
2.9.3	Pembuatan Peta Model Undulasi Lokal (Study Kasus : Kecamatan Rao,Kabupaten Pasaman-Sumatera Barat).....	17

### Bab III METODOLOGI PENELITIAN

3.1	Lokasi Penelitian .....	19
3.1.1	Dekripsi Daerah Penelitian .....	19
3.1.2	Titik Pengamatan .....	20
3.2	Persiapan Penelitian .....	32
3.3	Data dan Peralatan .....	32
3.3.1	Data Penelitian.....	32
3.3.2	Peralatan Penelitian.....	32
3.4	Tahapan Penelitian .....	33
3.5	Tahapan Pengolahan Data .....	36

### Bab IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1	Hasil dan Pembahasan Perhitungan Koreksi <i>Drift</i> .....	39
4.2	Hasil dan Pembahasan Perhitungan Gaya Berat Observasi .....	41
4.3	Hasil dan Pembahasan Perhitungan Gaya Berat Normal.....	43
4.4	Hasil dan Pembahasan Perhitungan Koreksi <i>Free Air</i> .....	44
4.5	Hasil dan Perhitungan Anomali <i>Free Air</i> .....	45
4.6	Hasil dan Pembahasan Perhitungan Undulasi Geoid Kota Surabaya .....	47
4.6.2	Hasil dan Pembahasan Perhitungan Kontribusi N1 EGM 2008 .....	47
4.6.3	Hasil dan Pembahasan Perhitungan Tinggi Geoid Data GPS.....	48
4.3	Hasil dan Pembahasan Perhitungan N2 Fungsi <i>Stokes</i> .....	48

## Bab V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan .....	53
5.2 Saran .....	54
Daftar Pustaka.....	55
Lampiran	
Biodata	

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Gambar 2.1 Ellipsoid, Geoid dan Tinggi Orthometrik.....	10
Gambar 2.2 Model EGM 2008.....	13
Gambar 2.3. Gravity meter jenis LaCoste & Romberg seri G – 1177 14.....	15
Gambar 2.4 Skema gravimeter LaCoste-Romberg (Reynolds, 1997).....	15
Gambar 3.1 Peta Sebaran Titik Pengamatan Gaya Berat Kota Surabaya .....	19
Gambar 3.2 Titik BM no 18 Pemerintah Kota Surabaya .....	21
Gambar 3.3 Titik BM no 20 Pemerintah Kota Surabaya .....	22
Gambar 3.4 Titik BM no 19 Pemerintah Kota Surabaya .....	23
Gambar 3.5 Titik BM no 15 Pemerintah Kota Surabaya .....	24
Gambar 3.6 Titik BM no 14 Pemerintah Kota Surabaya .....	25
Gambar 3.7 Titik BM no 07 Pemerintah Kota Surabaya .....	26
Gambar 3.8 Titik BM no 06 Pemerintah Kota Surabaya .....	27
Gambar 3.9 Titik BM no 04 Pemerintah Kota Surabaya .....	28
Gambar 3.10 Titik BM no 08 Pemerintah Kota Surabaya .....	29
Gambar 3.11 Titik BM no 08 Pemerintah Kota Surabaya .....	30
Gambar 3.12 Dokumentasi Kegiatan Pengukuran .....	31
Gambar 3.13 Diagram Alir Metode Penelitian .....	33
Gambar 3.14 Diagram Alir Tahapan Pegolahan Data .....	34

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Hasil Konversi Data Pengukuran Gaya Berat .....	39
Tabel 4.2 Hasil Perhitungan Koreksi <i>Drift</i> .....	41
Tabel 4.3 Hasil Perhitungan Gaya Berat Observasi .....	42
Tabel 4.4 Hasil Perhitungan Gaya Berat Normal Setiap Titik .....	44
Tabel 4.5 Perhitungan Koreksi Gaya Berat Free Air .....	45
Tabel 4.6 Anomali Gaya Berat Free Air .....	46
Tabel 4.7 Nilai Tinggi Geoid Data EGM 2008 .....	47
Tabel 4.8 Hasil Perhitungan Tinggi Geoid Data GPS .....	48
Tabel 4.8 Hasil Perhitungan N2 Fungsi <i>Stokes</i> .....	49
Tabel 4.10 Perbandingan Selisih Nilai Undulasi Geoid Kota Surabaya .....	51

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Bidang sains pengukuran dan pemetaan permukaan Bumi merupakan bagian yang tidak bisa terlepas dari ilmu geodesi [Torge, 1980] Termasuk didalamnya adalah bagaimana menentukan bentuk dan ukuran bumi serta medan gaya berat bumi. Bentuk bumi didekati melalui beberapa model diantaranya ellipsoid yang dianggap sebagai bentuk ideal dengan asumsi bahwa densitas (kerapatan) bumi homogen. Sedangkan kenyataan sebenarnya, densitas massa bumi yang heterogen dengan adanya gunung, lautan, cekungan, dataran akan membuat ellipsoid berubah menjadi bentuk yang baru yaitu geoid. Geoid disebut sebagai model bumi yang mendekati sesungguhnya. Lebih jauh geoid didefinisikan sebagai bidang equipotensial gayaberat atau bidang nivo yang berimpit dengan permukaan laut rata-rata (tidak terganggu) [Kahar, S. 2007].

Di dalam ilmu geodesi geoid bereferensi terhadap *ellipsoid* karena ellipsoid merupakan model matematis pendekatan bumi. Jarak geoid terhadap ellipsoid disebut undulasi geoid (N). Nilai dari undulasi geoid tidak sama di setiap tempat, hal ini disebabkan ketidakseragaman sebaran densitas massa bumi. Ada beberapa metode yang digunakan dalam penentuan undulasi geoid antara lain metode gravimetri dan metode astrogeodetik. Penentuan undulasi geoid dengan metode gravimetri didasarkan atas data anomali gaya berat hasil pengukuran gaya berat. Sedangkan penentuan undulasi geoid dengan metode astrogeodetik ditentukan dengan berdasarkan data komponen defleksi vertikal titik-titik di permukaan bumi.

Kota Surabaya sebagai ibukota Provinsi Jawa Timur terletak di tepi pantai utara Provinsi Jawa Timur atau tepatnya berada diantara  $7^{\circ} 9' - 7^{\circ} 21'$  Lintang Selatan dan  $112^{\circ} 36' - 112^{\circ} 54'$  Bujur Timur. Wilayahnya berbatasan



dengan Selat Madura di sebelah Utara dan Timur, Kabupaten Sidoarjo di sebelah Selatan dan Kabupaten Gresik di sebelah Barat. Luas wilayah Kota Surabaya adalah 374.8 km<sup>2</sup>.

Secara Topografi Kota Surabaya 80% dataran rendah, dengan ketinggian 3 – 6 meter di atas permukaan air laut, bagian selatan terdapat dua bukit landai di daerah Lidah (Kecamatan Lakarsantri) dan Gayungan dengan ketinggian 25 – 50 meter di atas permukaan air laut.

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan nilai undulasi geoid yang berlokasi di kota Surabaya dengan menggunakan metode gravimetri dengan memanfaatkan data pengukuran gaya berat yang bersifat lokal (gelombang pendek ) serta data model geopotensial global (gelombang panjang). Sedangkan untuk menghitung nilai undulasi geoid kota Surabaya menggunakan pendekatan stokes.

## **1.2 Perumusan Masalah**

Dalam penelitian ini perumusan masalah yang dibahas adalah:

1. Bagaimana mengetahui anomali gaya berat *free air* di kota Surabaya.
2. Bagaimana mengetahui undulasi geoid di Kota Surabaya dengan menggunakan metode gravimetri.

## **1.3 Batasan Masalah**

Adapun batasan masalah yang dikaji dalam penelitian ini adalah:

1. Pengukuran gaya berat di lakukan pada 11 titik pengamatan dimana 10 titik merupakan titik pengamatan gaya berat dan 1 titik merupakan *base station* yang terdapat pada jurusan fisika Universitas Brawijaya Malang.
2. Penentuan anomali gaya berat *free air* kota Surabaya.
3. Penentuan undulasi geoid berlokasi di Kota Surabaya
4. Perhitungan undulasi geoid menggunakan metode pengukuran Gravimetri

#### **1.4 Tujuan Penelitian**

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Menentukan sebaran anomali gaya berat free air di kota Surabaya
2. Menentukan sebaran nilai undulasi geoid yang berlokasi di Kota Surabaya

#### **1.5 Manfaat Penelitian**

Manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian ini adalah dapat memberikan informasi mengenai nilai undulasi geoid dengan menggunakan metode gravimetri yang berlokasi di Kota Surabaya untuk menambah pengetahuan di bidang Geomatika.

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

Tingkat keakuratan dalam penentuan bidang geoid di tentukan oleh kualitas data gaya berat dan metode pengolahan data yang diterapkan. Selain itu juga di tentukan oleh formula matematika yang digunakan ketika menurunkan model tersebut [abdalla,2009]. Dalam bab ini ada beberapa teori yang ditulis untuk mendukung penelitian in antara lain :metode gaya berat dan koreksi gaya berat, geoid dan perhitungan undulasinya, model geopotensial global, EGM 2008, serta alat ukur gravimeter

#### 2.1 Teori Gaya Berat *Newton*

Hukum *newton* tentang gravitasi diungkapkan seperti berikut: setiap partikel materi dijagat raya melakukan tarikan terhadap setiap partikel lainnnya dengan suatu gaya yang berbanding langsung hasil kali massa partikel – partikel itu dan berbanding terbalik dengan kuadrat jarak yang memisahkannya [Sears & Zemansky,1962]. Dirumuskan sebagai berikut.

$$F_g = G \frac{m m'}{r^2} \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana :

$F_g$  = gaya gravitasi pada masing – masing partikel

$m, m'$  = massanya

$r$  = jarak antara partikel – partikel

$G$  = konstanta gravitasi

Gayaberat adalah total gaya dari resultan gaya gravitasi dan gaya sentrifugal [Heiskanen & Moritz, 1967], sedangkan potensial gayaberat (W) adalah penjumlahan dari potensial gaya gravitasi (V) dan gaya sentrifugal (j).. Pengukuran percepatan gravitasi pertama dilakukan oleh Galileo dalam eksperimennya di Pisa Italia, sehingga untuk menghormati Galileo satuan percepatan gravitasi didefinisikan sebagai berikut :1 mGal = 10<sup>-3</sup> Gal = 10<sup>-3</sup>

cm/s<sup>2</sup> = 10<sup>-5</sup> m/s<sup>2</sup>. Satuan anomali gaya gravitasi dalam kegiatan eksplorasi diberikan dalam orde mGal dikarenakan perubahan antar titik yang sangat kecil.

Dalam pengukuran gaya berat terdapat koreksi – koreksi gaya berat. Tujuan dari koreksi gayaberat ini adalah untuk mereduksi nilai gaya berat pengamatan pada geoid dan untuk memindahkan massa topografi luar pada geoid dengan menganggap geoid menjadi suatu pembatasan permukaan [Torge, 2001].

## 2.2 Koreksi- koreksi Pengukuran Gaya Berat

### 2.2.1 Koreksi Alat (Drift Correction)

Nilai pengukuran gayaberat pada suatu titik dan diulang kembali pengukurannya maka secara teoritis nilainya akan tetap atau konstan. Namun dalam kenyataannya nilainya akan berubah. Guncangan pada saat transportasi dapat mempengaruhi mekanisme alat, ini disebut dengan apungan (*drift*) [Hadipandoyo, 2004] Secara matematis besarnya koreksi *drift* diberikan pada persamaan berikut :

$$D_n = \frac{g_n - g_1}{t_n - t_1} (t_N - t_1) \dots \dots \dots (2.2)$$

Dimana :

- $D_n$  = Koreksi drift pada titik-n
- $g_n$  = gravitasi terkoreksi pada bacaan ke- n
- $g_1$  = gravitasi terkoreksi pada bacaan ke- 1
- $t_N$  = waktu pengukuran titik akhir *looping*
- $t_1$  = waktu pengukuran titik awal
- $t_n$  = Waktu pengukuran titik ke- n

### 2.2.2 Koreksi Udara Bebas (*Free Air*)

Koreksi udara bebas merupakan koreksi akibat perbedaan ketinggian sebesar  $h$  dengan mengabaikan adanya massa yang terletak diantara titik pengamatan dengan bidang referensi. Koreksi ini dilakukan untuk mendapatkan anomali medan gaya berat di topografi. Untuk mendapat anomali.

Besarnya medan gravitasi akan berubah apabila ketinggian titik ukur berubah. Hal ini disebabkan oleh perubahan jarak titik ukur terhadap pusat bumi [grandstand West, 1965]. Apabila titik ukur terletak di atas atau di bawah spheroida acuan sebesar  $h$ , dengan  $h \ll R$ , maka percepatan gravitasi titik ukur adalah:

$$g = (r + h) = g(\phi) + h \frac{\partial g}{\partial R} \dots\dots\dots(2.3)$$

Dengan :

$g(\phi)$  = percepatan gravitasi normal (miligal)

$\frac{\partial g}{\partial R}$  = variasi percepatan gaya berat terhadap  $R$  (miligal)

$h$  = ketinggian titik amat ke permukaan spheroida acuan (meter)

Jari-jari referensi sferoida acuan dari pusat bumi ( $R$ ) adalah 6378,137 km, sedangkan  $h \left( \frac{\partial g}{\partial R} \right)$  dihitung dengan menggunakan rumus *McCullagh* :

$$-U(R) = \frac{GM}{R} + \frac{G}{2R^3} (C - A)(1 - 3\sin^2 \phi) + \frac{1}{2} \Omega^2 R^2 \cos^2 \phi \dots\dots\dots(2.4)$$

Dimana

- Kecepatan angular bumi ( $\Omega$ ) =  $7.2992115 \times 10^{-11} \text{ rad s}^{-1}$
- Konstanta gravitasi umum ( $G$ ) =  $6.6732 \times 10^{-11} \text{ N m}^2 \text{ kg}^{-2}$
- Massa bumi ( $M$ ) =  $5.973 \times 10^{24} \text{ kg}$
- Momen inersia axial ( $C$ ) =  $8.0378 \times 10^{37} \text{ kg m}^2$
- Momen inersia equatorial ( $A$ ) =  $8.0115 \times 10^{37} \text{ kg m}^2$
- ( $\phi$ ) = sudut lintang

Turunan pertama dari  $g$  sebagai fungsi  $R$  diperoleh :

$$\frac{\partial g}{\partial R} = + \frac{\partial^2 U}{\partial R^2} = - \frac{G}{2R_e^5} [2MR_e^2 - 3(C - A) - \frac{1}{2}\Omega^2 - 9 \left[ \frac{9G(C-A)}{R_e^5} + \frac{1}{2}\Omega^2 \right] \cos 2\phi} \dots\dots\dots(2.5)$$

Dengan memasukkan harga-harga astronomi untuk C, A, M dan  $R_e$  (jari – jari di khatulistiwa) dan dengan memasukkan nilai  $\phi \approx 7.5^\circ$  diperoleh pendekatan:

$$g_{fa} = \frac{\partial g}{\partial R} h = -0.3086h \text{ mGal/m} \dots\dots\dots(2.6)$$

Dengan  $g_{fa}$  merupakan nilai koreksi udara bebas dan  $h$  merupakan ketinggian stasiun dari datum. Reduksi free air hanya memperhitungkan ketinggian tanpa memperhitungkan massa batuan antara geoid dan topografi [Hofmann dan Moritz, 2005].

### 2.2.3 Anomali Gaya Berat *Free Air*

Anomali gayaberat adalah perbedaan gayaberat di geoid dan gayaberat normal pada permukaan referensi ellipsoid untuk setiap lintang pengamatan [Heiskanen & Moritz, 1967]. Dalam penentuan geoid lokal di daerah yang dianggap datar (*flat-earth*), nilai anomali gayaberat dan gangguan gayaberat nilainya adalah sama [Sneeuw, N. 2006]. Anomaly free air dihitung dengan rumus :

$$\Delta g_{fa} = g_{obs} - g(\phi) + g_{fa} \dots\dots\dots(2.7)$$

Dengan :  $\Delta g_{fa}$  = anomali free air

$g(\phi)$  = percepatan gravitasi normal

## 2.3 Perhitungan Undulasi Geoid

### 2.3.1 Fungsi Stokes

Persamaan dari Integral stokes digunakan untuk menghitung parameter gelombang pendek undulasi (N2). Persamaan dari Integral Stokes (Heiskanen & Moritz hal 107, 1967) adalah sebagai berikut.

$$s(\psi) = \frac{1}{\sin(\frac{\psi}{2})} - 6 \sin \frac{\psi}{2} + 1 - 5 \cos \psi - 3 \cos \psi \ln(\sin \frac{\psi}{2} + \sin^2 \frac{\psi}{2}) \dots(2.10)$$

Dan  $\psi$  di peroleh dari persamaan berikut:

$$\psi = \cos^{-1} [\sin \phi \sin \phi' + \cos \phi \cos \phi' \cos(\lambda' - \lambda)] \dots\dots\dots(2.11)$$

Sedangkan perhitungan undulasi geoid dihitung dengan persamaan :

$$N = \frac{R}{4\pi G} \iint \Delta g(\phi', \lambda') S(\psi) \phi' d\phi' d\lambda' \dots\dots\dots (2.9)$$

Dimana :

- R = radius
- G = *universal constant of gravitation*
- $\phi$  = lintang (*latitude*)
- $\lambda$  = bujur (*longitude*)
- $\phi'$  = lintang komputasi
- $\lambda'$  = bujur komputasi
- S( $\psi$ ) = fungsi stokes

## 2.4 Geoid

Konsep geoid pertama kali digagas oleh C.F. Gauss. Geoid adalah bidang ekipotensial gaya berat Bumi yang menyinggung muka laut. Namun permukaan laut tidaklah stabil dan banyak dipengaruhi oleh angin, cuaca, dan lain-lain. Karena itu digunakanlah muka laut rata-rata (Mean Sea Level, MSL) sebagai pendekatan dari geoid.

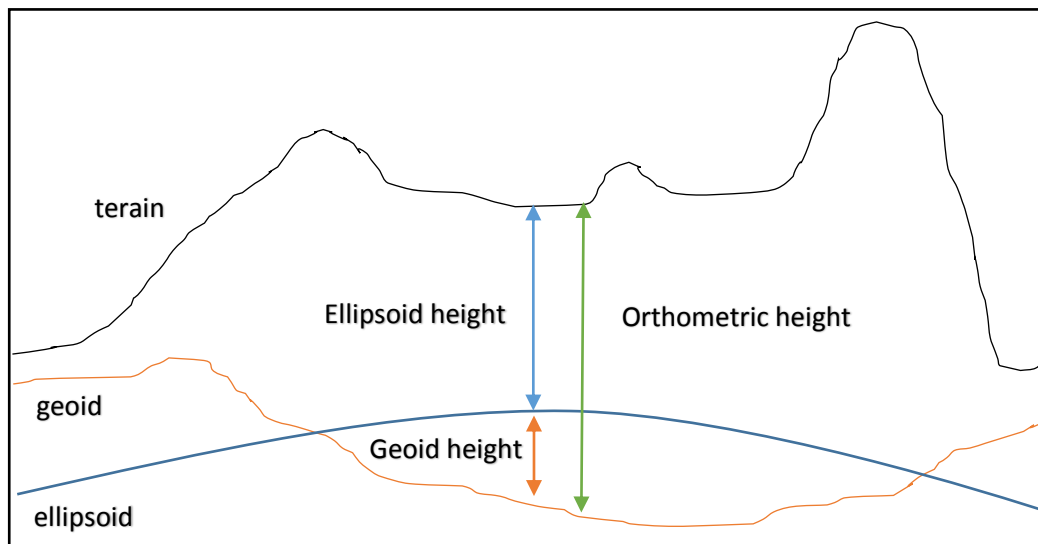
Geoid sering dinyatakan sebagai bentuk fisik bumi yang sebenarnya. Tapi, geoid bukanlah bentuk permukaan pada kerak Bumi. Geoid bisa saja



terletak di atas atau di bawahnya. Bentuk geoid tidak beraturan dan hanya bisa ditentukan melalui pengamatan medan gaya berat. Karena merupakan bidang ekipotensial, gaya berat setiap titik pada geoid selalu sama dan permukaan geoid selalu tegak lurus dengan medan gaya berat.

Geoid digunakan sebagai referensi tinggi untuk levelling. Untuk keperluan praktis, pengukuran ketinggian merujuk pada MSL yang mendekati geoid. Tinggi dari permukaan geoid disebut tinggi ortometrik. Geoid terdiri atas 3 macam gelombang yaitu gelombang pendek, menengah, dan panjang. Gelombang pendek didapat dari data pengamatan gravitasi, gelombang menengah dari koreksi terrain, serta gelombang panjang dari data model geopotensial global seperti EGM96 dan EGM 2008. Dari ketiga gelombang ini, gelombang panjang sangat menentukan besarnya geoid.

Penentuan posisi dengan satelit GPS, dapat menentukan koordinat baik arah horizontal maupun vertikal dengan mudah. Namun ketinggian yang didapat dari penentuan posisi dengan satelit mengacu terhadap ellipsoid, sementara ketinggian yang umum digunakan sehari-hari adalah ketinggian yang mengacu pada geoid atau tinggi orthometrik.



Gambar 2.1 Ellipsoid dan tinggi orthometrik

Untuk mendapatkan tinggi orthometrik dari tinggi ellipsoid diperlukan data tambahan lain yaitu undulasi geoid (N), dengan adanya undulasi maka tinggi orthometrik dapat dihitung dari tinggi ellipsoid dengan persamaan

$$H = h - N \quad \dots\dots\dots(2.12)$$

Dengan : h = tinggi *ellipsoid*

H = tinggi orthometrik

N = tinggi geoid

## 2.5 Metode *Fast Fourier Transform*

Sideris, dkk., pada tahun 1997 melakukan penelitian terhadap penghitungan defleksi vertikal menggunakan metode FFT (*Fast Fourier Transform*) dengan pendekatan bidang datar dan bola (*spheris*). Dalam penelitian tersebut dilakukan dengan cara membandingkan penghitungan metode 1D FFT pendekatan *spheris*, 2D FFT pendekatan bidang datar, dan 2D FFT pendekatan bidang *spheris*. Dalam penelitiannya diperoleh bahwa metode 1D FFT dengan pendekatan bidang *spheris* memiliki keunggulan hasil penghitungan defleksi vertikal memiliki tingkat akurasi yang tinggi, namun kelemahannya dalam proses data membutuhkan waktu yang lama dibandingkan metode FFT lain.

Penghitungan dengan Metode 2D FFT dengan pendekatan bidang datar memiliki keunggulan dalam proses data yang sangat cepat sehingga tidak membutuhkan waktu lama, namun kelemahannya tingkat presisi penghitungan yang dihasilkan rendah. Sedangkan penghitungan dengan metode 2D FFT pendekatan bidang *spheris* memiliki tingkat akurasi yang sangat tinggi dan kecepatan proses data yang tinggi.

## 2.6 Model Geopotensial Global

Representasi potensial medan gayaberat bumi dengan data koefisien model potensial global mengalami perkembangan yang sangat pesat. Perkembangan didorong oleh kemajuan dibidang persatelitan dan teknik komputer. Sejak peluncuran satelit pertama milik Amerika pada tahun 1958, perhitungan medan gayaberat bumi dengan bantuan pengamatan satelit maju dengan pesat, terutama satelit - satelit berlintasan rendah merupakan sumber yang sangat penting dalam studi-studi ilmu kebumihan dan oseanografi, [Khafid, 1992].

Berbagai aspek dalam geodesi fisis (antara lain: pembuatan global model koefisien potensial, penentuan orientasi bumi, pengukuran posisi dlsb) merasakan perkembangan yang cepat dari satelit geodesi. Dan kebanyakan permasalahan dalam geodesi fisik sedikit banyak bersifat dinamis yang berarti menuntut formulasi sebagai fungsi dari waktu, [Khafid, 1992].

Untuk memperoleh model koefisien potensial global yang lebih detail ataupun yang lebih baik, data-data dari analisis lintasan satelit dikombinasikan dengan semua data yang berhubungan erat dengan potensial gayaberat bumi, [Rapp, 1992]. Satu dari data tersebut adalah anomali gayaberat yang diperoleh dari survei lapangan. Data ini secara geografis mempunyai sebaran yang bervariasi; di beberapa tempat di permukaan bumi data ini telah diukur dengan resolusi tinggi sedangkan di tempat lain bahkan belum terukur sama sekali.

Meskipun permukaan laut bukanlah permukaan equipotensial, namun variasi terhadap geoid boleh dibilang kecil (+ 1 meter) sebagai akibat eksistensi topografi permukaan laut. Karena pengukuran satelit altimetri sepanjang track sangat rapat, data-data yang diperoleh darinya sangat mendukung sekali untuk pembuatan global model koefisien geopotensial sampai derajat 360, (Rapp, 1992).

Sebetulnya pengukuran yang dilakukan oleh satelit altimetri dapat dianalogikan pengukuran jarak dari stasiun bumi ke satelit. Dengan demikian

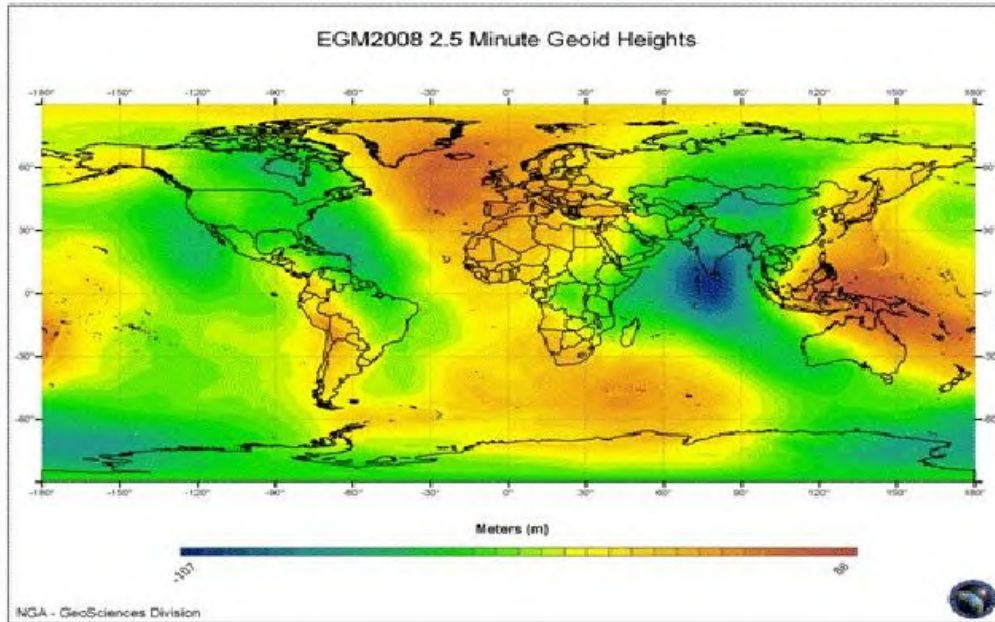
pengukuran satelit altimetri sangat dipengaruhi oleh efek gayaberat bumi. Oleh karenanya, jelas kiranya bahwa data satelit altimetri mengandung informasi yang signifikan tentang medan gayaberat bumi, terutama di lautan, [Rapp, 1992].

Sampai saat ini telah banyak dipublikasikan model-model geopotensial gaya berat global yang dikeluarkan oleh beberapa institusi dengan ketelitian yang beragam seperti OSU91A (Ohio State University), GSFC (Goddard Space Flight Center), EGM96 (Earth Gravitational Model 1996), EGM2008 (Earth Gravitational Model 2008), dan lain-lain. Peranan model geopotensial global sangat penting dalam menentukan undulasi geoid.

## 2.7 EGM 2008

Model geopotensial global EGM2008 merupakan Model geopotensial global yang dipublikasikan oleh *National Geospatial-Intelligence Agency* (NGA). Model geopotensial global ini, mengandung informasi mengenai data koefisien harmonik bola, yaitu orde, *degree*, koefisien potensial normal penuh dan standar deviasinya [Pavlis, dkk, 2008].

Model geopotensial ini, lengkap dengan koefisien harmonik *degree* dan orde 2159 dan memuat tambahan sampai *degree* 2190. EGM2008 sudah memiliki anomali gayaberat dengan grid 5'x 5' yang telah ditingkatkan berdasarkan pengukuran dari satelit GRACE [Pavlis, 2012, dalam Borge 2013]. Model EGM2008 ini termasuk dalam model yang datanya merupakan kombinasi dari terrestrial survei dengan satelit survei.



Gambar 2.2 Model EGM 2008 [Pavlis, 2012, dalam Borge 2013]

Konstanta WGS84 digunakan untuk mendefinisikan referensi ellipsoid dan bidang gayaberat normal. Konstanta tersebut adalah

Setengah sumbu panjang ellipsoid WGS 84 ( $a$ ) = 6378137.00 m

a) Flattening ellipsoid WGS 84 ( $f$ ) =  $1/298, 257223563$

b) Konstanta gayaberat (GM) =  $3,986004418 \times 10^{14} \text{ m}^3\text{s}^{-2}$

c) Kecepatan sudut rotasi bumi ( $\omega$ ) =  $7292115 \times 10^{-11} \text{ radian/sec}$

Penggunaan EGM2008 menghasilkan tingkat kedetilan data baik anomali maupun undulasi yang tinggi. Hal tersebut karena EGM2008 mempunyai nilai *degree* yang besar dan dihasilkan dari kombinasi berbagai sumber data gayaberat sehingga distribusi dan jumlah data yang dihasilkan lebih banyak dan detil [Fitri dan Heliani, 2008, Arabelos dan Tscherning, 2010]. Semakin besar *degree* Model Geopotensial Global maka panjang gelombang semakin pendek sehingga tingkat kedetilan topografi yang dihasilkan lebih tinggi. Walaupun EGM2008 mempunyai panjang gelombang yang relatif pendek, yakni sekitar 18 km, tetapi kondisi tersebut belum

mampu mengeliminasi kesalahan khususnya di wilayah pegunungan [Hirt, Featherstone & Marti, 2010]

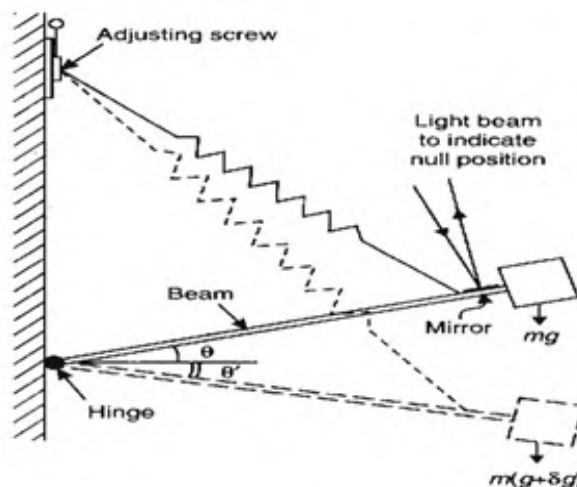
## 2.8 Gravimeter

Gravimeter adalah suatu alat yang di gunakan dalam pengukuran gaya berat. Alat ukur ini memiliki tingkat ketelitian yang cukup tinggi , karena dapat mengukur perbedaan percepatan gaya berat yang lebih kecil dari 0,1 mgal.



Gambar 2.3. Gravity meter jenis LaCoste & Romberg seri G – 1177

Sumber : [[http://geofisika.upnyk.ac.id/?page\\_id=168](http://geofisika.upnyk.ac.id/?page_id=168)]



Gambar 2.4 Skema gravimeter LaCoste-Romberg (Reynolds, 1997)

- Pegasnya terbuat dari metal dengan konduktivitas panas tinggi, untuk meminimalisir efek kontraksi/ekspansi panas. Membatasi sifat panas (*thermal*).
- Pegasnya “*Zero-Length*” maksudnya keadaan pegas kembali ke posisi semula (elastisitasnya nol) contoh : ketika saat alat di gunakan dan mengalami kontraksi (tarikan) nol dan kehilangan tarikan.
- Pengembalian pegas ke keadaan semula “*Zero-Length*” lemah dan memiliki ekstensi maksimum.
- Massa pendulum lumayan besar.
- Hasil pembacaannya berdasarkan sinar yang di pantulkan didalam lensa.
- Posisi nol nya berdasarkan skrup mikrometer (disesuaikan).
- Panjang skrup dalam meter rata-rata dapat di baca diatas range 50,000 g.
- Yang di gunakan pada saat survey di seluruh dunia. Akurasinya mencapai 0,03 *gravity unit* (0.003mgal)

## 2.9 Penelitian Terdahulu

### 2.9.1 Pemodelan Geoid Lokal D.I. Yogyakarta Menggunakan Metode *Fast Fourier Transformation* dan *Least Square Collocation* (Bagas Triarahmadhana, Leni S. Heliani, Nurrohmat Widjajanti)

Penelitian dilakukan di D.I. Yogyakarta, Indonesia. Model geoid lokal dihasilkan dari kombinasi data tinggi dari Peta Rupabumi Indonesia (RBI) skala 1:25.000 sebagai komponen gelombang pendek dan EGM2008 sebagai komponen gelombang panjang. Sebelum dikoreksi kesalahan dan bias, model geoid lokal yang dihasilkan dari metode FFT dan metode LSC mempunyai ketelitian yang sama, yaitu 1,431 m dengan simpangan baku masing-masing sebesar 0,169 m dan 0,221 m. Setelah dikoreksi kesalahan dan bias, metode FFT menghasilkan model geoid lokal yang lebih teliti daripada metode LSC. Ketelitian geoid lokal dari masing-masing metode tersebut secara berurutan sebesar 0,127 m dan 0,174 m. Ketelitian geoid lokal mengalami peningkatan sebelum dan sesudah dikoreksi dengan kesalahan dan bias. Peningkatan

ketelitian geoid lokal dari metode FFT dan metode LSC masing-masing sebesar 91,13% dan 87,84%. Hasil penelitian sesuai dengan penilitan terhadap yang menyatakan bahwa untuk wilayah dengan data gayaberat yang tersedia dalam jumlah banyak dan merata ketelitian model geoid yang paling tinggi dihasilkan dari metode FFT daripada metode LSC [Martin dkk., 2010].

### **2.9.2 Penggunaan EGM2008, EGM1996 DAN GPS-LEVELING Untuk Tinggi Undulasi Geoid di Sulawesi (Dadan Ramdani)**

Pada tahun 2008 di Sulawesi telah diadakan pengukuran data gravitasi dengan menggunakan cara *airborne* gravimetri. Dari data *airborne* gravimetri ini kemudian dihitung geoidnya dan membandingkan data undulasi EGM 2008 dengan data undulasi EGM 1996 dan sebagai acuannya adalah data GPS-*Leveling*. Data koordinat GPS-*Leveling* dihitung untuk mendapatkan tinggi geoid dari data EGM2008, sedangkan untuk EGM1996 digunakan program LongWave dari Khafid. Data koordinat yang diambil adalah lintang dan bujur.

### **2.9.3 Pembuatan Peta Model Undulasi Lokal (Study Kasus : Kecamatan Rao, Kabupaten Pasaman-Sumatera Barat) oleh MukhammadKhaeru Reza1), Ir. Sutomo Kahar, M.Si. 2), L.M.Sabri, S.T., M.T 3)**

Pembuatan model undulasi lokal dari pengukuran gravitasi serta ketinggian orthometric bumi. Gaya berat yang digunakan adalah gaya berat relatif. Gaya berat relatif adalah gaya berat yang diperoleh dari hasil pengukuran gaya berat di suatu tempat yang diikatkan dengan gayaberat absolut. Untuk memperoleh nilai gaya berat absolut dilakukan pengukuran gaya berat yang diikatkan dengan sistem yang sudah ada yang dikenal sebagai Sistem Postdam. Sistem ini merupakan jaringan stasiun gaya berat yang dapat dimanfaatkan untuk keperluan pengukuran gaya berat relatif di suatu tempat di permukaan bumi ini. Penelitian ini dilaksanakan di daerah pengukuran gaya berat relatif yang telah dilakukan di kecamatan Rao kabupaten Pasaman Sumatra Barat.



*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

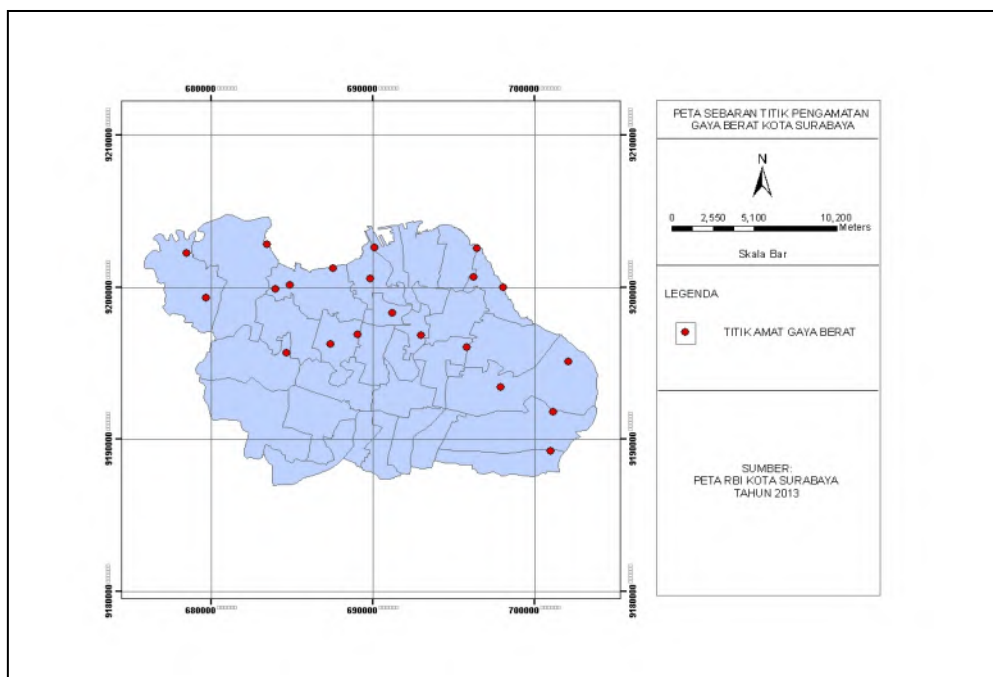
## BAB III

### METODA PENELITIAN

#### 3.1 Lokasi Penelitian

##### 3.1.1 Dekripsi Daerah Penelitian

Penelitian ini berlokasi di Kota Surabaya yang secara geografis terletak pada posisi terletak  $07^{\circ}09'$ - $07^{\circ}21'$  Lintang Selatan dan  $112^{\circ}36'$ - $112^{\circ}54'$  Bujur Timur. Kota Surabaya berbatasan dengan Selat Madura disebelah utara, di timur berbatasan dengan Selat Madura dan Laut Jawa, di selatan berbatasan dengan Kabupaten Sidoarjo dan di Barat berbatasan dengan Kabupaten Gresik. Secara geografis, Kota Surabaya merupakan dataran rendah dengan ketinggian rata-rata antara 3-6 meter diatas permukaan laut tapi ada beberapa daerah yang tingginya 25-50 meter diatas permukaan laut. Luas wilayah Kota surabaya mencapai  $374.8 \text{ km}^2$  yang dibagi menjadi 31 Kecamatan dan 163 Kelurahan.



Gambar 3.1 Peta Sebaran Titik Pengamatan Gaya Berat Kota Surabaya

### 3.1.2 Titik Pengamatan

Pengamatan gaya berat dilakukan pada 11 titik amat yang tersebar di seluruh kota Surabaya dimana *base stasion* terletak pada fakultas MIPA jurusan fisika Universitas Brawijaya Malang dan 10 titik lainnya merupakan titik BM yang diperoleh dari data kantor dinas Cipta Karya kota Surabaya. Pengukuran pada titik-titik survei dilakukan dengan metode *looping* dengan pola A-B-C-D-A, dengan 'A' adalah salah satu *cell center* (CC) yang merupakan *base station* setempat.

Metode kitaran/*looping* diharapkan untuk mengurangi kesalahan yang disebabkan oleh pergeseran pembacaan gravity meter. Metode ini muncul dikarenakan alat yang digunakan selama melakukan pengukuran akan mengalami guncangan, sehingga menyebabkan bergesernya pembacaan titik nol pada alat tersebut. lokasi titik – titik pengamatan antara lain sebagai berikut.

1. Titik BM Nomor18

Deskripsi titik :

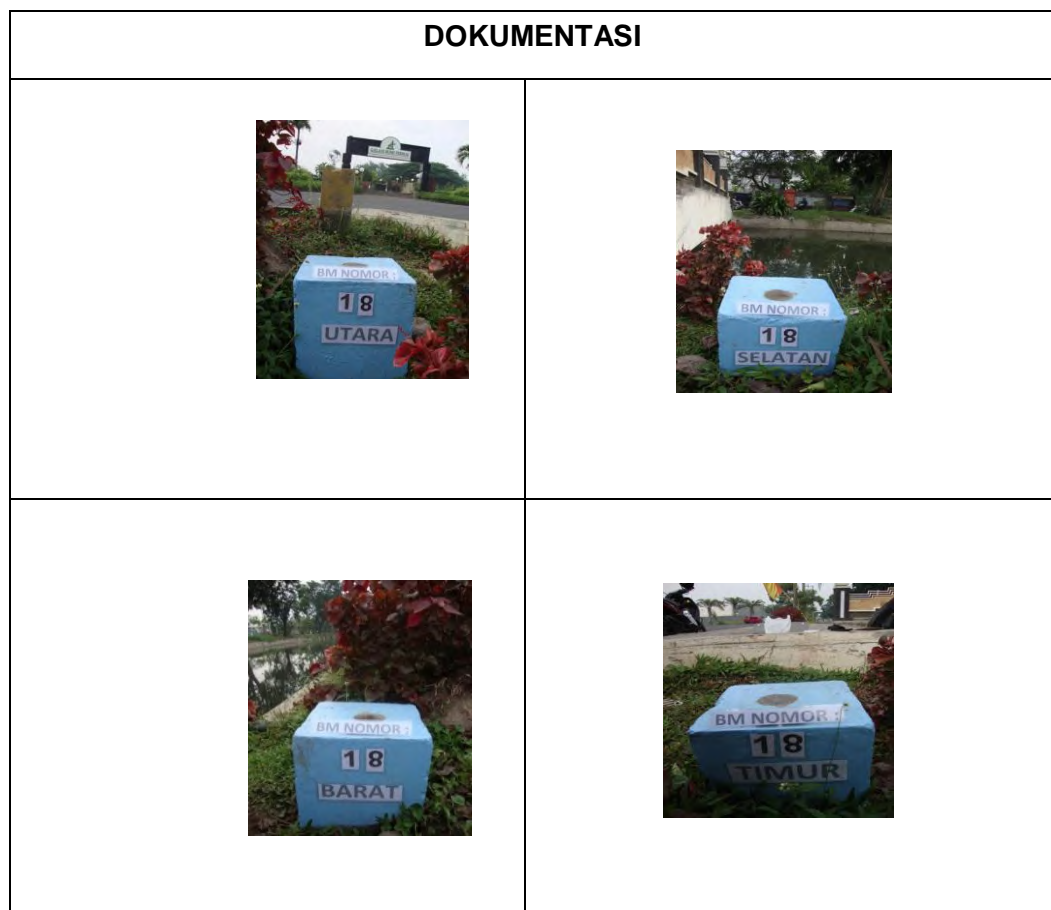
Letak : Galaxi Asri Klampis Timur I

Lintang :  $7^{\circ}17'24.59011''S$

Bujur :  $112^{\circ}47'10.15149''E$

Tinggi ellipsoid : 32.282m

Elevasi : 3.064m



Gambar 3.2 Titik BM no 18 Pemerintah Kota Surabaya

2. Titik BM Nomor 20

Deskripsi titik :

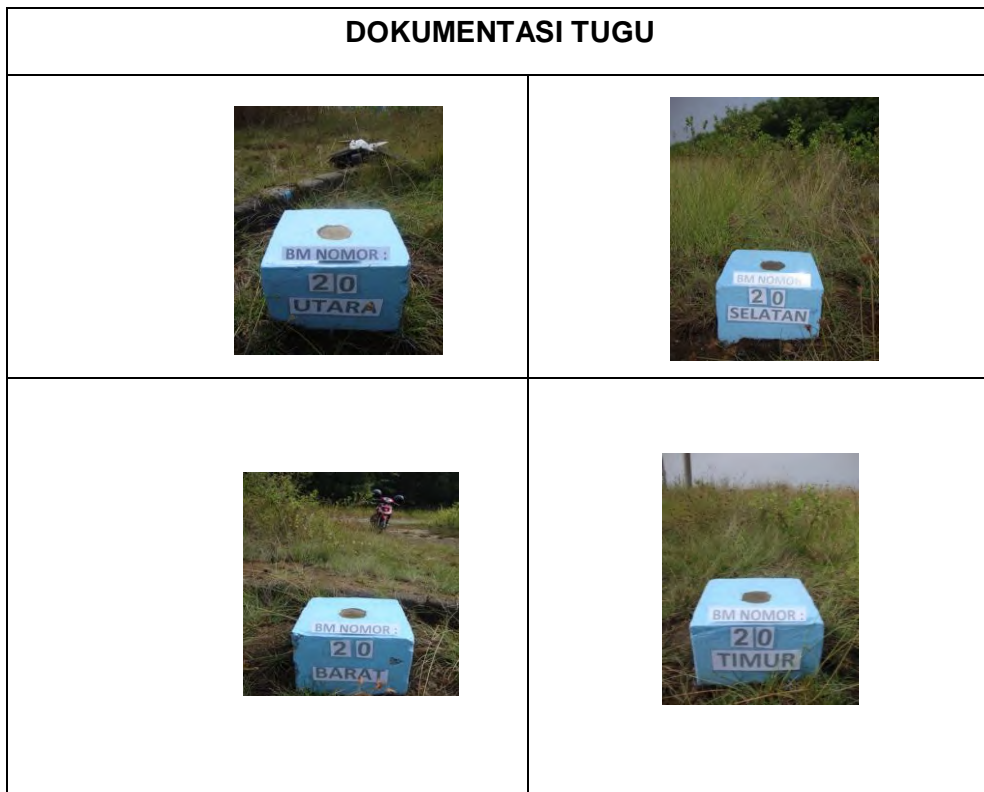
Letak : Gunung Anyar Tambak

Lintang :  $7^{\circ}19'50.77077''S$

Bujur :  $112^{\circ}49'17.73619''E$

Tinggi ellipsoid : 31.105m

Elevasi : 1.871m

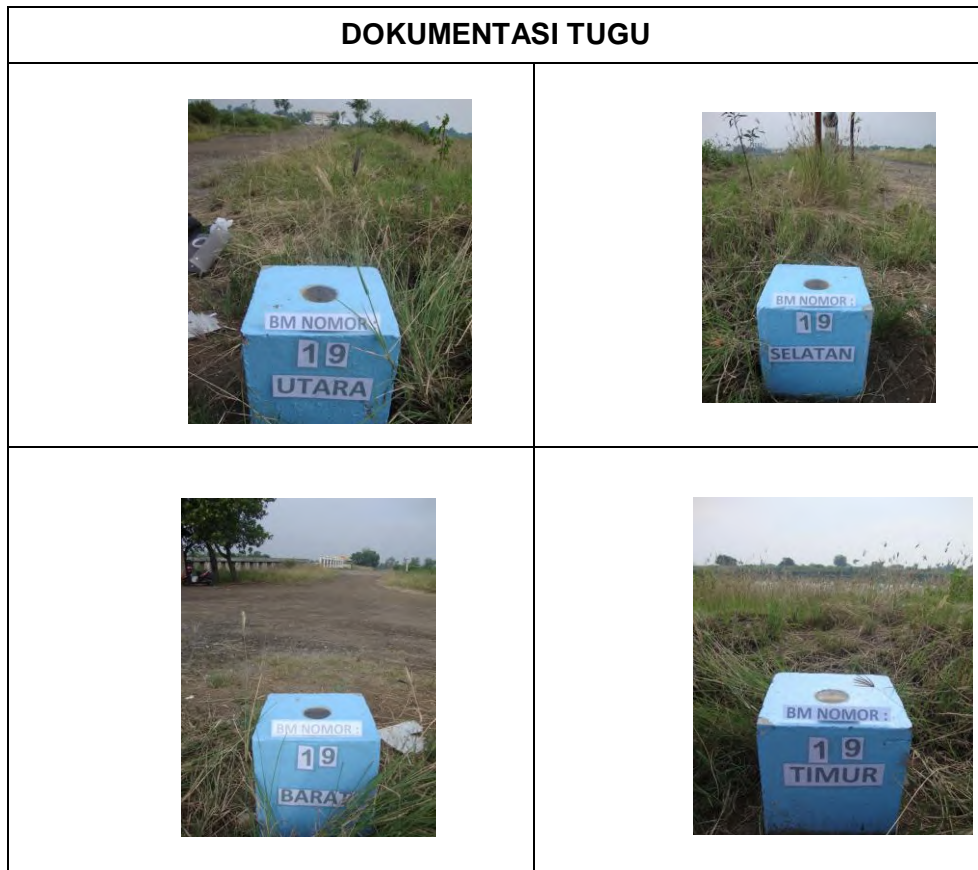


Gambar 3.3 Titik BM no 20 Pemerintah Kota Surabaya

3. Titik BM Nomor19

Deskripsi titik :

Letak : Bozem Wonorejo  
Lintang :  $7^{\circ}18'34.37313''S$   
Bujur :  $112^{\circ}49'17.73619''E$   
Tinggi ellipsoid : 31.914m  
Elevasi : 2.630m



Gambar 3.4 Titik BM no 19 Pemerintah Kota Surabaya

4. Titik BM Nomor15

Deskripsi titik :

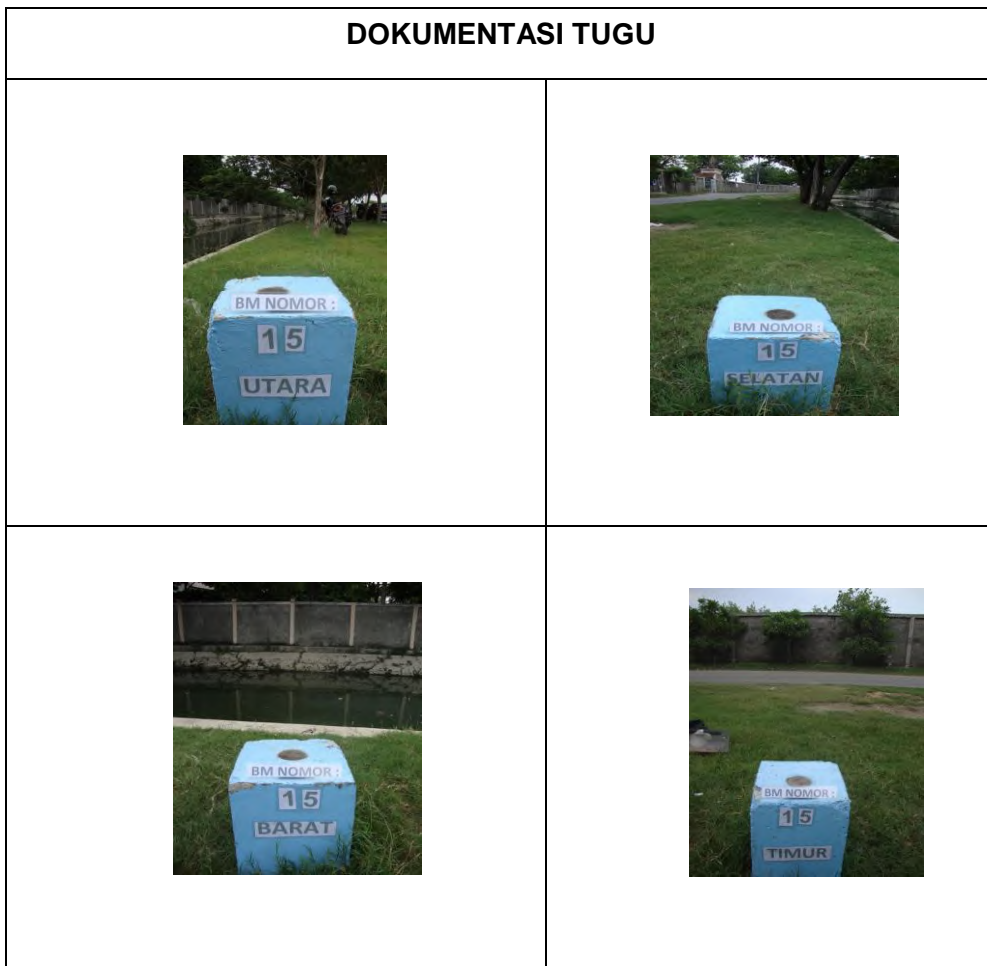
Letak : Jalan Pantai Kenjeran

Lintang :  $7^{\circ}14'06.47151''S$

Bujur :  $112^{\circ}47'41.42790''E$

Tinggi ellipsoid : 32.374m

Elevasi : 2.982m



Gambar 3.5 Titik BM no 15 Pemerintah Kota Surabaya

5. Titik BM Nomor 14

Deskripsi titik :

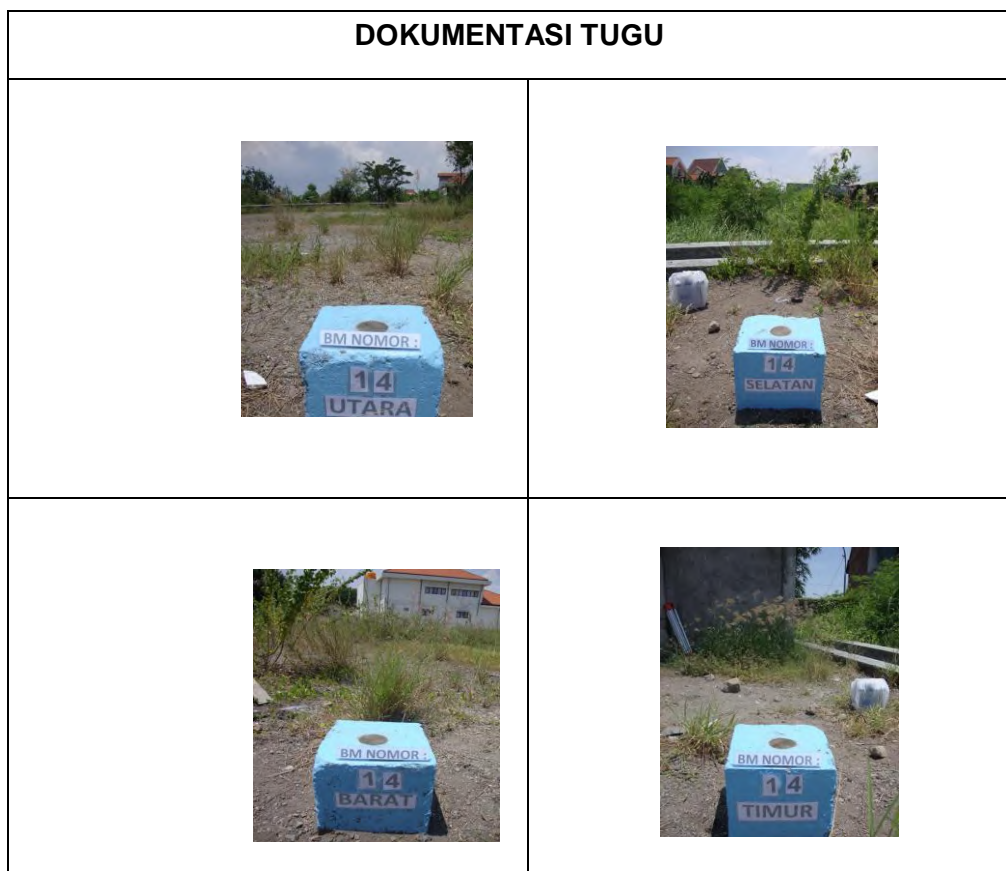
Letak : Puskesmas Tanah Kali Kedinding

Lintang :  $7^{\circ}13'49.90273''S$

Bujur :  $112^{\circ}46'31.06572''E$

Tinggi ellipsoid : 33.011m

Elevasi : 3.671m



Gambar 3.6 Titik BM no 14 Pemerintah Kota Surabaya



6. Titik BM Nomor 7

Deskripsi titik :

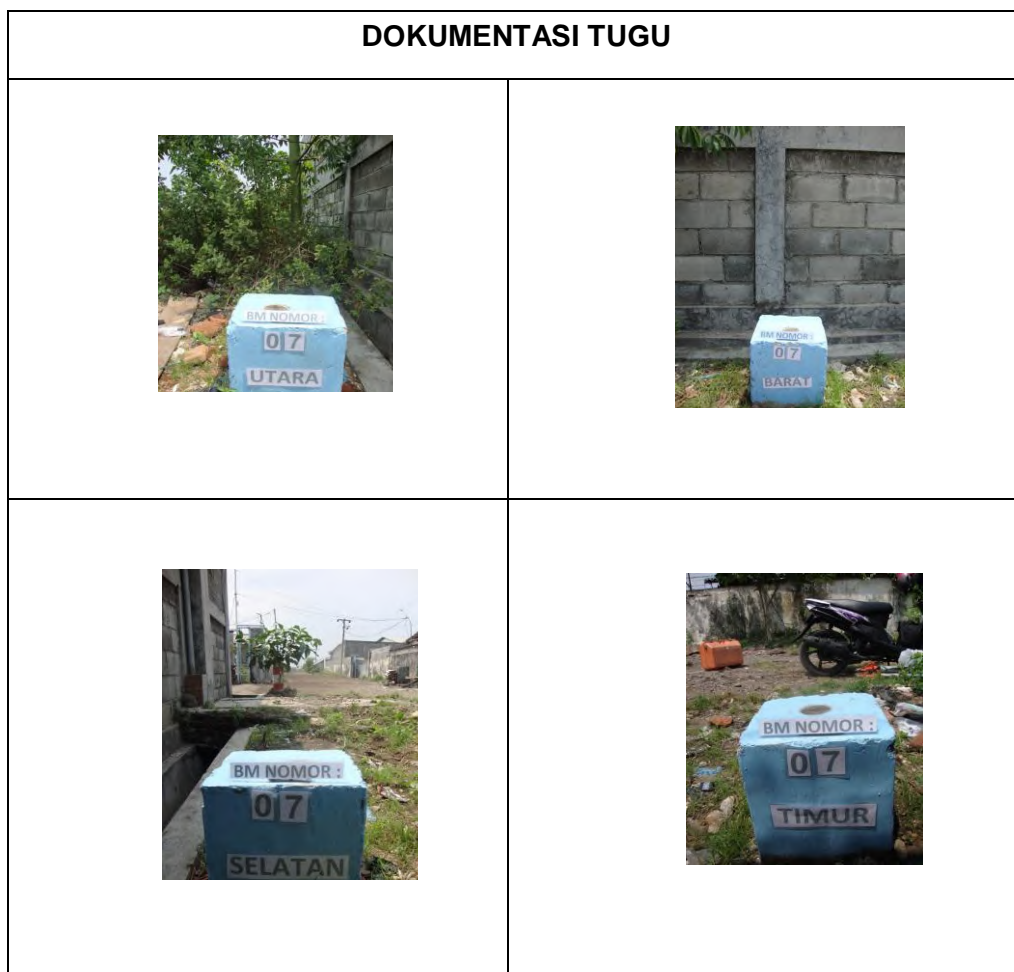
Letak : Jalan Greges, Kalianak

Lintang :  $7^{\circ}13'32.63528''\text{S}$

Bujur :  $112^{\circ}41'43.32575''\text{E}$

Tinggi ellipsoid : 32.022m

Elevasi : 2.943m



Gambar 3.7 Titik BM no 07 Pemerintah Kota Surabaya

7. Titik BM Nomor 06

Deskripsi titik :

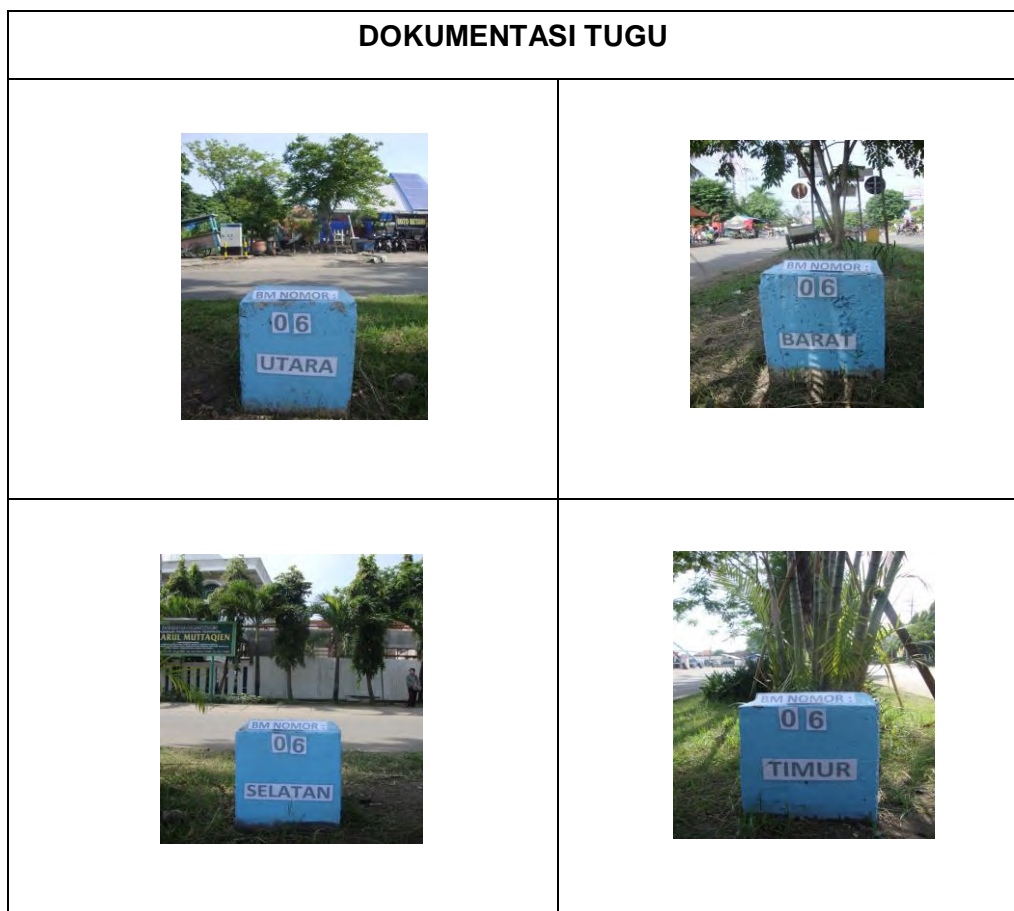
Letak : Jalan Candi Lontar Raya

Lintang :  $7^{\circ}16'06.03443''S$

Bujur :  $112^{\circ}39'58.57504''E$

Tinggi ellipsoid : 45.761m

Elevasi : 6.891m



Gambar 3.8 Titik BM no 06 Pemerintah Kota Surabaya

8. Titik BM Nomor 4

Deskripsi titik :

Letak : Jalan Raya Sememi

Lintang :  $7^{\circ}14'43.97590''\text{S}$

Bujur :  $112^{\circ}38'08.48000''\text{E}$

Tinggi ellipsoid : 34.376m

Elevasi : 5.558m



Gambar 3.9 Titik BM no 04 Pemerintah Kota Surabaya

9. Titik BM nomor 08

Deskripsi titik :

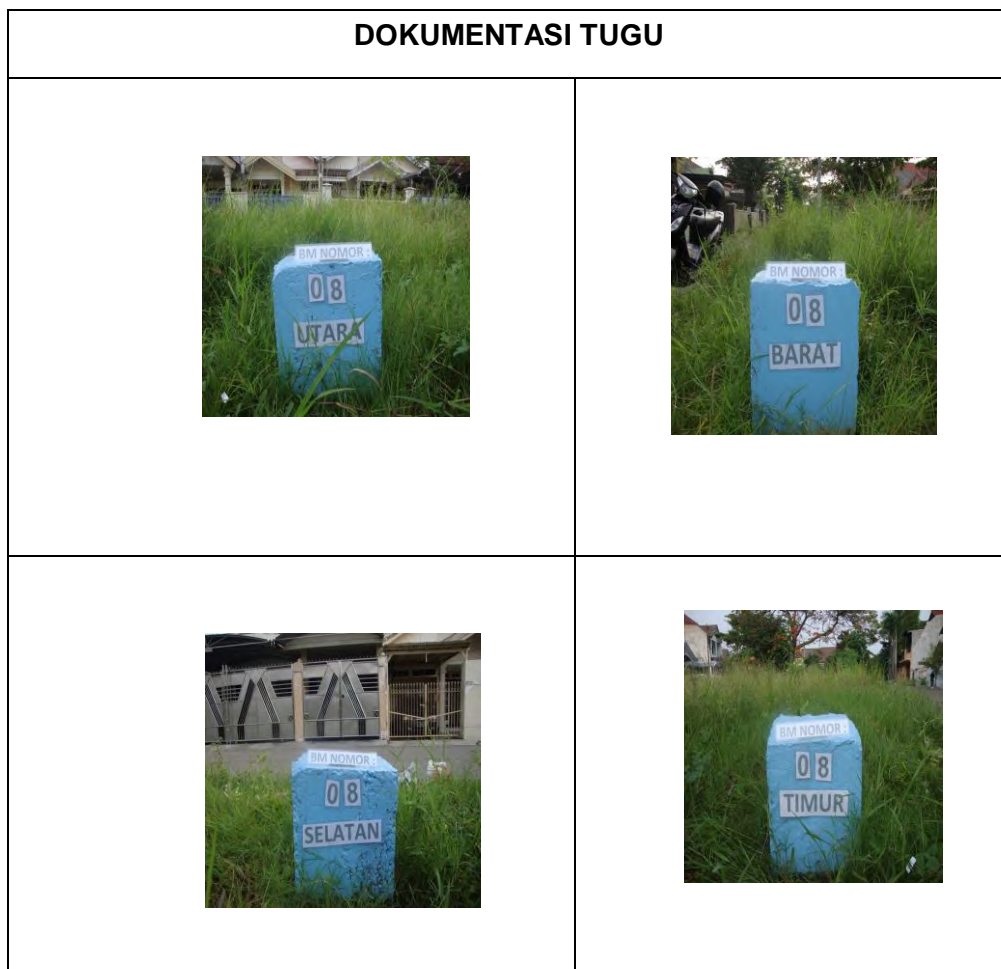
Letak :Jalan Satelit Utara VIII Perumahan Darmo Satelit

Lintang : 7°15'50.26444"S

Bujur : 112°41'33.95373"E

Tinggi ellipsoid : 35.056m

Elevasi : 6.083m



Gambar 3.10 Titik BM no 08 Pemerintah Kota Surabaya

10. Titik BM Nomor 12

Deskripsi titik :

Letak : Jalan Simo Margorejo

Lintang :  $7^{\circ}14'43.97590''\text{S}$

Bujur :  $112^{\circ}38'08.48000''\text{E}$

Tinggi ellipsoid : 32.066m

Elevasi : 3.006m



Gambar 3.11 Titik BM no 08 Pemerintah Kota Surabaya

Adapun beberapa gambar yang di ambil pada saat kegiatan pengukuran gaya berat di kota Surabaya antara lain sebagai berikut.



Gambar 3.12 Dokumentasi Kegiatan Pengukuran

## 3.2 Persiapan Penelitian

Sebelum melaksanakan penelitian dilapangan perlu di lakukan persiapan penelitian yang baik sehingga mengurangi terjadinya kendala teknis maupun non teknis di lapangan. Perencanaan dan persiapan yang dikerjakan seperti, Menyusun jadwal penelitian, mengumpulkan literatur-literatur yang berhubungan dengan topik penelitian, serta mempersiapkan peralatan yang dibutuhkan seperti perangkat keras (*Hardware*), perangkat lunak (*Software*),serta peralatan pengukuran berupa gravimeter, dan gps garmin.

## 3.3 Data dan Peralatan

### 3.3.1 Data Penelitian

Data-data yang digunakan dalam penentuan undulasi geoid kota Surabaya antara lain :

1. Data pengukuran gaya berat relatif di titik-titik pengamatan di Kota Surabaya
2. Data BM pemerintah kota surabaya tahun 2010 (lintang, bujur, tinggi ellipsoid, ketinggian)
3. Data tabel konversi hasil pengukuran gaya berat untuk alat gravimetric lacoste remborg tipe G-1053
4. Peta administrasi kota Surabaya format shp tahun 2013
5. Data Model Geopotensial Global EGM 2008.

Sumber:[\[http://earthinfo.nga.mil/GandG/wgs84/gravitymod/egm2008/index.html\]](http://earthinfo.nga.mil/GandG/wgs84/gravitymod/egm2008/index.html)

### 3.3.2 Peralatan Penelitian

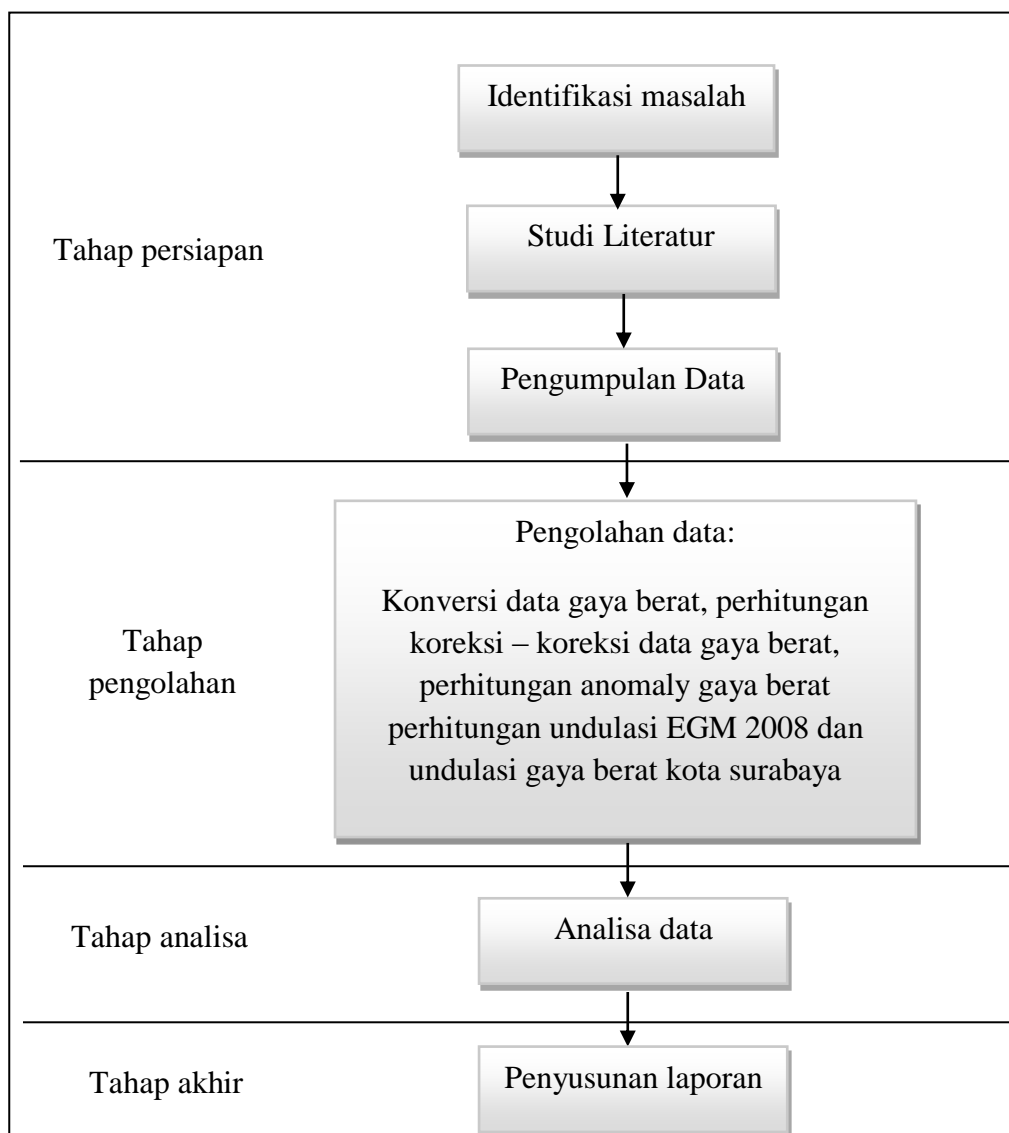
Peralatan yang dibutuhkan dalam penelitian ini meliputi:

1. Perangkat Keras
  - a. Personal Computer
  - b. Printer
2. Perangkat Lunak
  - a. Miscrosoft Office 2013 (Ms. Word, Ms. Excel dan Ms. Visio)
  - b. ArcGIS 10.1

- c. Surfer 10
- d. gravsoft
- 3. Alat ukur Gravimeter LaCoste & Romberg tipe G-1053
- 4. GPS garmin

### 3.4 Tahapan Penelitian

Dalam penelitian ini, akan dilakukan tahapan pelaksanaan seperti pada diagram alir berikut.



Gambar 3.13 Diagram Alir Metode Penelitian



Penjelasan dari diagram alir di atas dijabarkan di bawah ini:

1. Tahap persiapan

- Identifikasi Masalah

Permasalahan yang diangkat dalam penelitian ini adalah bagaimana mengetahui undulasi geoid di kota Surabaya dengan menggunakan teknik gravimetri menggunakan data pengukuran gaya dan data model geopotensial global yaitu data EGM 2008 yang dapat didownload melalui [<http://earthinfo.nga.mil/GandG/wgs84/gravitymod/egm2008/index.html>]

- Studi Literatur

Merupakan teknik pengumpulan data dengan mencari informasi secara teoritis melalui buku-buku, majalah, serta jurnal, yang berhubungan dengan masalah yang diteliti. Tahapan ini bertujuan untuk mendapatkan referensi yang berhubungan dengan penelitian yang akan dilakukan. Studi literatur yang dilakukan meliputi: Pengumpulan data yang terdiri atas data pustaka, dan dokumen-dokumen. Data pustaka berupa buku, artikel, laporan hasil penelitian yang berhubungan dengan perhitungan undulasi serta permodelan geoid dengan teknik gravimetri.

- Pengumpulan Data

Pada tahapan ini, dilakukan pengumpulan data yaitu berupa, data sebaran titik BM kota Surabaya, data peta administrasi kota Surabaya, data pengukuran gaya berat serta data model geopotensial global (EGM 2008).

2. Pengolahan Data

Setelah proses pengumpulan data dilakukan, selanjutnya adalah proses pengolahan data. Data yang diolah berupa data konversi gaya berat hasil bacaan dalam pengukuran, data koreksi – koreksi gaya berat,

data gaya berat observasi, data gaya berat normal, data anomaly *free air*, perhitungan undulasi dari data EGM 2008 dan gaya berat kota Surabaya

3. Analisa Hasil Pengolahan

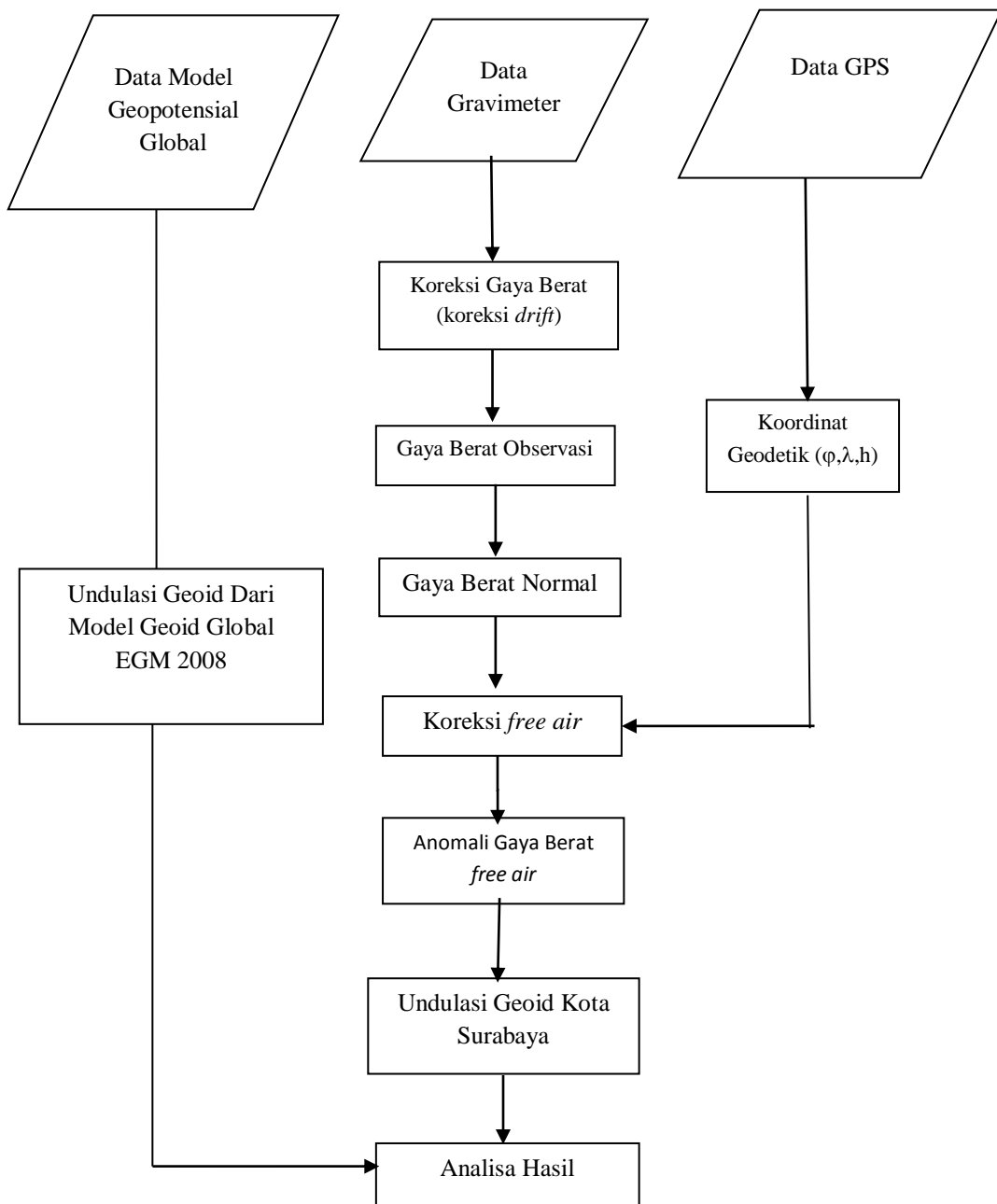
Setelah proses pengolahan data selesai, maka selanjutnya dilakukan analisa data. Analisa dilakukan untuk mengetahui sebaran nilai anomali gaya berat *free air* dan untuk mengetahui nilai undulasi geoid di kota Surabaya

4. Pembuatan Laporan Akhir

Tahapan ini merupakan tahap akhir dari penelitian yang dilakukan.

### 3.5 Tahapan Pengolahan Data

Tahapan pengolahan data dari penelitian yang dilakukan, digambarkan pada diagram alir sebagai berikut.



Gambar 3.14 Diagram Alir Tahapan Pegolahan Data

Penjelasan dari diagram alir mengenai tahapan pengolahan data pada gambar 5 adalah sebagai berikut.

#### 1. Input Data

Data yang digunakan pada penelitian ini adalah data hasil pengukuran gaya berat, data Model Geopotensial Global serta data lintang, bujur, ketinggian dan tinggi ellipsoid dari hasil pengamatan GPS geodetik. Data gaya berat diperoleh dari hasil pengukuran langsung di lapangan dengan menggunakan alat ukur gravimeter, koordinat geodetik ( lintang, bujur dan tinggi *ellipsoid*) dari pemerintah kota Surabaya. serta data model geopotensial global diperoleh dari situs online resmi

#### 2. Data EGM 2008.

Data ini diolah dengan menggunakan *software gravsoft* untuk memperoleh nilai undulasi geoid kota Surabaya. Nilai undulasi geoid dari hasil pengolahan data EGM 2008 digunakan sebagai pembandingan dengan hasil perhitungan undulasi geoid gaya berat lokal kota Surabaya.

#### 3. Data GPS

Data gps yang di gunakan adalah data lintang, bujur, ketinggian dan tinggi *ellipsoid*. Tujuannya adalah untuk memperoleh data gaya berat normal.

#### 4. Koreksi Data Gaya Berat (koreksi *drift*)

Pemrosesan data gaya berat sering disebut dengan reduksi data gaya berat. Proses data gaya berat mencakup keseluruhan proses yang berawal dari nilai pembacaan gravimeter sampai diperoleh nilai anomali gaya berat. Pemrosesan data gaya berat dilakukan dengan melakukan koreksi gaya berat. Tujuan dari koreksi gaya berat ini adalah untuk mereduksi nilai gaya berat pengamatan pada geoid dan untuk memindahkan massa topografi luar pada geoid dengan menganggap geoid menjadi suatu pembatasan permukaan [Torge, 2001].

5. Data Anomali Gaya Berat *free air*

Perhitungan ini diperoleh dari hasil perbandingan antara gaya berat observasi, gaya berat normal dan koreksi *free air*. Tujuannya adalah untuk mengetahui perbedaan gaya berat di geoid dan gayaberat normal pada permukaan referensi ellipsoid untuk setiap lintang pengamatan [Heiskanen & Moritz, 1967].

6. Data Undulasi Geoid

Merupakan hasil perhitungan antara undulasi geoid yang bersifat lokal maupun undulasi geoid yang bersifat global. Perhitungan ini menggunakan fungsi stokes yang mana telah dijelaskan pada bab 2. Setelah memperoleh nilai undulasi geoid total maka selanjutnya dilakukan proses analisa data.

## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Hasil dan Pembahasan Perhitungan Koreksi *Drift*

Perhitungan koreksi *drift* menggunakan *software* microsoft excel 2013. Namun sebelum proses ini kerjakan terlebih dahulu dilakukan konversi data gaya berat dengan menggunakan tabel konversi gaya berat satuan mGal. Tujuan dari konversi data karena. Dalam penelitian pengukuran gaya berat alat gravimeter yang di gunakan adalah gravimeter LaCoste & Romberg tipe G-1053. setiap alat gravimeter memiliki tabel konversi yang berbeda. Hasil konversi data bacaan pengukuran gaya berat dapat di lihat pada tabel 4.1 berikut.

Tabel 4.1 Hasil Konversi Data Pengukuran Gaya Berat

NO titik	Bacaan counter (mGal)	Bacaan (mGal)	Interval Faktor (mGal)	Nilai dalam Mgal	Hasil konversi (mGal)
<i>base</i>	1600	1684.23	1.01409	1622.5	1707.917
BM 18	1700	1712.019	1.01413	1723.91	1736.099
BM 20	1700	1703.697	1.01413	1723.91	1727.659
BM 19	1700	1705.523	1.01413	1723.91	1729.511
BM 15	1700	1718.096	1.01413	1723.91	1742.262
BM 14	1700	1718.482	1.01413	1723.91	1742.653
BM 07	1700	1729.59	1.01413	1723.91	1753.918
BM 06	1700	1716.801	1.01413	1723.91	1740.949
BM 04	1700	1713.15	1.01413	1723.91	1737.246
BM 08	1700	1711.187	1.01413	1723.91	1735.255
BM 12	1700	1714.073	1.01413	1723.91	1738.182
<i>base</i>	1600	1684.421	1.01409	1622.5	1708.110

Konversi data bacaan perlu dilakukan untuk menghitung anomali gaya berat. Setelah mengetahui hasil bacaan yang telah dikonversi kemudian dilakukan proses perhitungan koreksi gaya berat. Koreksi yang dihitung dalam penelitian ini adalah koreksi *drift*. Perhitungan koreksi *drift* menggunakan rumus pada persamaan (2.2) yang terdapat pada tinjauan pustaka bab 2. Tujuan perhitungan ini adalah untuk mereduksi kesalahan bacaan di lapangan karena Guncangan pada saat perpindahan alat dari titik satu ke titik lainnya. Tahapan perhitungan koreksi drift adalah sebagai berikut.

$$\Delta t_0 = (\text{jam}_{akhir} \times 60 + \text{menit}_{akhir}) - (\text{jam}_{awal} \times 60 + \text{menit}_{awal})$$

$$= (23 \times 60 + 56) - (5 \times 60 + 24)$$

$$= 1092 \text{ menit}$$

$$\text{gravimeter drift} = g_{rel_{awal}} - g_{rel_{akhir}}$$

$$= 1708.111 \text{ mGal} - 1707.917 \text{ mGal}$$

$$= 0.194 \text{ mGal}$$

$$\text{drift correction gradien} = \frac{\text{gravimeter drift}}{\Delta t_0}$$

$$= \frac{0.194 \text{ mGal}}{1092 \text{ menit}}$$

$$= -0.00017682 \text{ mGal/menit}$$

$$D_n = \text{drift correction gradien} * \Delta t$$

$$= (-0.00017682 \text{ mGal/menit} * 191 \text{ menit})$$

$$= -0.034 \text{ mGal}$$

Dimana:

$$D_n = \text{koreksi drift}$$

$$\Delta t_0 = \text{waktu akhir bacaan} - \text{waktu}$$

$\Delta t$  = total waktu dalam menit

Hasil dari perhitungan koreksi *drift* dapat dilihat pada tabel 4.2.

Tabel 4.2 Hasil Perhitungan Koreksi *Drift*

No Titik	g_rel (mGal)	waktu		$\Delta t$	Koreksi <i>drift</i> (mGal)
		jam	menit		
Base fisika UB	1707.917	5	44	0	0.000
BM 04	1736.098	8	55	191	-0.034
BM 06	1727.659	10	35	291	-0.052
BM 07	1729.511	11	52	368	-0.065
BM 08	1742.262	14	9	505	-0.090
BM 12	1742.653	14	47	543	-0.096
BM 14	1753.918	17	26	702	-0.125
BM 15	1740.949	18	14	750	-0.133
BM 18	1737.245	18	47	783	-0.139
BM 19	1735.255	19	33	829	-0.147
BM 20	1738.182	20	25	881	-0.157
Base	1708.111	23	56	1092	-0.194

Dari tabel diatas dapat dilihat bahwa hasil koreksi drift memiliki nilai yang cukup baik yaitu nilai koreksi terendah 0 mGal sampai nilai koreksi 0.194 mGal. Hal ini terjadi karena tingkat ketelitian alat yang cukup baik yaitu 0.01 mGal.

#### 4.2 Hasil dan Pembahasan Perhitungan Gaya Berat Observasi

Hasil penelitian yang telah dilakukan telah diperoleh nilai gaya berat observasi. Gaya berat observasi di peroleh berdasarkan pengikatan stasiun gaya berat absolut yang berada di bandara Juanda Surabaya yang di ikatkan lagi ke titik absolut pengukuran gaya berat yang terletak pada taman depan gedung fakultas MIPA Jurusan Fisika Universitas Brawijaya Malang. Adapun langkah dalam menghitung gaya berat observasi adalah sebagai berikut.



Gaya berat observasi diperoleh dari perbandingan antara gaya berat absolut, gaya berat relatif terkoreksi dan gaya berat relatif pada saat bacaan awal untuk setiap titik bacaan yang telah di konversi ke dalam tabel konversi alat gravimeter. Sedangkan gaya berat relatif terkoreksi merupakan selisih antara gaya berat relatif awal terhadap nilai koreksi drift. Untuk menghitung gaya berat observasi adalah :

$$\begin{aligned}
 g_{obs} &= g_{absolut} + (g_{rel} - \text{nilai bacaan awal}) \\
 &= 978080.0755 \text{ mGal} + (1736.065 \text{ mGal} - 1736.098 \text{ mGal}) \\
 &= 978108.223 \text{ mGal}
 \end{aligned}$$

*bacaan awal* = base yang terletak di Gedung Fisika Universitas  
Brawijaya Malang

Secara keseluruhan hasil perhitungan gaya berat observasi dapat di lihat pada tabel berikut.

Tabel 4.3 Hasil Perhitungan Gaya Berat Observasi

No Titik	$g_{rel}$ (mGal)	$g_{obs}$ (mGal)
<i>Base</i>	1707.917	978080.076
BM 04	1736.065	978108.223
BM 06	1727.608	978099.766
BM 07	1729.446	978101.605
BM 08	1742.172	978114.331
BM 12	1742.557	978114.715
BM 14	1753.794	978125.952
BM 15	1740.815	978112.974
BM 18	1737.106	978109.265
BM 19	1735.107	978107.266
BM 20	1738.026	978110.184
<i>Base</i>	1707.917	978080.076

Berdasarkan hasil perhitungan gaya berat observasi pada tabel 4.2 dapat dilihat bahwa hasil hitungan gaya berat observasi memiliki nilai terendah 978080.076 mGal dan nilai tertinggi 978112.974 mGal.

#### 4.3 Hasil dan Pembahasan Perhitungan Gaya Berat Normal

Gayaberat normal merupakan nilai teoritis yang mempresentasikan kecepatan gravitasi yang dihasilkan oleh ellipsoidal bumi yang menganggap densitasnya adalah homogen. [Richard K. Burkard, 1959]. Untuk menghitung gaya berat normal maka digunakan formula sbegai berikut.

$$\begin{aligned}
 G_{normal} &= \gamma * (1 - (2 * (1 + f + m - (2 * f(\sin\phi)^2) * (H/a)) + (3 * (H/a)^2)) \\
 &= 978131.5196 \text{ mGal} \times (1 - (2 \times (1 + 0.00335281 + 0.003449786 - \\
 &\quad (2 \times 0.00335281 (\sin(-7.95275)^\circ)^2) \times \\
 &\quad (4.869/6378137 \text{ m})) + (3 \times (4.869/6378137 \text{ m})^2)) \\
 &= 978130.016 \text{ mGal}
 \end{aligned}$$

Sedangkan hasil perhitungan  $\gamma$  diperoleh dari :

$$\begin{aligned}
 \gamma &= \frac{(a * \gamma_a * \cos(\phi)^2) + (b * \gamma_b * \sin(\phi)^2)}{(a^2 * \cos^2 \phi + b^2 * \sin^2 \phi)^{1/2}} \\
 &= (6378137 \text{ m} * 978032.6772 \text{ mGal} * \cos(7.95275)^\circ)^2 + \\
 &\quad (6356752.314 \text{ m} * 983218.6369 \text{ mGal} * \sin(7.95275)^\circ)^2 / \\
 &\quad (6378137 \text{ m} * \cos(-7.95275)^\circ)^2 + 6356752.314 \text{ m}^2 * \sin(-7.95275)^\circ)^2 \\
 &= 978131.5196 \text{ mGal}
 \end{aligned}$$

Dimana :

- a = semi mayor axis
- b = semi minor axis
- f = *flattening*
- m = *geodetic* parameter
- $\phi$  = *latitude* tiap titik pengamatan
- $\gamma$  = *normal gravity* tiap titik pengamatan
- H = tinggi *ellipsoid*

Untuk melihat hasil perhitungan gaya berat normal terkoreksi dan dapat dilihat pada tabel 4.4

Tabel 4.4 Hasil Perhitungan Gaya Berat Normal Setiap Titik

Titik	$\phi$ (desimal)	H(m)	$\gamma$ (mGal)	G_normal (mGal)
Base	-7.95275	4.8699	978131.5196	978130.0160
BM 04	-7.24555	4.8699	978114.8106	978113.3069
BM 06	-7.26834	4.8699	978115.3254	978113.8218
BM 07	-7.22573	4.8699	978114.3643	978112.8606
BM 08	-7.26396	4.8699	978115.2263	978113.7227
BM 12	-7.25752	4.8699	978115.0808	978113.5771
BM 14	-7.23053	4.8699	978114.4722	978112.9685
BM 15	-7.23513	4.8699	978114.5758	978113.0722
BM 18	-7.29016	4.8699	978115.8198	978114.3161
BM 19	-7.30955	4.8699	978116.2601	978114.7565
BM 20	-7.33077	4.8699	978116.7435	978115.2399
Base	-7.95275	4.8699	978131.5196	978130.0160

### 4.3 Hasil dan Pembahasan Perhitungan Koreksi *Free Air*

Koreksi free air dilakukan karena dalam Pengukuran gayaberat di permukaan datum dan di ketinggian tertentu pasti memiliki hasil yang berbeda. Titik pengamatan tidak selamanya berada pada permukaan datum sehingga perlu dilakukan koreksi ini. Namun Reduksi free *air* hanya memperhitungkan ketinggian tanpa memperhitungkan massa batuan antara geoid dan topografi (Hofmann dan Moritz, 2005). Untuk menghitung koreksi free air maka di gunakan formulas sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
\delta gF &= 2 \times \gamma(1 + f + m - (2 \times f(\sin\phi)^2) \times \frac{H}{a}) + \left(3 \times \gamma \times \left(\frac{H}{a}\right)^2\right) \\
&= 2 \times 978116.685(1 + 0.00335281 + 0.00344979 \\
&\quad - \left(2 \times 0.00335281 (\sin - 7.3281816)^2\right) \times \frac{5.558}{6378137}) \\
&\quad + \left(3 \times 978116.685 \times \left(\frac{4.869}{6378137}\right)^2\right) \\
&= 1.716 \text{ mGal}
\end{aligned}$$

Dimana :

$$\delta gF = \text{koreksi free air}$$

Hasil perhitungan koreksi free air setiap titik dapat dilihat pada tabel 4.5

Tabel 4.5 Perhitungan Koreksi Gaya Berat Free Air

NO Titik	$\phi$ (desimal)	$\gamma$ (mGal)	H (m)	$\delta gF$ (mGal)
BM 04	-7.2455489	978114.811	5.558	1.716
BM 06	-7.2683429	978115.325	6.891	2.128
BM 07	-7.2257320	978114.364	2.943	0.909
BM 08	-7.2639623	978115.226	6.083	1.878
BM 12	-7.2575199	978115.081	3.006	0.928
BM 14	-7.2305285	978114.472	3.671	1.133
BM 15	-7.2351310	978114.576	2.982	0.921
BM 18	-7.2901639	978115.820	3.064	0.946
BM 19	-7.3095481	978116.260	2.630	0.812
BM 20	-7.3307697	978116.744	1.871	0.578

#### 4.5 Hasil dan Pembahasan Perhitungan Anomali Gaya Berat Free Air

Data anomali gaya berat diperoleh dari hasil perhitungan antara gaya berat observasi ( $g_{obs}$ ), gaya berat normal ( $\gamma(H)$ ) dan koreksi gaya berat free air ( $\delta gF$ ) dengan persamaan sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
\Delta gF &= g_{obs} - g_{normal} + \delta gF \\
&= 978108.223 - 978113.094 + 1.716 \\
&= -3.155
\end{aligned}$$

Dimana :  $\Delta gF = \text{anomali free air}$

Hasil perhitungan anomali gaya berat free air kota Surabaya dapat di lihat pada tabel berikut.

Tabel 4.6 Anomali Gaya Berat Free Air

NO Titik	$g_{\text{obs}}$ (mGal)	$g_{\text{normal}}$ (mGal)	$\delta gF$ (mGal)	$\Delta gF$ (mGal)
BM 04	978108.223	978113.094	1.716	-3.155
BM 06	978099.766	978113.198	2.128	-11.304
BM 07	978101.605	978113.456	0.909	-10.942
BM 08	978114.331	978113.348	1.878	2.861
BM 12	978114.715	978114.153	0.928	1.491
BM 14	978125.952	978113.339	1.133	13.747
BM 15	978112.974	978113.655	0.921	0.240
BM 18	978109.265	978114.874	0.946	-4.663
BM 19	978107.266	978115.448	0.812	-7.370
BM 20	978110.184	978116.166	0.578	-5.404

Anomali gayaberat lokal hasil ukuran ( $\Delta g$ ) yang telah dihitung bervariasi dari -11.304 mGal sampai dengan 13.747 mGal. Nilai anomali gayaberat inilah yang nantinya akan digunakan dalam perhitungan kontribusi undulasi geoid dengan pendekatan Stokes. Hasil interpolasi nilai anomaly gaya berat free air kota Surabaya dapat di lihat pada gambar berikut.

Hasil tampilan interpolasi sebaran nilai anomali gaya berat free air kota Surabaya tidak terlalu baik dikarenakan sebaran titik yang tidak merata. Sebaran titik terlihat lebih banyak wilayah bagian utara kota Surabaya. Sedangkan sebaran titik di lainnya tidak merata bahkan hamper tidak ada. Jumlah titik yang diperoleh dari pemerintah kota ada 20 titik namun titik yang dapat diukur hanya 11 titik yang tersebar di kota Surabaya. Hal ini terjadi akibat tidak semua titik dapat diukur dikarenakan sensitifitas alat ukur gravimeter. Selain itu juga ada beberapa titik yang sudah rusak atau tidak bisa ditemukan. Sehingga tampilan hasil peta juga tidak terlalu baik. Pengolahan data menggunakan metode krigging dimana hasil plot data akan mengikuti jumlah pengambilan titik sampel.

#### 4.6 Hasil dan Pembahasan Perhitungan Undulasi Geoid Kota Surabaya

Proses perhitungan undulasi geoid kota Surabaya di lakukan dengan menghitung kontribusi dari model geopotensial global EGM 2008 dan menghitung kontribusi gayaberat lokal yang disebut sebagai model geoid gravimetri dengan pendekatan Stokes dihitung menggunakan pendekatan Stokes dengan metode *Fast Fourier Transform* (FFT). FFT mengasumsikan fungsi grid menjadi periode dalam x dan y, grid-grid tersebut harus melingkupi dari daerah pengamatan dengan interval grid 1'x1'. Hasil dari perhitungan undulasi gaya berat akan dibandingkan dengan data undulasi geoid dari data EGM 2008 dan data undulasi geoid dari data geometrik. Undulasi geometric diperoleh dari perbandingan antara

##### 4.6.1 Hasil dan Pembahasan Perhitungan N1 EGM 2008

Nilai kontribusi Undulasi geoid dari model geopotensial global EGM 2008 dihitung dengan menggunakan software *gravsoft*. Untuk Kota Surabaya nilai N1 geoid bervariasi berdasarkan jumlah titik pengamatan yang di ambil yaitu berkisar antara 29.159 meter sampai dengan 29.527 meter. Hasil perhitungan kontribusi N1 EGM 2008 kemudian di buat peta sebaran geoid dengan menggunakan *software arcgis 10.1*. hasil perhitungan tinggi geoid EGM dapat dihat pada tabel.4.7.

Tabel 4.7 Nilai Tinggi Geoid Data EGM 2008

NO titik	lintang (des)	bujur (des)	N EGM 2008 (m)
BM 04	-7.24555	112.6356889	29.158
BM 06	-7.26834	112.6662708	29.174
BM 07	-7.22573	112.6953683	29.341
BM 08	-7.26396	112.6927649	29.238
BM 12	-7.25752	112.7132055	29.295
BM 14	-7.23053	112.775296	29.499
BM 15	-7.23513	112.7948411	29.527
BM 18	-7.29016	112.7861532	29.374
BM 19	-7.30955	112.8229932	29.407
BM 20	-7.33077	112.8215934	29.38

#### 4.6.2 Hasil dan Pembahasan Perhitungan Tinggi Geoid Data GPS

Tinggi geoid geometrik diperoleh dari data pengamatan GPS berupa data tinggi orthometrik dan data tinggi ellipsoid kota Surabaya yang diperoleh dari data oleh pemerintah kota Surabaya. Untuk tinggi geoid geometrik dihitung berdasarkan rumus yang telah di jelaskan pada bab 2 yaitu pada persamaan 2.12 sehingga nilai N geometrik dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 4.8 Hasil Perhitungan Tinggi Geoid Data GPS

NO titik	H (m)	h (m)	N_geometrik (m)
BM 04	5.558	34.376	28.818
BM 06	6.891	35.761	28.87
BM 07	2.943	32.022	29.079
BM 08	6.083	32.066	28.973
BM 12	3.006	35.056	29.06
BM 14	3.671	33.011	29.34
BM 15	2.982	32.374	29.392
BM 18	3.064	32.282	29.218
BM 19	2.630	31.914	29.284
BM 20	1.871	31.105	29.234

#### 4.6.2 Hasil dan Pembahasan Perhitungan N2 Fungsi Stokes

Dalam perhitungan geoid gaya berat, nilai undulasi geoid sangat dipengaruhi oleh nilai anomali gayaberat *free-air* yang digunakan, artinya bahwa semakin baik data gaya berat lokal yang didapatkan dari hasil pengukuran di lapangan maka semakin nilai undulasi geoid lokal, sehingga model geoid yang dihasilkanpun akan semakin baik.

Hasil perhitungan kontribusi N gaya berat lokal pada 11 titik pengamatan menunjukkan bahwa nilai undulasi geoid lokal memiliki nilai terendah -0.953 dan nilai tertinggi mencapai 0.320 meter. Proses perhitungan undulasi geoid lokal dihitung dengan persamaan stokes seperti yang telah dijelaskan pada persamaan 2.9 pada bab 2. Hasilnya dapat di lihat pada tabel 4.9.





***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***

Dari hasil perhitungan undulasi geoid kota Surabaya menunjukkan bahwa daerah dataran rendah seperti kota Surabaya ternyata model geoid kota Surabaya setiap titik yang bervariasi. Model geoid Kota Surabaya dipengaruhi oleh nilai geoid dari data pengukuran gaya berat dan juga data model geopotensial global dalam hal ini data undulasi EGM 2008. Nilai geoid dari pengukuran gaya berat tergantung pada nilai anomali gaya berat yang digunakan. Kesalahan dan bias pada geoid lokal disebabkan karena dua hal, yaitu kesalahan dan bias pada nilai undulasi geometrik dan undulasi gravimetri. Undulasi geometrik mengandung kesalahan dan bias karena beberapa faktor, antara lain distribusi TTG yang tidak merata, kesalahan tinggi geometrik maupun tinggi ortometrik, serta karakteristik geoid di wilayah.

Analisis dilakukan pada lintang  $-7.15$  sampai dengan  $7.35$  degrees dan bujur  $112.6$  sampai dengan  $112.9$  degrees dengan interval grid  $1' \times 1'$  Perhitungan *software* Gravsoft memanfaatkan fungsi grid yang diinputkan sehingga untuk perhitungannya menyesuaikan perpotongan grid yang terbentuk. Hasil perhitungan undulasi geoid kota Surabaya menggunakan EGM 2008 dan hasil perhitungan undulasi geoid dengan data pengukuran gaya berat dan data geometrik dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 4.10 Perbandingan Selisih Nilai Undulasi Geoid Kota Surabaya

NO titik	N Geometrik (m)	N EGM 2008 (m)	N STOKES (m)	Selisih N EGM 2008 - dan N Geometrik (m)	N EGM 2008 dan N gaya berat
BM 04	28.818	29.158	-0.5346	0.340	29.6926
BM 06	28.87	29.174	-0.3202	0.304	29.4942
BM 07	29.079	29.341	-0.3347	0.262	29.6757
BM 08	28.973	29.238	-0.6981	0.265	29.9361
BM 12	29.06	29.295	-0.6616	0.235	29.9566
BM 14	29.34	29.499	-0.9533	0.159	30.4523
BM 15	29.392	29.527	-0.6292	0.135	30.1562
BM 18	29.218	29.374	-0.5155	0.156	29.8895
BM 19	29.284	29.407	-0.4604	0.123	29.8674
BM 20	29.234	29.380	-0.5047	0.146	29.8847

Berdasarkan tabel diatas terdapat perbedaan antara hasil perhitungan undulasi EGM 2008 dan hasil pengukuran gaya berat. Perbedaan tersebut di lihat dari nilai tinggi undulasi dari pehitungan *stokes* berdasarkan nilai gaya berat. Nilai geoid terendah dari hasil perbandingan antara tinggi EGM 2008 dan tinggi geoid hasil pengukuran gaya berat adalah 29.49 meter untuk nilai terendah dan nilai tertinggi adalah 30.45 meter. Sedangkan selisih perbedaan tinggi undulasi geoid untuk EGM 2008 dan tinggi hasil pengamatan GPS memiliki nilai terendah 0.123 meter dan nilai tertinggi 0.340 meter. Hasil ini menunjukkan bahwa kualitas nilai undulasi geoid N dapat dilihat dari besar kecilnya selisih antara undulasi dari hasil pengukuran dengan undulasi model geopotensial global EGM 2008. Selisih nilai undulasi yang diperoleh mampu menyajikan informasi geoid yang lebih akurat. Artinya bahwa semakin kecil selisih yang diperoleh dari hasil perhitungan undulasi geoid kota Surabaya maka semakin baik pula nilai diai undulasi geoid kota Surabaya hasil pengamatan gaya berat yang telah di lakukan di kota Surabaya.

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dengan hasil akhir yang telah dicapai maka dapat dibuat beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Nilai undulasi geoid yang di peroleh ada 2 yaitu tinggi undulasi dengan EGM 2008 yang memiliki nilai terendah 29.158 meter dan nilai tertinggi 29.527 meter, sedangkan untuk undulasi geoid gaya berat hasil perhitungan fungsi *stokes* diperoleh tinggi nilai undulasi geoid terendah adalah -0.95 meter dan nilai tertinggi -0.32 meter. Sehingga dapat disimpulkan bahwa undulasi geoid di Kota kota Surabaya tidak bisa dilihat dari kondisi topografinya, bahwa daerah bertopografi lebih tinggi belum tentu memiliki undulasi geoid yang lebih besar dibandingkan daerah bertopografi rendah.
2. Selisih antara undulasi geoid gaya berat dengan undulasi geoid EGM 2008 diperoleh dari hasil perhitungan tinggi geoid berdasarkan pengukuran gaya berat perbedaan tinggi geoid yang di peroleh untuk nilai terendah adalah 29.49 meter dan nilai tertinggi 30.45 meter.
3. Nilai anomali gaya berat Anomali gayaberat lokal hasil ukuran ( $\Delta g$ ) yang telah dihitung bervariasi dari -11.304 mGal sampai dengan 2.861 mGal. Namun Hasil tampilan peta interpolasi sebaran nilai anomali gaya berat free air kota Surabaya tidak terlalu baik dikarenakan sebaran titik yang tidak merata.

## 5.2 Saran

Adapun Saran yang dapat diberikan berdasarkan penelitian yang telah dilakukan sebagai bahan pertimbangan dalam penelitian selanjutnya untuk mendapatkan model geoid Kota Surabaya yang lebih baik adalah sebagai berikut :

1. Perlu dilakukan pengukuran gayaberat dengan daerah yang lebih luas dengan tingkat kerapatan yang baik.
2. Menambahkan titik-titik pengamatan pada lokasi penelitian sehingga hasil undulasi lebih tersabar dengan merata
3. Dalam pengukuran gaya berat sebaiknya memilih lokasi yang jauh dari keramaian sehingga hasil bacaan lebih baik dan waktu yang di gunakanpun lebih efektif
4. Penggunaan *software* yang lebih canggih dan proses pengolahan data untuk pencapaian hasil yang lebih baik.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abdalla, A. 2009. Determination of a gravimetric geoid model of sudan using the KTH method. Thesis Master sains geodesy,3109. Stockholme : Royal institute of technology (KTH)
- Abidin, H.Z. 2004. Penentuan Tinggi Orthometrik Gunung Semeru Berdasarkan Data Survei GPS dan Model Geoid EGM 1996. Departemen Teknik Geodesi, Institut Teknologi Bandung (ITB).
- Arabelos, D.N. dan Tscherning, C.C. 2010. "A comparison of recent Earth gravitational models with emphasis on their contributions in refining the gravity and geoid at continental or regional scale". *Journal of Geodesy*. 84, 643-660.
- Fitri, L. dan Heliani, L.S. 2008. "Evaluasi model geoid global di Pulau Jawa". *Media Teknik*. 4, 448-452.
- Grant, F.S. and G.F., West, 1965. *Interpretation Theory in Applied Geophysics*. McGraw-Hill, New York.
- Hadipandoyo, S. (2004). In *House Training Gravity*. Blera: Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral Pusdiklat Migas Cepu.
- Heiskanen, Weikko A. Dan Helmut Moritz. 1967. *Physical Geodesy*. United State of America : W.H. Freeman and Company.
- Hirt, C., Featherstone, W.E. dan Marti, U. 2010. "Combining EGM2008 and SRTM/DTM2006.0 residual terrain model data to improve quasigeoid computations in mountainous areas devoid of gravity data". *Journal of Geodesy*. 84, 557-567.
- Hofmann-Wellenhof, B., H. Moritz. 2005. *Physical Geodesy*, Austria : Springer-Verlag Wien.

- Kahar, Sutomo. 2007. Diktat Pelengkap Kuliah Pengantar Geodesi. Semarang : Penerbit Teknik Geodesi Universitas Diponegoro.
- Kamarudin, Noor. 1999. Perkembangan dalam Penentuan Model Geoid Masa Kini. Malaysia : Akademikn Fakulti Kejuruteraan dan Sains Geoinformasi.
- Khafid, Hendrayana E. dan Subaya C.1999. Penentuan Tinggi orthometrik dengan GPS Evaluasi berbagai model di Wilayah Indonesia, Forum Koordinasi dan Seminar Sehari, kesiapan jarring control geodesi dalam memasuki millennium III, Pusat survey dasar, Bakosurtanal. 37-55
- Noor, tajudin. 2012. Aplikasi gaya berat untuk pemetaan geoid dengan metode remove–restore diwilayah selat sunda dan sekitarnya. Fakultas matematika dan ilmu pengetahuan alam program studi fisika universitas Indonesia
- Nugroho, Gesit Faikar Izzani. 2011. Analisis Penampang Utara - Selatan Undulasi Geoid Kota Semarang. Semarang : Program Studi Teknik Geodesi Universitas Diponegoro.
- Rapp, R. H., 1992: Computation and accuracy of global geoid undulation models. Proceedings of the Sixth International Geodetic Symposium on Satellite Positioning, March 17-20, 1992, The Ohio State University, Columbus, OH, pp. 865-872.
- Rapp, R. H. and R. S. Nerem, 1995: A joint GSFC/DMA project for improving the model of the Earth's gravitational field. Presented at Joint Symposium of the International Gravity Commission and the International Geoid Commission, Graz, Austria, September, 1994.
- Rastawira, tanggo. 2013. Permodelan geoid kota semarang . Semarang : Program Studi Teknik Geodesi Universitas Diponegoro.
- Reynolds, M. John. 1997. An Introduction to Applied and Environmental Geophysics. New York : John Wiley & Sons

- Reza, Mukhammad Khaeru. 2013. Pembuatan Peta Model Undulasi Lokal(Study Kasus : Kecamatan Rao, Kabupaten Pasaman-Sumatera Barat). Program Studi Teknik Geodesi Universitas Diponegoro.
- Sears dan Zemansky,1962.fisika untuk universitas 1 mekanika. Panas. bumi. Yayasan dana buku Indonesia Jakarta – new york.
- Sneeuw, Nico. 2006. Lecture Notes : Physical Geodesy. Stuttgart : Institute of Geodesy Universitat Stuttgart.
- Supriyadi. 2009. Studi Gaya Berat Relatif di Semarang. Jurnal Pendidikan Fisika Indonesia 5. Semarang: Jurusan Fisika Fakultas MIPA Universitas Negeri Semarang.
- Susanto, Abdullah. 2010. Pemodelan Geoid dari Data Satelit Grace (Studi Kasus : Wilayah Indonesia).Surabaya : Digilib ITS.
- Torge, Wolfgang. 2001. Geodesy, 3rd Edition. Berlin : De Gruyter.



Lampiran

Data yang digunakan

Data pengukuran gaya berat

nomor titik	bacaan counter	bacaan	interval faktor	nilai dalam mGal	hasil konversi
	(mGal)	(mGal)	(mGal)	(mGal)	(mGal)
<i>Base</i>	1600	1684.230	1.01409	1622.50	1707.917
BM 18	1700	1712.019	1.01413	1723.91	1736.099
BM20	1700	1703.697	1.01413	1723.91	1727.659
19	1700	1705.523	1.01413	1723.91	1729.511
15	1700	1718.096	1.01413	1723.91	1742.262
14	1700	1718.482	1.01413	1723.91	1742.653
7	1700	1729.590	1.01413	1723.91	1753.918
6	1700	1716.801	1.01413	1723.91	1740.949
4	1700	1713.150	1.01413	1723.91	1737.246
8	1700	1711.187	1.01413	1723.91	1735.255
12	1700	1714.073	1.01413	1723.91	1738.182
<i>Base</i>	1600	1684.421	1.01409	1622.50	1708.110

Data perhitungan koreksi gaya berat

Reference ellipsoid GRS'80

semi major axis	$a$	6378137	m
semi minor axis	$b$	6356752.314	m
flattening	$f$	0.003352811	
gravity flattening	$f^*$	0.00530244	
geodetic parameter	$m$	0.003449786	
equatorial normal gravity	$\gamma_a$	978032.6772	mGal
polar normal gravity	$\gamma_b$	983218.6369	mGal
mean value of gravity	$\gamma_{-}$	979764.4656	mGal
topographic mass density	$\rho$	2670	kg.m-3

DATA

		-	
Latitude	$\phi$	7.328181551	
Height of all station	$H$	4.8699	m
Absolute gravity of base station	$g$	978080.0755	mGal
Normal gravity	$\gamma$	978116.6845	mGal

Relative gravity measurement on base station

Start		$g_{rel}$	1707.917	mGal
	Time	$h$	5	
		$m$	44	
End		$g_{rel}$	1708.111	mGal
	Time	$h$	23	
		$m$	56	

delta t  $\Delta t_0$  1092 minutes

gravimeter drift 0.194 mGal

drift correction gradien 0.000177682 mGal/minute

no titik	$\phi$ (desimal)	$\gamma$
base	-7.95275	978131.5196
4	-7.24555	978114.8106
6	-7.26834	978115.3254
7	-7.22573	978114.3643
8	-7.26396	978115.2263
12	-7.25752	978115.0808
14	-7.23053	978114.4722
15	-7.23513	978114.5758
18	-7.29016	978115.8198
19	-7.30955	978116.2601
20	-7.33077	978116.7435
base	-7.95275	978131.5196

STN	g <sub>rel awal</sub>	$\sigma$	Time		$\Delta t$	drift correction
			h	m		
Base	1707.917	0.1	5	44	0	0.000
BM 04	1736.098	0.1	8	55	191	-0.034
BM 06	1727.659	0.1	10	35	291	-0.052
BM 07	1729.511	0.1	11	52	368	-0.065
BM 08	1742.262	0.1	14	9	505	-0.090
BM 12	1742.653	0.1	14	47	543	-0.096
BM 14	1753.918	0.1	17	26	702	-0.125
BM 15	1740.949	0.1	18	14	750	-0.133
BM 18	1737.245	0.1	18	47	783	-0.139
BM 19	1735.255	0.1	19	33	829	-0.147
BM 20	1738.182	0.1	20	25	881	-0.157
Base	1708.111	0.1	23	56	1092	-0.194

$g_{rel}$ terkoreksi	$g_{obs}$	H	h	$g_{normal}/\gamma(H)$	$\delta g_F$	$\Delta g_F$
1707.917	978080.076	300.000		978038.898	92.635	133.812
1736.065	978108.223	5.558	34.376	978113.094	1.716	-3.155
1727.608	978099.766	6.891	35.761	978113.198	2.128	-11.304
1729.446	978101.605	2.943	32.022	978113.456	0.909	-10.942
1742.172	978114.331	6.083	32.066	978113.348	1.878	2.861
1742.557	978114.715	3.006	35.056	978114.153	0.928	1.491
1753.794	978125.952	3.671	33.011	978113.339	1.133	13.747
1740.815	978112.974	2.982	32.374	978113.655	0.921	0.240
1737.106	978109.265	3.064	32.282	978114.874	0.946	-4.663
1735.107	978107.266	2.630	31.914	978115.448	0.812	-7.370
1738.026	978110.184	1.871	31.105	978116.166	0.578	-5.404
1707.917	978080.076	300.000		978038.898	92.635	133.812

Tabel hasil perhitungan nilai undulasi geoid kota surabaya

NO titik	N_geometrik (m)	N1 EGM 2008 (m)	N STOKES (m)
BM 04	28.818	29.158	-0.5346
BM 06	28.87	29.174	-0.3202
BM 07	29.079	29.341	-0.3347
BM 08	28.973	29.238	-0.6981
BM 12	29.06	29.295	-0.6616
BM 14	29.34	29.499	-0.9533
BM 15	29.392	29.527	-0.6292
BM 18	29.218	29.374	-0.5155
BM 19	29.284	29.407	-0.4604
BM 20	29.234	29.38	-0.5047

NO Titik	longitude (dec d)	geodetic latitude (dec d)	orth height (m)	observed gravity (mGal)	normal gravity (mGal)	free air reduction (mGal)	free air anomaly (mGal)	spherical distance (deg)	Stokes integral	N2 (stokes) (m)	N_BM_04
	$\lambda P$	$\phi P$	HP	gP	$\gamma Q$	$\delta gf$	$\Delta gf$	$\psi$	S( $\psi$ )	N2	
BM 04	112.6356889	-7.24555	5.558	978108.2	978113.09	1.72	-3.16	0.68	180.63		-0.5346
	112.6662708	-7.26834	6.891	978099.8	978113.20	2.13	-11.30	0.71	171.79	-0.3034	
	112.6953683	-7.22573	2.943	978101.6	978113.46	0.91	-10.94	0.73	168.97	-0.2889	
	112.6927649	-7.26396	6.083	978114.3	978113.35	1.88	2.86	0.74	166.71	0.0745	
	112.7132055	-7.25752	3.006	978114.7	978114.15	0.93	1.49	0.75	163.18	0.0380	
	112.775296	-7.23053	3.671	978126	978113.34	1.13	13.75	0.80	153.50	0.3297	
	112.7948411	-7.23513	2.982	978113	978113.66	0.92	0.24	0.82	149.98	0.0056	
	112.7861532	-7.29016	3.064	978109.3	978114.87	0.95	-4.66	0.83	148.40	-0.1081	
	112.8229932	-7.30955	2.630	978107.3	978115.45	0.81	-7.37	0.87	141.78	-0.1632	
	112.8215934	-7.33077	1.871	978110.2	978116.17	0.58	-5.40	0.88	140.80	-0.1188	

NO Titik	longitude (dec d)	geodetic latitude (dec d)	orth height (m)	observed gravity (mGal)	normal gravity (mGal)	free air reduction (mGal)	free air anomaly (mGal)	spherical distance (deg)	Stokes integral	N2 (stokes) (m)	N_BM_06
	$\lambda P$	$\phi P$	HP	gP	$\gamma Q$	$\delta gf$	$\Delta gf$	$\psi$	S( $\psi$ )	N2	
BM 06	112.6356889	-7.24555	5.558	978108.223	978113.09	1.72	-3.16	0.68	180.63	-0.0890	-0.3202
	112.6662708	-7.26834	6.891	978099.766	978113.20	2.13	-11.30	0.71	171.79		
	112.6953683	-7.22573	2.943	978101.605	978113.46	0.91	-10.94	0.73	168.97	-0.2889	
	112.6927649	-7.26396	6.083	978114.331	978113.35	1.88	2.86	0.74	166.71	0.0745	
	112.7132055	-7.25752	3.006	978114.715	978114.15	0.93	1.49	0.75	163.18	0.0380	
	112.775296	-7.23053	3.671	978125.952	978113.34	1.13	13.75	0.80	153.50	0.3297	
	112.7948411	-7.23513	2.982	978112.974	978113.66	0.92	0.24	0.82	149.98	0.0056	
	112.7861532	-7.29016	3.064	978109.265	978114.87	0.95	-4.66	0.83	148.40	-0.1081	
	112.8229932	-7.30955	2.630	978107.266	978115.45	0.81	-7.37	0.87	141.78	-0.1632	
	112.8215934	-7.33077	1.871	978110.184	978116.17	0.58	-5.40	0.88	140.80	-0.1188	

NO Titik	longitude (dec d)	geodetic latitude (dec d)	orth height (m)	observed gravity (mGal)	normal gravity (mGal)	free air reduction (mGal)	free air anomaly (mGal)	spherical distance (deg)	Stokes integral	N2 (stokes) (m)	N_BM_07
	$\lambda P$	$\phi P$	HP	gP	$\gamma Q$	$\delta gf$	$\Delta gf$	$\psi$	S( $\psi$ )	N2	
BM 07	112.6356889	-7.24555	5.558	978108.223	978113.09	1.72	-3.16	0.68	180.63	-0.0890	-0.3347
	112.6662708	-7.26834	6.891	978099.766	978113.20	2.13	-11.30	0.71	171.79	-0.3034	
	112.6953683	-7.22573	2.943	978101.605	978113.46	0.91	-10.94	0.73	168.97		
	112.6927649	-7.26396	6.083	978114.331	978113.35	1.88	2.86	0.74	166.71	0.0745	
	112.7132055	-7.25752	3.006	978114.715	978114.15	0.93	1.49	0.75	163.18	0.0380	
	112.775296	-7.23053	3.671	978125.952	978113.34	1.13	13.75	0.80	153.50	0.3297	
	112.7948411	-7.23513	2.982	978112.974	978113.66	0.92	0.24	0.82	149.98	0.0056	
	112.7861532	-7.29016	3.064	978109.265	978114.87	0.95	-4.66	0.83	148.40	-0.1081	
	112.8229932	-7.30955	2.630	978107.266	978115.45	0.81	-7.37	0.87	141.78	-0.1632	
	112.8215934	-7.33077	1.871	978110.184	978116.17	0.58	-5.40	0.88	140.80	-0.1188	

NO Titik	longitude (dec d)	geodetic latitude (dec d)	orth height (m)	observed gravity (mGal)	normal gravity (mGal)	free air reduction (mGal)	free air anomaly (mGal)	spherical distance (deg)	Stokes integral	N2 (stokes) (m)	N_BM_08
	$\lambda P$	$\phi P$	HP	gP	$\gamma Q$	$\delta gf$	$\Delta gf$	$\psi$	S( $\psi$ )	N2	
BM 08	112.6356889	-7.24555	5.558	978108.223	978113.09	1.72	-3.16	0.68	180.63	-0.0890	-0.6981
	112.6662708	-7.26834	6.891	978099.766	978113.20	2.13	-11.30	0.71	171.79	-0.3034	
	112.6953683	-7.22573	2.943	978101.605	978113.46	0.91	-10.94	0.73	168.97	-0.2889	
	112.6927649	-7.26396	6.083	978114.331	978113.35	1.88	2.86	0.74	166.71		
	112.7132055	-7.25752	3.006	978114.715	978114.15	0.93	1.49	0.75	163.18	0.0380	
	112.775296	-7.23053	3.671	978125.952	978113.34	1.13	13.75	0.80	153.50	0.3297	
	112.7948411	-7.23513	2.982	978112.974	978113.66	0.92	0.24	0.82	149.98	0.0056	
	112.7861532	-7.29016	3.064	978109.265	978114.87	0.95	-4.66	0.83	148.40	-0.1081	
	112.8229932	-7.30955	2.630	978107.266	978115.45	0.81	-7.37	0.87	141.78	-0.1632	
	112.8215934	-7.33077	1.871	978110.184	978116.17	0.58	-5.40	0.88	140.80	-0.1188	

NO Titik	longitude (dec d)	geodetic latitude (dec d)	orth height (m)	observed gravity (mGal)	normal gravity (mGal)	free air reduction (mGal)	free air anomaly (mGal)	spherical distance (deg)	Stokes integral	N2 (stokes) (m)	
	$\lambda_P$	$\phi_P$	HP	gP	$\gamma_Q$	$\delta_{gf}$	$\Delta_{gf}$	$\psi$	S( $\psi$ )	N2	N_BM_12
BM 12	112.6356889	-7.24555	5.558	978108.223	978113.09	1.72	-3.16	0.68	180.63	-0.0890	-0.6616
	112.6662708	-7.26834	6.891	978099.766	978113.20	2.13	-11.30	0.71	171.79	-0.3034	
	112.6953683	-7.22573	2.943	978101.605	978113.46	0.91	-10.94	0.73	168.97	-0.2889	
	112.6927649	-7.26396	6.083	978114.331	978113.35	1.88	2.86	0.74	166.71	0.0745	
	112.7132055	-7.25752	3.006	978114.715	978114.15	0.93	1.49	0.75	163.18		
	112.775296	-7.23053	3.671	978125.952	978113.34	1.13	13.75	0.80	153.50	0.3297	
	112.7948411	-7.23513	2.982	978112.974	978113.66	0.92	0.24	0.82	149.98	0.0056	
	112.7861532	-7.29016	3.064	978109.265	978114.87	0.95	-4.66	0.83	148.40	-0.1081	
	112.8229932	-7.30955	2.630	978107.266	978115.45	0.81	-7.37	0.87	141.78	-0.1632	
	112.8215934	-7.33077	1.871	978110.184	978116.17	0.58	-5.40	0.88	140.80	-0.1188	

NO Titik	longitude (dec d)	geodetic latitude (dec d)	orth height (m)	observed gravity (mGal)	normal gravity (mGal)	free air reduction (mGal)	free air anomaly (mGal)	spherical distance (deg)	Stokes integral	N2 (stokes) (m)	
	$\lambda_P$	$\phi_P$	HP	gP	$\gamma_Q$	$\delta_{gf}$	$\Delta_{gf}$	$\psi$	S( $\psi$ )	N2	N_BM_14
BM 14	112.6356889	-7.24555	5.558	978108.223	978113.09	1.72	-3.16	0.68	180.63	-0.0890	-0.9533
	112.6662708	-7.26834	6.891	978099.766	978113.20	2.13	-11.30	0.71	171.79	-0.3034	
	112.6953683	-7.22573	2.943	978101.605	978113.46	0.91	-10.94	0.73	168.97	-0.2889	
	112.6927649	-7.26396	6.083	978114.331	978113.35	1.88	2.86	0.74	166.71	0.0745	
	112.7132055	-7.25752	3.006	978114.715	978114.15	0.93	1.49	0.75	163.18	0.0380	
	112.775296	-7.23053	3.671	978125.952	978113.34	1.13	13.75	0.80	153.50		
	112.7948411	-7.23513	2.982	978112.974	978113.66	0.92	0.24	0.82	149.98	0.0056	
	112.7861532	-7.29016	3.064	978109.265	978114.87	0.95	-4.66	0.83	148.40	-0.1081	
	112.8229932	-7.30955	2.630	978107.266	978115.45	0.81	-7.37	0.87	141.78	-0.1632	
	112.8215934	-7.33077	1.871	978110.184	978116.17	0.58	-5.40	0.88	140.80	-0.1188	

NO Titik	longitude (dec d)	geodetic latitude (dec d)	orth height (m)	observed gravity (mGal)	normal gravity (mGal)	free air reduction (mGal)	free air anomaly (mGal)	spherical distance (deg)	Stokes integral	N2 (stokes) (m)	N_BM_15
	$\lambda P$	$\phi P$	HP	gP	$\gamma Q$	$\delta gf$	$\Delta gf$	$\psi$	S( $\psi$ )	N2	
BM 15	112.6356889	-7.24555	5.558	978108.223	978113.09	1.72	-3.16	0.68	180.63	-0.0890	-0.6292
	112.6662708	-7.26834	6.891	978099.766	978113.20	2.13	-11.30	0.71	171.79	-0.3034	
	112.6953683	-7.22573	2.943	978101.605	978113.46	0.91	-10.94	0.73	168.97	-0.2889	
	112.6927649	-7.26396	6.083	978114.331	978113.35	1.88	2.86	0.74	166.71	0.0745	
	112.7132055	-7.25752	3.006	978114.715	978114.15	0.93	1.49	0.75	163.18	0.0380	
	112.775296	-7.23053	3.671	978125.952	978113.34	1.13	13.75	0.80	153.50	0.3297	
	112.7948411	-7.23513	2.982	978112.974	978113.66	0.92	0.24	0.82	149.98		
	112.7861532	-7.29016	3.064	978109.265	978114.87	0.95	-4.66	0.83	148.40	-0.1081	
	112.8229932	-7.30955	2.630	978107.266	978115.45	0.81	-7.37	0.87	141.78	-0.1632	
	112.8215934	-7.33077	1.871	978110.184	978116.17	0.58	-5.40	0.88	140.80	-0.1188	
NO Titik	longitude (dec d)	geodetic latitude (dec d)	orth height (m)	observed gravity (mGal)	normal gravity (mGal)	free air reduction (mGal)	free air anomaly (mGal)	spherical distance (deg)	Stokes integral	N2 (stokes) (m)	N_BM_19
	$\lambda P$	$\phi P$	HP	gP	$\gamma Q$	$\delta gf$	$\Delta gf$	$\psi$	S( $\psi$ )	N2	
BM 19	112.6356889	-7.24555	5.558	978108.223	978113.09	1.72	-3.16	0.68	180.63	-0.0890	-0.4604
	112.6662708	-7.26834	6.891	978099.766	978113.20	2.13	-11.30	0.71	171.79	-0.3034	
	112.6953683	-7.22573	2.943	978101.605	978113.46	0.91	-10.94	0.73	168.97	-0.2889	
	112.6927649	-7.26396	6.083	978114.331	978113.35	1.88	2.86	0.74	166.71	0.0745	
	112.7132055	-7.25752	3.006	978114.715	978114.15	0.93	1.49	0.75	163.18	0.0380	
	112.775296	-7.23053	3.671	978125.952	978113.34	1.13	13.75	0.80	153.50	0.3297	
	112.7948411	-7.23513	2.982	978112.974	978113.66	0.92	0.24	0.82	149.98	0.0056	
	112.7861532	-7.29016	3.064	978109.265	978114.87	0.95	-4.66	0.83	148.40	-0.1081	
	112.8229932	-7.30955	2.630	978107.266	978115.45	0.81	-7.37	0.87	141.78		
	112.8215934	-7.33077	1.871	978110.184	978116.17	0.58	-5.40	0.88	140.80	-0.1188	

NO Titik	longitude (dec d)	geodetic latitude (dec d)	orth height (m)	observed gravity (mGal)	normal gravity (mGal)	free air reduction (mGal)	free air anomaly (mGal)	spherical distance (deg)	Stokes integral	N2 (stokes) (m)	N_BM_20
	$\lambda P$	$\phi P$	HP	gP	$\gamma Q$	$\delta gf$	$\Delta gf$	$\psi$	S( $\psi$ )	N2	
BM 20	112.6356889	-7.24555	5.558	978108.223	978113.09	1.72	-3.16	0.68	180.63	-0.0890	-0.5047
	112.6662708	-7.26834	6.891	978099.766	978113.20	2.13	-11.30	0.71	171.79	-0.3034	
	112.6953683	-7.22573	2.943	978101.605	978113.46	0.91	-10.94	0.73	168.97	-0.2889	
	112.6927649	-7.26396	6.083	978114.331	978113.35	1.88	2.86	0.74	166.71	0.0745	
	112.7132055	-7.25752	3.006	978114.715	978114.15	0.93	1.49	0.75	163.18	0.0380	
	112.775296	-7.23053	3.671	978125.952	978113.34	1.13	13.75	0.80	153.50	0.3297	
	112.7948411	-7.23513	2.982	978112.974	978113.66	0.92	0.24	0.82	149.98	0.0056	
	112.7861532	-7.29016	3.064	978109.265	978114.87	0.95	-4.66	0.83	148.40	-0.1081	
	112.8229932	-7.30955	2.630	978107.266	978115.45	0.81	-7.37	0.87	141.78	-0.1632	
	112.8215934	-7.33077	1.871	978110.184	978116.17	0.58	-5.40	0.88	140.80		



DATA SEBARAN TITIK BM KOTA SURABAYA

no titik	lintang(latitude)			desimal	bujur(longitude)			
4	7	14	43.97590	7.24555	112	38	8.48000	112.63569
6	7	16	6.03443	7.26834	112	39	58.57504	112.66627
7	7	13	32.63528	7.22573	112	41	43.32575	112.69537
8	7	15	50.26444	7.26396	112	41	33.95373	112.69276
12	7	15	27.07146	7.25752	112	42	47.53989	112.71321
14	7	13	49.90273	7.23053	112	46	31.06572	112.77530
15	7	14	6.47151	7.23513	112	47	41.42790	112.79484
18	7	17	24.59011	7.29016	112	47	10.15149	112.78615
19	7	18	34.37313	7.30955	112	49	22.77537	112.82299
20	7	19	50.77077	7.33077	112	49	17.73619	112.82159

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dengan hasil akhir yang telah dicapai maka dapat dibuat beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Nilai undulasi geoid yang di peroleh ada 2 yaitu tinggi undulasi dengan EGM 2008 yang memiliki nilai terendah 29.158 meter dan nilai tertinggi 29.527 meter, sedangkan untuk undulasi geoid gaya berat hasil perhitungan fungsi *stokes* diperoleh tinggi nilai undulasi geoid terendah adalah -0.95 meter dan nilai tertinggi -0.32 meter. Sehingga dapat disimpulkan bahwa undulasi geoid di Kota kota Surabaya tidak bisa dilihat dari kondisi topografinya, bahwa daerah bertopografi lebih tinggi belum tentu memiliki undulasi geoid yang lebih besar dibandingkan daerah bertopografi rendah.
2. Selisih antara undulasi geoid gaya berat dengan undulasi geoid EGM 2008 diperoleh dari hasil perhitungan tinggi geoid berdasarkan pengukuran gaya berat perbedaan tinggi geoid yang di peroleh untuk nilai terendah adalah 29.49 meter dan nilai tertinggi 30.45 meter.
3. Nilai anomali gaya berat Anomali gayaberat lokal hasil ukuran ( $\Delta g$ ) yang telah dihitung bervariasi dari -11.304 mGal sampai dengan 2.861 mGal. Namun Hasil tampilan peta interpolasi sebaran nilai anomali gaya berat free air kota Surabaya tidak terlalu baik dikarenakan sebaran titik yang tidak merata.

#### 5.2 Saran

Adapun Saran yang dapat diberikan berdasarkan penelitian yang telah dilakukan sebagai bahan pertimbangan dalam penelitian selanjutnya untuk mendapatkan model geoid Kota Surabaya yang lebih baik adalah sebagai berikut :

1. Perlu dilakukan pengukuran gayaberat dengan daerah yang lebih luas dengan tingkat kerapatan yang baik.
2. Menambahkan titik-titik pengamatan pada lokasi penelitian sehingga hasil undulasi lebih tersabar dengan merata

3. Dalam pengukuran gaya berat sebaiknya memilih lokasi yang jauh dari keramaian sehingga hasil bacaan lebih baik dan waktu yang di gunakanpun lebih efektif
4. Penggunaan *software* yang lebih canggih dan proses pengolahan data untuk pencapaian hasil yang lebih baik.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abdalla, A. 2009. Determination of a gravimetric geoid model of sudan using the KTH method. Thesis Master sains geodesy,3109. Stockholme : Royal institute of technology (KTH)
- Abidin, H.Z. 2004. Penentuan Tinggi Orthometrik Gunung Semeru Berdasarkan Data Survei GPS dan Model Geoid EGM 1996. Departemen Teknik Geodesi, Institut Teknologi Bandung (ITB).
- Arabelos, D.N. dan Tscherning, C.C. 2010. "A comparison of recent Earth gravitational models with emphasis on their contributions in refining the gravity and geoid at continental or regional scale". *Journal of Geodesy*. 84, 643-660.
- Fitri, L. dan Heliani, L.S. 2008. "Evaluasi model geoid global di Pulau Jawa". *Media Teknik*. 4, 448-452.
- Grant, F.S. and G.F., West, 1965. *Interpretation Theory in Applied Geophysics*. McGraw-Hill, New York.
- Hadipandoyo, S. (2004). *In House Training Gravity*. Biora: Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral Pusdiklat Migas Cepu.
- Heiskanen, Weikko A. Dan Helmut Moritz. 1967. *Physical Geodesy*. United State of America : W.H. Freeman and Company.
- Hirt, C., Featherstone, W.E. dan Marti, U. 2010. "Combining EGM2008 and SRTM/DTM2006.0 residual terrain model data to improve quasigeoid computations in mountainous areas devoid of gravity data". *Journal of Geodesy*. 84, 557-567.
- Hofmann-Wellenhof, B., H. Moritz. 2005. *Physical Geodesy, Austria* : Springer-Verlag Wien.
- Kahar, Sutomo. 2007. *Diktat Pelengkap Kuliah Pengantar Geodesi*. Semarang : Penerbit Teknik Geodesi Universitas Diponegoro.

- Kamarudin, Noor. 1999. Perkembangan dalam Penentuan Model Geoid Masa Kini. Malaysia : Akademikn Fakulti Kejuruteraan dan Sains Geoinformasi.
- Khafid, Hendrayana E. dan Subaya C.1999. Penentuan Tinggi orthometrik dengan GPS Evaluasi berbagai model di Wilayah Indonesia, Forum Koordinasi dan Seminar Sehari, kesiapan jarring control geodesi dalam memasuki millennium III, Pusat survey dasar, Bakosurtanal. 37-55
- Noor, tajudin. 2012. Aplikasi gaya berat untuk pemetaan geoid dengan metode remove – restore diwilayah selat sunda dan sekitarnya. Fakultas matematika dan ilmu pengetahuan alam program studi fisika universitas Indonesia
- Nugroho, Gesit Faikar Izzani. 2011. Analisis Penampang Utara - Selatan Undulasi Geoid Kota Semarang. Semarang : Program Studi Teknik Geodesi Universitas Diponegoro.
- Rapp, R. H., 1992: Computation and accuracy of global geoid undulation models. Proceedings of the Sixth International Geodetic Symposium on Satellite Positioning, March 17-20, 1992, The Ohio State University, Columbus, OH, pp. 865-872.
- Rapp, R. H. and R. S. Nerem, 1995: A joint GSFC/DMA project for improving the model of the Earth's gravitational field. Presented at Joint Symposium of the International Gravity Commission and the International Geoid Commission, Graz, Austria, September, 1994.
- Rastawira, tanggo. 2013. Permodelan geoid kota semarang . Semarang : Program Studi Teknik Geodesi Universitas Diponegoro.
- Reynolds, M. John. 1997. An Introduction to Applied and Environmental Geophysics. New York : John Wiley & Sons
- Reza, Mukhammad Khaeru. 2013. Pembuatan Peta Model Undulasi Lokal(Study Kasus : Kecamatan Rao, Kabupaten Pasaman-Sumatera Barat). Program Studi Teknik Geodesi Universitas Diponegoro.
- Sears dan Zemansky,1962.fisika untuk universitas 1 mekanika. Panas. bumi. Yayasan d ana buku Indonesia Jakarta – new york.

Sneeuw, Nico. 2006. Lecture Notes : Physical Geodesy. Stuttgart : Institute of Geodesy  
Universitat Stuttgart.

Supriyadi. 2009. Studi Gaya Berat Relatif di Semarang. Jurnal Pendidikan Fisika Indonesia 5.  
Semarang: Jurusan Fisika Fakultas MIPA Universitas Negeri Semarang.

Susanto, Abdullah. 2010. Pemodelan Geoid dari Data Satelit Grace (Studi Kasus :  
Wilayah Indonesia).Surabaya : Digilib ITS.

Torge, Wolfgang. 2001. Geodesy, 3rd Edition. Berlin : De Gruyter.

## **BIODATA PENULIS**



Trini Noritha Martha Padama lahir di kalabahi Nusa Tenggara Timur, pada tanggal 2 Agustus 1988. Penulis biasa disapa Ita, merupakan anak bungsu dari pasangan Karel Padama dan Adriana Duka (Alm). Pendidikan formal yang ditempuh penulis antara lain SDN Impres wairklau Maumere Flores NTT, SMP Negeri 1 Maumere, SMA Negeri 1 Maumere. Pada tahun 2006 penulis melanjutkan studi di kampus ITN malang jurusan Teknik Geodesi dan selesai pada tahun 2013. Penulis kemudian melanjutkan studi program Pascasarjana di kampus ITS Surabaya September 2013 melalui program beasiswa