

Studi Anomali Gayaberat *Free Air* di Kota Surabaya

Enira Suryaningsih dan Ira Mutiara Anjasmara

Departemen Teknik Geomatika, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
e-mail: ira@geodesy.its.ac.id

Abstrak—Model Geoid Global EGM (*Earth Gravitational Model*) 2008 merupakan model geoid yang didapatkan dari informasi anomali gayaberat *free-air* dengan grid 2.5 menit. Grid tersebut dibentuk dari kombinasi data terestrial, turunan altimetri dan data gayaberat dari airborne. Akan tetapi, pengukuran gayaberat di Indonesia masih jarang dilakukan hingga saat ini dan kontribusi nilai gayaberat untuk EGM 2008 di Indonesia kurang. Oleh karena itu, tujuan dalam penelitian ini yaitu untuk mengetahui anomali gayaberat *free air* di Kota Surabaya berdasarkan pengukuran data insitu serta data anomali gayaberat *free air* EGM 2008. Metodologi penelitian studi ini yaitu dengan pengambilan data insitu di Kota Surabaya, kemudian diolah menjadi anomali gayaberat *free air*. Data tersebut di-*plotting* menggunakan aplikasi Generic Mapping Tools. Data anomali gayaberat *free air* dari EGM 2008 juga di-*plotting* menggunakan GMT. Berdasarkan pengolahan dan analisis data insitu didapatkan bahwa nilai anomali gayaberat *free air* berkisar antara -25 mGal – 20 mGal. Sedangkan nilai anomali gayaberat *free air* dari EGM 2008 berkisar antara -30 mGal – 10 mGal.

Kata kunci—Data Insitu, EGM 2008, Anomali Gayaberat *Free Air*.

I. PENDAHULUAN

TEKNOLOGI GNSS (*Global Navigation Satellite System*) merupakan teknologi survei dan pemetaan yang memiliki peran penting saat ini. Teknologi GNSS dapat digunakan untuk menentukan posisi tiga dimensi dengan beracuan pada ellipsoid global yaitu WGS 84. Ellipsoid merupakan model matematis bumi [1] yang digunakan untuk mempermudah perhitungan matematis di atas permukaan bumi. Informasi tinggi yang dihasilkan dari pengukuran tersebut disebut tinggi normal atau tinggi ellipsoid. Akan tetapi, informasi tinggi tersebut tidak dapat dijadikan sebagai acuan informasi tinggi karena tidak menggambarkan kondisi fisik bumi yang sebenarnya. Informasi tinggi yang dibutuhkan seharusnya beracuan pada geoid atau biasa disebut tinggi ortometrik.

Geoid merupakan model fisik bumi yaitu model bumi yang paling mendekati bentuk bumi yang sebenarnya. Model fisik bumi tersebut diasumsikan sama atau berhimpit dengan tinggi muka laut rata-rata (*Mean Sea Level/MSL*) pada kondisi laut yang tenang [1]. Penentuan geoid adalah penentuan penyimpangan geoid atau undulasi geoid (N) dan defleksi vertikal (ξ) terhadap elipsoid referensi. Nilai undulasi geoid tidak pernah sama disetiap tempat, hal tersebut disebabkan ketidakseragaman sebaran densitas bumi. Nilai undulasi geoid tersebut yang digunakan untuk memodelkan bentuk geoid yang sebenarnya [2].

Pemodelan potensial gravitasi bumi yang akurat secara global dengan resolusi tinggi merupakan hal yang mendasar dalam bidang geodesi, geofisika, oseanografi dan berbagai aplikasinya[3]. Hingga saat ini sudah banyak terdapat model geoid global, salah satunya adalah EGM 2008 (*Earth Gravitational Model 2008*). Model Geoid Global EGM 2008 merupakan model geoid yang didapatkan dari informasi anomali gayaberat *free-air* dengan grid 2.5 menit. Grid tersebut dibentuk dari kombinasi data terestrial, turunan altimetri dan data gayaberat *airborne* [3].

Pengukuran gayaberat di Indonesia masih jarang dilakukan hingga saat ini. Pengukuran gayaberat memiliki manfaat yang beragam salah satunya adalah diketahuinya anomali gayaberat *free air*. Anomali gayaberat *free air* merupakan nilai anomali gayaberat yang telah dikurangi efek udara bebas sehingga dapat merepresentasikan topografi suatu area secara umum. Oleh karena itu, dalam penelitian ini dilakukan pengukuran gayaberat untuk mengetahui anomali gayaberat *free air* di Kota Surabaya berdasarkan insitu dan data EGM 2008.

II. METODOLOGI PENELITIAN

A. Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian dalam penelitian studi ini yaitu di Kota Surabaya. Secara geografis Kota Surabaya berada di 7°9' - 7°21' LS dan 112°36' - 112°57' BT. Peta lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.

B. Data dan Peralatan

1) Data

Data yang digunakan dalam studi dibagi menjadi dua, yaitu data primer dan data sekunder. Data primer dalam studi ini adalah gayaberat Kota Surabaya hasil pengukuran tahun 2017. Sedangkan data sekundernya adalah anomali gayaberat *free air* EGM 2008 dan gayaberat Kota Surabaya hasil pengukuran tahun 2016.

2) Peralatan

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini meliputi:

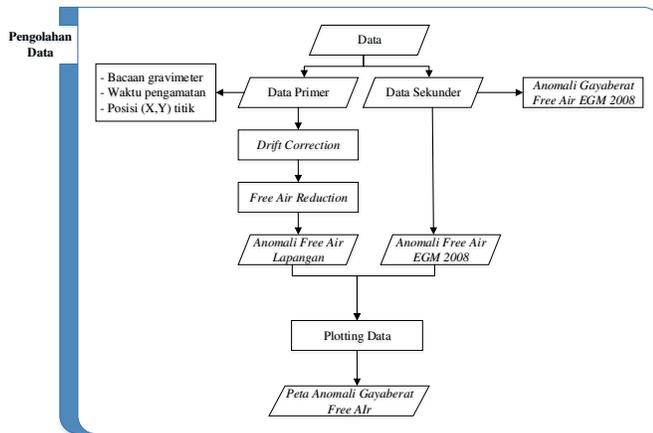
1. Perangkat Keras
 - a. Gravimeter Lacoste & Romberg tipe G-1053
 - b. GPS Geodetik
2. Perangkat Lunak
 - a. Aplikasi Generic Mapping Tool (GMT)
 - b. Aplikasi Pengolah Angka dan Kata



Gambar 1. Lokasi Penelitian .

C. Tahapan Pengolahan Data

Tahapan pengolahan data pada penelitian ini adalah sebagai berikut:



Gambar 2. Diagram Alir Pengolahan Data.

Penjelasan diagram alir di atas sebagai berikut.

1) Konversi Bacaan

Nilai bacaan alat di lapangan perlu dikonversi dalam satuan mGal. Proses konversi nilai menggunakan tabel konversi yang disediakan. Perumusan yang digunakan dalam konversi adalah sebagai berikut [4].

$$hasil = \{(bacaan-counter) \times faktor\ interval\} + value\ in\ mGal \tag{1}$$

2) Drift Correction

Koreksi ini dilakukan untuk menghilangkan pengaruh perubahan kondisi alat terhadap nilai bacaan. Koreksi ini dilakukan dengan cara melakukan pengukuran dengan metode *looping*, sehingga nilai penyimpangannya diketahui. Besarnya koreksi apungan dirumuskan sebagai berikut [5].

$$DC = -\frac{g'_A - g_A}{t'_A - t_A} (t_n - t_A) \tag{2}$$

Keterangan:

- DC : koreksi apungan pada titik acuan pengamatan
- g_A : harga gayaberat di titik acuan pada waktu t_A
- g'_A : harga gayaberat di titik acuan pada waktu t'_A

- t_A : waktu pengamatan di titik acuan saat awal
- t'_A : waktu pengamatan di titik acuan saat akhir
- t_n : waktu pengamatan di titik pengamatan

3) Free Air Reduction

Reduksi udara bebas dilakukan untuk mengurangi efek atmosfer di atas permukaan tanah. Massa di atas geoid diabaikan kecuali yang linier sehingga didapatkan [6],

$$F = -\frac{\partial g}{\partial H} H = 0.3086 H \tag{3}$$

Keterangan:

- F : nilai reduksi udara bebas
- H : tinggi ortometrik

Untuk mengetahui nilai anomali gayaberat *free air* dibutuhkan juga nilai gayaberat normal yaitu nilai gayaberat pada ellipsoid. Untuk mendapatkan nilai tersebut formula Somagliana yang digunakan sebagai berikut [6]

$$\gamma(\varphi) = \frac{a\gamma_a \cos^2 \varphi + b\gamma_b \sin^2 \varphi}{\sqrt{a^2 \cos^2 \varphi + b^2 \sin^2 \varphi}} \tag{4}$$

dimana,

- φ : lintang titik (derajat)
- a : sumbu panjang ellipsoid (m)
- b : sumbu pendek ellipsoid (m)
- γ_a : gayaberat normal di ekuator (mGal), γ_a WGS 84 = 9780325,3359 mGal
- γ_b : gayaberat normal di kutub (mGal), γ_b WGS 84 = 9832184,9378 mGal

Untuk mengetahui hubungannya dengan elevasinya maka digunakan deret Taylor sebagai berikut [6]

$$\gamma(h) = \gamma(\varphi) \left[1 - 2(1 + f + m - 2f \sin^2 \varphi) \frac{H}{a} + 3 \frac{H^2}{a^2} \right] \tag{5}$$

$$m = \frac{\omega^2 a^2 b}{GM}$$

dimana,

- $\gamma(h)$: gayaberat normal pada lintang φ dan tinggi h (mGal)
 - $\gamma(\varphi)$: gayaberat normal pada lintang φ (mGal)
 - φ : lintang titik (derajat)
 - f : pengepengan ellipsoid
 - m : perbandingan percepatan sentrifugal dan gravitasi pada ekuator
 - H : tinggi ortometrik (m)
 - a : sumbu panjang ellipsoid (m)
 - b : sumbu pendek ellipsoid (m)
 - ω : percepatan sudut bumi, ω WGS 84 = 7292115×10^{-11} rad/s
 - GM : konstanta gravitasi geosentrik bumi, GM WGS 84 = $3986004,418 \times 10^8$ m³s⁻²
- Nilai anomali gayaberat *free air* didapatkan dengan

$$\Delta g = g_{obs} - \gamma(h) + F \tag{6}$$

dimana,

- Δg : anomali gayaberat *free air* (mGal)
- g_{obs} : gayaberat geoid/pengamatan (mGal)

4) *Plotting Data*

Penyajian data dilakukan dengan melakukan *plotting* anomali gayabarat *free air* pada aplikasi GMT.

III. HASIL DAN ANALISIS

A. *Konversi Bacaan*

Hasil pengukuran gayabarat relatif di lapangan menghasilkan nilai bacaan alat yang perlu dikonversi menggunakan formula 1. Hasil pengukuran tersebut dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1.
Bacaan Alat

Stasiun	Bacaan 1	Bacaan 2	Bacaan 3	Rata-rata	Std. Dev
BMG.1.0324	1719.030	1719.030	1719.030	1719.030	0
BM 16	1719.255	1719.300	1719.290	1719.282	0.024
LB06	1726.005	1726.005	1726.005	1726.005	0
BM01	1713.372	1713.372	1713.372	1713.372	0
LB04	1706.440	1706.440	1706.440	1706.440	0
SBY007	1714.222	1714.222	1714.222	1714.222	0
BM33	1711.520	1711.520	1711.520	1711.520	0
BM29	1714.141	1714.141	1714.141	1714.141	0
BM24	1711.088	1711.088	1711.088	1711.088	0
BM23	1714.160	1714.160	1714.160	1714.160	0
BM21	1719.411	1719.411	1719.411	1719.411	0
SBY015	1724.541	1724.962	1724.635	1724.713	0.221
BM8	1716.635	1716.635	1716.635	1716.635	0
LB08	1718.409	1718.371	1718.409	1718.396	0.022
BM ITS01	1718.325	1718.325	1718.352	1718.334	0.016
BM Pakuwon	1718.352	1718.352	1718.352	1718.352	0
BM19	1707.088	1707.729	1707.317	1707.378	0.325
LB01	1708.430	1708.430	1708.545	1708.468	0.066
SBY003	1703.995	1703.995	1704.055	1704.015	0.035
BMG.1.0324	1718.810	1718.810	1718.810	1718.810	0

Tabel 2.
Konversi Bacaan Alat

No	Stasiun	Rata-rata bacaan	Gayabarat Relatif (mGal)
1	BMG.1.0324	1719.030	1743.20889
2	BM 16	1719.282	1743.46411
3	LB06	1726.005	1750.28245
4	BM01	1713.372	1737.47094
5	LB04	1706.440	1730.44099
6	SBY007	1714.222	1738.33295
7	BM33	1711.520	1735.59277
8	BM29	1714.141	1738.25081
9	BM24	1711.088	1735.15467
10	BM23	1714.160	1738.27008
11	BM21	1719.411	1743.59527
12	SBY015	1724.713	1748.97185
13	BM8	1716.635	1740.78005
14	LB08	1718.396	1742.56627
15	BM ITS01	1718.334	1742.50305
16	BM Pakuwon	1718.352	1742.52131

17	BM19	1707.378	1731.39225
18	LB01	1708.468	1732.49799
19	SBY003	1704.015	1727.98173
20	BMG.1.0324	1718.810	1742.98578

Nilai standar deviasi yang didapatkan melambangkan tingkat presisi pengukuran. Semakin tinggi nilai standar deviasi maka tingkat presisinya semakin rendah. Pada tabel 4.3 di atas dapat dilihat bahwa nilai standar deviasi tinggi adalah SBY015 dan BM19 yaitu 0.22098 dan 0.32482. Nilai standar deviasi SBY015 (dekat Pergudangan) tinggi disebabkan karena aktivitas transportasi di area tersebut tinggi. Sedangkan, pada BM19 (dekat Wisata Mangrove) disebabkan lokasi patok yang sangat dekat dengan jalan, kondisi tanah disekitar patok yang kurang stabil dan beberapa kendaraan lalu lalang melewati jalan tersebut. Hasil konversi bacaan alat di lapangan dapat dilihat pada tabel 2.

B. *Drift Correction*

Hasil perhitungan koreksi apungan dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 3.
Koreksi Apungan

Stasiun	Waktu Pengukuran	Selisih Waktu (jam)	Drift Correction (mGal)	g _{rel} terkoreksi
BMG.1.0324	23:04:30	0:00:00	0.000	1743.209
BM 16	23:28:37	0:24:07	0.005	1743.469
LB06	0:04:30	1:00:00	0.013	1750.295
BM01	2:05:00	3:00:30	0.038	1737.509
LB04	2:25:03	3:20:33	0.042	1730.484
SBY007	2:54:15	3:49:45	0.049	1738.381
BM33	3:39:00	4:34:30	0.058	1735.651
BM29	4:07:15	5:02:45	0.064	1738.315
BM24	4:37:35	5:33:05	0.071	1735.234
BM23	5:18:20	6:13:50	0.079	1738.349
BM21	6:17:21	7:12:51	0.092	1743.687
SBY015	7:57:38	8:53:08	0.113	1749.085
BM8	8:32:38	9:28:08	0.120	1740.901
LB08	9:12:20	10:07:50	0.129	1742.695
BM ITS01	10:10:45	11:06:15	0.141	1742.644
BM Pakuwon	10:51:50	11:47:20	0.150	1742.671
BM19	12:22:55	13:18:25	0.169	1731.562
LB01	13:52:45	14:48:15	0.188	1732.686
SBY003	15:06:20	16:01:50	0.204	1728.186
BMG.1.0324	16:35:42	17:31:12	0.223	1743.209

Nilai koreksi pergeseran dipengaruhi oleh waktu, sehingga dapat dilihat pada tabel 4.3 di atas bahwa semakin lama nilai koreksi pergeserannya semakin tinggi. Jika sudah terkoreksi pergeseran maka nilai gayabarat relatif dan gayabarat observasi awal dan akhir (BMG.1.0324) sama.

C. Free Air Reduction

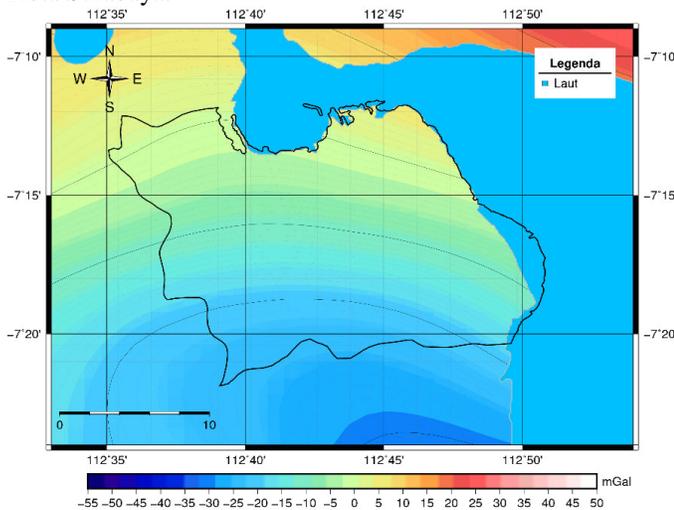
Hasil perhitungan reduksi udara bebas dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4.
Reduksi Udara Bebas

No	Stasiun	Free Air Reduction (mGal)	Anomali Free Air (mGal)	Gayaberat Geoid (mGal)
1	BMG.1.0324	1.543	-3.4181	978110.303
2	BM16	1.061	-4.2927	978110.0199
3	LB06	0.869	3.2795	978116.7027
4	BM01	2.418	-8.2642	978105.4104
5	LB04	1.778	-17.6798	978097.7116
6	SBY007	2.160	-7.9176	978106.0927
7	BM33	3.064	-9.5437	978104.1733
8	BM29	2.623	-7.5009	978106.3489
9	BM24	8.160	1.0659	978108.8399
10	BM23	6.062	0.6959	978109.8772
11	BM21	2.371	-0.7869	978111.6089
12	SBY015	0.666	1.6001	978115.3027
13	BM8	1.761	-5.4588	978108.1092
14	LB08	0.933	-4.9131	978109.1065
15	BM ITS01	1.014	-5.5489	978109.1402
16	BM Pakuwon	0.708	-5.8422	978108.8598
17	BM19	0.806	-17.6292	978097.8717
18	LB01	1.164	-16.3243	978099.2841
19	SBY003	0.797	-21.7607	978094.4681

D. Plotting Data

Penyajian data yang dilakukan dalam penelitian ini yaitu data anomali gayaberat free air data dan data anomali gayaberat free air EGM 2008 serta kombinasi data insitu dan data EGM. Berikut adalah hasil plotting data EGM 2008 untuk Kota Surabaya.

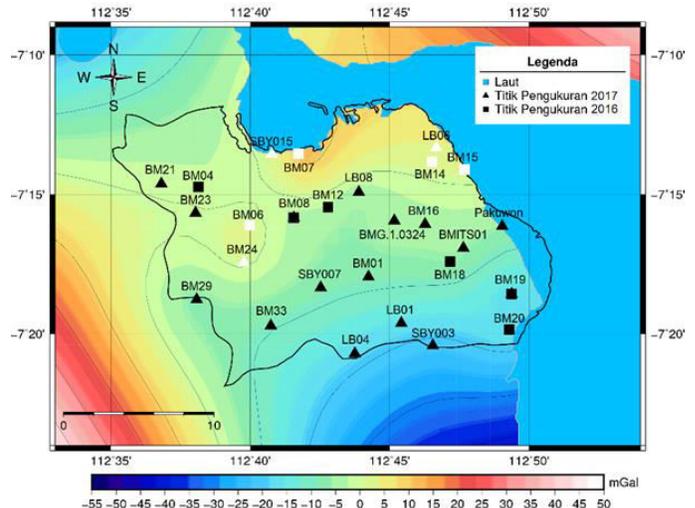


Gambar 3. Anomali Gayaberat Free Air EGM 2008.

Anomali free air EGM 2008 merupakan data yang telah digridkan dalam ukuran 2.5 menit x 2.5 menit sehingga datanya cukup rapat. Dapat dilihat bahwa sebagian besar nilai

anomali gayaberat free air Kota Surabaya memiliki nilai negatif (berwarna kebiruan).

Sedangkan hasil plotting data insitu Kota Surabaya dapat dilihat pada gambar 4 berikut.



Gambar 4. Anomali Gayaberat Free Air Insitu.

Pada gambar 4 di atas dapat dilihat setelah penggabungan terdapat 28 titik pengukuran gayaberat. Titik pengukuran gayaberat ditunjukkan dengan tanda segitiga. Dapat dilihat bahwa data insitu memiliki nilai anomali yang lebih bervariasi. Jika dibandingkan dengan penyajian data EGM 2008 terdapat perbedaan yang sangat signifikan pada kedua gambar. Data insitu yang memiliki nilai anomali lebih bervariasi menjadikan peta yang lebih detail dan lebih teliti dibandingkan dengan data EGM 2008.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan pengolahan dan analisis data yang telah dilakukan, berikut adalah kesimpulan yang penulis dapatkan dalam penulis studi ini.

1. Gayaberat free air di Kota Surabaya berkisar 978094.4681 mGal hingga 978116.7027 mGal, dengan anomali berkisar antara -25 mGal hingga 20 mGal. Berdasarkan data tersebut didapatkan bahwa nilai anomali gayaberat free air Kota Surabaya yang sangat bervariasi.
2. Anomali gayaberat free air yang didapatkan di Kota Surabaya berkisar antara -30 mGal hingga 10 mGal. Berdasarkan data tersebut didapatkan bahwa setengah dari wilayah Kota Surabaya memiliki anomali gayaberat free air yang kecil (kurang dari 0).
3. Hasil pengukuran gayaberat di lapangan menghasilkan nilai anomali gayaberat free air yang lebih bervariasi dibandingkan dengan anomali gayaberat free air EGM 2008.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis E. S. mengucapkan terima kasih kepada Laboratorium Geodesy dan Surveying dan Geosolution yang telah menyediakan alat GPS pada pengukuran posisi

horizontal serta Laboratorium Geofisika Jurusan Fisika Universitas Brawijaya yang telah menyediakan gravimeter untuk penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] I. M. Anjasmara, *Modul Ajar Hitung Kerangka Geodesi*. Surabaya, 2005.
- [2] G. Rakapuri and et al, "Pemodelan Geoid Lokal Universitas Diponegoro Semarang," *J. Geod. UNDIP*, pp. 15–21.
- [3] N. K. Pavlis and et al, "The Development and Evaluation of The Earth Gravitational Model 2008 (EGM2008)," *J. Geophys. Res.*, vol. 117, pp. 1–38, 2008.
- [4] S. Maryanto and et al, "Pedoman Praktikum Workshop Geofisika," Malang, 2016.
- [5] I. B. Osazuwa, "Cascade Model for the Removal of Drift from Gravimetric Data," *Surv. Rev.*, vol. 29, pp. 295–303, 1988.
- [6] B. Hoffman and H. Moritz, *Physical Geodesy*. New York: Springer, 2005.