

**PENYELIDIKAN GEOLOGI BAWAH PERMUKAAN
BERDASARKAN METODE GAYABERAT DI GUNUNG
IJEN, JAWA TIMUR**

TUGAS AKHIR

Oleh :

**ENY RIANI
0810930030**



**PROGRAM STUDI GEOFISIKA - JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
MALANG
2013**

**PENYELIDIKAN GEOLOGI BAWAH PERMUKAAN
BERDASARKAN METODE GAYABERAT DI GUNUNG IJEN,
JAWA TIMUR**

TUGAS AKHIR

Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana Sains dalam bidang Fisika

Oleh :

**ENY RIANI
0810930030**



**PROGRAM STUDI GEOFISIKA - JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
MALANG
2013**

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR

**PENYELIDIKAN GEOLOGI BAWAH PERMUKAAN
BERDASARKAN METODE GAYABERAT DI GUNUNG
IJEN, JAWA TIMUR**

Oleh :

**ENY RIANI
0810930030**

**Setelah dipertahankan di depan Majelis Penguji
Pada tanggal
dan dinyatakan memenuhi syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana Sains dalam bidang fisika**

Pembimbing I

Pembimbing II

**Dr. Ir. Arief Rahmansyah
NIP. 196604201993031002**

**Sukir Maryanto. M.Si., PhD
NIP. 197106211998021001**

**Mengetahui,
Ketua Jurusan Fisika
Fakultas MIPA Universitas Brawijaya**

**Drs. Adi Susilo, M.Si., Ph.D
NIP.196312271991031002**

LEMBAR PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Eny Riani
NIM : 0810930030
Jurusan : Fisika
Penulis Tugas Akhir Berjudul :

**PENYELIDIKAN GEOLOGI BAWAH PERMUKAAN
BERDASARKAN METODE GAYABERAT DI GUNUNG
IJEN, JAWA TIMUR**

Dengan ini menyatakan bahwa :

1. Isi dari Tugas Akhir yang saya buat adalah benar-benar karya sendiri dan tidak menjiplak karya orang lain, selain nama-nama yang termaktub di isi dan tertulis di daftar pustaka dalam Tugas Akhir ini.
2. Apabila dikemudian hari ternyata Tugas Akhir yang saya tulis terbukti hasil jiplakan, maka saya akan bersedia menanggung segala resiko yang akan saya terima.

Demikian pernyataan ini dibuat dengan segala kesadaran.

Malang, Januari 2013
Yang menyatakan,

(Eny Riani)
NIM. 0810930030

PENYELIDIKAN GEOLOGI BAWAH PERMUKAAN BERDASARKAN METODE GAYABERAT DI GUNUNG IJEN, JAWA TIMUR

ABSTRAK

Telah dilakukan penyelidikan tentang geologi bawah permukaan berdasarkan metode gayaberat di Gunung Ijen, Jawa Timur. Pengambilan data dilakukan pada tanggal 13-14 Oktober 2012 dengan menggunakan Gravimeter *LaCoste & Romberg* tipe G-1053. Langkah-langkah pada pengolahan data meliputi konversi pembacaan gravitimeter kedalam satuan miliGal, koreksi pasang surut, koreksi *drift*, hitungan nilai gayaberat observasi, hitungan gayaberat normal, koreksi udara bebas, koreksi topografi. Untuk memunculkan anomali dangkal dan menentukan batas-batas struktur dilakukan kontinuitas ke bawah dengan analisa *second vertical derivatif* (SVD). Data anomali Bouguer selanjutnya dibawa ke bidang datar dan dilakukan pemisahan anomali regional dan anomali sisa dengan menggunakan metode kontinuitas ke atas. Hasil interpretasi kualitatif menunjukkan adanya peningkatan nilai anomali Bouguer di daerah Paltuding yaitu di arah Tenggara peta anomali lintasan SE dan peningkatan nilai anomali di daerah Pondok Bunder yaitu di arah Timurlaut peta anomali lintasan PK. Interpretasi kuantitatif terhadap anomali sisa dilakukan pada dua penampang yaitu penampang AB dan penampang CD. Berdasarkan pemodelan yang dihasilkan pada anomali sisa daerah penelitian dapat diinterpretasikan bahwa peningkatan nilai anomali di daerah penelitian merupakan akibat adanya intrusi oleh batuan basalt ($\rho = 2,7-3,30 \text{ g/cm}^3$) di Paltuding dan Pondok Bunder.

Kata kunci : Gayaberat, Gunung Ijen, Anomali Bouguer

SUBSURFACE GEOLOGICAL SURVEY BASED ON GRAVITY METHOD IN IJEN VOLCANO, EAST JAVA

ABSTRACT

Subsurface geological survey had been done in Ijen volcano, East Java based on gravity method. The data acquisition was taken at 13-14 October 2012 using Gravimeter LaCoste & Romberg type G-1053. The steps of data processing included conversion of reading gravimeter to milligal value, tidal correction, drift correction, counting of observation gravity value, counting of normal gravity, free air correction, and topography correction. Downward continuation is done by second vertical derivatif to appear deeper anomaly and determine the boundary structure. Bouguer anomaly is projected to flat plane and upward continuation is used to separate the regional and residual anomaly. Qualitative interpretation described the increase Bouguer anomaly in Paltuding, south-east area of anomaly map in line SE, and the increase Bouguer anomaly in Pondok Bunder, north-east area of anomaly map in line PK. Quantitative interpretation of residual anomaly was done of two slices were AB and CD. Based on the models which have been created in residual anomaly on observation place, it can interpreted that the increase of anomaly value in this observation place was effect the intrusion of basalt rock ($\rho=2.7-3.30 \text{ g/cm}^3$) in Paltuding and Pondok Bunder.

Keyword : Gravity, Ijen volcano, Bouguer anomaly

KATA PENGANTAR

Alhamdulillahirobbil ‘Alamin...

Puji syukur kehadirat Allah SWT yang telah memberi limpahan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis diberikan kemudahan dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini. Shalawat serta salam semoga senantiasa tercurah kepada Nabi Muhammad SAW.

Pada pelaksanaan Tugas Akhir ini, banyak pihak yang membantu dan terlibat didalamnya. Pada kesempatan ini, penulis ingin mengucapkan banyak terima kasih dan penghargaan yang sebesar-besarnya kepada :

1. Bapak Drs. Adi Susilo, M.Si, Ph.D selaku Ketua Jurusan Fisika, yang telah memberi ijin atas selesainya tugas akhir ini.
2. Bapak Dr. Ir. Arief Rahmansyah selaku Dosen pembimbing 1, yang telah banyak memberi bimbingan dan waktunya selama pembuatan laporan tugas akhir ini.
3. Bapak Sukir Maryanto, M.Si., Ph.D selaku Dosen pembimbing 2, atas waktu yang telah diluangkan selama pembuatan laporan tugas akhir ini.
4. Bapak Dr. Eng. Didik Rahadi Santoso, M.Si. selaku Dosen pembimbing akademik, terima kasih atas bimbingan dan arahnya selama belajar di Fisika FMIPA Universitas Brawijaya.
5. Ibu, Bapak, kakak dan adik penulis. Terima kasih atas segala pengorbanan, semangat dan do'a restu serta kasih sayang yang telah diberikan selama ini.
6. Bapak dan Ibu dosen, seluruh karyawan Jurusan Fisika Universitas Brawijaya, terima kasih atas ilmu dan bimbingannya selama ini kepada penulis.
7. Elok Farida, Lidya Sofiana, Ladima Wulan Juliani, Shinta Noviyanti, Ika Fitriani. Terima kasih atas bantuannya selama ini.
8. Teman-teman Fisika khususnya Angkatan 2008, terima kasih atas kebersamaanya selama ini.

9. Pak Purnomo Adi, Mbak Nana dan Wahyu Trianto, terima kasih banyak atas bantuannya selama pengambilan data di lapangan.
10. Serta semua pihak yang telah membantu terlaksananya Tugas Akhir ini.

Penulis mohon maaf yang sebesar-besarnya apabila dalam pelaksanaan Tugas Akhir ini banyak melakukan kesalahan baik yang disengaja maupun yang tidak disengaja.

Kritik dan saran sangat penulis harapkan demi kesempurnaan laporan ini. Semoga apa yang tertulis dalam laporan ini dapat bermanfaat. Amin.

Malang, Januari 2013

Penulis
enyriani@yahoo.com

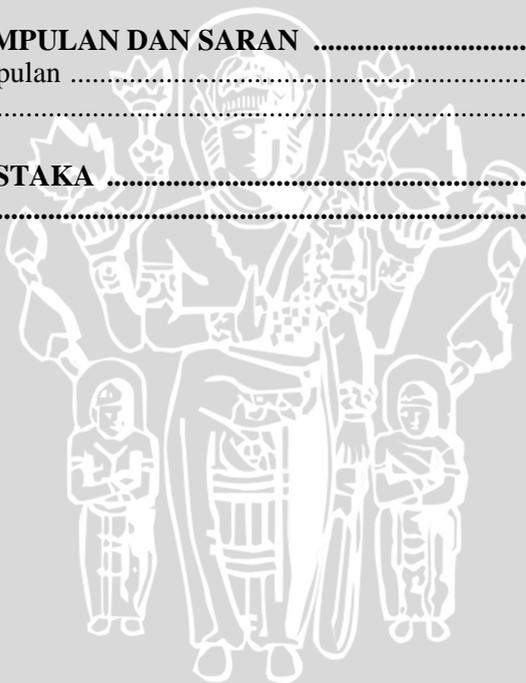


DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
HALAMAN PERNYATAAN	iii
ABSTRAK.....	iv
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	2
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Batasan Masalah	2
1.4. Tujuan Penelitian	2
1.5. Manfaat Penelitian	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	3
2.1. Prinsip-prinsip Gayaberat	3
2.1.1. Teori Gayaberat Newton	3
2.2. Metode Gayaberat	5
2.2.1. Pengertian	5
2.2.2. Pengambilan Data	5
2.2.3. Koreksi Data	5
2.2.3.1. Konversi Pembacaan Alat	6
2.2.3.2. Koreksi Pasang Surut (<i>Tidal Correction</i>)	6
2.2.3.3. Koreksi Apungan (<i>Drift Correction</i>)	7
2.2.3.4. Gayaberat Normal	8
2.2.3.5. Koreksi Udara Bebas (<i>Free Air Correction/FAC</i>)	8
2.2.3.6. Koreksi Bouguer (<i>Bouguer Correction</i>).....	9
2.2.3.7. Koreksi Medan (<i>Terrain Correction/TC</i>).....	10
2.3. Anomali Bouguer	12

2.4. Pemisahan Anomali Regional dan Anomali Lokal	12
2.4.1. Kontinuasi ke Bawah	12
2.4.2. Reduksi Bidang Datar	13
2.4.3. Kontinuasi ke Atas (<i>Upward Continuation</i>)	13
2.5. Interpretasi	14
2.6. Morfologi Dan Stratigrafi Gunung Ijen	15
2.6.1. Morfologi	15
2.6.2. Stratigrafi	16
2.7. Penggunaan Metode Gayaberat untuk Penyelidikan Gunungapi	18
BAB III METODE PENELITIAN.....	21
3.1. Waktu dan Tempat Penelitian	21
3.2. Bentuk Penelitian	21
3.3. Data Penelitian	21
3.4. Peralatan Penelitian	22
3.5. Prosedur Pelaksanaan penelitian	22
3.5.1. Pengambilan Data	22
3.5.2. Pengolahan Data	25
3.5.2.1. Konversi Satuan	25
3.5.2.2. Koreksi Data	25
3.5.2.2.1. Anomali Bouguer (AB)	22
3.5.3. Pemisahan Anomali Regional dan Anomali Sisa	27
3.5.4. Penggambaran Pola Anomali Bouguer dan Anomali Sisa	27
3.5.5. Pemodelan Geologi	27
3.5.6. Interpretasi	28
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	33
4.1. Geologi Regional Gunung Ijen	33
4.2. Hasil Pengolahan Data	33
4.2.1. Konversi ke Nilai mGal	33
4.2.2. Koreksi Pasang Surut (<i>Tidal Correction</i>)	34
4.2.3. Koreksi Drift (<i>Drift Correction</i>)	34
4.2.4. Nilai Gayaberat Observasi (g_{obs})	34
4.2.5. Nilai Gayaberat Teoritis	36
4.2.6. Koreksi Udara Bebas (<i>Free Air Correction</i>)	37
4.2.7. Koreksi Bouguer dan Koreksi Medan	38

4.3. Pembahasan	39
4.3.1. Interpretasi Kualitatif	39
4.3.1.1. Anomali Bouguer Lengkap	40
4.3.1.2. Kontinuasi ke Bawah (<i>Downward Continuation</i>).....	41
4.3.1.3. Reduksi ke Bidang Datar	43
4.3.1.4. Kontinuasi ke Atas (<i>Upward Continuation</i>)	43
4.3.2. Interpretasi Kuantitatif	46
4.3.2.1. Interpretasi Kuantitatif Penampang Anomali Gayaberat AB Lintasan SE	47
4.3.2.2. Interpretasi Kuantitatif Penampang Anomali Gayaberat CD Lintasan PK	49
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	53
5.1. Kesimpulan	53
5.2. Saran	53
DAFTAR PUSTAKA	55
LAMPIRAN	57



DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Gaya gravitasi antara dua benda bermassa	4
Gambar 2.2 Pengukuran gayaberat di permukaan	4
Gambar 2.3 Pengukuran titik-titik pengamatan gayaberat dalam suatu lintasan pengukuran (pengukuran secara <i>looping</i>)	7
Gambar 2.4 Permukaan air laut rata-rata	9
Gambar 2.5 Model Hammer Chart untuk koreksi meda	10
Gambar 2.6 Diagram <i>Hammer</i>	11
Gambar 3.1 Peta daerah penelitian	24
Gambar 3.2 Alur penelitian	29
Gambar 3.3 Alur pengolahan data	30
Gambar 3.4 Alur interpretasi data	31
Gambar 4.1 Kontur gayaberat observasi daerah penelitian (a) Lintasan SE (b) Lintasan PK	35
Gambar 4.2 Kontur gayaberat teoritis daerah penelitian (a) Lintasan SE (b) Lintasan PK	36
Gambar 4.3 Kontur koreksi udara bebas daerah penelitian (a) Lintasan SE (b) Lintasan PK	37
Gambar 4.4 Kontur koreksi topografi daerah penelitian (a) Lintasan SE (b) Lintasan PK	38
Gambar 4.5 Kontur anomali Bouguer lengkap dan titik-titik pengamatan (a) Lintasan SE (b) Lintasan PK	41
Gambar 4.6 Kontur anomali Bouguer lengkap hasil kontinuitas ke bawah	42
Gambar 4.7 Kontur anomali sisa hasil kontinuitas	44
Gambar 4.8 Kontur anomali regional hasil kontinuitas	46
Gambar 4.9 Lintasan pemodelan anomali sisa AB	47
Gambar 4.10 Model penampang anomali sisa AB	48
Gambar 4.11 Lintasan pemodelan anomali sisa AB	50
Gambar 4.12 Model penampang anomali sisa AB	51
Gambar L1.1 Dokumentasi saat pembuatan titik ikat di Desa Blawan-Sempol Kabupaten Bondowoso.....	58
Gambar L1.2 Dokumentasi saat pengambilan data di Paltuding .	58
Gambar L5.1 <i>Output</i> koreksi tidal di lintasan SE	73
Gambar L6.1 Peta Geologi lembar Banyuwangi	74

DAFTAR LAMPIRAN

Halaman

Lampiran 1	Proses pembuatan titik ikat gayaberat di daerah Sempol, Kabupaten Bondowoso, Jawa Timur	57
Lampiran 2	Contoh pengolahan data gayaberat	60
Lampiran 3	Tabel kalibrasi G-1053	69
Lampiran 4	Densitas batuan	71
Lampiran 5	Contoh <i>output software</i> tide.exe untuk koreksi tidal	73
Lampiran 6	Peta geologi lembar Banyuwangi	74
Lampiran 7	Contoh perhitungan analitik pemodelan geologi ..	76



DAFTAR TABEL

Halaman

Tabel L1.1	Pengolahan data titik ikat	59
Tabel L2.1	Pengolahan data lintasan Sempol- Erekek	60
Tabel L2.2	Pengolahan data lintasan Paltuding-Kawah Ijen ..	63
Tabel L3.1	Kalibrasi G-1053	69
Tabel L4.1	Densitas batuan	71



UNIVERSITAS BRAWIJAYA



BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Penelitian

Komplek gunungapi Ijen Tua (Kaldera Ijen) merupakan gunungapi strato yang terletak di ujung timur Pulau Jawa, dengan karakteristik yang berbeda dari gunungapi lainnya di Indonesia. Komplek gunungapi Ijen adalah suatu komplek gunungapi yang terdiri dari beberapa gunungapi yang tumbuh di sekitar dinding dan di dalam Kaldera Ijen. Kawah Ijen adalah salah satu gunungapi yang sampai saat ini masih aktif yang tumbuh di Kaldera Ijen. Kawah Ijen memiliki potensi menghasilkan lahar letusan dan potensi ancaman bahaya erupsi yang besar. Jumlah populasi yang cukup padat di kawasan rawan bencana Kawah Ijen dan jumlah wisatawan yang cukup banyak serta hampir 400 orang penduduk setempat yang bekerja menambang belerang yang ada di kawah Ijen menjadi permasalahan yang sangat penting dalam mitigasi bencana gunungapi Ijen.

Sampai saat ini sudah banyak penelitian di gunung Ijen dari berbagai macam disiplin ilmu namun penelitian untuk memprediksi keberadaan kantong magma di daerah ini masih perlu dilakukan. Kondisi geologi di Gunung Ijen sangat kompleks dan cakupan daerahnya yang sangat luas sehingga untuk mempelajari geologi secara teliti memerlukan waktu yang cukup lama untuk itu perlu dilakukan penelitian yang berkelanjutan. Penelitian mengenai geologi bawah permukaan ini perlu dilakukan untuk mendapatkan informasi tentang keberadaan kantong magma di Gunung Ijen.

Metode gayaberat adalah suatu metode penyelidikan yang berdasarkan atas pengukuran variasi gayaberat bumi. Variasi gayaberat bumi diakibatkan adanya perbedaan densitas batuan penyusun bawah permukaan bumi. Adapun besaran fisis yang diukur dalam metode gayaberat adalah percepatan gayaberat bumi. Survey dengan menggunakan metode gayaberat dianggap tepat karena metode gayaberat memiliki respon terhadap perbedaan densitas batuan dibawah permukaan bumi. Selain itu metode ini termasuk metode yang cukup mudah karena tidak memerlukan energi masukan. Dengan mengolah dan menginterpretasikan data kontras

anomali percepatan gayaberat bumi dapat diperoleh perkiraan struktur anomali densitas bawah permukaan, dan diharapkan dapat memberikan gambaran mengenai struktur geologi bawah permukaan bumi di daerah penelitian.

Berdasarkan uraian di atas, dilakukan penelitian dengan judul “Penyelidikan Geologi Bawah Permukaan berdasarkan metode Gayaberat di Gunung Ijen Jawa Timur”.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang penelitian, dapat ditentukan rumusan masalah dari penelitian ini yaitu bagaimana melakukan pengolahan data gayaberat, menganalisis dan menginterpretasikan anomali Bouguer untuk mendapatkan informasi mengenai geologi bawah permukaan?

1.3. Batasan Masalah

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui anomali Bouguer di Gunung Ijen, Jawa Timur berdasarkan parameter geofisika dengan pengambilan data gayaberat.

1.4. Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah diatas, maka tujuan dari penelitian ini yaitu melakukan pengolahan data gayaberat, menganalisis dan menginterpretasikan anomali Bouguer untuk mendapatkan informasi mengenai geologi bawah permukaan di Gunung Ijen.

1.5. Manfaat Penelitian

Hasil interpretasi yang dilakukan terhadap data gayaberat ini diharapkan dapat memberikan informasi mengenai geologi bawah permukaan di Gunung Ijen yang selanjutnya dapat digunakan sebagai informasi keberadaan kantong magma di Gunung Ijen.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

1.1. Prinsip-Prinsip Gayaberat

1.1.1. Teori Gayaberat Newton

Gayaberat merupakan gaya tarik menarik antara benda satu dengan benda yang lainnya akibat massa benda keduanya. Hal tersebut didasarkan pada Hukum Newton tentang gayaberat. Besarnya nilai gayaberat antara dua benda tersebut sebanding dengan massa kedua tersebut dan berbanding terbalik dengan kuadrat jaraknya. Seperti yang ditunjukkan pada Persamaan 2.1 dan gambar 2.1a.

Hukum gayaberat Newton :

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2} \quad (2.1)$$

Dimana :

F = gaya antara dua benda (N)

G = Konstanta gayaberat ($6,67 \times 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2$)

m_1, m_2 = massa dua benda berbeda (kg)

r = jarak antara pusat massa (m)

Besarnya gaya yang bekerja pada benda dengan massa m_1 terhadap massa m_2 dapat dirumuskan seperti yang ditunjukkan pada Persamaan 2.2 yang merupakan rumusan Hukum Newton II dan di gambarkan pada Gambar 2.1b.

$$F = m_1 a \quad (2.2)$$

Dimana :

a = percepatan gerak benda bermassa m_1 akibat gaya gravitasi benda bermassa m_2 (m/s^2).

Dari Persamaan 2.1 dan Persamaan 2.2 disubstitusikan sehingga diperoleh Persamaan 2.3 dan ditunjukkan pada Gambar 2.1c sebagai berikut :

$$a = \frac{G m_2}{r^2} \quad (2.3)$$

Dimana :

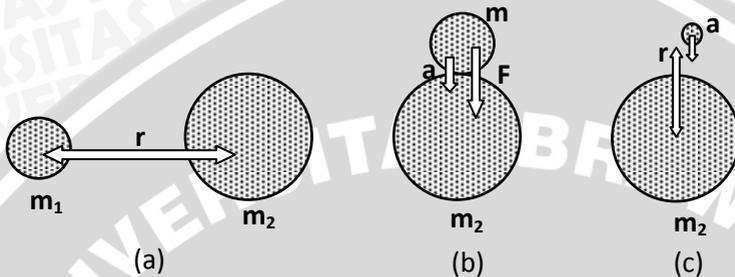
a = g = percepatan gravitasi dipermukaan bumi (m/s^2)

$m_2 = M$ = massa bumi (kg)

r = R = jarak titik pengamatan terhadap pusat massa bumi (m)

Sehingga persamaan gravitasi Bumi dapat ditunjukkan seperti pada persamaan 2.4 berikut :

$$g = \frac{GM}{R^2} \quad (2.4)$$



Gambar 2.1 Gaya gravitasi antara dua benda bermassa

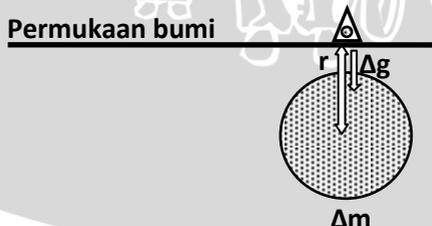
Pengukuran gayaberat yang dilakukan pada titik pengukuran berada diatas benda penyebab anomali yang terkubur didalam tanah (Gambar 2.2), dapat dianalogikan dengan pengukuran gaya tarik akibat gayaberat bumi pada benda lain (Gambar 2.1c). Pada Gambar 2.2 menunjukkan bahwa perubahan gayaberat (Δg) dipengaruhi oleh perubahan massa (Δm) dan jaraknya (r) pada titik pengukuran di permukaan bumi. Maka Persamaan 2.4 dapat dituliskan menjadi :

$$\Delta g = \frac{G(\Delta m)}{r^2} \quad (2.5)$$

Perbedaan densitas material ($\Delta\rho$) merupakan massa (Δm) per satuan volume (V), sehingga Persamaan 2.5 menjadi :

$$\Delta g = \frac{G(\Delta\rho)(V)}{r^2} \quad (2.6)$$

Pada Persamaan 2.6 menunjukkan bahwa perubahan gayaberat berbanding lurus dengan perubahan densitasnya.



Gambar 2.2 pengukuran gayaberat di permukaan bumi (Lillie, 1999).

1.2. Metode Gayaberat

1.2.1. Pengertian

Metode gayaberat adalah suatu metode penyelidikan dalam geofisika yang berdasarkan atas pengukuran variasi gayaberat bumi. Variasi gayaberat bumi diakibatkan adanya perbedaan rapat massa batuan penyusun bawah permukaan bumi sehingga dalam pelaksanaannya yang diselidiki adalah perbedaan gayaberat dari suatu titik pengamatan terhadap titik pengamatan lainnya (Kirbani, 2001). Alat yang digunakan untuk mengukur nilai gravitasi disebut gravitimeter. Pengukuran nilai gravitasi dilakukan di permukaan bumi. Karena yang diperlukan adalah variasi medan gravitasi (anomali), maka pengukuran yang dilakukan adalah dari suatu titik observasi terhadap titik observasi lainnya. Dengan begitu, dapat dibedakan rapat massa suatu material terhadap lingkungan sekitarnya sehingga dapat diketahui struktur bawah permukaan yang dapat digunakan untuk perencanaan langkah-langkah eksplorasi baik minyak maupun mineral lainnya.

1.2.2. Pengambilan Data

Akuisisi data adalah proses pengambilan data di lapangan. Proses akuisisi data dibagi menjadi beberapa tahap yang harus dilakukan yaitu mengetahui daerah yang akan diukur dan persiapan alatnya. Beberapa alat yang digunakan adalah seperangkat gravitimeter, *Global Positioning System* (GPS), peta Geologi, penunjuk waktu, alat tulis dan beberapa alat pendukung lainnya.

1.2.3. Koreksi Data

Secara umum data variasi nilai gayaberat yang diperoleh dari lapangan merupakan data mentah yang harus diolah untuk memperoleh gambaran anomali yang dicari yaitu anomali Bouguer. Nilai gayaberat di permukaan bumi berdasarkan satuan *Standar Internasional* sebesar $9,8 \text{ m/s}^2$. Sedangkan satuan dalam cgs nilai gayaberat dinyatakan dalam cm/s^2 atau Gal, biasanya yang sering digunakan dalam pengukuran adalah mGal dimana $1 \text{ mGal} = 0,001 \text{ Gal}$ (Lillie, 1999). Berikut ini adalah penjelasan mengenai koreksi-koreksi yang dilakukan dalam proses pengolahan data :

2.2.3.1. Konversi Pembacaan Alat

Nilai pembacaan dari gravitimeter yang diperoleh dari suatu pengukuran perlu dikonversi terlebih dahulu kedalam satuan miligal sebelum diolah untuk mencari nilai anomali Bouguernya. Konversi skala pembacaan ini dilakukan dengan menggunakan tabel konversi dari alat gravitimeter yang digunakan dalam penelitian. Adapun perumusan yang digunakan dalam konversi skala pembacaan yaitu :

$$mGal = \{ (\text{Bacaan-counter}) \times \text{Faktor interval} \} + mGal \times \text{CCF} \quad (2.7)$$

CCF (Calibration Correction Factor) adalah faktor kalibrasi dari alat gravitimeter. Konversi skala pembacaan ini dilakukan untuk seluruh pembacaan yang diperoleh dalam setiap titik pengukuran (Austin, 1992).

2.2.3.2. Koreksi Pasang Surut (*Tidal Correction*)

Koreksi pasang surut (*tidal correction*) terjadi akibat pengaruh kedudukan benda-benda langit, yaitu pengaruh gaya tarik bumi terhadap bulan dan matahari. Bulan dan matahari memiliki pengaruh yang paling besar dibanding benda-benda langit lainnya karena faktor massa dan jaraknya dari bumi, sehingga benda langit lainnya dapat diabaikan. Untuk menghilangkan perubahan nilai gaya berat akibat pengaruh benda-benda langit khususnya matahari dan bulan, maka data hasil pengukuran perlu dikenakan koreksi pasang surut bumi yang diberikan oleh persamaan Longman, I., 1959 yaitu

$$K_{PS} = \frac{3Gr}{2} \left\{ \frac{2M}{3d^2} (\sin^2 p - 1) + \frac{Mr}{d^4} (5\cos^3 p - 1 \cos p) \right\} + 2S3D3(3\cos 2q - 1) \quad (2.8)$$

Dimana :

K_{PS} = Koreksi Pasang Surut

p = sudut zenit bulan

q = sudut zenit matahari

M = massa bulan

S = massa matahari

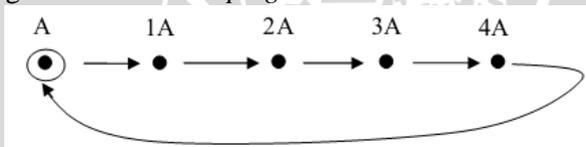
d = jarak antara pusat bumi dan bulan

- D = jarak antara pusat bumi dan matahari
 - G = konstanta gayaberat Newton
 - r = jarak pengukuran dari pusat bumi
- (Susilawati, 2005).

2.2.3.3. Koreksi Apungan (*Drift Correction*)

Secara teoritis pengukuran gayaberat yang dilakukan di suatu tempat secara *looping* seharusnya memberikan nilai pembacaan yang sama pada saat pengukuran awal di titik acuan tertentu dan pengukuran akhir pada titik acuan tersebut. Namun pada kenyataannya selalu diperoleh nilai pembacaan awal dan akhir yang berbeda di titik acuan tersebut. Hal ini disebabkan oleh pengaruh mekanisme alat berupa guncangan alat selama transportasi, perubahan suhu dan tekanan yang mengakibatkan adanya pergeseran pembacaan titik nol pada gravitimeter.

Dalam pelaksanaan pengukuran gayaberat, suatu lintasan pengukuran dimulai dari suatu titik acuan graviti (*gravity base station*), kemudian melakukan pengukuran dititik-titik pengamatan dan kembali ke titik acuan semula. Pengukuran ini disebut sebagai pengukuran secara *looping*.



Gambar 2.3 Pengukuran titik-titik pengamatan gayaberat dalam suatu lintasan pengukuran (pengukuran secara *looping*).

Pada gambar diatas, pengukuran dimulai pada titik A yang dianggap sebagai titik acuan kemudian pengukuran dilanjutkan pada titik 1A, 2A, 3A, 4A dan kembali ke titik awal yaitu titik A. Pembacaan gaya berat pertama dan kedua di titik yang sama yaitu titik A akan terdapat perbedaan. Perbedaan ini harus dihilangkan dengan menggunakan koreksi *drift*. Koreksi apungan (*drift correction*) dirumuskan sebagai berikut :

$$Drift_{stasion} = \frac{G_{A2} - G_{A1}}{T_{A2} - T_{A1}} \times (T_{station} - T_{A1}) \quad (2.9)$$

Dimana :

$Drift_{station}$ = besarnya drift dititik pengamatan

$T_{station}$ = waktu pembacaan dititik pengamatan

G_{A1} dan G_{A2} = pembacaan gayaberat ke-1 dan ke-2 dititik A

T_{A1} dan T_{A2} = waktu pembacaan ke-1 dan ke-2 dititik A

(Insani, 2009).

2.2.3.4. Gayaberat Normal

Bumi berotasi pada porosnya, sehingga menyebabkan sebaran massa bumi berbeda. Sebaran massa bumi tidak sempurna, tetapi massa bumi terkumpul pada porosnya. Sehingga nilai perkiraan gayaberat rata-rata diberikan oleh fungsi lintang. Terdapat rumusan untuk mencari koreksi lintang antara lain Potsdam 1930, ISGN 1971 (*International Standardization Geodetic Network 1971*) dan yang terbaru WGS 84 (*World Geodetic System 1984*). WGS 84 dituliskan pada persamaan 2.10 berikut (Zaman, 2011):

$$\Delta g_L = 978032.67714 \left[\frac{(1+0.00193185138639 (\sin \emptyset)^2)}{\sqrt{(1-0.00669437999013 (\sin \emptyset)^2)}} \right] m \quad (2.10)$$

dengan:

Δg_L = gayaberat fungsi lintang pada titik pengamatan (mGal)

\emptyset = lintang pada titik pengamatan (derajat)

2.2.3.5. Koreksi Udara Bebas (*Free Air Correction/FAC*)

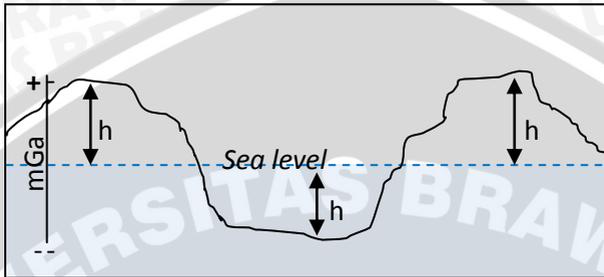
Pengukuran gayaberat di *mean sea level* dan di ketinggian tertentu pasti memiliki hasil yang berbeda. Setiap perubahan ketinggian terhadap *mean sea level* nilai gayaberatnya akan berubah. Menurut Sleep dan Fujita (1997) dalam Zaman (2011) menyebutkan rata-rata perubahan gayaberat terhadap ketinggian sebesar 0.3086 mGal/m. Titik pengamatan tidak selamanya berada pada *mean sea level* (Gambar 2.4), sehingga perlu dilakukan koreksi. Koreksi ini disebut dengan koreksi udara bebas yang dirumuskan pada persamaan 2.11.

$$\Delta g_{FA} = 0,3086xh \quad (2.11)$$

dengan:

Δg_{FA} = free air correction / koreksi udara bebas (mGal/m)

h = ketinggian titik ukur gayaberat di atas muka air laut (dalam meter).



Gambar 2.4 Permukaan air laut rata-rata.

2.2.3.6. Koreksi Bouguer (*Bouguer Correction*)

Koreksi Bouguer ini memperhitungkan adanya massa yang mengisi antara bidang acuan dengan ketinggian h . Massa dianggap sebagai lempeng massa (*slab*) dengan jari-jari tak terhingga. Rumusan koreksi Bouguer adalah :

$$\Delta g_B = 2\pi G\rho h = 0,04192 \rho h \quad (2.12)$$

Dimana :

G : Konstanta gravitasi Newton

ρ : Rapat massa batuan (gr/cm^3)

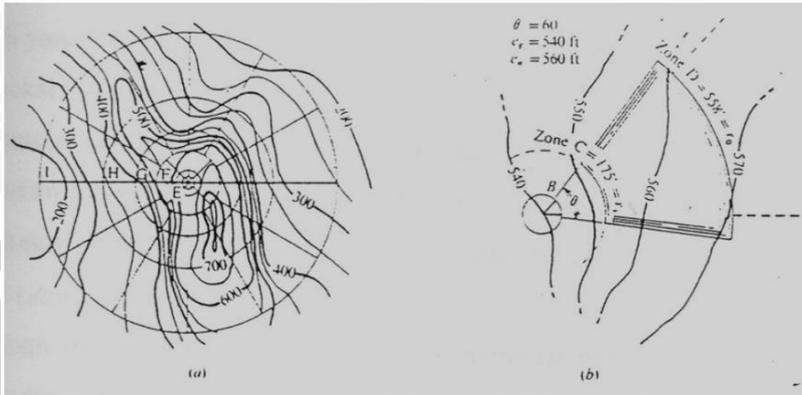
(Adhi dkk., 2011)

2.2.3.7. Koreksi Medan (*Terrain Correction*)

Koreksi medan (*terrain correction*) diakibatkan oleh adanya efek dari massa di sekitar titik pengamatan. Kondisi topografi disekitar titik pengamatan yang tidak beraturan seperti adanya bukit atau lembah juga mempengaruhi nilai gayaberat di titik pengamatan.

Koreksi medan dapat dihitung dengan menggunakan *Hammer chart* yang menggambarkan pembagian wilayah berupa lingkaran-lingkaran pada kertas transparan sehingga mempermudah dalam menentukan ketinggian rata-rata tiap segmen wilayah yang tergambar pada diagram tersebut. Dalam penggunaan diagram hammer tersebut perlu diperhatikan skala peta topografi yang digunakan sebagai acuan/dasar penentuan ketinggian segmen-segmen wilayah di sekitar titik ukur. Sebaiknya peta topografi skala

besar, sehingga dapat menyajikan data topografi secara rinci dan akurat (Dobrin dkk., 1988).



Gambar 2.5 Model *hammer chart* untuk koreksi medan (Telford dkk., 1990).

Besarnya koreksi topografi menurut Telford adalah

$$TC = \tau \sigma \theta \left[R_2 - R_1 + \sqrt{(R_1^2 + \Delta h^2)} - \sqrt{(R_2^2 + \Delta h^2)} \right] \quad (2.13)$$

Dimana :

- τ : Konstanta Cavendish = $6,754 \times 10^{-8} \text{ cm}^3/\text{gr} \cdot \text{sec}^2$
- σ : Rapat massa bidang datar (gr/cm^3)
- θ : Sudut sektor/kompartemen (rad)
- R_1 : radius bagian dalam dalam suatu zona
- R_2 : radius bagian luar dalam suatu zona
- Δh : beda ketinggian dari titik pengamatan

Pada koreksi Bouguer dan koreksi Medan ada satu nilai yang belum diketahui, yaitu densitas Bouguer yang merupakan rata-rata untuk seluruh massa di bawah permukaan. Densitas batuan dipengaruhi beberapa faktor diantaranya adalah rapat massa butir pembentuknya, porositas, kandungan fluida, yang mengisi pori-pori, serta pemadatan akibat tekanan dan pelapukan yang dialami batuan tersebut (Insani, 2009).

Metode penentuan densitas lapisan permukaan kerak bumi (densitas Bouguer) :

1. Densitas Bouguer standar = 2670 kg/m^3 sebagai densitas kerak bumi rata-rata.
2. Pengukuran langsung seperti pengumpulan sampel batuan baik dari permukaan dan sumur bor.
3. Dari peta geologi untuk mendapatkan jenis batuan, kemudian dilihat harga densitasnya pada tabel densitas batuan.
4. Profil densitas (metode Nettleton).
 - a. Secara grafis yaitu dengan membuat profil topografi dan profil anomali Bouguer untuk densitas yang berbeda-beda dari tiap lintasan yang dipilih sebagai densitas Bouguer adalah densitas yang profil anomali Bouguernya memiliki koreksi paling minimum dengan profil topografi.
 - b. Secara analitik, yaitu dengan menggunakan persamaan matematis untuk menghitung Koefisien Korelasi dari semua data pengukuran. Cara ini sangat baik karena memasukkan semua data pengukuran gayaberat sehingga menjadi korelasi silang dua dimensi. Persamaan analitik yang digunakan untuk menghitung Koefisien Korelasi (k) adalah :

$$k = \frac{\sum_{k=1}^n [\Delta g_k(\rho_1) - \Delta g][h_k - h]}{\sqrt{\sum_{k=1}^n [\Delta g_k(\rho_1) - \Delta g(\rho_1)]^2} \sqrt{\sum_{k=1}^n [h_k - h]^2}} \quad (2.14)$$

Dengan $\Delta g(\rho)$ adalah anomali Bouguer sederhana. Jika $k=0$ maka harga-harga elevasi tidak terkoreksi, yang berarti bahwa densitas yang diasumsikan merupakan harga densitas massa topografi yang tepat.

5. Metode Paransis dengan versi yang serupa, merupakan pendekatan analitis yang mirip dengan metode grafik Nettleton. Yaitu dengan asumsi bahwa tidak ada korelasi antara topografi dan g akan mengacu pada lapisan Bouguer. Dengan membuat plot harga $\Delta g_{\text{obs}} = 0,3086h$ pada sumbu X terhadap harga $(-0,04193h + TC)$ pada sumbu Y dimana TC adalah koreksi medan, kemudian dicari persamaan garis regresinya melalui titik nol, maka harga koefisien kemiringan akan mendekati harga ρ .

1.3. Anomali Bouguer

Anomali Bouguer merupakan selisih antara harga gayaberat pengukuran yang telah direduksi ke bidang referensi ukuran (*geoid*) dengan harga gayaberat teoritis pada bidang referensi hitungan tertentu di suatu titik. Setelah dilakukan koreksi-koreksi terhadap data gayaberat hasil pengukuran maka diperoleh nilai anomali Bouguer lengkap :

$$g_{BL} = g_{obs} + (\Delta g_L + \Delta g_{FA} - \Delta g_B + \Delta g_T) \quad 2.15$$

Dimana :

g_{obs}	: Medan gravitasi observasi
Δg_L	: Koreksi lintang
Δg_{FA}	: Koreksi udara bebas
Δg_B	: Koreksi Bouguer
Δg_T	: Koreksi medan

1.4. Pemisahan anomali Regional dan Anomali Lokal

Anomali Bouguer merupakan superposisi dari anomali yang bersifat regional dan anomali yang bersifat lokal (anomali sisa). Anomali regional berkaitan dengan kondisi geologi umum secara keseluruhan pada daerah yang bersangkutan. Anomali Bouguer juga dapat dianggap sebagai superposisi anomali-anomali yang ditimbulkan oleh struktur geologi yang dangkal, menengah maupun dalam serta struktur yang berdekatan dan saling berinteraksi sehingga menyebabkan timbulnya anomali yang tumpang tindih.

Untuk memperoleh anomali yang berasosiasi dengan kondisi geologi yang diharapkan dan untuk meningkatkan daya resolusi sebelum diinterpretasi secara kuantitatif maka perlu dilakukan pemisahan anomali. Metode anomali yang dapat digunakan diantaranya metode kontinuitas ke atas, metode rata-rata bergerak (*moving average*), metode grafis (*smoothing*), metode Polynomial, atau metode pencocokan permukaan (Wibowo, 2009).

1.4.1. Kontinuitas ke Bawah

Kontinuitas ke bawah merupakan metode untuk membawa nilai medan gravitasi ke sumber anomali yang dangkal. Untuk memunculkan anomali yang dangkal dan untuk menentukan batas-batas struktur yang ada di daerah penelitian dilakukan

analisa *second vertical derivatif* (SVD). *Second vertical derivatif* dapat diperoleh dari turunan horizontal karena medan gravitasi memenuhi persamaan Laplace.

Perbaikan perhitungan matematika telah dikembangkan untuk mendapatkan SVD dari nilai rata-rata pada variasi jarak dari stasiun. Secara umum lingkaran konsentris dibebankan untuk produksi dari sebuah ekspresi dari bentuk (Telford dkk., 1990):

$$U_p = \left(\frac{1}{2\pi}\right) \int_x \int_y \left(\frac{g}{R_s}\right) dx dy \quad 2.16$$

Dimana :

U_p : harga medan potensial pada bidang hasil kontinuitas

g : harga medan potensial pada bidang observasi sebenarnya

R_s : radius hemisphere

1.4.2. Reduksi Bidang Datar

Pendugaan struktur bawah permukaan diperoleh melalui proses interpretasi data. Untuk mempermudah interpretasi, data yang berupa anomali Bouguer lengkap yang berada pada topografi diproyeksikan ke bidang datar terlebih dahulu (Nurwidyanto, 2007). Proses reduksi ke bidang datar dapat menggunakan bantuan *software* tertentu yang akan menggrid set poin data gayaberas, dengan cara membawa titik data dari satu set posisi yang tidak teratur menjadi grid (sebaran titik) teratur melalui teknik interpolasi statistik komputasi (Wardana, 2008).

1.4.3. Kontinuitas ke Atas (*Upward Continuation*)

Kontinuitas ke atas adalah langkah perubahan data medan potensial yang diukur pada suatu level permukaan menjadi data yang seolah-olah diukur pada level permukaan yang lebih atas. Kontinuitas ke atas juga merupakan salah satu metode yang digunakan sebagai filter yang berguna untuk menghilangkan bising yang ditimbulkan oleh benda-benda dekat permukaan (Hidayat, 2011).

$$U_{(x,y,z_0-\Delta z)} = \frac{\Delta z}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{U_{(x',y',z_0)}}{((x-x')^2+(y-y')^2+\Delta z^2)} dx' dy' \quad (2.17)$$

Dimana :

$U(x,y,z_0-\Delta z)$: harga medan potensial pada bidang hasil kontinuitasi

$U(x',y',z_0)$: harga medan potensial pada bidang observasi sebenarnya.

Δz : jarak atau ketinggian pengangkatan.

1.5. Interpretasi

Interpretasi anomali Bouguer dapat dilakukan secara kualitatif maupun kuantitatif.

1. Interpretasi Kualitatif

Interpretasi ini dilakukan dengan mengamati data gayaberat yang berupa anomali Bouguer. Anomali Bouguer akan memberikan hasil secara global, yang masih memiliki anomali regional dan anomali sisa. Hasil dari interpretasi ini dapat menafsirkan pengaruh anomali berdasarkan bentuk benda. Misalnya, pada peta anomali Bouguer diperoleh bentuk kontur tertutup maka dapat ditafsirkan sebagai struktur batuan berupa lipatan (*sinklin* atau *antiklin*) atau patahan. Untuk lebih jelas gambaran struktur geologi bawah permukaan dalam interpretasi kualitatif dapat menggunakan peta kontur anomali sisa karena menunjukkan anomali lokal daerah penelitian.

2. Interpretasi Kuantitatif

Interpretasi kuantitatif dapat dilakukan dengan membuat penampang model 2D bawah permukaan dengan menggunakan *software* tertentu yang lintasannya diambil dari peta kontur anomali Bouguer lengkap. Identifikasi formasi patahan/sesar dari hasil model 2D bawah permukaan dapat ditunjukkan dengan adanya struktur bawah permukaan yang mengalami penurunan dan memperlihatkan bentukan berupa patahan atau lipatan yang disebabkan karena adanya penurunan anomali yang tajam. Interpretasi kuantitatif dilakukan berdasarkan hasil penafsiran kualitatif sehingga dapat menentukan bagian-bagian penampang anomali yang menarik untuk ditafsirkan struktur bawah permukaannya (Kurniati, 2008).

2.6. Morfologi Dan Stratigrafi Gunung Ijen

2.6.1. Morfologi

Morfologi Gunung Ijen dapat di kelompokkan menjadi tiga satuan morfologi yaitu (Anonymous, 2010) :

1. Tanah Tinggi Ijen

Tanah tinggi Ijen terdiri dari puncak-puncak gunung, dataran dan bukit-bukit. Di dalam daerah ini terdapat gunungapi yang masih aktif maupun yang sudah padam (tidak ada lagi kegiatan vulkanik). Gunungapi yang masih aktif diantaranya Kawah Ijen dan Gunung Raung, sedangkan gunungapi padam diantaranya Gunung Blau, Pawenan, Papak, Widodaren, Lempuyangan, Rante, Lebu agung, Kukusan, Delaman, Pedot, Cilik, Pendil, Jampit, Genteng, Anyar, Lingker, Melaten dan Merapi.

a. Dataran di tanah tinggi

Batas-batas dataran tersebut adalah disebelah utara Gunung Pendil, Blawan, Blau dan Gunung Rante disebelah barat laut. Dataran ini sebagian besar terdiri dari perkebunan kopi Blawan, Jampit dan Kali Sat.

b. Bukit-bukit di Tanah Tinggi

Terdiri dari puncak-puncak tinggi dan hulu sungai. Puncak tinggi hampir semuanya gunungapi parasit yang terjadi setelah terbentuknya kaldera Ijen yang meliputi Kawah Ijen, Gunung Ranti, Pawenan, Merapi, Ringgih, Widodaren, Kukusan dan Papak. Sungai yang berhulu langsung di tepi kawah Ijen adalah sungai Banyupait dan Bendo.

2. Daerah sekitar Lereng

Merupakan daerah pengikisan yang letaknya sebelah utara gunung antara ketinggian 1550 m sampai 150 m, sebelah timur dari ketinggian 800 m sampai dengan 100 m dan sebelah selatan dari ketinggian 1400 m sampai 300 m.

3. Daerah dataran

Merupakan daerah pengendapan yang terdiri dari pesawahan, perkampungan, tegalan, perkebunan, kota dan sungai.

2.6.2. Stratigrafi

Stratigrafi merupakan studi yang mempelajari sejarah, komposisi dan umur relatif serta distribusi perlapisan tanah dan interpretasi lapisan-lapisan batuan untuk menjelaskan sejarah bumi serta untuk mengetahui luas sebaran lapisan batuan. Berdasarkan hasil perbandingan antar lapisan yang berbeda, dapat dikembangkan studi mengenai litologi (litostratigrafi), kandungan fosil (biostratigrafi) dan umur relatif maupun absolutnya (kronostratigrafi) (Kusniati, 2008).

Stratigrafi gunung Ijen secara umum dapat dibagi menjadi empat kelompok yaitu kelompok endapan piroklastik merah, endapan piroklastik abu-abu, kelompok endapan piroklastik yang didominasi oleh endapan jatuhan abu dan kelompok endapan freatik. Kelompok endapan piroklastik merah terdiri atas endapan piroklastika berwarna merah dan lava andesit. Kelompok endapan piroklastika abu-abu terdiri atas endapan piroklastik dan lava andesitik. Kelompok endapan piroklastika abu didominasi oleh endapan jatuhan dan surge. Dan kelompok endapan freatik yang diduga berasal dari danau kawah sekarang.

Kelompok endapan piroklastika berwarna merah terdiri atas endapan jatuhan piroklastika berwarna merah, jatuhan abu, dan lava andesit. Kelompok ini tersebar ke arah utara, barat dan selatan dari Gunung Ijen sebagai hasil dari erupsi periode pertama dalam pembentukan kerucut gunungapi ini. Endapan piroklastik ini berhubungan dengan erupsi yang berasal dari kawah I yang terletak di puncak gunung Ijen sebelah selatan. Setelah berakhirnya aktivitas dari kawah I, kemudian disusul oleh kelompok endapan piroklastik abu-abu. Kelompok ini menghasilkan endapan-endapan jatuhan piroklastik berwarna abu-abu, berlapis-lapis, berukuran lapili sampai abu, dan aliran lava yang mengarah ke lereng barat dan timurlaut, serta aliran piroklastik yang tersebar ke arah barat sampai mencapai kaki Gunung Widodaren. Sitorus (1990) menyatakan bahwa endapan aliran piroklastik ini berumur sekitar 2500 tahun yang lalu. Kawah yang dibentuk oleh letusan-letusan yang menghasilkan endapan kelompok ini terdapat dibagian utara berdiameter sekitar 1 km. Pada saat ini bagian timur dari kawah ini tertutupi lagi oleh erupsi

kelompok yang lebih muda dan kemudian terbongkar lagi dari letusan-letusan yang terjadi dari pusat-pusat erupsi yang lebih muda.

Kelompok endapan piroklastik yang didominasi oleh endapan jatuhan piroklastik berukuran abu pasir halus, berwarna abu-abu, lunak dan tidak berlapis. Kelompok ini menindih secara tidak selaras endapan kelompok piroklastik abu-abu dengan diselingi oleh lapisan soil setebal 10 cm berwarna hitam kecoklat-coklatan. Kelompok endapan abu ini berumur 700 tahun yang lalu dan langsung ditindih oleh endapan freatik. Kelompok yang paling muda adalah kelompok endapan freatik. Kelompok ini menutupi morfologi tubuh gunung Ijen, terutama pada daerah bermorfologi rendah dan wilayah dekat dengan Danau Kawah Gunung Ijen (Ratdomopurbo dkk., 2006).

Stratigrafi Wilayah Paltuding-Pondok Bunder

Di wilayah antara Paltuding dan Pondok Bunder tersingkap beberapa lapisan endapan piroklastika baik endapan jatuhan piroklastika, aliran piroklastika, dan endapan freatik. Secara umum singkapan dari endapan-endapan tersebut dapat dikelompokkan menjadi dua yaitu kelompok jatuhan piroklastika berbutir lebih kasar dan endapan jatuhan piroklastika berukuran abu pasir kasar yang diselingi oleh soil.

Endapan jatuhan piroklastika berbutir kasar berwarna coklat kekuning-kuningan berukuran pasir kasar lapili, ketebalan antara 8 cm hingga 70 cm. Lapisan jatuhan piroklastika ini ke arah kawah Gunung Ijen tersingkap semakin tebal, sehingga dipastikan bahwa endapan piroklastika merupakan hasil erupsi Gunung Ijen. Endapan piroklastika yang berbutir halus berupa jatuhan piroklastika berbutir abu-pasir kasar yang diselingi oleh endapan aliran piroklastika abu (surge). Endapan ini berwarna abu-abu hingga coklat, tidak berlapis, lunak, mudah tererosi. Kelompok ini terdiri atas sedikitnya ada tiga lapisan dengan ketebalan antara 4 cm sampai 37 cm. Pada lapisan endapan piroklastika yang paling muda berumur 700 tahun yang lalu. Endapan surge yang terdapat di lokasi ini hanya sekitar 3 cm berwarna merah jingga terdapat arang dari ranting halus didalamnya. Endapan surge ini menutupi endapan jatuhan abu (*ash fall deposit*) yang berwarna coklat muda, lepas, terdapat setebal 17 cm dan

ditutupi oleh endapan jatuhan piroklastika berukuran abu sampai pasir kasar dengan fragmen batu apung berukuran maksimum 2 cm berwarna putih kekuning-kuningan, mempunyai struktur *graded* yang baik. Endapan ini dihasilkan oleh kegiatan magmatik paling muda dari gunung Ijen. Karena diatas endapan ini terdapat endapan freatik yang berasal dari danau kawah gunung Ijen sekarang.

Diatasnya ditutupi oleh endapan jatuhan abu berwarna coklat muda sampai coklat tua. Ada tiga lapisan jatuhan abu dengan ketebalan antara 4 cm sampai 17 cm. Diantara ketiga endapan jatuhan tersebut mempunyai selang waktu ketika diendapkan dengan ditandai adanya bidang erosi diantara lapisan-lapisan tersebut. Jadi diendapkan oleh suatu letusan yang berbeda periode. Endapan jatuhan abu bagian tengah tersingkap di lokasi lain disekitar 500 m ke arah kaki gunung Ijen dari Pondok Bunder. Di lokasi ini ditemukan endapan aliran piroklastika berwarna coklat kemerah-merahan mengandung arang dari ranting dan rerumputan. Diduga jatuhan piroklastika abu ini merupakan bagian depan dari suatu aliran piroklastika yang berada pada bagian distalnya. Begitu juga endapan jatuhan abu yang paling atas ke arah sumbernya berubah menjadi endapan jatuhan abu-pasir kasar seperti yang tersingkap di lokasi sekitar 500 m dari Pondok Bunder ke arah Paltuding. Endapan paling atas dari singkapan-singkapan jatuhan piroklastika yang ada di sepanjang jalan dari Paltuding-Pondok Bunder selalu terdapat endapan freatik yang menitis ke arah Paltuding (Ratdomopurbo dkk., 2006).

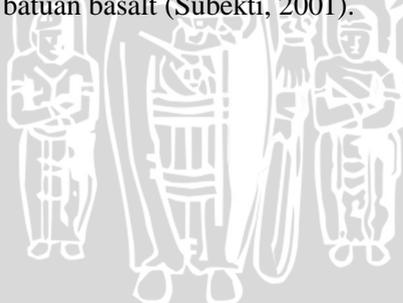
1.7. Penggunaan Metode Gayaberat untuk Penyelidikan Gunungapi

Metode gayaberat dapat dilakukan untuk beberapa penyelidikan mengenai struktur bawah permukaan, diantaranya yaitu untuk penyelidikan potensi panasbumi. Berikut beberapa contoh kasus penggunaan metode gayaberat untuk penyelidikan gunungapi :

- Penyelidikan yang dilakukan oleh Nurul Hidayat (2011) di daerah Songgoriti Kota Batu dengan tujuan untuk mengetahui pola anomali Bouguer dan struktur geologi bawah permukaan serta potensi panasbumi di daerah tersebut. Lokasi penelitian ini berada pada rangkaian gunungapi Arjuno-Welirang. Oleh karena lokasi penelitian terletak pada rangkaian gunungapi maka perlu

dilakukan proses reduksi ke bidang datar karena lokasi penelitian memiliki ketinggian yang bervariasi. Pada penelitian ini dilakukan pengolahan data mulai dari konversi data sampai semua koreksi data dilakukan dengan bantuan *software Ms. Office Excel* sedangkan untuk pengkonturan dan pemodelan data anomali Bouguer yang berdasarkan informasi nilai densitas dilakukan dengan beberapa *software* pendukung lainnya. Pemisahan anomali Bouguer lengkap dilakukan dengan metode kontinuasi ke atas. Interpretasi hasil penelitian ini yaitu di daerah tersebut terdapat beberapa lapisan batuan diantaranya batuan lapuk, tufa pasir, lempung pasir, breksi tufaan terlempung, lava dan breksi vulkanik (Hidayat, 2011).

- Penyelidikan yang dilakukan oleh Kurniawan Agung Subekti (2001) di daerah gunung Bromo dengan tujuan mempelajari struktur geologi bawah permukaan gunung Bromo berdasarkan hasil pengukuran gayaberat. Pada penelitian ini reduksi data dilakukan dengan koreksi baku di dalam pengolahan metode gayaberat yang menghasilkan anomali Bouguer lengkap. Sedangkan untuk pemisahan anomali Bouguer lengkap dilakukan dengan menggunakan metode *polynomial surface fitting*. Interpretasi kuantitatif pada penelitian ini menghasilkan model struktur geologi, dari model struktur tersebut ditemukan empat intrusi yang masing-masing berdensitas $2,7 \text{ gr/cm}^3$ yang merupakan jenis batuan basalt (Subekti, 2001).



UNIVERSITAS BRAWIJAYA

(halaman ini sengaja dikosongkan)



BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada tanggal 13-14 Oktober 2012, pengambilan data dilakukan selama 2 hari dengan mengambil lokasi penelitian di daerah Gunung Ijen, Jawa Timur yang berada pada $8^{\circ}03,5'$ lintang selatan dan $114^{\circ}14,5'$ bujur timur. Pengolahan data dilakukan pada tanggal 15 Oktober hingga 31 Desember 2012 di Laboratorium Geofisika Universitas Brawijaya Malang.

3.2. Bentuk Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan mengambil data primer, yaitu data gayaberat di daerah penelitian dengan menggunakan *Gravimeter LaCoste & Romberg* tipe G-1053. Data gayaberat yang diperoleh selanjutnya dilakukan pengolahan, pengolahan data menggunakan MS. Excel untuk mendapatkan nilai anomali Bouguer. Data anomali Bouguer kemudian diolah dalam *software* tertentu untuk mendapatkan kontur anomali Bouguer sedangkan untuk mendapatkan anomali regional dan anomali sisa dari anomali Bouguer tersebut dilakukan pemisahan. Selanjutnya dilakukan *digitize* pada penampang melintang dari kontur tersebut, hasil *digitize* diolah menjadi model anomali Bouguer sehingga diperoleh model anomali Bouguer daerah tersebut yang selanjutnya dapat dilakukan interpretasi. Interpretasi data dilakukan secara kualitatif dan kuantitatif. Interpretasi data secara kualitatif untuk mengetahui pola sebaran anomali dihubungkan dengan struktur geologinya. Sedangkan interpretasi secara kuantitatif untuk mengetahui nilai rapat massa batuan dibawah permukaan bumi.

3.3. Data penelitian

Data yang diambil dalam penelitian ini adalah :

1. Koordinat lintang dan bujur titik pengamatan.
2. Waktu pengambilan data (jam dan tanggal).
3. Ketinggian titik pengamatan.
4. Pembacaan gravitimeter.

3.4. Peralatan Penelitian

Dalam penelitian ini peralatan yang digunakan adalah :

1. *Gravimeter La Coste Romberg* tipe G-1053.
2. Tabel konversi pembacaan alat *Gravimeter LaCoste Romberg* tipe G-1053.
3. *Global Positioning System* (GPS) Garmin eTrex H.
4. Penunjuk waktu.
5. Alat tulis.
6. Peta geologi.
7. Perangkat komputer dengan instalasi *software* MS. Word, MS. Excel, dan beberapa software tertentu.

3.5. Prosedur Pelaksanaan Penelitian

Penelitian ini meliputi tahap pengambilan data (akuisisi data), pengolahan data dan interpretasi terhadap hasil pengolahan data. Berikut ini adalah penjelasan mengenai tahap-tahap dalam metode gayaberat.

3.5.1. Pengambilan Data

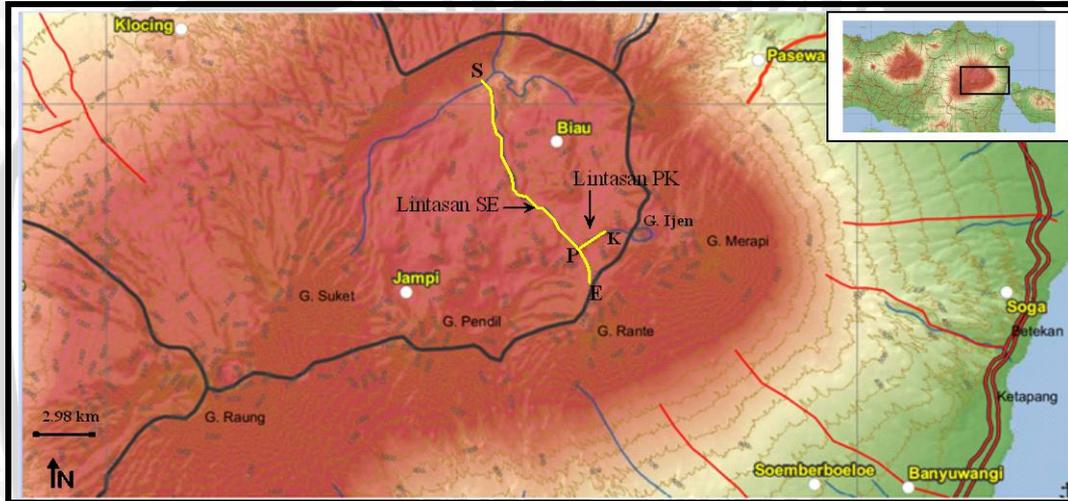
Pengambilan data dilakukan di daerah Gunung Ijen pada tanggal 13-14 Oktober 2012. Pertama kali yang dilakukan dalam pengambilan data yaitu menentukan lintasan pengukuran. Lintasan pengukuran harus berbentuk *looping* yaitu pengukuran dimulai dari titik yang telah ditentukan dan berakhir pada titik tersebut. Tujuan dari sistem *looping* ini untuk menentukan nilai koreksi apungan (*drift*) sebagai koreksi dimana terdapat guncangan saat alat ukur berpindah tempat yang menyebabkan perubahan pembacaan titik nol pada *gravimeter*.

Pengambilan data dengan menggunakan sistem *looping* dimulai dengan pembuatan titik ikat (titik acuan) di daerah Gunung Ijen agar mempermudah dalam pengambilan data di daerah tersebut. Titik acuan yang digunakan yaitu di belakang papan penunjuk arah ke daerah Blawan yang sebelumnya dilakukan pengukuran relatif terhadap titik acuan di pojok gedung Fisika Universitas Brawijaya Malang (*base station* Fisika/ BS Fisika).

Lintasan pengambilan data terdiri dari lintasan Sempol-Erek erek (SE) dan Paltuding-Kawah Ijen (PK) sebanyak 47 titik pengambilan data. Pada lintasan SE interval pengambilan titik adalah ± 1 km dan pada lintasan PK adalah ± 50 m. Pengambilan data pada

lintasan SE ini mengikuti arah jalan kendaraan karena untuk kemudahan transportasi sedangkan pengambilan data pada lintasan PK ini mengikuti arah jalan setapak yang biasa digunakan oleh para penambang belerang dan para wisatawan menuju kawah gunung Ijen. Pada tiap titik dilakukan pengukuran gravitasi sebanyak 3 kali. Data yang dicatat diantaranya nama titik, pembacaan alat, posisi titik yaitu lintang dan bujur (digunakan GPS), waktu pengambilan data (digunakan jam digital) serta ketinggian (elevasi) titik amat.





Legenda :

- Batas kabupaten
- Jalan lokal
- Jalan utama

Topografi / Topography
 Ketinggian (mdpal) / High (m above sea level)
 High : > 1000

- Lintasan SE = Lintasan Sempol-Erek erek
- Lintasan PK = Lintasan Paltuding-Kawah Ijen
- Jalan kolektor

Low : < 200
 Garis Kentur / Contour Line

Gambar 3.1 Peta daerah penelitian.

3.5.2. Pengolahan data

3.5.2.1. Konversi Satuan

Tahapan pertama yang dilakukan dalam pengolahan data gayaberat yaitu konversi data kedalam satuan gayaberat yaitu miliGal (mGal). Perumusan yang digunakan dalam melakukan konversi ditunjukkan pada persamaan 2.7.

3.5.2.2. Koreksi Data

a) Koreksi Tidal

Koreksi tidal dilakukan untuk menghilangkan efek pengaruh pasang surut air laut akibat benda-benda langit di sekitar Bumi yaitu Matahari dan Bulan. Dalam koreksi tidal ini digunakan bantuan *software* Tide.exe. *Input* untuk *software* tersebut berupa data posisi titik pengukuran (bujur dan lintang), tanggal dan waktu pengambilan data. Setelah dimasukkan *input* tersebut maka akan diperoleh *output* yang menunjukkan nilai koreksi tidal dari titik pengukuran.

b) Koreksi Apungan (*Drift*)

Koreksi *drift* dilakukan untuk menghilangkan efek kelelahan pegas pada gravitimeter akibat guncangan pada saat alat berpindah tempat. Perumusan yang digunakan dalam melakukan koreksi *drift* ditunjukkan pada persamaan 2.9. Proses pengolahan data untuk koreksi ini dilakukan dengan bantuan *software* MS.Excel. Sebelum dilakukan perhitungan, nilai waktu, lintang, dan bujur harus dikonversi terlebih dahulu. Waktu dikonversi dalam bentuk detik, sedangkan lintang dan bujur dikonversi dalam bentuk derajat.

c) *Different in Reading* (Δg)

Different in Reading yaitu menghitung perbedaan harga gravitasi di setiap stasiun pengamatan dengan harga gravitasi di *base station*.

d) Gayaberat Pengukuran (Observasi)

Pengukuran gayaberat dengan menggunakan gravitimeter adalah relatif terhadap *Base Station* (BS), sehingga didapatkan beda nilai antara stasiun pengamatan dengan BS.

e) Koreksi Lintang (Gayaberat Teoritis/Gayaberat Normal)

Secara teoritis nilai gayaberat akan semakin besar jika mendekati kutub dan akan semakin kecil jika mendekati khatulistiwa. Sehingga perlu adanya koreksi lintang pada penelitian ini. Pada koreksi lintang ini digunakan rumusan terbaru yaitu *World Geodetic System 1984 (WGS 84)*. Rumusan tersebut ditunjukkan pada persamaan 2.10.

f) Koreksi Udara Bebas (*Free Air Correction/FAC*)

Koreksi udara bebas merupakan koreksi elevasi (ketinggian) yang mengabaikan massa diantara permukaan laut dengan titik pengukuran, dan pada setiap pertambahan ketinggian terhadap permukaan laut mengakibatkan perubahan nilai gayaberat. Untuk itu perlu dilakukan koreksi udara bebas pada penelitian ini. Perumusan untuk mendapatkan nilai koreksi ini ditunjukkan pada persamaan 2.11 dan proses pengolahan datanya digunakan bantuan *software MS. Excel*.

g) Koreksi Bouguer (*Bouguer Correction/BC*)

Koreksi Bouguer dilakukan untuk menghilangkan pengaruh/ efek massa batuan yang mengisi ruang antara titik pengukuran dan bidang acuan (geoid). Dalam koreksi Bouguer ini hubungan antara ketinggian suatu tempat dengan rapat massanya diperhitungkan.

h) Koreksi Medan (*Terrain Correction/TC*)

Koreksi medan diakibatkan oleh adanya efek dari massa di sekitar titik pengukuran. Kondisi topografi di sekitar titik pengukuran yang tidak beraturan seperti adanya bukit atau lembah juga mempengaruhi nilai gayaberat di titik pengukuran. Oleh karena itu dilakukan koreksi medan dan pengolahan data.

i) Anomali Bouguer (AB)

Setelah dilakukan konversi dan koreksi data, selanjutnya dilakukan pengolahan untuk mendapatkan nilai anomali Bouguer. Pengolahan data dilakukan dengan bantuan *software MS. Excel* dan untuk perumusan anomali Bouguer ditunjukkan pada persamaan 2.15.

3.5.3. Pemisahan Anomali Regional dan Anomali Sisa

Pemisahan anomali Bouguer dengan anomali sisa dapat dilakukan dengan melakukan proses kontinuitas ke atas (*upward continuation*). Sebelum dilakukan kontinuitas ke atas perlu dilakukan kontinuitas ke bawah (*downward continuation*) dengan menggunakan analisa *second vertical derivatif* (SVD). Kontinuitas ke atas dilakukan dengan menggunakan *surface to surface* dari data yang sudah direduksi ke bidang datar.

3.5.4. Penggambaran Pola Anomali Bouguer dan Anomali Sisa

Nilai anomali Bouguer dan anomali sisa yang diperoleh dari pengolahan data selanjutnya dilakukan penggambaran kontur. Data masukan yang berjumlah 47 titik berupa letak lintang, letak bujur serta nilai anomali yang akan dikonturkan pada setiap titik pengamatan sehingga dapat digambarkan pola anomalinnya. Penggambaran kontur anomali Bouguer dan anomali sisa dilakukan untuk setiap lintasan dikarenakan jarak (*spacing*) dari titik pengamatan berbeda dan perbedaannya cukup signifikan. Hal ini dilakukan agar semua pola-pola atau bentukan-bentukan anomali terlihat jelas. Pada penelitian ini terdapat 2 lintasan yaitu lintasan Sempol-Erek erek (SE) sebanyak 16 titik pengamatan dan lintasan Paltuding- Kawah Ijen (PK) sebanyak 31 titik pengamatan. Dari masing-masing lintasan tersebut kemudian dikonturkan anomali Bouguer dan anomali sisanya. Dari kontur anomali Bouguer dan anomali sisa tersebut, kemudian dilakukan pemodelan yang dibuat sepanjang lintasan tertentu. Dalam penelitian ini, dilakukan analisa pada 1 buah penampang melintang dari barat laut sampai tenggara untuk anomali sisa dari lintasan SE dan 1 buah penampang melintang dari baratdaya sampai timurlaut untuk anomali sisa dari lintasan PK.

Hal yang perlu diperhatikan ketika melakukan penarikan garis penampang yaitu bentuk dari kontur atau pola anomali. Bentuk yang dipertimbangkan adalah berupa tinggian atau rendahan anomali dan kerapatan kontur sehingga dapat diperkirakan pola struktur geologi bawah permukaan yang berupa patahan, suatu intrusi atau berupa lipatan (*antiklin* atau *sinklin*).

3.5.5. Pemodelan geologi

Setelah kontur anomali gayaberat tergambar, dilakukan pemodelan geologi. Pada proses ini diawali dengan pembuatan

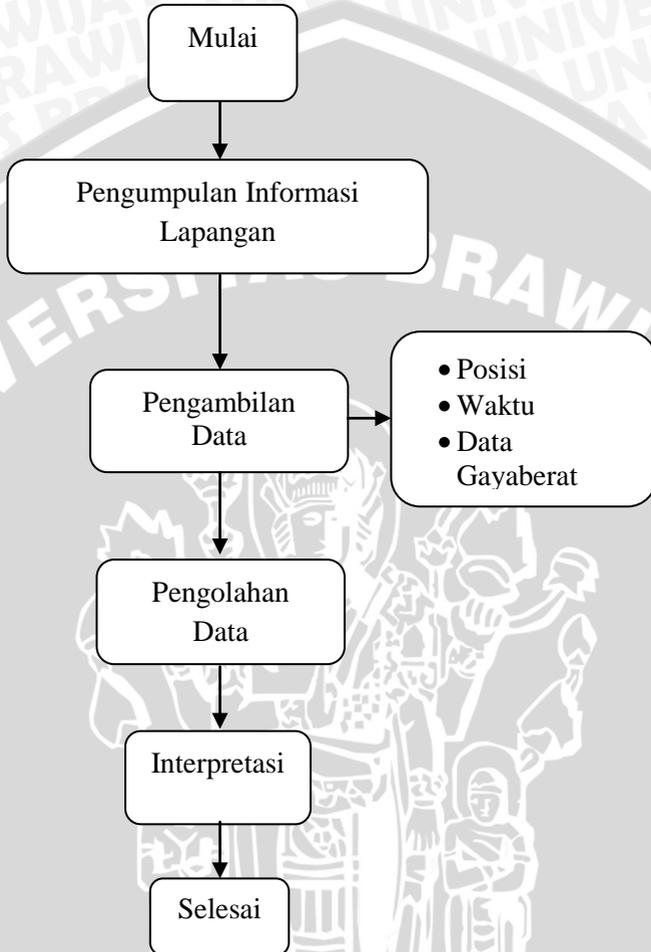
penampang melintang yang melewati anomali pada kontur gayaberat. Kemudian dilakukan *digitize* pada penampang melintang tersebut. Hasil *digitize* kemudian diolah menjadi sebuah model anomali gayaberat. Setelah model anomali tergambar, dilakukan pemodelan struktur bawah permukaan daerah penelitian.

3.5.6. Interpretasi

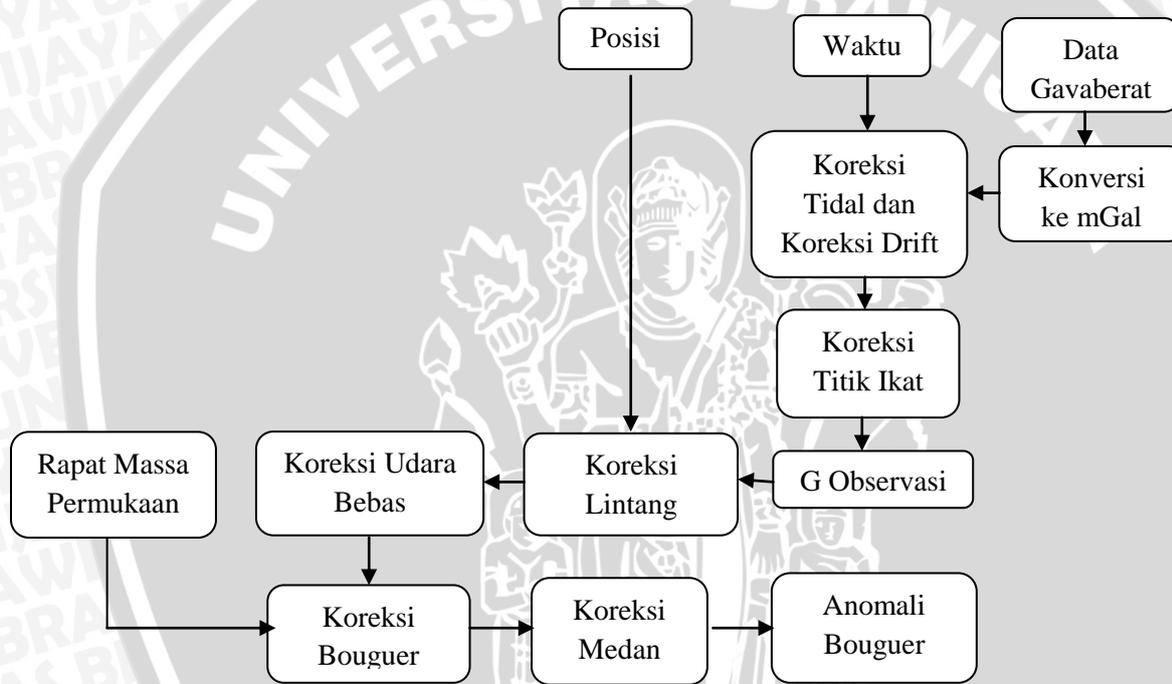
Hasil pengolahan data gayaberat yaitu peta sebaran anomali Bouger dan anomali sisa selanjutnya dilakukan interpretasi pola anomali gayaberat berdasarkan peta geologi daerah penelitian sehingga diperoleh gambaran benda bawah permukaan penyebab anomali yaitu struktur bawah permukaan. Interpretasi dalam penelitian ini dilakukan secara kualitatif dan secara kuantitatif. Interpretasi data dilakukan secara kualitatif untuk mengetahui pola sebaran anomali dihubungkan dengan struktur geologinya dan interpretasi kuantitatif untuk mengetahui nilai rapat massa batuan dibawah permukaan bumi.

Berikut ini adalah langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian :

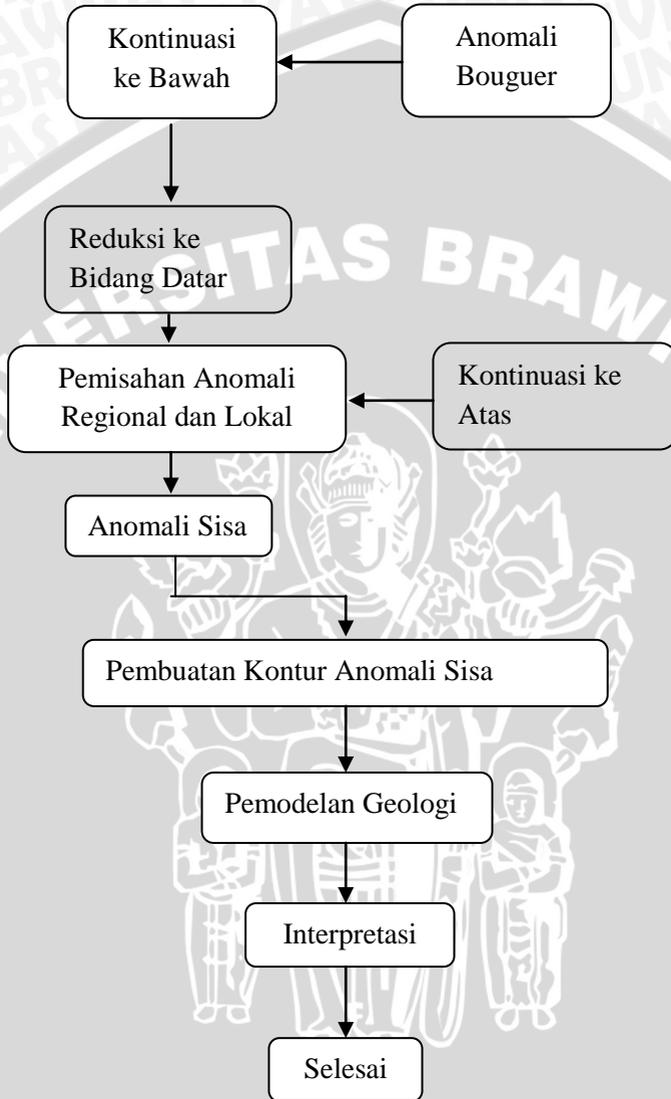




Gambar 3.2 Alur penelitian.



Gambar 3.3 Alur pengolahan data.



Gambar 3.4 Alur interpretasi data.

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

(halaman ini sengaja dikosongkan)



BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

6.1. Geologi Regional Gunung Ijen

Komplek gunungapi Ijen secara fisiologi berada dalam zona Solo, di bagian timur pulau Jawa. Zona Solo merupakan zona depresi memanjang berarah barat-timur yang secara tektonik terbentuk karena terpatahkan pada saat pembentukan geantiklin Jawa sehingga pada batas antara zona Solo dengan Zona Pegunungan Selatan yang berada dibagian selatan zona Solo, membentuk struktur patahan dengan dinding terjal. Proses depresi zona Solo menghasilkan sesar Menanga (*block faulting*) yang memungkinkan terbentuknya gunungapi muda di Pulau Jawa khususnya di Jawa Timur termasuk Komplek Gunung Ijen.

Komplek Gunungapi Ijen tumbuh diatas batuan sedimen Kenozoikum. Vulkanisme komplek gunungapi Ijen diperkirakan mulai terbentuk dalam periode waktu yang bersamaan dengan gunungapi Iyang (Argopuro) pada kala Plistosen Atas, atau sekitar 700.000 tahun yang lalu atau bahkan lebih muda. Pada akhir kala Plistosen, sebagian tubuh Gunungapi Tengger Tua, Iyang, dan Ijen Tua (Gunung Kendeng) menggelincir ke arah cekungan geosinklin di sebelah utaranya sehingga menyebabkan terjadi perlipatan endapan batuan sedimen plio-Plistosen. Gaya kompresi dan perlipatan di utara ini dikompensasikan oleh pergerakan sesar tarikan di zona Solo. Selama Holosen gunungapi muda pada zona Solo terbentuk seperti Semeru, Lamongan, kerucut muda Komplek Iyang-Argopuro, Ijen Tua (Kendeng), dan Raung. Gunungapi muda ini menutupi sesar mendatar, rekahan, dan gejala tensional lainnya yang terbentuk pada fase tektonik pendahuluan (Ratdomopurbo dkk., 2006).

6.2. Hasil Pengolahan Data

6.2.1. Konversi ke Nilai mGal

Untuk mendapatkan nilai pembacaan dalam satuan mGal, maka nilai pembacaan dari gravitimeter harus dikonversi kedalam nilai mGal dengan menggunakan tabel konversi dari gravitimeter *LaCoste & Romberg* tipe G-1053. Hal ini dilakukan karena yang diperoleh dari pembacaan gravitimeter belum memiliki satuan dan setiap gravitimeter memiliki tabel konversi yang sesuai dengan spesifikasi masing-masing alat.

6.2.2. Koreksi Pasang Surut (*Tidal Correction*)

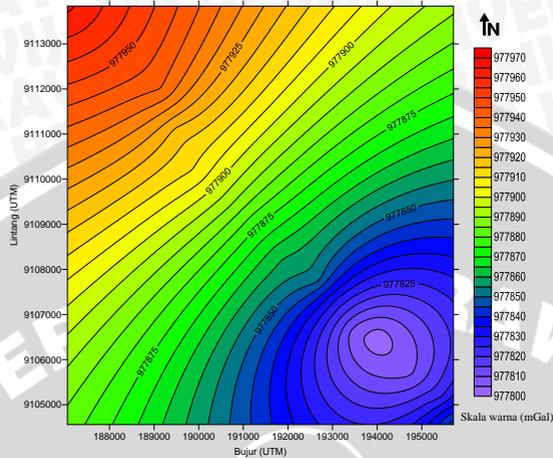
Benda langit khususnya matahari dan bulan memiliki pengaruh yang cukup besar terhadap nilai gayaberat bumi. Untuk menghilangkan pengaruh dari benda langit tersebut maka data hasil pengukuran dikoreksi dengan menggunakan koreksi pasang surut. Pada penelitian ini, nilai koreksi pasang surut terkecil pada lintasan SE adalah $-0,011$ mGal dan yang terbesar adalah $0,182$ mGal sedangkan untuk lintasan PK diperoleh nilai koreksi pasang surut terkecil adalah $-0,017$ mGal dan nilai terbesar adalah $0,204$ mGal.

6.2.3. Koreksi Drift (*Drift Correction*)

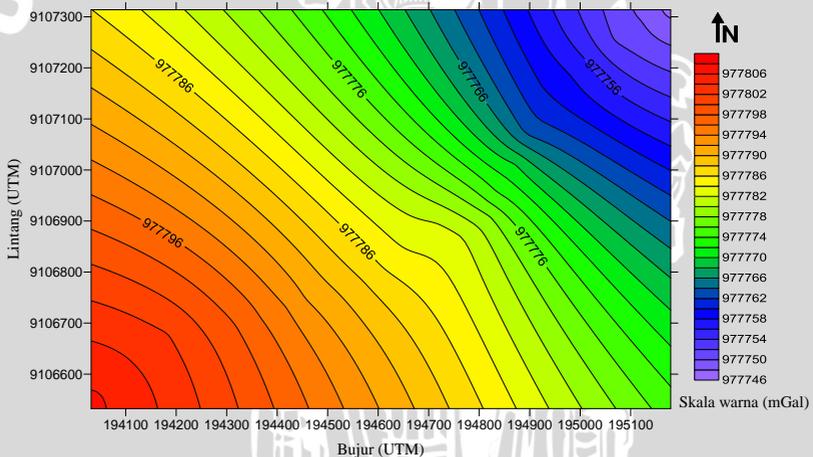
Pada saat pengambilan data di lapangan ada kemungkinan terjadi penyimpangan, guncangan pada alat dan pergeseran pembacaan titik nol. Untuk itu perlu dilakukan koreksi drift untuk menghilangkan efek kelelahan pegas pada gravitimeter tersebut dengan mengulangi pembacaan pada titik ikat dalam satu lintasan, sehingga dapat diketahui penyimpangannya. Koreksi drift dipengaruhi oleh waktu pengambilan data di tiap titik, konversi ke dalam mGal dan koreksi pasang surut.

6.2.4. Nilai Gayaberat Observasi (g_{obs})

Gayaberat observasi adalah nilai gayaberat hasil pengukuran. Nilai gayaberat ini merupakan hasil penjumlahan antara nilai gayaberat titik acuan dengan selisih gayaberat tiap titik pengukuran dengan titik acuan (Δg) yang telah terkoreksi tidal dan koreksi *drift*. Nilai BS Blawan merupakan nilai acuan pengukuran gayaberat dalam penelitian ini yaitu sebesar $977966,1623$ mGal. Nilai tersebut didapat dari pengukuran relatif terhadap nilai gayaberat BS Fisika yang telah diketahui sebelumnya, yaitu sebesar $978079,44$ mGal (Zaman, 2011). Selanjutnya nilai gayaberat observasi dikonturkan. Kontur gayaberat observasi daerah penelitian ditunjukkan pada gambar 4.1.



(a) Lintasan SE



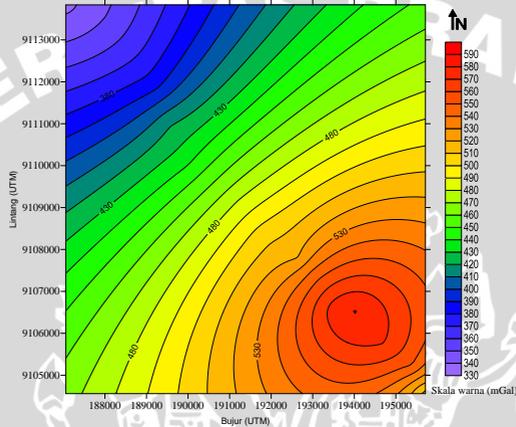
(b) Lintasan PK

Gambar 4.1 Kontur gayaberat observasi daerah penelitian

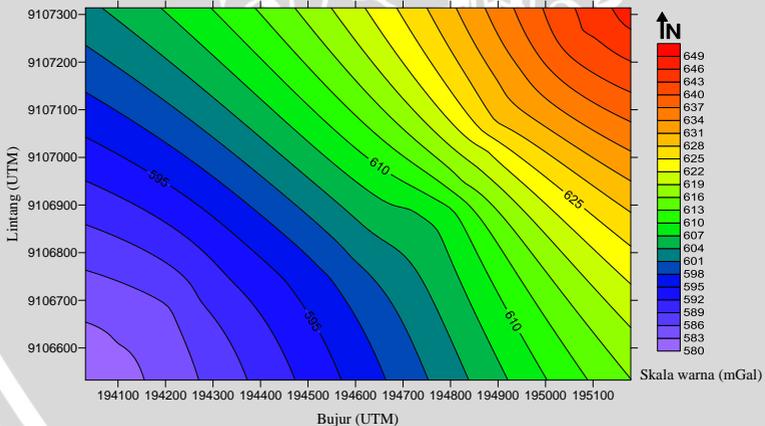
Pada Gambar 4.1 (a) terlihat bahwa nilai gayaberat observasi yang besar berada di Baratlaut sedangkan nilai gayaberat observasi yang rendah berada di tenggara di daerah penelitian. Gambar 4.1 (b) menunjukkan nilai gayaberat observasi yang besar berada di arah Baratdaya dan nilai yang relatif kecil berada di arah Timurlaut.

6.2.6. Koreksi Udara Bebas (*Free Air Correction*)

Perbedaan ketinggian titik pengukuran yang bervariasi berpengaruh pada besarnya nilai gayaberat pada titik pengamatan. Oleh karena itu diperlukan sebuah koreksi untuk mengurangi efek pengaruh ketinggian titik pengamatan terhadap data gravitasi yaitu koreksi udara bebas. Selanjutnya dilakukan pembuatan kontur untuk koreksi udara bebas daerah penelitian yang ditunjukkan pada Gambar 4.3.



(a) Lintasan SE.

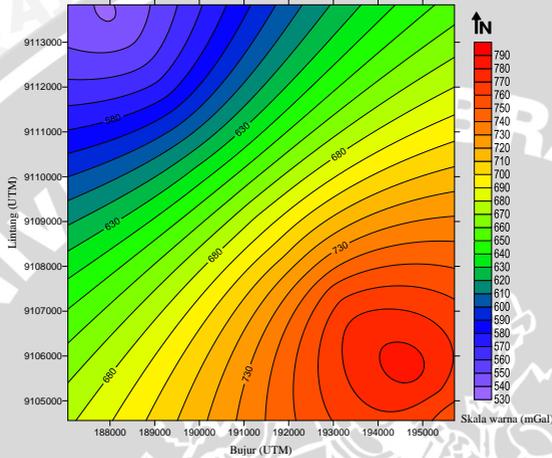


(b) Lintasan PK.

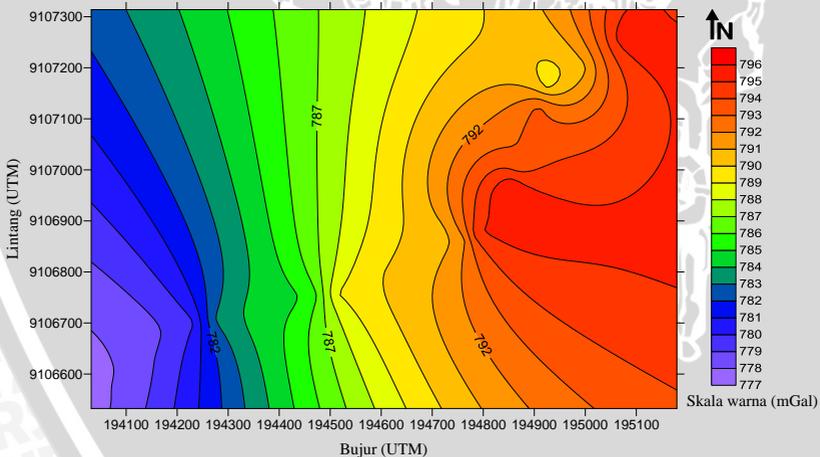
Gambar 4.3 Kontur koreksi udara bebas daerah penelitian.

6.2.7. Koreksi Bouguer dan Koreksi Medan

Gabungan koreksi Bouguer dan koreksi medan ini disebut sebagai koreksi topografi. Koreksi ini dilakukan untuk menghilangkan efek massa di sekitar titik pengamatan. Kontur koreksi topografi daerah penelitian ditunjukkan pada Gambar 4.4.



(a) Lintasan SE.



(b) Lintasan PK.

Gambar 4.4 Kontur koreksi topografi lintasan PK daerah penelitian.

Selanjutnya adalah melakukan interpretasi data, untuk melakukan interpretasi data diperlukan nilai anomali Bouguer lengkap. Nilai anomali Bouguer lengkap diperoleh dari nilai

gayaberat observasi dikurangi koreksi lintang ditambahkan koreksi udara bebas dan ditambahkan dengan koreksi topografi.

Interpretasi anomali Bouguer dapat dilakukan secara kualitatif maupun kuantitatif. Interpretasi kualitatif dilakukan dengan menilai seberapa banyak informasi bawah permukaan yang dapat ditafsirkan berdasarkan kualitas data anomali Bouguer yang diperoleh, sedangkan interpretasi kuantitatif dengan cara melakukan perhitungan-perhitungan untuk mendapatkan gambaran bawah permukaan benda penyebab anomali.

Untuk menafsirkan stuktur geologi di sekitar permukaan diperlukan anomali sisa yang diperoleh dari pemisahan anomali Bouguer menjadi anomali regional dan anomali sisa. Pada penelitian ini dilakukan pemisahan anomali dengan menggunakan metode kontinuitas ke atas (*upward continuation*) untuk memperoleh nilai anomali regional dan anomali sisa.

4.3. Pembahasan

4.3.1. Interpretasi Kualitatif

Interpretasi kualitatif merupakan penafsiran bawah permukaan berdasarkan sebaran anomali pada kontur anomali gayaberat. Interpretasi kualitatif dilakukan dengan cara membaca pola-pola anomali gayaberat yang kemudian dikorelasikan dengan peta geologi dan data-data kebumihannya sehingga secara umum dapat memberikan gambaran struktur bawah permukaan daerah penelitian. Gambaran umum yang dihasilkan dari penafsiran ini yaitu berupa pola-pola atau bentuk-bentuk struktur geologi tertentu saja, belum menyangkut ukuran/besaran geologi.

Pengolahan data pada interpretasi kualitatif mengandung ambiguitas karena mengingat adanya keunikan besar potensial gravitasi untuk suatu anomali tertentu terdapat terdapat tak hingga solusi model benda dengan parameter rapat massa, geometri dan kedalaman yang berbeda-beda. Pemecahan dilakukan dengan menentukan terlebih dahulu satu parameter, misalnya rapat massa atau kontras rapat massa berdasarkan data geologi atau data lain yang tersedia kemudian ditentukan distribusi massa atau distribusi model penyebab anomali (Wibowo, 2009).

Anomali Bouguer dan anomali sisa yang diperoleh dari pengolahan data untuk daerah penelitian dapat dikorelasikan dengan

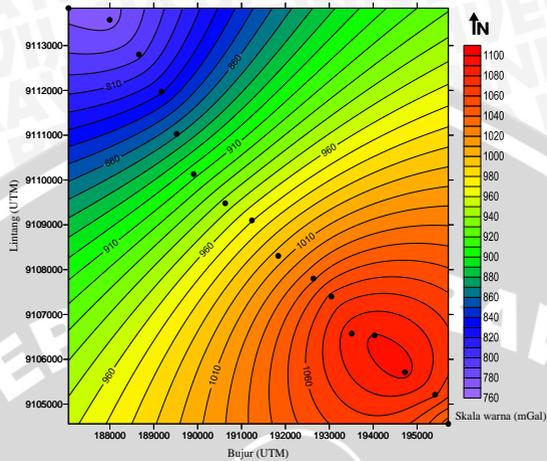
peta geologi dan peta topografi daerah penelitian sehingga dapat diinterpretasikan untuk mengetahui struktur bawah permukaannya.

4.3.1.1. Anomali Bouguer Lengkap

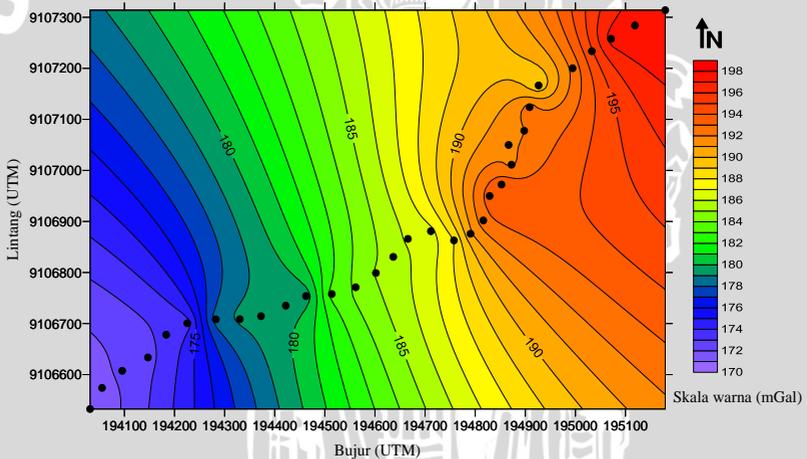
Anomali Bouguer merupakan selisih antara harga gayaberat pengukuran yang telah direduksi ke bidang referensi ukuran (*geoid*) dengan harga gayaberat teoritis pada bidang referensi hitungan tertentu di suatu titik. Nilai anomali Bouguer dipengaruhi oleh nilai gayaberat observasi, nilai gayaberat normal, koreksi udara bebas, koreksi Bouguer dan koreksi medan. Besar anomali Bouguer lengkap dapat dihitung berdasarkan persamaan 2.15. Selanjutnya nilai anomali Bouguer yang diperoleh dikonturkan seperti pada gambar 4.5.

Pada penelitian ini dilakukan interpretasi terhadap dua lintasan yang pertama adalah lintasan SE (Gambar 4.5(a)) dan lintasan PK (Gambar 4.5(b)). Secara kualitatif Gambar 4.5(a) dapat ditafsirkan bahwa pola anomali Bouguer dapat dibedakan menjadi 3 pola. Pola pertama adalah pola tinggian dengan kisaran nilai anomali antara 1000-1100 mGal. Pola kedua adalah pola sedang dengan kisaran nilai anomali antara 880-1100 mGal. pola ketiga adalah pola rendahan dengan kisaran nilai anomali antara 760-880 mGal. Pada lintasan SE ini tinggian berada di arah Tenggara daerah penelitian dan pola rendahan berada di arah Baratlaut dari lintasan penelitian. Pada pola tinggian ini berbentuk lingkaran dengan pola cembung dan dimungkinkan adanya intrusi suatu batuan di daerah tersebut.

Pada Gambar 4.5(b) yaitu lintasan PK pola tinggian berada pada arah Timurlaut daerah penelitian, dengan kisaran nilai anomali yaitu 190-198 mGal. Sedangkan pola rendahannya berada pada arah Baratdaya dengan kisaran nilai anomali antara 170-180 mGal. Pada Lintasan ini pola tinggian dan pola rendahannya berbentuk kontur yang rapat, hal ini merupakan refleksi dari kontras densitas batuan yang relatif tinggi yang diakibatkan oleh keberadaan sesar di daerah tersebut.



(a) Lintasan SE.



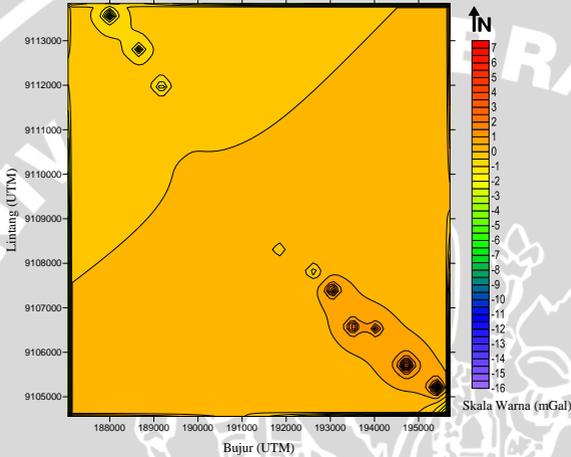
(b) Lintasan PK.

Gambar 4.5 Kontur anomali Bouguer lengkap dan titik-titik pengamatan.

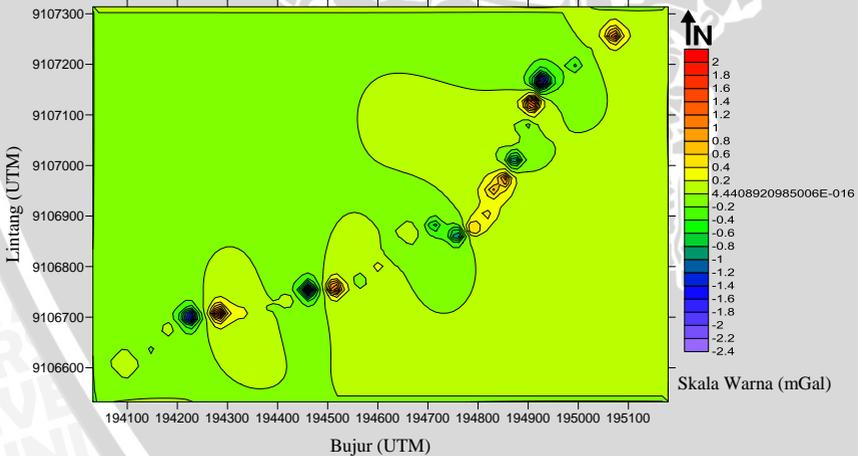
7.3.1.2. Kontinuasi ke Bawah (*Downward Continuation*)

Kontinuasi ke bawah dilakukan untuk memunculkan anomali yang dangkal dan menentukan batas-batas struktur yang ada di daerah penelitian. Kontinuasi ke bawah dapat dilakukan dengan analisa *second vertical derivatif* (SVD) anomali Bouguer lengkap. Gambar 4.6 (a) menunjukkan peta kontur hasil kontinuasi ke bawah

pada lintasan SE, dimana pada lintasan ini terdapat pola-pola lingkaran pada arah Baratlaut dan Tenggara. Pola-pola tersebut menunjukkan adanya anomali yang tinggi pada lokasi tersebut. Sedangkan pada Gambar 4.6(b) merupakan peta kontur anomali Bouguer hasil kontinuasi ke bawah pada lintasan PK, dimana pada lintasan ini nampak bahwa pola-pola tinggian berbentuk lingkaran berada di sepanjang arah dari Baratdaya sampai Timurlaut.



(a) Lintasan SE.



(b) Lintasan PK

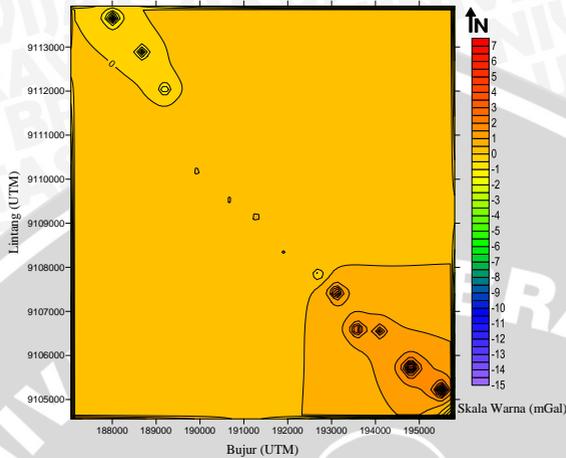
Gambar 4.6 Kontur anomali Bouguer lengkap hasil kontinuasi ke bawah.

7.3.1.3. Reduksi ke Bidang Datar

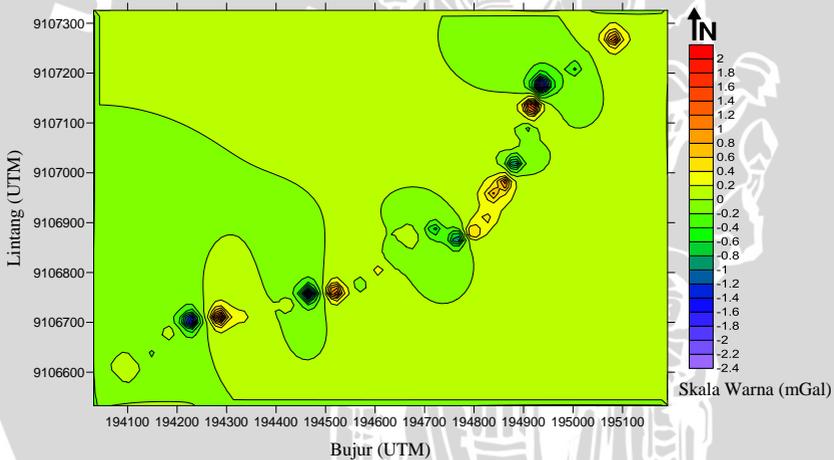
Pendugaan struktur bawah permukaan diperoleh melalui proses interpretasi data. Untuk mempermudah interpretasi, data yang berupa anomali Bouguer lengkap yang berada pada topografi diproyeksikan ke bidang datar terlebih dahulu (Nurwidyanto, 2007). Reduksi ke bidang datar perlu dilakukan karena nilai anomali Bouguer yang sudah terkoreksi merupakan nilai yang masih terpapar pada topografi, yaitu terletak pada titik-titik yang tidak teratur dengan ketinggian yang bervariasi. Hal ini dapat menimbulkan kesulitan dalam melakukan interpretasi. Reduksi bidang datar dilakukan dengan membawa data pada topografi ke tengah-tengah bidang topografi. Pada penelitian ini reduksi ke bidang datar dilakukan dengan bantuan *software* tertentu yang akan menggrid set poin data gayaberas, dengan cara membawa titik data dari satu set posisi yang tidak teratur menjadi grid (sebaran titik) teratur melalui teknik interpolasi statistik komputasi.

4.3.1.4. Kontinuasi ke Atas (*Upward Continuation*)

Anomali hasil dari reduksi bidang datar masih merupakan campuran anomali regional dan anomali sisa, sehingga perlu dilakukan proses selanjutnya untuk memisahkan kedua anomali tersebut yaitu proses kontinuasi ke atas. Kontinuasi ke atas adalah langkah pengubahan data medan potensial yang diukur pada suatu level permukaan menjadi data yang seolah-olah diukur pada level permukaan yang lebih atas. Kontinuasi ke atas juga merupakan salah satu metode yang digunakan sebagai filter yang berguna untuk menghilangkan bising yang ditimbulkan oleh benda-benda dekat permukaan. Untuk memperoleh hasil kontinuasi yang bagus dilakukan beberapa percobaan kontinuasi dengan ketinggian mulai 1000-3000 m, kontinuasi yang dianggap paling bagus adalah kontinuasi dengan ketinggian 2700 m. Dari proses kontinuasi ini akan diperoleh anomali regional dan anomali sisa yang selanjutnya anomali tersebut dikonturkan.



(a) Lintasan SE



(b) Lintasan PK

Gambar 4.7 Kontur anomali sisa hasil kontinuasi.

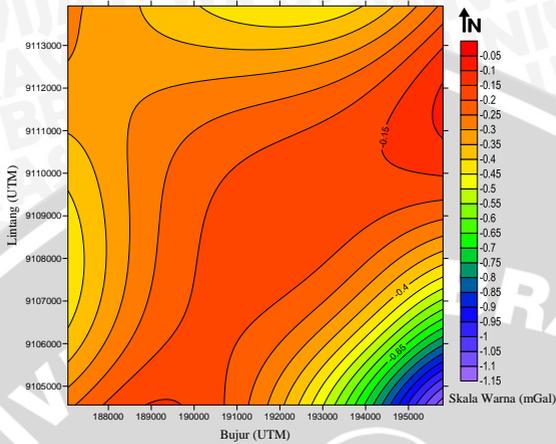
Gambar 4.7 menunjukkan nilai anomali sisa dari lintasan SE dan lintasan PK, dimana nilai anomali sisa relatif kecil mengingat bahwa nilai ini merupakan efek dari fenomena geologi permukaan (efek dangkal) daerah penelitian oleh karena itu tampilan anomali sisa ini lebih menggambarkan efek dangkal, maka struktur yang dihasilkan lebih mencerminkan bentuk diatas permukaan bumi yang berarti memiliki hubungan yang cukup signifikan dengan peta geologi.

Pada Gambar 4.7(a) terlihat bahwa nilai anomali sisa berada pada kisaran -15 hingga 7 mGal. Pada peta kontur tersebut terdapat kontur melingkar dengan pola cembung. Kontur melingkar dengan pola cekung tersebut berada di arah Baratlaut sedangkan pola cembung berada di arah Tenggara merupakan refleksi adanya intrusi suatu batuan di daerah tersebut.

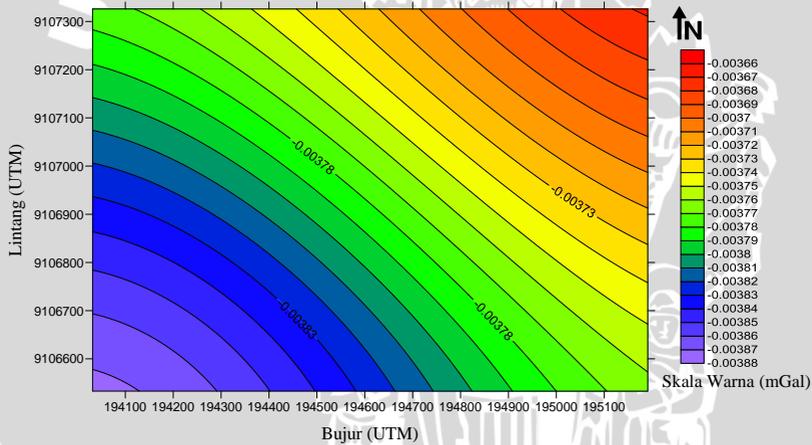
Pada Gambar 4.7(b) terlihat bahwa anomali sisa untuk lintasan PK dalam kisaran -2,4 hingga 2 mGal. Pada lintasan ini nilai anomali sisa yang berpola rendahan dan tinggian menyebar dari arah Baratdaya peta penelitian hingga arah Timurlaut peta penelitian. Pola tinggian dengan kontur melingkar merefleksikan adanya intrusi suatu batuan di lokasi tersebut.

Analisa selanjutnya mengacu pada anomali regional. Nilai anomali regional ini memiliki kisaran nilai yang cukup kecil karena sebelum dilakukan pemisahan telah dilakukan filter dengan analisa *second vertical derivatif* yang hasilnya hanya memunculkan nilai anomali dangkal pada daerah penelitian sehingga nilai anomali regional yang merupakan efek dalam tidak nampak jelas yang ditunjukkan dengan nilai anomali regional yang kecil. Pada Gambar 4.8(a) dapat dilihat bahwa nilai anomali regional berada dalam kisaran -1,15 hingga -0,05 mGal. Tampilan anomali regional untuk lintasan SE ini menunjukkan adanya kontur kelurusan dengan nilai anomali yang rendah berada di arah Tenggara peta penelitian.

Pada Gambar 4.8(b) menunjukkan nilai anomali regional untuk lintasan PK berada pada kisaran -0,00388 hingga -0,00366 mGal. Pada tampilan anomali regional ini menunjukkan adanya kontur kelurusan dengan nilai anomali yang rendah berada di arah Baratdaya peta penelitian sedangkan nilai anomali yang tinggi berada di arah Timurlaut peta penelitian.



(a) Lintasan SE



(b) Lintasan PK

Gambar 4.8 Kontur anomali regional hasil kontinuasi.

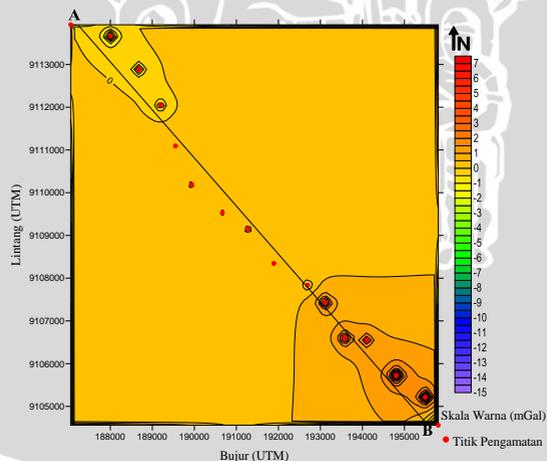
4.3.2. Interpretasi Kuantitatif

Interpretasi kuantitatif dilakukan dengan menganalisis penampang pola anomali sisa sepanjang lintasan tertentu. Pada penelitian ini dibuat dua penampang anomali yaitu penampang AB untuk lintasan SE dan penampang CD untuk lintasan PK. Langkah awal pemodelan adalah dengan mencoba berbagai kemungkinan model geologi bawah permukaan, penggunaan rapat massa penyusun daerah penelitian pada setiap lapisan dari model geologi yang

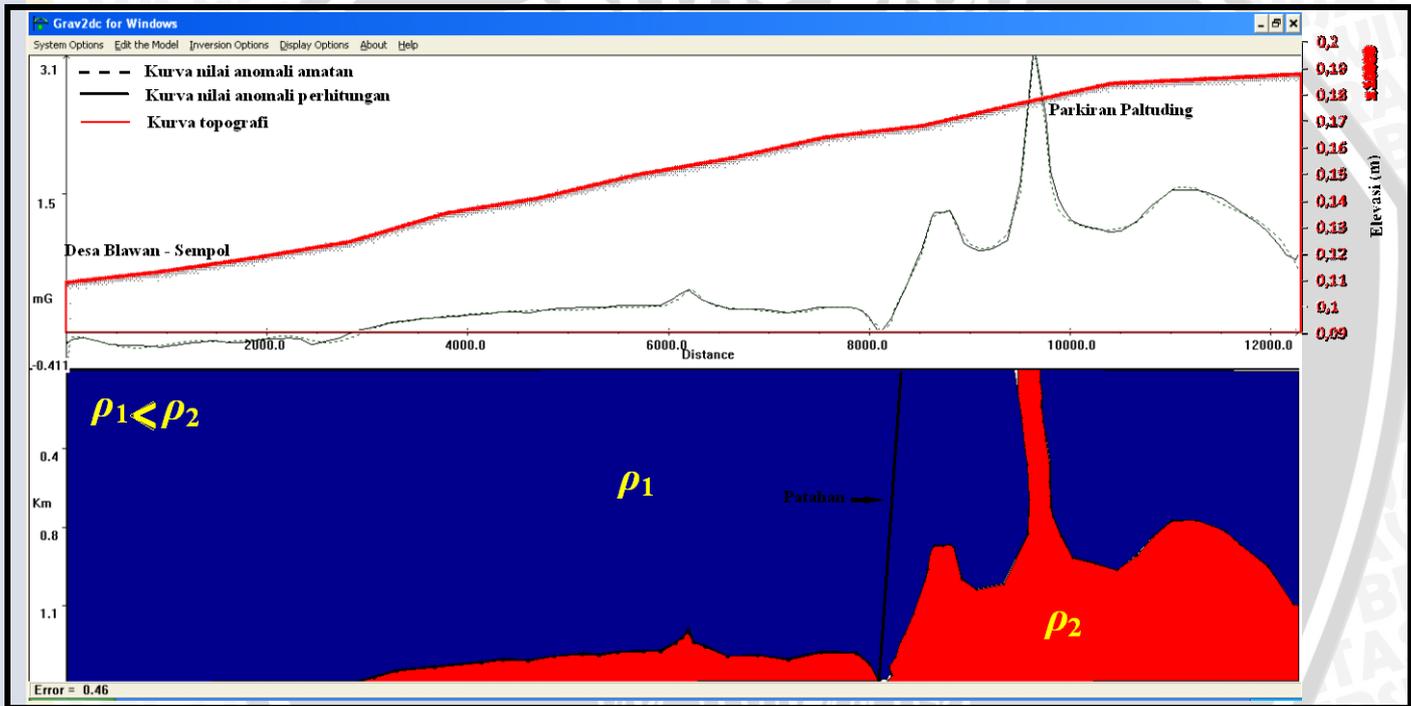
dihasilkan ditentukan berdasarkan perkiraan model geologi (hasil interpretasi), ditunjang dengan rapat massa Telford dan rapat massa dari literatur lain. Interpretasi geologi secara kuantitatif dilakukan berdasarkan pemodelan sepanjang penampang anomali tertentu, sehingga dapat ditafsirkan geometri dari benda-benda geologi bawah permukaan yang menjadi penyebab timbulnya anomali. Pada penelitian ini pemodelan geologi dilakukan dengan bantuan *software* tertentu. Data masukan pada *software* ini berupa nilai jarak lintasan (dalam meter) dan nilai anomalinnya, bentuk model tersebut tergambar sebagai anomali observasi sedangkan penampang hasil pemodelan geologi digambarkan sebagai anomali hitungan. Pemodelan ini dilakukan dengan metode trial dan error sehingga dalam pengerjaannya harus diiterasi sampai didapatkan ralat (error) terkecil.

4.3.2.1. Interpretasi Kuantitatif Penampang Anomali Gayaberat AB lintasan SE

Penampang anomali Bouguer sisa AB untuk lintasan SE diambil berdasarkan hasil penafsiran kualitatif pola kontur anomali, dimana pada penampang AB memotong tinggian dan rendahan dengan nilai tertinggi 7 mGal dan terendah adalah -15 mGal. Lintasan pemodelan anomali sisa AB ditunjukkan pada Gambar 4.9.



Gambar 4.9 Lintasan pemodelan Anomali sisa AB



Gambar 4.10 Overlay model penampang anomali sisa AB dan kurva topografi

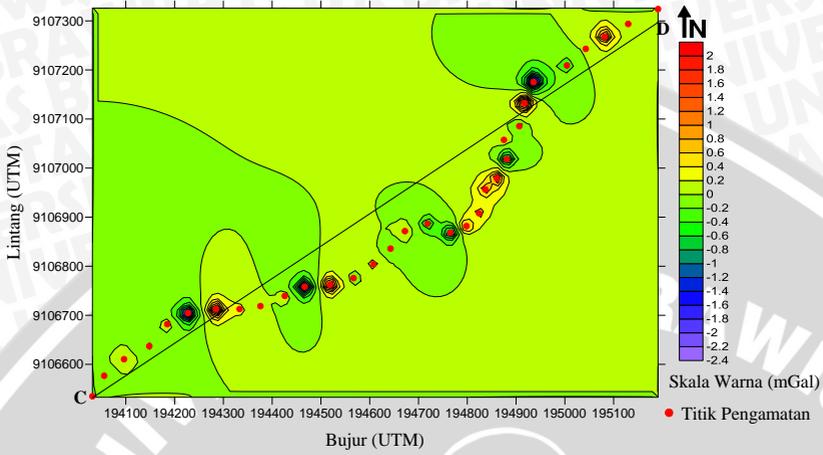
Gambar 4.10 adalah gambar *overlay* model penampang anomali sisa AB dan kurva topografi, pada sumbu Y pada area kurva adalah nilai pengamatan (-0,411 hingga 3,1 mGal) sedangkan sumbu X merupakan nilai jarak lintasan (mencapai 1200 m), sedangkan sumbu Y negatif pada area pemodelan adalah nilai kedalaman (mencapai 1,5 km), garis putus-putus pada kurva adalah nilai anomali amatan sedangkan garis kontinu adalah anomali hasil perhitungan (respon dari pemodelan lapisan). Pada kurva topografi, sumbu X merupakan nilai jarak lintasan dan sumbu Y merupakan nilai elevasi daerah penelitian. Berdasarkan gambar *overlay* tersebut terlihat bahwa nilai anomali Bouguer sisa yang tinggi berada di sekitar daerah Paltuding. Anomali yang tinggi ini dapat ditafsirkan adanya sebuah intrusi dari batuan vulkanik.

Pendugaan litologi batuan di daerah penelitian didasarkan pada data geologi yang ada. Berdasarkan informasi geologi diketahui bahwa daerah penelitian tumbuh diatas batuan sedimen Kenozoikum dan berdasarkan peta geologi lembar Banyuwangi daerah penelitian terdiri dari tuf, breksi gunungapi dan lava. Berdasarkan hasil pemodelan yang dilakukan, ρ_1 ditafsirkan sebagai batuan breksi gunungapi dan tuf dengan nilai densitas $\rho_1 = 2,67 \text{ gr/cm}^3$ sedangkan ρ_2 ditafsirkan sebagai batuan beku yang dimungkinkan jenis batuan basalt ataupun lava dengan nilai $\rho = 2,70\text{-}3,30 \text{ gr/cm}^3$. Adanya intrusi batuan beku ini mempengaruhi bentuk topografi di permukaan Bumi. Intrusi terjadi di daerah sekitar Paltuding. Pada pemodelan ini juga ditafsirkan adanya patahan di jarak 2 km sebelum parkir Paltuding dari arah desa Blawan-Sempol.

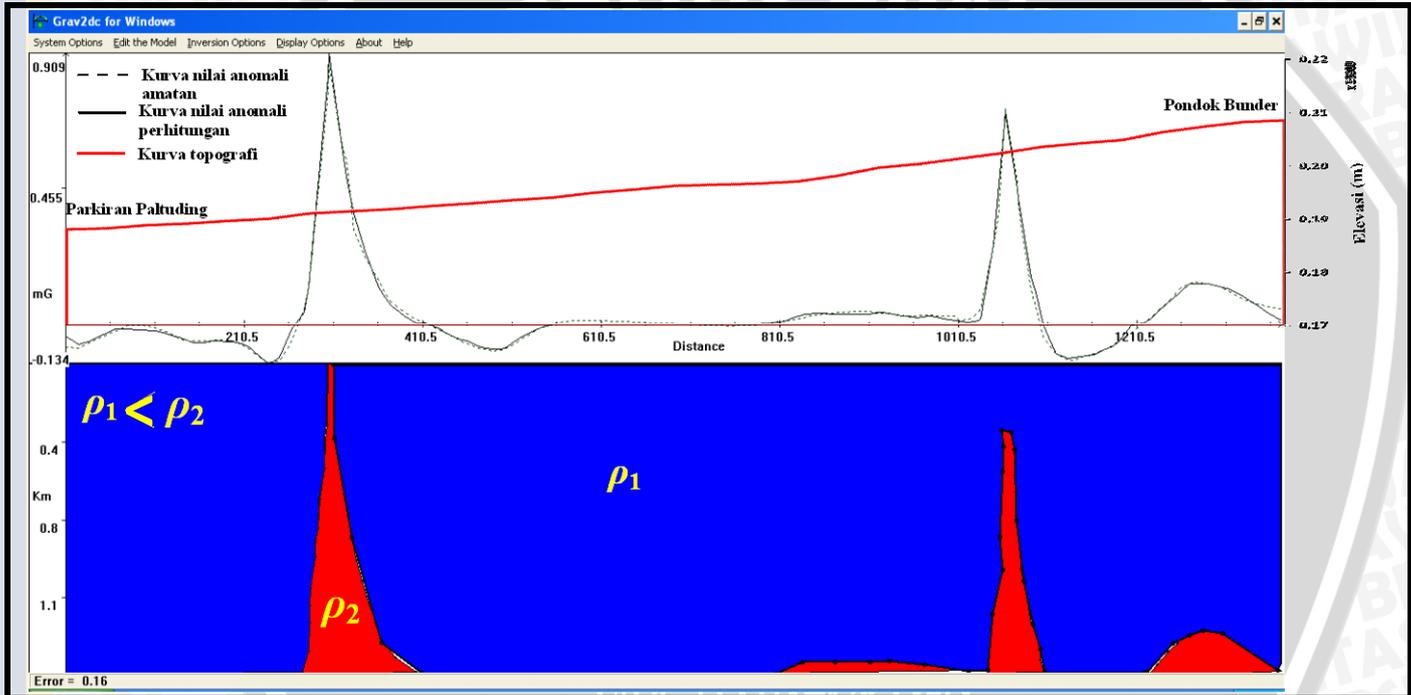
Nilai kesalahan (*error*) dari pemodelan penampang AB ini relatif kecil yaitu 0,46%, hal ini menunjukkan bahwa hasil pemodelan yang dilakukan mendekati kondisi sesungguhnya di daerah penelitian.

4.3.2.2. Interpretasi Kuantitatif Penampang Anomali Gayaberat CD lintasan PK

Penampang anomali Bouguer sisa CD untuk lintasan PK diambil berdasarkan hasil penafsiran kualitatif pola kontur anomali, dimana pada penampang CD memotong tinggian dan rendahan dengan nilai tertinggi 2 mGal dan terendah adalah -2,4 mGal. Lintasan pemodelan anomali sisa CD ditunjukkan pada Gambar 4.11.



Gambar 4.11 Lintasan pemodelan Anomali sisa CD



Gambar 4.12. Overlay model penampang anomali sisa CD dan kurva topografi.

Gambar 4.12 merupakan gambar *overlay* dari model penampang anomali sisa CD dan kurva topografi. Hasil *overlay* tersebut menunjukkan bahwa nilai anomali Bouguer sisa di daerah penelitian berbanding lurus dengan kenaikan elevasi. Semakin tinggi letak titik pengamatan maka semakin tinggi nilai anomalnya. Hal ini menunjukkan bahwa benda/batuan penyebab anomali tinggi memiliki densitas yang besar. Berdasarkan hasil pemodelan yang dilakukan, ρ_1 ditafsirkan sebagai jenis batuan breksi gunungapi dan tuf dengan nilai densitas $\rho_1 = 2,67 \text{ gr/cm}^3$ dan ρ_2 ditafsirkan sebagai batuan beku yang dimungkinkan jenis batuan basalt ataupun lava dengan nilai $\rho_2 = 2,70-3,30 \text{ gr/cm}^3$. Daerah yang memiliki anomali yang cukup besar ini berada di sekitar Pondok Bunder. Di daerah Paltuding dengan nilai anomali yang lebih rendah juga terdapat intrusi batuan basalt (ρ_2), hal ini sesuai dengan pemodelan AB bahwa di daerah Paltuding terdapat intrusi batuan basalt.

Berdasarkan pemodelan anomali sisa AB dan Anomali sisa CD dapat di tafsirkan bahwa intrusi batuan vulkanik yaitu batuan basalt dengan nilai densitas $\rho = 2,70-3,30 \text{ gr/cm}^3$ berada di bawah permukaan di daerah Paltuding dan intrusi batuan basalt juga terjadi di daerah Pondok Bunder.

Nilai kesalahan (*error*) dari pemodelan penampang CD ini relatif kecil yaitu 0,16%, hal ini menunjukkan bahwa hasil pemodelan yang dilakukan mendekati kondisi sesungguhnya di daerah penelitian.

BAB V PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Dari hasil pengolahan data dan analisa anomali Bouguer di Gunung Ijen dapat diinterpretasikan bahwa terdapat intrusi batuan basalt dengan nilai densitas $\rho_2=2,70-3,30 \text{ gr/cm}^3$ di daerah Paltuding dan intrusi semakin tinggi di daerah sekitar Pondok Bunder. Selain itu terdapat beberapa jenis batuan lainnya di daerah penelitian yaitu breksi gunungapi dan tuff dengan nilai densitas $\rho_2= 2,67 \text{ gr/cm}^3$ di daerah desa Blawan-Sempol dan juga di Paltuding serta Pondok Bunder.

Nilai kesalahan dari pemodelan yang dilakukan adalah 0,46% untuk model penampang AB dan sebesar 0,16% untuk model penampang CD, nilai kesalahan yang relatif kecil ini menunjukkan bahwa pemodelan yang dilakukan mendekati kondisi sesungguhnya di daerah peneltian.

5.2. Saran

Saran yang dapat disampaikan untuk mendapatkan hasil yang lebih baik dalam penelitian yang menggunakan metode geofisika, khususnya metode gayaberat yaitu penelitian yang telah dilakukan merupakan penelitian mengenai geologi bawah permukaan di Gunung Ijen hanya di Kabupaten Bondowoso, penelitian ini dirasa masih kurang untuk mengetahui geologi bawah permukaan di daerah Gunung Ijen secara detail sehingga perlu adanya penelitian lanjutan mengenai geologi bawah permukaan di daerah gunung Ijen (Kabupaten Banyuwangi dan Situbondo), karena kemungkinan keberadaan kantong magma yang cukup besar sehingga perlu adanya penelitian untuk daerah pengamatan yang cukup luas.

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

(halaman ini sengaja dikosongkan)



DAFTAR PUSTAKA

- Adhi, P. M., A. H. Muhtadi dan P. Achmari. 2011. *Metode Gayaberat*. Bandung, Institut Teknologi Bandung.
- Anonymous. (2010). <http://volcanoindonesia.blogspot.com/2010/11/kawah-ijen.html>. Akses tanggal 12 Desember, 2012.
- Austin. 1992. *LaCoste and Romberg, Intruction Manual Model G & D Gravity Meter.*, Texas. USA.
- Dobrin, B. M., and Carl H, Savit. 1988. *Introduction to Geophysical Prospecting, Fourth Edition*. McGraw-Hill International Editions. USA.
- Hidayat, N. 2011. *Analisis Anomali Gravitasi sebagai Acuan dalam Penentuan Struktur Geologi Bawah Permukaan dan Potensi Geothermal (Studi Kasus di Daerah Songgoriti Kota Batu)*. Jurusan Fisika. Malang, Universitas Islam Negeri Maulana malik Ibrahim S1.
- Insani, A. M. 2009. *Studi Struktur Geologi Volcanic-Geothermal Daerah Sampuraga, Kabupaten Mandailing Natal, Sumatera Utara berdasarkan Survei Gayaberat*. Jurusan Fisika. Malang, Universitas Brawijaya. S1.
- Kirbani, S. 2001. *Paduan Workshop Eksplorasi Geofisika (Teori dan Aplikasi)*. Laboratorium Geofisika Fakultas MIPA UGM. Yogyakarta.
- Kusniati, A. 2008. *Anomali Bouguer dan Residual sebagai Acuan dalam Penentuan Struktur Geologi Bawah Permukaan dan Potensi Geothermal di Daerah Serang dan Sekitarnya*. Jurusan Fisika. Malang, Universitas Brawijaya. S1.
- Lillie, R. J. 1999. *Whole Earth Geophisics : An Introductory Textbook for Goelogists and Geophysicists*. Prentice-Hall, Inc. USA.
- Nurwidyanto, M. I. 2007. *Pemodelan Zona Sesar Opak Di Daerah Pleret Bantul Yogyakarta dengan Metode Gravitasi*, Laboratorium Geofisika Jurusan Fisika FMIPA UNDIP. 10: 65-70.
- Ratdomopurbo, A., Sumarti, S., Subandriyo. 2006. *Gunung Ijen*. Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral Badan Geologi Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi. Yogyakarta.

- Sitorus, K. 1990. *Volcanic Stratigraphy and Geochemistry of the Ijen Caldera Complex, East Java, Indonesia*. New Zealand, Victoria university of Wellington. S2.
- Sleep, N. H., and Fujita, K. 1997. *Principles of Geophysics*. Blackwell Science, Inc. USA.
- Subekti, K. A. 2001. *Pemodelan Struktur Geologi Bawah Permukaan Gunung Bromo Berdasarkan Hasil Pengukuran Gayaberat*. Jurusan Fisika. Semarang, Universitas Diponegoro. S1.
- Susilawati. 2005. *Reduksi dan Interpretasi Data Gravitasi*. Jurusan Fisika, Universitas Sumatra Utara.
- Telford, W. M., Geldart, L.P., Sheriff, R.E. 1990. *Applied Geophysics Second Edition*. Cambridge University Press. USA.
- Wardana, D. 2008. *Penelitian Gayaberat di Daerah Perbatasan Cekungan Bogor dan Cekungan Jawa Barat Utara*. Pusat Penelitian Geoteknologi LIPI. Bandung.
- Wibowo, W. T. 2009. *Pemetaan Struktur Bawah Permukaan Daerah Malang dengan Metode Gravitasi*. Jurusan Fisika. Malang, Universitas Brawijaya. S1.
- Zaman, M. B. 2011. *Studi Potensi Panasbumi di Pemandian Air Panas Cagar Kota Batu, Jawa Timur dengan Menggunakan metode Gayaberat*. Jurusan Fisika. Malang, Universitas Brawijaya. S1.

LAMPIRAN

Lampiran 1 Proses pembuatan titik ikat gayaberat di daerah Sempol, Kabupaten Bondosowo, Jawa Timur.

Pengukuran gayaberat yang dilakukan merupakan pengukuran relatif terhadap titik acuan yang telah diketahui nilai gayaberatnya. Pada penelitian ini dilakukan pembuatan titik ikat di lokasi penelitian (BS-Blawan) terlebih dahulu dengan tujuan untuk mempermudah dalam pengambilan data selanjutnya karena dalam pengambilan data gayaberat dilakukan dengan proses *looping*. Titik BS-Blawan merupakan hasil pengukuran relatif terhadap titik acuan yang telah diketahui nilai gayaberatnya sebesar 978079,44 mGal. Adapun perumusan titik ikat ditunjukkan pada persamaan L1.1 berikut :

$$g_{obs} = g_{bn} + \Delta g \quad \text{L1.1}$$

$$\Delta g = ((R_t - R_{ac}) + tide + drift) \quad \text{L1.2}$$

Dimana :

g_{obs} = nilai gayaberat hasil pengamatan

g_{bn} = nilai gayaberat titik acuan

Δg = selisih gayaberat titik pengamatan dengan titik acuan

R_t = harga pembacaan dititik amat

R_{ac} = harga pembacaan dititik acuan

Tide = koreksi pasang surut

Drift = koreksi apungan/kelelahan pegas

Proses pengukuran ditunjukkan ada tabel L1.1. Berikut ini hasil pengukuran relatif gayaberat titik BS-Blawan terhadap BS-FIS. Lokasi BS-FIS dan BS-Blawan ditunjukkan pada Gambar L1.1 dan Gambar L1.2.

Nama Titik : BS-FIS (titik acuan fisika)

G. OBS : 978079,44 mGal

Lokasi : Pojok kanan Gedung Fisika UB Malang

Lintang : 07.57'09,7"

Bujur : 112.36'42,8"

Ketinggian : 519,5 mdpl

Nama Titik : BS-Blawan
G. OBS : 977966,1623 mGal
Lokasi : Belakang papan penunjuk arah ke tempat wisata air terjun Blawan, Sempol, Kabupaten Bondowoso, Jawa Timur
Lintang : 08.00'25,85"
Bujur : 114.09'40,57"
Ketinggian : 1099 mdpl



Gambar L1.1 Dokumentasi saat pembuatan titik ikat di Desa Blawan-Sempol Kabupaten Bondowoso.



Gambar L1.2 Dokumentasi saat pengambilan data di Paltuding.

Tabel L1.1 Pengolahan data titik ikat

No.	Titik	Reading counter			Bujur	Lintang	Waktu	Elevasi (m)
		I	II	III				
1	BS Fisika	1689,37	1689,48	1689,48	112°36'42,04"	7°57'09,56"	6.20	523
2	BS Blawan	1577,66	1577,68	1577,69	114°09'40,57"	8°00'25,85"	14.01	1099
3	BS Fisika	1689,01	1689,06	1689,98	112°36'42,04"	7°57'09,56"	22.08	523

RC rata-rata	Konversi (mGal)	Koreksi Tidal	Koreksi Drift	Delta G	Nilai titik ikat BS Blawan (mGal)
1689,44	1713,2036	0,043	0		
1577,68	1599,8672	0,039	-0,059	-113,278	977966,1623
1689,35	1713,1089	0,017	-0,121	0,026	

Lampiran 2
Contoh pengolahan data gayaberat

Tabel L2.1 Pengolahan data lintasan Sempol-Erek erek

No.	Titik	Bujur	Lintang	Elevasi (m)	RC Rata2	Waktu (s)	Konversi	Koreksi Tidal	Koreksi Drift
1	BS Blawan	114,161	-8,007	1092	1577,34	28020	1599,53	0,130	0
2	SE 1	114,170	-8,010	1133	1569,93	30900	1592,01	0,166	-0,932
3	SE 2	114,176	-8,017	1186	1560,73	31680	1582,69	0,172	-1,185
4	SE 3	114,180	-8,024	1247	1552,52	32400	1574,36	0,176	-1,418
5	SE 4	114,184	-8,033	1354	1531,26	33780	1552,80	0,181	-1,864
6	SE 5	114,187	-8,041	1413	1523,11	34500	1544,53	0,182	-2,097
7	SE 6	114,193	-8,047	1499	1506,55	35040	1527,75	0,181	-2,272
8	SE 7	114,199	-8,050	1562	1492,82	35880	1513,82	0,179	-2,544
9	SE 8	114,204	-8,057	1642	1476,27	36480	1497,04	0,170	-2,738
10	SE 9	114,212	-8,062	1684	1468,13	37020	1488,79	0,173	-2,913
11	SE 10	114,215	-8,066	1766	1448,23	37800	1468,61	0,167	-3,166

Lanjutan Tabel L2.1

12	SE 11	114,219	-8,073	1862	1423,55	38520	1443,58	0,160	-3,399
13	SE 12	114,224	-8,074	1881	1419,86	39480	1439,84	0,150	-3,709
14	SE 13	114,230	-8,081	1845	1426,36	40800	1446,43	0,133	-4,137
15	SE 14	114,237	-8,086	1778	1441,23	41820	1461,51	0,177	-4,467
16	SE 15	114,239	-8,091	1640	1465,38	42900	1486,00	0,098	-4,816
17	BS Blawan	114,161	-8,007	1092	1570,84	48840	1592,93	-0,011	-6,739

Δg	g Observasi	g Normal	FAC	AUB	BC+TC	AB
	977966,2	978069,6100	336,9912	233,5435	543,15	776,6935
-8,45	977957,7	978069,6323	349,6438	237,7241	538,55	776,2741
-18,03	977948,1	978069,6972	365,9996	244,4369	553,11	797,5469
-26,59	977939,6	978069,7666	384,8242	254,6303	574,05	828,6803
-48,59	977917,6	978069,8459	417,8444	265,5661	602,77	868,3361
-57,09	977909,1	978069,9211	436,0518	275,2008	631,71	906,9108
-74,06	977892,1	978069,9760	462,5914	284,7216	659,19	943,9116

Lanjutan Tabel L2.1

-88,25	977877,9	978070,0082	482,0332	289,9343	679,54	969,4743
-105,23	977860,9	978070,0750	506,7212	297,5828	706,87	1004,453
-113,65	977852,5	978070,1179	519,6824	302,0723	736,07	1038,142
-134,09	977832,1	978070,1520	544,9876	306,9088	755,87	1062,779
-159,35	977806,8	978070,2215	574,6132	311,2027	774,72	1085,923
-163,40	977802,8	978070,2253	580,4766	313,0132	777,51	1090,523
-157,24	977808,9	978070,2948	569,3670	307,9980	785,11	1093,108
-142,49	977823,7	978070,3374	548,6908	302,0307	769,53	1071,561
-118,35	977847,8	978070,3923	506,1040	283,5278	750,33	1033,858
-13,34	977952,8	978069,6100	336,9912	220,2065	543,15	763,3565

Tabel L2.2 pengolahan data lintasan Paltuding Kawah Ijen

No.	Titik	Bujur	Lintang	elevasi (m)	RC Rata2	Waktu (s)	konversi (mGal)	Koreksi Tidal	Koreksi Drift
1	BS Blawan	114,1613	-8,0071	1092,00	1577,77	22080	1599,96	-0,015	0,000
2	PK 1	114,2240	-8,0735	1881,00	1420,21	27000	1440,19	0,085	-0,015
3	PK 2	114,2243	-8,0732	1883,00	1419,64	27360	1439,62	0,092	-0,016
4	PK 3	114,2246	-8,0729	1889,00	1418,39	27780	1438,35	0,101	-0,017
5	PK 4	114,2251	-8,0726	1892,00	1417,07	28260	1437,01	0,110	-0,018
6	PK 5	114,2254	-8,0722	1897,00	1415,89	28980	1435,82	0,125	-0,021
7	PK 6	114,2258	-8,0720	1901,00	1414,24	29460	1434,14	0,134	-0,022
8	PK 7	114,2263	-8,0720	1911,00	1412,54	29880	1432,42	0,142	-0,023
9	PK 8	114,2268	-8,0720	1915,00	1411,30	30240	1431,15	0,148	-0,024
10	PK 9	114,2272	-8,0719	1919,00	1409,65	30600	1429,49	0,154	-0,025
11	PK 10	114,2276	-8,0717	1925,00	1407,74	30960	1427,55	0,159	-0,027
12	PK 11	114,2280	-8,0716	1930,00	1405,57	31380	1425,35	0,165	-0,028
13	PK 12	114,2284	-8,0715	1936,00	1404,22	31860	1423,98	0,172	-0,029
14	PK 13	114,2289	-8,0707	1941,00	1402,65	32460	1422,39	0,179	-0,031

Lanjutan Tabel L2.2

15	PK 14	114,2292	-8,0712	1950,00	1400,52	33240	1420,22	0,187	-0,033
16	PK 15	114,2296	-8,0709	1956,00	1398,80	33660	1418,48	0,190	-0,035
17	PK 16	114,2298	-8,0706	1963,00	1397,27	33900	1416,93	0,192	-0,035
18	PK 17	114,2302	-8,0704	1965,00	1396,86	34380	1416,52	0,196	-0,037
19	PK 18	114,2307	-8,0706	1967,00	1396,56	35460	1416,21	0,202	-0,040
20	PK 19	114,2310	-8,0703	1971,00	1394,89	35820	1414,51	0,203	-0,041
21	PK 20	114,2312	-8,0702	1982,00	1392,89	36480	1412,49	0,204	-0,043
22	PK 21	114,2313	-8,0683	1997,00	1388,79	37260	1408,33	0,203	-0,045
23	PK 22	114,2315	-8,0696	2004,00	1386,88	38040	1406,40	0,200	-0,048
24	PK 23	114,2317	-8,0693	2014,00	1384,26	38460	1403,74	0,198	-0,049
25	PK 24	114,2317	-8,0689	2024,00	1381,37	39360	1400,81	0,192	-0,052
26	PK 25	114,2319	-8,0687	2036,00	1377,61	39840	1396,99	0,188	-0,053
27	PK 26	114,2320	-8,0682	2043,00	1375,99	40380	1395,36	0,183	-0,055
28	PK 27	114,2322	-8,0679	2049,00	1374,25	41040	1393,58	0,176	-0,057
29	PK 28	114,2328	-8,0676	2064,00	1371,75	41460	1391,05	0,170	-0,058
30	PK 29	114,2332	-8,0673	2074,00	1368,80	41940	1388,06	0,163	-0,059

Lanjutan Tabel L2.2

31	PK 30	114,2335	-8,0670	2083,00	1366,21	42540	1385,44	0,154	-0,061
32	PK 31	114,2340	-8,0667	2086,00	1364,82	42960	1384,03	0,147	-0,062
33	PK 32	114,2345	-8,0665	2101,00	1361,91	43680	1381,08	0,134	-0,064
34	BS Blawan	114,1613	-8,0071	1092,00	1577,69	51060	1599,88	-0,017	-0,087

Δg	g observasi	g Normal	FAC	AUB	BC+TC	AB
	977966,1623	978985,1900	336,9912	-682,0365	543,15	-138,8865
-159,750	977806,4082	978993,3981	580,4766	-606,5133	777,51	170,9967
-160,330	977805,8347	978993,3610	581,0938	-606,4325	777,88	171,4475
-161,590	977804,5684	978993,3239	582,9454	-605,8101	778,14	172,3299
-162,930	977803,2280	978993,2869	583,8712	-606,1876	778,88	172,6924
-164,130	977802,0370	978993,2374	585,4142	-605,7862	779,15	173,3638
-165,800	977800,3619	978993,2127	586,6486	-606,2021	779,68	173,4779
-167,520	977798,6428	978993,2127	589,7346	-604,8353	783,45	178,6147
-168,780	977797,3797	978993,2127	590,9690	-604,8640	783,98	179,1160

Lanjutan Tabel L2.2

-170,450	977795,7110	978993,2003	592,2034	-605,2859	784,57	179,2841
-172,390	977793,7754	978993,1756	594,0550	-605,3452	784,90	179,5548
-174,580	977791,5796	978993,1632	595,5980	-605,9856	785,25	179,2644
-175,950	977790,2121	978993,1508	597,4496	-605,4891	788,98	183,4909
-177,540	977788,6185	978993,0519	598,9926	-605,4408	789,54	184,0992
-179,700	977786,4576	978993,1137	601,7700	-604,8861	789,97	185,0839
-181,450	977784,7162	978993,0766	603,6216	-604,7388	790,13	185,3912
-182,990	977783,1689	978993,0396	605,7818	-604,0888	790,27	186,1812
-183,410	977782,7546	978993,0148	606,3990	-603,8612	790,57	186,7088
-183,710	977782,4503	978993,0396	607,0162	-603,5731	791,49	187,9169
-185,410	977780,7546	978993,0025	608,2506	-603,9973	794,88	190,8827
-187,430	977778,7286	978992,9901	611,6452	-602,6163	795,12	192,5037
-191,580	977774,5804	978992,7552	616,2742	-601,9006	795,42	193,5194
-193,520	977772,6460	978992,9159	618,4344	-601,8355	795,61	193,7745
-196,170	977769,9906	978992,8788	621,5204	-601,3678	793,18	191,8122

Lanjutan tabel L2.2

-199,100	977767,0629	978992,8293	624,6064	-601,1600	793,01	191,8500
-202,920	977763,2450	978992,8046	628,3096	-601,2500	793,21	191,9600
-204,550	977761,6108	978992,7428	630,4698	-600,6622	793,15	192,4878
-206,320	977759,8416	978992,7057	632,3214	-600,5427	789,60	189,0573
-208,850	977757,3079	978992,6686	636,9504	-598,4103	790,67	192,2597
-211,840	977754,3181	978992,6315	640,0364	-598,2770	793,17	194,8930
-214,460	977751,7005	978992,5944	642,8138	-598,0801	795,51	197,4299
-215,870	977750,2889	978992,5573	643,7396	-598,5288	796,04	197,5112
-218,820	977747,3404	978992,5326	648,3686	-596,8236	794,55	197,7264
0,000	977966,1643	978985,1900	336,9912	-682,0345	543,15	-138,8845

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

(halaman ini sengaja dikosongkan)



Lampiran 3
Tabel Kalibrasi G-1053

Tabel L3.1 Kalibrasi G-1053 (Austin, 1992)

COUNTER READING	VALUE IN MILIGALS	FACTOR FOR INTERVAL	COUNTER READING	VALUE IN MILIGALS	FACTOR FOR INTERVAL
0	0	1,01437			
100	101,44	1,01430	3600	3651,97	1,01554
200	202,87	1,01423	3700	3753,53	1,01561
300	304,29	1,01417	3800	3855,09	1,01568
400	405,71	1,01411	3900	3956,66	1,01574
500	507,12	1,01406	4000	4058,23	1,01580
600	608,52	1,01402	4100	4159,81	1,01586
700	709,93	1,01398	4200	4261,40	1,01591
800	811,32	1,01396	4300	4362,99	1,01596
900	912,72	1,01394	4400	4464,58	1,01600
1000	1013,11	1,01394	4500	4566,18	1,01604
1100	1115,51	1,01394	4600	4667,79	1,01606
1200	1216,90	1,01396	4700	4769,39	1,01608
1300	1318,30	1,01398	4800	4871,00	1,01610
1400	1419,70	1,01401	4900	4972,61	1,01610
1500	1521,10	1,01404	5000	5074,22	1,01609
1600	1622,50	1,01409	5100	5175,83	1,01607
1700	1723,91	1,01413	5200	5277,44	1,01604
1800	1825,32	1,01419	5300	5379,04	1,01599
1900	1929,74	1,01425	5400	5480,64	1,01594
2000	2028,17	1,01431	5500	5582,23	1,01587
2100	2129,60	1,01438	5600	5683,82	1,01578
2200	2231,04	1,01445	5700	5785,40	1,01569
2300	2332,48	1,01452	5800	5886,97	1,01558
2400	2433,93	1,01460	5900	5988,52	1,01546
2500	2535,39	1,01468	6000	6090,07	1,01533
2600	2636,86	1,01476	6100	6191,60	1,01519
2700	2738,34	1,01483	6200	6293,12	1,01505
2800	2839,82	1,01491	6300	6394,63	1,01489
2900	2941,31	1,01499	6400	6496,12	1,01474
3000	3042,81	1,01507	6500	6597,59	1,01459
3100	3144,32	1,01515	6600	6699,05	1,01445
3200	3245,83	1,01523	6700	6800,50	1,01431
3300	3347,36	1,01531	6800	6901,93	1,01420

Lanjutan Tabel L3.1

3400	3448,89	1,01539	6900	7003,35	1,01411
3500	3550,43	1,01546	7000	7104,76	-

Reading Line : 2.80

Temperature : 56.7 C

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



Lampiran 4

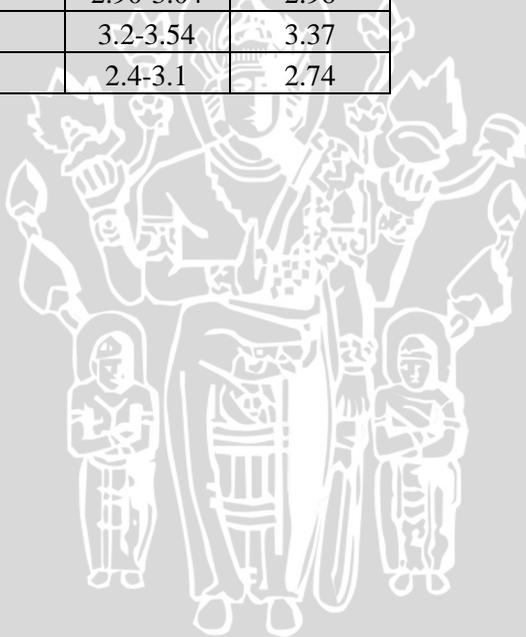
Densitas batuan

Tabel L4.1 Densitas Batuan (Telford dkk, 1990).

Rock type	Range (g/cm ³)	Average (g/cm ³)
Sediments (wet)		
Overburden		1.92
Soil	1.2-2.4	1.92
Clay	1.63-2.6	2.21
Gravel	1.7-2.4	2.0
Sand	1.7-2.3	2.0
Sandstone	1.61-2.76	2.35
Shale	1.77-3.2	2.40
Limestone	1.93-2.90	2.55
Dolomite	2.28-2.90	2.70
Sedimentary rocks (av.)		2.50
Igneous rocks		
Rhyolite	2.35-2.70	2.52
Andesite	2.4-2.8	2.61
Granite	2.50-2.81	2.64
Granodiorite	2.67-2.79	2.73
Porphyry	2.60-2.89	2.74
Quartz diorite	2.62-2.96	2.79
Diorite	2.72-2.99	2.85
Lavas	2.80-3.00	2.90
Diabase	2.50-3.20	2.91
Basalt	2.70-3.30	2.99
Gabbro	2.70-3.50	3.03
Peridotite	2.78-3.37	3.15
Acid igneous	2.30-3.11	2.61
Basic igneous	2.09-3.17	2.79

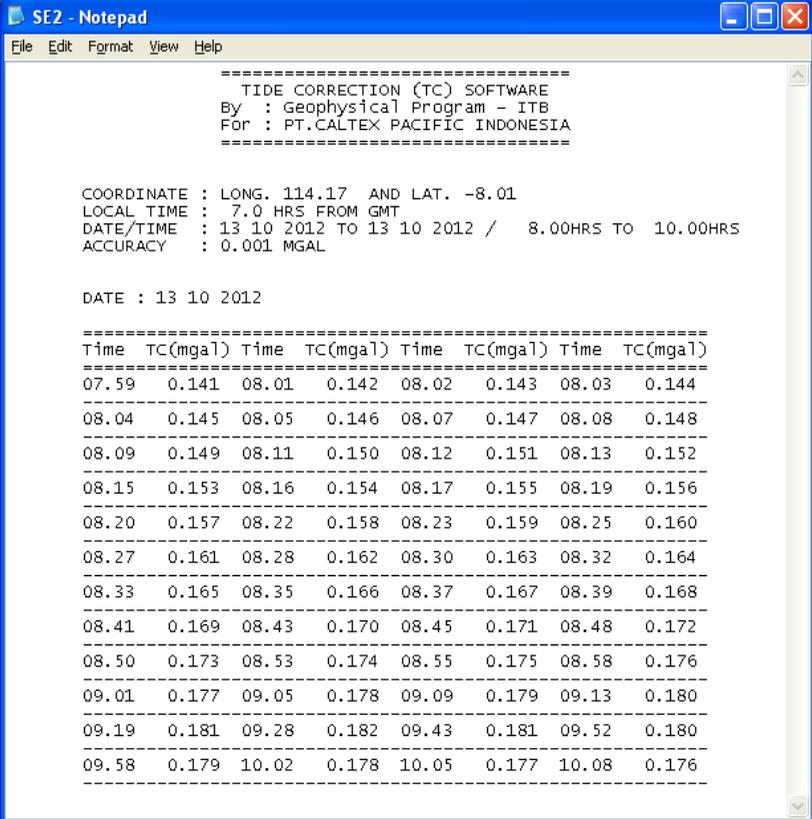
Lanjutan Tabel L4.1

Metamorphic rocks		
Quartzite	2.5-2.70	2.60
Schists	2.39-2.9	2.64
Graywacke	2.6-2.7	2.65
Marble	2.6-2.9	2.75
Serpentine	2.4-3.10	2.78
Slate	2.7-2.9	2.79
Gneiss	2.59-3.0	2.80
Amphibolite	2.90-3.04	2.96
Eclogite	3.2-3.54	3.37
Metamorphic	2.4-3.1	2.74



Lampiran 5

Contoh *output software* tide.exe untuk koreksi tidal



```
=====
TIDE CORRECTION (TC) SOFTWARE
By : Geophysical Program - ITB
For : PT.CALTEX PACIFIC INDONESIA
=====

COORDINATE : LONG. 114.17 AND LAT. -8.01
LOCAL TIME : 7.0 HRS FROM GMT
DATE/TIME : 13 10 2012 TO 13 10 2012 / 8.00HRS TO 10.00HRS
ACCURACY : 0.001 MGAL

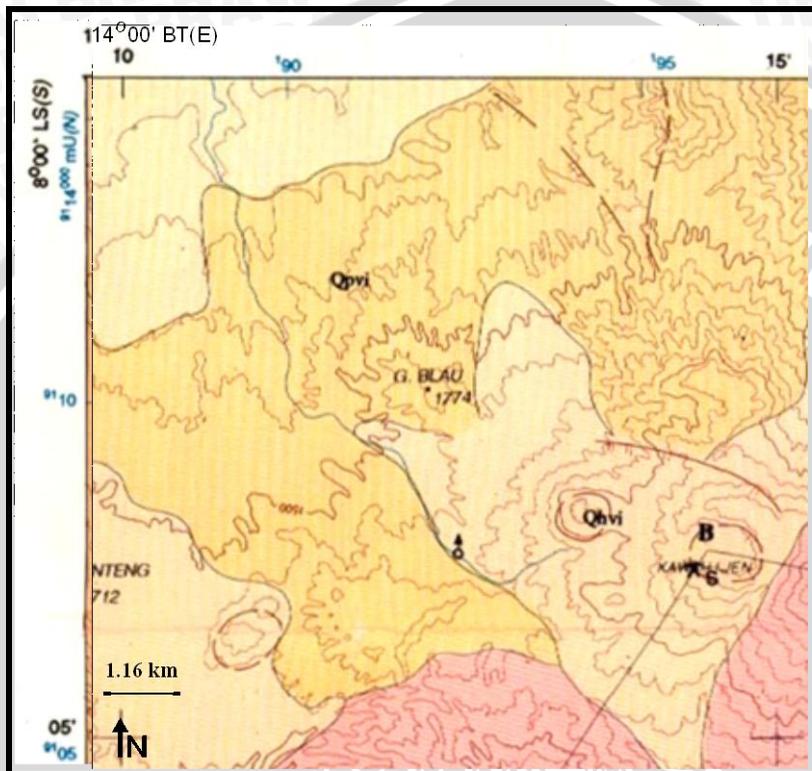
DATE : 13 10 2012

=====
Time TC(mgal) Time TC(mgal) Time TC(mgal) Time TC(mgal)
-----
07.59 0.141 08.01 0.142 08.02 0.143 08.03 0.144
-----
08.04 0.145 08.05 0.146 08.07 0.147 08.08 0.148
-----
08.09 0.149 08.11 0.150 08.12 0.151 08.13 0.152
-----
08.15 0.153 08.16 0.154 08.17 0.155 08.19 0.156
-----
08.20 0.157 08.22 0.158 08.23 0.159 08.25 0.160
-----
08.27 0.161 08.28 0.162 08.30 0.163 08.32 0.164
-----
08.33 0.165 08.35 0.166 08.37 0.167 08.39 0.168
-----
08.41 0.169 08.43 0.170 08.45 0.171 08.48 0.172
-----
08.50 0.173 08.53 0.174 08.55 0.175 08.58 0.176
-----
09.01 0.177 09.05 0.178 09.09 0.179 09.13 0.180
-----
09.19 0.181 09.28 0.182 09.43 0.181 09.52 0.180
-----
09.58 0.179 10.02 0.178 10.05 0.177 10.08 0.176
-----
```

Gambar L5.1 *Output* koreksi tidal di lintasan SE

Lampiran 6

Peta geologi lembar Banyuwangi



LEGENDA
LEGEND

	Kota Town		Batas satuan Contact of units
	Kampung Village		Antiklin Anticline
	Jalan utama Primary road		Sinklin Syncline
	Jalan pelengkap Secondary road		Kelurusan Lineament
	Jalan setapak Foot path		Jurus dan kemiringan lapisan Strike and dip of beds
	Jalan KA Rail road		Mataair panas Hot spring
	Titik tinggi Spot height		Penggalian, S = Belerang Quarry, S = Sulphur
	Titik triangulasi Triangulation point		Gawir kaldera Caldera rim
	Kontur topografi Topography contour		Kaldera tua Old Caldera
	Kontur kedalaman laut Bathymetry contour		Kawah Crater
	Sungai River		
	Pasir Sand		
	Koral Coral		

KETERANGAN
EXPLANATION

	ALUVIUM ALLUVIAL	: Kerakal, pasir, lanau dan lempung Pebble, sand, silt and clay
	FORMASI KALIBARU KALIBARU FORMATION	: Breksi lahar, konglomerat, batupasir tufan dan tuf Breccia, conglomerate, tuffaceous and tuff
	BATUAN GUNUNGAPI IJEN MUDA YOUNG IJEN VOLCANIC ROCK	: Tuf, breksi gunungapi, lava dan belerang. Ijen (i) Tuff, volcanic breccia, lava and sulphur. Ijen (i)
	BATUAN GUNUNGAPI RANTE, MERAPI RANTE, MERAPI VOLCANIC ROCK	: Breksi gunungapi, lava, lahar dan tuf. Rante (r), Merapi (m) Volcanic breccia, lava, lahars and tuff. Rante (r), Merapi (m)
	BATUAN GUNUNGAPI RAUNG, PENDIL RAUNG, PENDIL VOLCANIC ROCK	: Breksi gunungapi, lava dan tuf. Raung (r), Pendil (p) Volcanic breccia, lava and tuff. Raung (r), Pendil (p)
	BATUAN GUNUNGAPI IJEN TUA OLD IJEN VOLCANIC ROCK	: Breksi gunungapi, breksi batupasung, tuf dan lava basal Volcanic breccia, pumiceous breccia, tuff and basaltic lava

Gambar L6.1 Peta Geologi lembar Banyuwangi

Lampiran 7

Contoh perhitungan analitik pemodelan geologi

Lintasan AB

GRAV2DC FOR WINDOWS

There are 5 Bodies

There are 185 Observation points.

The units used were Km.

Body 1

No. of corners is 26 Density contrast : 0.050

Strike lengths : 100.00 100.00

X and Y positions of the bodys corners:-

2694.740	1.500
2925.265	1.487
3064.122	1.469
3286.294	1.438
3665.838	1.420
4137.953	1.398
4350.868	1.385
4600.812	1.389
4860.012	1.367
5137.727	1.358
5304.356	1.362
5489.500	1.349
5748.700	1.345
5915.329	1.345
6063.444	1.305
6128.244	1.278
6193.044	1.251
6257.845	1.300
6368.931	1.322
6591.103	1.367
6887.332	1.362
7192.818	1.385
7516.819	1.349
7868.592	1.354
8007.449	1.407



8090.764 1.487

Body 2

No. of corners is 50 Density contrast : 0.050

Strike lengths : 100.00 100.00

X and Y positions of the bodys corners:-

8177.141 1.491

8223.602 1.460

8192.592 1.420

8257.393 1.371

8303.678 1.300

8349.964 1.260

8424.022 1.163

8544.365 1.012

8581.393 0.954

8599.908 0.879

8646.194 0.843

8738.765 0.843

8794.308 0.834

8840.594 0.848

8923.909 1.003

9072.023 1.052

9340.481 1.025

9581.167 0.786

9590.425 0.621

9571.910 0.457

9544.139 0.364

9516.367 0.231

9478.049 0.115

9478.049 0.000

9710.768 0.000

9710.768 0.058

9720.025 0.115

9710.768 0.178

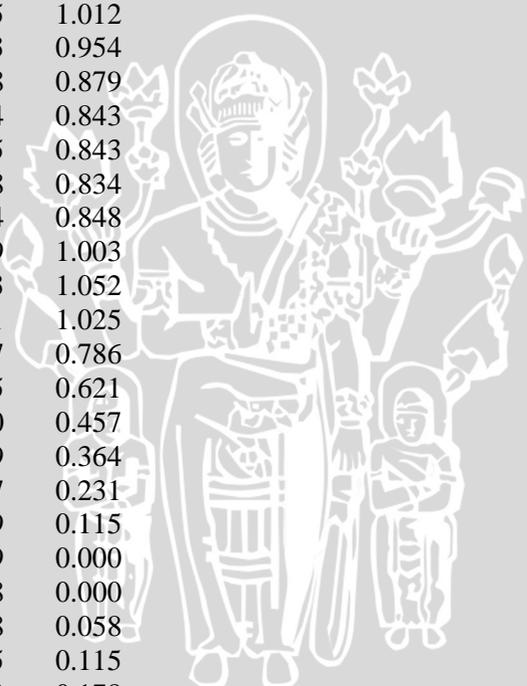
9738.539 0.253

9757.054 0.337

9794.082 0.448

9794.082 0.537

9803.339 0.604



9803.339	0.657
9831.111	0.706
9905.168	0.794
10025.511	0.901
10247.683	0.928
10460.598	0.959
10664.256	0.888
10821.628	0.799
11006.771	0.723
11247.457	0.719
11404.829	0.741
11540.919	0.772
11691.801	0.834
11969.516	0.941
12228.717	1.123
12312.172	1.012
12293.587	1.487

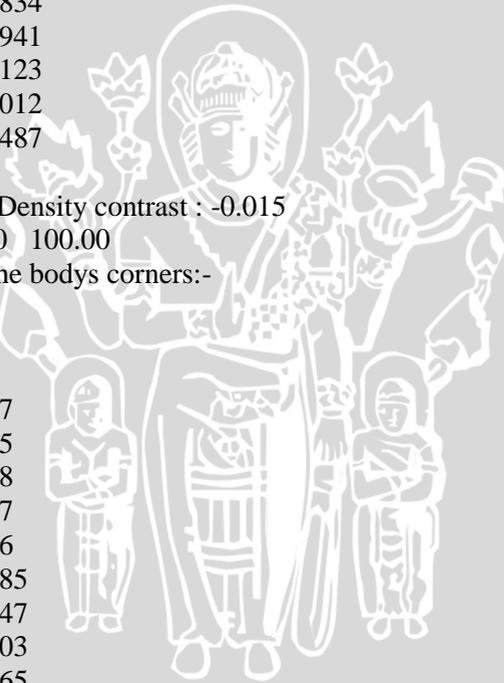
Body 3

No. of corners is 18 Density contrast : -0.015

Strike lengths : 100.00 100.00

X and Y positions of the bodys corners:-

-0.000	1.723
18.584	1.772
83.314	1.896
286.972	1.847
407.315	1.785
564.687	1.758
715.500	1.767
962.745	1.736
1147.889	1.785
1425.604	1.847
1666.290	1.803
1953.262	1.865
2286.520	1.896
2443.892	1.772
2712.350	1.878
2869.722	1.989
511.071	1.998



-0.000 1.963

Body 4

No. of corners is 25 Density contrast : 0.000

Strike lengths : 100.00 100.00

X and Y positions of the bodys corners:-

9701.062	0.000
9701.062	0.058
9719.647	0.111
9719.647	0.178
9728.939	0.249
9766.108	0.333
9803.276	0.439
9803.276	0.541
9812.569	0.652
9831.153	0.701
9914.783	0.794
10026.289	0.896
10249.302	0.923
10463.023	0.959
10658.159	0.883
10825.419	0.794
11011.263	0.719
11252.860	0.719
11410.828	0.746
11550.211	0.772
11689.594	0.834
11968.360	0.936
12219.249	1.118
12302.879	1.127
12293.587	0.009

Body 5

No. of corners is 50 Density contrast : 0.000

Strike lengths : 100.00 100.00

X and Y positions of the bodys corners:-

9.292	0.004
9.292	1.491
2889.876	1.487
3066.428	1.464

3280.148	1.433
3670.421	1.416
4144.323	1.393
4348.752	1.380
4599.641	1.385
4859.823	1.367
5147.882	1.354
5305.849	1.358
5491.693	1.345
5751.875	1.340
5909.842	1.340
6067.810	1.300
6142.147	1.274
6197.901	1.234
6253.654	1.300
6365.160	1.318
6588.173	1.367
6885.524	1.362
7182.874	1.380
7517.394	1.345
7870.498	1.349
8000.588	1.402
8093.510	1.482
8167.848	1.478
8214.309	1.451
8195.725	1.420
8260.770	1.371
8307.231	1.300
8353.692	1.260
8437.322	1.167
8548.828	1.012
8576.705	0.954
8604.582	0.879
8641.751	0.839
8734.673	0.839
8809.010	0.834
8846.179	0.852
8920.517	0.999



9059.900	1.047
9329.374	1.021
9570.971	0.790
9589.555	0.621
9570.971	0.453
9543.094	0.364
9515.218	0.231
9442.310	0.000

Position	Observed Field	Calculated Field
0.0	-0.41146	-0.07103
11.9	-0.32190	-0.12280
50.4	-0.04666	-0.08211
155.9	-0.05344	-0.05901
176.4	-0.05861	-0.06292
299.8	-0.09051	-0.08890
302.4	-0.09162	-0.08981
428.4	-0.13229	-0.13084
443.8	-0.13525	-0.13317
554.5	-0.16134	-0.14755
587.8	-0.16435	-0.14777
680.5	-0.17004	-0.14429
731.8	-0.16954	-0.14421
806.5	-0.16427	-0.14980
875.8	-0.15667	-0.15501
932.5	-0.14344	-0.15923
1019.8	-0.12825	-0.15209
1058.6	-0.11834	-0.14568
1163.8	-0.10338	-0.12863
1184.6	-0.10054	-0.12568
1307.8	-0.09416	-0.10829
1310.6	-0.09422	-0.10789
1436.7	-0.09784	-0.09311
1451.8	-0.09777	-0.09469
1562.7	-0.10101	-0.10698
1595.8	-0.09978	-0.11065
1688.7	-0.09514	-0.11538
1739.7	-0.09137	-0.10851

1814.7	-0.08391	-0.09828
1883.7	-0.07654	-0.08886
1940.8	-0.06670	-0.08112
2027.7	-0.05616	-0.07488
2066.8	-0.04987	-0.07252
2171.7	-0.04364	-0.06623
2192.8	-0.04323	-0.06498
2315.7	-0.05346	-0.07373
2318.8	-0.05424	-0.07523
2444.9	-0.08900	-0.13427
2459.7	-0.09076	-0.13154
2570.9	-0.11636	-0.10436
2603.7	-0.11339	-0.09621
2696.9	-0.09725	-0.07250
2747.7	-0.08827	-0.04761
2823.0	-0.06292	-0.00617
2891.7	-0.03737	0.02205
2949.0	-0.00052	0.03221
3035.7	0.03442	0.05461
3075.0	0.05239	0.06504
3179.7	0.08433	0.09456
3201.0	0.09071	0.10059
3323.6	0.11762	0.12803
3327.1	0.11833	0.12835
3453.1	0.13830	0.13986
3467.6	0.13977	0.14119
3579.1	0.15315	0.15133
3611.6	0.15642	0.15429
3705.1	0.16714	0.16283
3755.6	0.17455	0.16746
3831.2	0.18297	0.17440
3899.6	0.18992	0.18068
3957.2	0.19531	0.18597
4043.6	0.20341	0.19390
4083.2	0.20681	0.19754
4187.6	0.21641	0.20867
4209.3	0.21812	0.21133
4331.6	0.22842	0.22632

4335.3	0.22866	0.22676
4461.3	0.23684	0.22423
4475.6	0.23762	0.22365
4587.3	0.24273	0.21918
4619.6	0.24383	0.22181
4713.4	0.24644	0.23775
4763.6	0.24654	0.24631
4839.4	0.24753	0.25923
4907.5	0.24759	0.26567
4965.4	0.24864	0.26920
5051.5	0.25078	0.27442
5091.4	0.25217	0.27683
5195.5	0.25800	0.27618
5217.5	0.25912	0.27487
5339.5	0.26823	0.27472
5343.5	0.26843	0.27529
5469.5	0.27483	0.29325
5483.5	0.27533	0.29519
5595.6	0.28020	0.29932
5627.5	0.28083	0.30028
5721.6	0.28304	0.30309
5771.5	0.28224	0.30381
5847.6	0.28591	0.30355
5915.5	0.29226	0.30431
5973.6	0.30290	0.33527
6059.5	0.34715	0.38252
6099.7	0.36195	0.41480
6203.5	0.47803	0.47579
6225.7	0.48094	0.44226
6347.5	0.35767	0.35546
6351.7	0.35624	0.35368
6477.7	0.29028	0.30127
6491.4	0.28729	0.29558
6603.8	0.27010	0.25473
6635.4	0.26665	0.25536
6729.8	0.25868	0.25768
6779.4	0.25464	0.25893
6855.8	0.24896	0.26084

6923.4	0.24141	0.25609
6981.9	0.23558	0.24710
7067.4	0.21511	0.23393
7107.9	0.21268	0.22770
7211.4	0.21483	0.21884
7233.9	0.21529	0.22370
7355.4	0.22479	0.25035
7359.9	0.22532	0.25135
7486.0	0.25861	0.27902
7499.4	0.26140	0.28192
7612.0	0.27586	0.28293
7643.4	0.27858	0.28196
7738.0	0.28127	0.27901
7787.4	0.27923	0.27743
7864.0	0.26511	0.27431
7931.3	0.23523	0.22499
7990.1	0.14136	0.17809
8075.3	0.08682	0.03205
8116.1	-0.01357	0.00168
8219.3	0.11518	0.16824
8242.1	0.23403	0.22254
8363.3	0.51313	0.51087
8368.2	0.52541	0.52389
8494.2	0.82037	0.85618
8507.3	0.84599	0.89011
8620.2	1.27531	1.29058
8651.3	1.29053	1.33185
8746.2	1.34501	1.33542
8795.3	1.35224	1.34945
8872.3	1.15769	1.20150
8939.3	1.08623	0.99410
8998.3	0.97984	0.95308
9083.3	0.93862	0.90539
9124.3	0.92769	0.91334
9227.3	0.95317	0.93413
9250.3	0.96516	0.93884
9371.3	1.09166	1.02056
9376.4	1.10012	1.03100

9502.4	1.56278	1.68176
9515.2	1.70742	1.78911
9628.4	2.98188	3.07364
9659.2	3.06697	3.07471
9754.5	2.26322	2.39999
9803.2	1.67172	1.78852
9880.5	1.36634	1.49327
9947.2	1.27789	1.35502
10006.5	1.22736	1.24692
10091.2	1.18461	1.19542
10132.5	1.17183	1.18501
10235.2	1.14859	1.15930
10258.6	1.14129	1.15289
10379.2	1.13109	1.11641
10384.6	1.13072	1.11478
10510.6	1.15192	1.12767
10523.2	1.15594	1.13663
10636.6	1.21262	1.21796
10667.2	1.23097	1.24138
10762.7	1.32046	1.35192
10811.2	1.36326	1.40812
10888.7	1.47599	1.47666
10955.2	1.53118	1.53237
11014.7	1.59413	1.57573
11099.1	1.61062	1.57908
11140.8	1.61240	1.58059
11243.1	1.60469	1.58409
11266.8	1.59047	1.57868
11387.1	1.51231	1.54339
11392.8	1.50483	1.54171
11518.8	1.41508	1.48414
11531.1	1.40940	1.47826
11644.9	1.35349	1.38515
11675.1	1.34055	1.35940
11770.9	1.29891	1.28236
11819.1	1.27305	1.24408
11896.9	1.22188	1.18224
11963.1	1.16980	1.12934

12022.9
12107.1
12149.0
12251.1
12275.0

1.10782
1.00959
0.94068
0.76123
0.69719

1.04705
0.92509
0.86431
0.80679
0.86448

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

