

**STUDI STRUKTUR GEOLOGI VOLCANIC-GEOTHERMAL  
DAERAH SAMPURAGA, KABUPATEN MANDAILING NATAL,  
SUMATERA UTARA BERDASARKAN SURVEI GAYABERAT**

**SKRIPSI**

Oleh :  
**AIM MATUL INSANI SEPTIYANA**  
0510930005 - 93



**JURUSAN FISIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS BRAWIJAYA  
MALANG  
2009**



**STUDI STRUKTUR GEOLOGI VOLCANIC-GEOTHERMAL  
DAERAH SAMPURAGA, KABUPATEN MANDAILING NATAL,  
SUMATERA UTARA BERDASARKAN SURVEI GAYABERAT**

**SKRIPSI**

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

Oleh :

**AIM MATUL INSANI SEPTIYANA**

**0510930005 - 93**



**JURUSAN FISIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS BRAWIJAYA  
MALANG  
2009**





**LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI**

**STUDI STRUKTUR GEOLOGI *VOLCANIC-GEOTHERMAL*  
DAERAH SAMPURAGA, KABUPATEN MANDAILING NATAL,  
SUMATERA UTARA BERDASARKAN SURVEI GAYABERAT**

Oleh :  
**Aim Matul Insani Septiyana**  
**0510930005**

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. Sunaryo, S.Si, M.Si**  
**NIP . 132 125 708**

**Edi Suhanto, S.Si, Dipl. Geoth.Tech**  
**NIP. 100 012 424**

**Mengetahui,**

**Ketua Jurusan Fisika  
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Universitas Brawijaya**

**Drs. Adi Susilo, M.Si, Ph.D**  
**NIP. 131 960 447**





**LEMBAR PERNYATAAN**

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Aim Matul Insani Septiyana  
NIM : 051093005-93  
Jurusan : Fisika  
Penulis Skripsi Berjudul :

**STUDI STRUKTUR GEOLOGI VOLCANIC-GEOTHERMAL  
DAERAH SAMPURAGA, KABUPATEN MANDAILING NATAL,  
SUMATERA UTARA BERDASARKAN SURVEI GAYABERAT**

Dengan ini menyatakan bahwa :

1. Isi dari Skripsi yang saya buat adalah benar-benar karya sendiri dan tidak menjiplak karya orang lain, nama-nama dan karya-karya yang ada dalam daftar pustaka digunakan semata-mata untuk acuan.
2. Apabila di kemudian hari ternyata Skripsi 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, ... Agustus 2009  
Yang menyatakan,

(Aim Matul Insani Septiyana)  
NIM. 0510930005





**STUDI STRUKTUR GEOLOGI *VOLCANIC-GEOTHERMAL*  
DAERAH SAMPURAGA, KABUPATEN MANDAILING NATAL,  
SUMATERA UTARA BERDASARKAN  
SURVEI GAYABERAT**

**ABSTRAK**

Telah dilakukan penelitian panasbumi dengan menggunakan metode gayaberat di daerah Sampuraga, Kabupaten Mandailing Natal, Sumatera Utara. Pengukuran data primer dilakukan pada tanggal 17–31 Juli 2007 dengan menggunakan gravimeter *La Coste Romberg type G-802* sebanyak 263 titik. Data hasil pengukuran yang didapat adalah waktu dan tanggal pengambilan data. Letak titik pengamatan, pembacaan gravimeter, koreksi pasang surut, ketinggian titik pengamatan dan koreksi medan. Pengolahan data dilakukan untuk mendapatkan nilai anomali Bouguer dan anomali sisa. Kontur anomali Bouguer memperlihatkan adanya arah kelurusan baratlaut-tenggara yang cukup panjang dan diperkirakan memotong daerah manifestasi panas bumi Sampuraga. Anomali Bouguer rendah diindikasikan terjadi akibat batuan bawah permukaan bumi sudah mengalami alterasi akibat gejala *hydrothermal* di daerah tersebut. Manifestasi panasbumi di Sampuraga berupa mata air panas yang disebabkan adanya terobosan dari batuan dasit. Anomali sisa positif disebabkan oleh batuan intrusi yang tersingkap dan diperkirakan sebagai sumber panasbumi di Sampuraga. Sumber panas adalah batuan dasit yang menerobos kerak granitik hingga lapisan batuan vulkanik melalui rekahan-rekahan batuan.

**Kata kunci:** *gayaberat, panasbumi*





## VOLCANIC GEOTHERMAL OF GEOLOGY STRUCTURE STUDY AT SAMPURAGA AREA, MANDAILING NATAL REGENCY, NORTH SUMATRA BASED GRAVITATION SURVEY

### ABSTRACT

Study on geothermal using gravity method at Sampuraga area, Mandailing Natal Regency, North Sumatera had been done. The data acquisition of primary data was taken at 17 – 31 July 2007 using gravimeter La Coste Romberg type G-802 on 263 points. The data obtained result of measurement are time and date, location of observation points, gravimeter readings, tidal correction, elevation of observation points and terrain correction. Data processing is done to get the value of Bouguer anomaly and residual anomaly. Bouguer anomaly contours show the direction straightness from northwest until southwest and estimated to cut off geothermal manifestation at Sampuraga area. A low Bouguer anomaly is to estimated rocks of the subsurface due to hydrothermal alterations in this area. Geothermal manifestation at Sampuraga area is a hot springs caused the breakthrough of basalt rock. A positive residual anomaly is caused by intrusion of rock and estimated as a source of geothermal at Sampuraga area. Heat source is basalt rock who intruded granitic crust until volcanic rock layer from fracture the rocks.

**Keyword :** gravity, geothermal.



## KATA PENGANTAR

Alhamdulillah Robbil'alamin, Puji syukur kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan judul "Studi Struktur Geologi *Volcanic-Geothermal* Daerah Sampuraga, Kabupaten Mandailing Natal, Sumatera Utara Berdasarkan Survei Gayaberat" ini dengan sebaik-baiknya.

Selesainya laporan ini juga berkat adanya bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak. Karena itu penulis sampaikan penghargaan dan ucapan terima kasih kepada :

1. Bapak Drs. Adi Susilo, M.Si, PhD., selaku Ketua Jurusan Fisika Fakultas MIPA, Universitas Brawijaya Malang.
2. Bapak Sunaryo, S.Si M.Si. selaku pembimbing I, atas waktu yang telah diluangkan selama pembuatan laporan tugas akhir ini.
3. Bapak Edi Suhanto, S.Si, Dipl. Geoth.Tech selaku pembimbing II atas waktu, perhatian dan bimbingannya selama di Bandung.
4. Bapak Kasbani, Pak Asep, Bu Ana, Pak Timoer dan bapak-bapak ESDM yang lain atas bantuannya selama di Bandung.
5. Ayah, Ibu, mpi, yek, ompel dan ndut. Terima kasih atas segala dukungan, semangat, nasehat, materi dan doa yang telah diberikan selama ini. Kalian adalah sumber kekuatanku.
6. Bapak dan Ibu Dosen Fisika yang telah mengajar selama ini, seluruh Karyawan dan Laboran Jurusan Fisika, FMIPA, Universitas Brawijaya.
7. Teman-teman seperjuangan di UKM-UAKI-UB, KBM Geofisika, HIMAFIS UB, temen2 kost 261 D dan semua sahabat atas bantuan dan semangatnya selama ini.
8. Teman-teman Fisika khususnya Angkatan 2005, terima kasih atas kebersamaanya selama ini.
9. Semua pihak yang telah membantu kesuksesan penulisan skripsi ini, terimakasih banyak.

Penulis menyadari bahwa penulisan ini masih jauh dari sempurna. Untuk itu kritik dan saran penulis harapkan demi kesempurnaan laporan. Semoga laporan ini dapat bermanfaat bagi semua pihak.

Malang, Agustus 2009

Penulis

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



## DAFTAR ISI

|  | Halaman |
|--|---------|
| <b>HALAMAN JUDUL</b> -----                               | i       |
| <b>LEMBAR PENGESAHAN</b> -----                           | iii     |
| <b>LEMBAR PERNYATAAN</b> -----                           | v       |
| <b>ABSTRAK</b> -----                                     | vii     |
| <b>ABSTRACT</b> -----                                    | viii    |
| <b>KATA PENGANTAR</b> -----                              | ix      |
| <b>DAFTAR ISI</b> -----                                  | xi      |
| <b>DAFTAR GAMBAR</b> -----                               | xiv     |
| <br>   |         |
| <b>BAB I PENDAHULUAN</b>                                 |         |
| 1.1. Latar Belakang -----                                | 1       |
| 1.2. Rumusan Masalah -----                               | 2       |
| 1.3. Batasan Masalah -----                               | 3       |
| 1.4. Tujuan Penelitian -----                             | 3       |
| 1.5. Manfaat Penelitian -----                            | 3       |
| <br>   |         |
| <b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>                           |         |
| 2.1. Tinjauan Pustaka Daerah Penelitian-----             | 5       |
| 2.1.1. Tinjauan Geomorfologi Daerah Penelitian -----     | 5       |
| 2.1.1.1. Geomorfologi Perbukitan Berlereng Terjal -----  | 5       |
| 2.1.1.2. Geomorfologi Perbukitan Bergelombang -----      | 5       |
| 2.1.1.3. Geomorfologi Pedataran -----                    | 5       |
| 2.1.2. Tinjauan Struktur Geologi Daerah Penelitian ----- | 6       |
| 2.1.2.1. Sesar Longat -----                              | 6       |
| 2.1.2.2. Sesar Panyabungan -----                         | 6       |
| 2.1.2.3. Sesar Sirambas -----                            | 6       |
| 2.1.2.4. Sesar Batang Gadis -----                        | 7       |
| 2.2. Prinsip-prinsip Gayaberat -----                     | 9       |
| 2.2.1. Teori Gayaberat Newton -----                      | 9       |
| 2.2.2. Metode Gayaberat -----                            | 9       |
| 2.2.3. Potensial Gayaberat Distribusi Massa -----        | 10      |
| 2.2.4. Rapat Massa -----                                 | 10      |
| 2.2.5. Gayaberat Normal -----                            | 11      |
| 2.2.6. Koreksi Awal -----                                | 11      |
| 2.2.6.1. Konversi Skala Pembacaan -----                  | 11      |
| 2.2.6.2. Koreksi Tidal ( <i>Tidal Correction</i> ) ----- | 12      |

|  |    |
|--|----|
| 2.2.6.3. Koreksi Drift -----                                     | 12 |
| 2.2.6.4. Koreksi Udara Bebas ( <i>Free Air Correction</i> ) ---- | 14 |
| 2.2.6.5. Koreksi Medan ( <i>Terrain Correction</i> ) -----       | 14 |
| 2.2.6.6. Koreksi Bouguer -----                                   | 15 |
| 2.2.6.7. Anomali Bouguer -----                                   | 17 |
| 2.3. Panasbumi -----   | 18 |

### **BAB III METODE PENELITIAN**

|   |    |
|---|----|
| 3.1. Tempat dan Waktu Penelitian -----                          | 21 |
| 3.2. Tahapan Penelitian -----                                   | 23 |
| 3.3. Data Penelitian -----                                      | 23 |
| 3.4. Peralatan Penelitian -----                                 | 23 |
| 3.5. Prosedur Pelaksanaan Penelitian -----                      | 24 |
| 3.5.1. Pengolahan Data -----                                    | 24 |
| 3.5.2. Penggambaran Pola Anomali Bouguer dan Anomali Sisa ----- | 24 |
| 3.5.3. Pemodelan Geologi -----                                  | 24 |
| 3.5.4. Interpretasi Data -----                                  | 25 |

### **BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN**

|   |    |
|---|----|
| 4.1. Pengolahan Data -----  | 27 |
| 4.1.1. Konversi ke Nilai mGal -----   | 27 |
| 4.1.2. Koreksi Pasang Surut ( <i>Tidal Correction</i> ) -----                           | 27 |
| 4.1.3. Koreksi Drift ( <i>Drift Correction</i> ) -----                                  | 27 |
| 4.1.4. Nilai Gayaberat Observasi ( $g_{obs}$ ) -----                                    | 28 |
| 4.1.5. Nilai Gayaberat Normal -----   | 28 |
| 4.1.6. Koreksi Udara Bebas ( <i>Free Air Correction</i> ) -----                         | 28 |
| 4.1.7. Koreksi Medan -----  | 29 |
| 4.1.8. Penentuan Densitas Batuan dan Koreksi Bouguer -                                  | 30 |
| 4.1.9. Nilai Anomali Bouguer -----  | 30 |
| 4.1.10. Pemisahan Anomali Regional dan Anomali Sisa---                                  | 31 |
| 4.2. Interpretasi Data-----   | 32 |
| 4.2.1. Interpretasi Kualitatif Anomali Bouguer dan Anomali Sisa -----                   | 33 |
| 4.2.2. Interpretasi Kuantitatif Anomali Bouguer dan Anomali Sisa -----                  | 38 |
| 4.2.2.1. Interpretasi Kuantitatif Penampang Melintang Anomali Bouguer AA' dan BB' ----- | 39 |
| 4.2.2.2. Interpretasi Kuantitatif Penampang Melintang Anomali Sisa AA' dan BB' -----    | 42 |

4.3. Potensi Sumber Daya Panasbumi----- 45

**BAB V PENUTUP**

5.1. Kesimpulan ----- 47  
5.2. Saran ----- 48

**DAFTAR PUSTAKA ----- 49**  
**LAMPIRAN ----- 51**



## DAFTAR GAMBAR

|   | Halaman |
|---|---------|
| Gambar 2.1. Peta geologi daerah Panasbumi Sampuraga,<br>Mandailing Natal, Sumatera Utara -----            | 8       |
| Gambar 2.2. Pengukuran titik-titik pengamatan dalam<br>suatu lintasan pengukuran -----                    | 13      |
| Gambar 2.3. Efek terrain dari bukit atau lembah disekitar<br>titik pengamatan -----                       | 14      |
| Gambar 2.4. <i>Hammert chart</i> -----  | 15      |
| Gambar 2.5. Lapisan bumi -----  | 18      |
| Gambar 2.6. Reservoir panasbumi-----  | 19      |
| Gambar 3.1. Peta daerah Panasbumi Sampuraga,<br>Mandailing Natal, Sumatera Utara -----                    | 21      |
| Gambar 3.2. Titik akuisisi data yang dikorelasikan dengan<br>kontur ketinggian -----                      | 22      |
| Gambar 3.3. Diagram alir penelitian -----   | 25      |
| Gambar 4.1. Kontur ketinggian yang dikorelasikan dengan<br>kontur koreksi udara bebas (interval 1 mGal) - | 29      |
| Gambar 4.2. Kontur anomali Bouguer (interval 1 mGal) ---  | 31      |
| Gambar 4.3. Kontur anomali sisa (interval 1 mGal) -----   | 32      |
| Gambar 4.4. Kontur ketinggian yang dikorelasikan dengan<br>kontur anomali Bouguer (interval 1 mGal)-----  | 33      |
| Gambar 4.5. Peta geologi yang dikorelasikan dengan kontur<br>anomali Bouguer -----                        | 34      |
| Gambar 4.6. Kontur ketinggian yang dikorelasikan dengan<br>kontur anomali sisa (interval 1 mGal) -----    | 36      |
| Gambar 4.7. Peta geologi yang dikorelasikan dengan kontur<br>anomali sisa-----                            | 37      |
| Gambar 4.8. Anomali Bouguer dengan model dua lintasan   | 39      |
| Gambar 4.9. Model penampang melintang anomali Bouguer<br>AA' -----  | 40      |
| Gambar 4.10. Model penampang melintang anomali Bouguer<br>BB' -----                                       | 41      |
| Gambar 4.11. Anomali sisa dengan model dua lintasan -----   | 42      |
| Gambar 4.12. Model penampang melintang anomali sisa AA'   | 43      |
| Gambar 4.13. Model Penampang melintang anomali sisa BB'   | 44      |

## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Metode gayaberat atau metode graviti merupakan salah satu metode geofisika yang berdasarkan atas pengukuran variasi gayaberat bumi. Metode gayaberat menganalisa tentang perbedaan gayaberat yang diakibatkan adanya variasi rapat massa batuan penyusun bawah permukaan bumi. Besaran fisis yang diukur dalam metode gayaberat adalah nilai gayaberat bumi. Maka yang diselidiki di lapangan adalah perbedaan nilai gayaberat dari satu titik pengamatan terhadap titik pengamatan yang lain. Dari data percepatan gayaberat kemudian diolah untuk mendapatkan anomali gayaberat.

Pengukuran gayaberat terbagi menjadi pengukuran mutlak dan pengukuran relatif. Pengukuran gayaberat mutlak dilakukan untuk mengetahui nilai gayaberat mutlak di suatu titik permukaan bumi dengan cara menentukan percepatan dari gerak jatuh bebas dengan menggunakan pendulum. Sedangkan pengukuran gayaberat relatif dilakukan untuk mengetahui nilai gayaberat diantara dua titik pengamatan yang dilakukan dengan menggunakan gravimeter. Alat gravimeter yang digunakan pada pengukuran data primer adalah gravimeter *LaCoste-Romberg* tipe G - 802. Metode gayaberat lebih banyak digunakan untuk pemetaan struktur bawah permukaan secara regional yang digunakan sebagai penelitian awal.

Metode gayaberat merupakan salah satu metode yang bersifat pasif karena data pengukuran bisa didapat secara langsung dari pengukuran di lapangan tanpa harus memberikan energi masukan pada bumi. Metode gayaberat memiliki suatu kelebihan untuk survei awal karena dapat memberikan informasi yang cukup detail tentang struktur geologi dan kontras densitas batuan. Sedangkan untuk eksplorasi, metode gayaberat digunakan untuk mencari struktur kubah garam, patahan dan lipatan. Namun pada saat ini metode gayaberat banyak digunakan dalam eksplorasi minyak dan gas bumi, mineral, panasbumi (*geothermal*), kegunungapian, penelitian tektonik dan berbagai penelitian lainnya.

Pada kasus panasbumi, perbedaan densitas batuan merupakan acuan dalam penyelidikan gayaberat. Dimana sumber panas dan daerah akumulasinya di bawah permukaan bumi dapat menyebabkan perbedaan densitas dengan massa batuan sekitarnya. Hasil dari penyelidikan gayaberat yang memberikan gambaran bawah permukaan dapat digunakan untuk penafsiran struktur-struktur basement dan patahan yang mungkin dijadikan



sebagai jalur keluar oleh fluida-fluida panasbumi. Adapun manifestasi dari suatu sistem panasbumi (*geothermal system*) antara lain mata air panas, *fumarole*, hembusan gas, dll. Hal ini merupakan tanda-tanda alam yang menunjukkan di bawah lokasi manifestasi panasbumi tersebut diperkirakan adanya intrusi magma yang memanaskan batuan sekelilingnya.

Penelitian ini mengambil bahasan mengenai kontras densitas batuan di daerah panasbumi Sampuraga, Kabupaten Mandailing Natal, Sumatera Utara dengan landasan pemikiran bahwa daerah tersebut berada di wilayah gunungapi yang sudah tidak aktif. Jadi secara tidak langsung dapat diasumsikan bahwa terdapat suatu massa vulkanik dalam suatu reservoir yang memiliki perbedaan densitas dengan batuan di sekitarnya. Penggunaan metode gayaberat dalam menganalisa densitas batuan dianggap tepat karena metode gayaberat memiliki respon yang sangat baik terhadap perbedaan densitas batuan di bawah permukaan. Dengan mengolah dan menginterpretasikan data kontras anomali gayaberat maka dapat digunakan untuk memperkirakan tentang struktur anomali densitas bawah permukaan yang diharapkan dapat memberi gambaran mengenai struktur bawah permukaan di daerah panasbumi Sampuraga.

### 1.2. Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka sasaran yang ingin dicapai dalam penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

- a. Bagaimana melakukan pengolahan data gayaberat di daerah panasbumi Sampuraga, Kabupaten Mandailing Natal, Sumatera Utara untuk mendapatkan nilai anomali Bouguer dan anomali sisa?
- b. Bagaimana struktur batuan bawah permukaan daerah Sampuraga untuk mengetahui tentang *volcanic-geothermal* berdasarkan anomali Bouguer dan anomali sisa?

### 1.3. Batasan Masalah

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui anomali Bouguer dari satu titik pengamatan terhadap titik pengamatan yang lain pada daerah panasbumi Sampuraga. Maka batasan masalah pada penelitian ini, yaitu :

- a. Wilayah yang diteliti adalah daerah panasbumi Sampuraga, Kabupaten Mandailing Natal, Sumatera Utara yang terletak pada koordinat 552500–565000 (meter) BT dan 84000-97000 (meter) LU zona 47 bumi bagian utara.

- b. Pengolahan data dilakukan sampai menemukan anomali Bouguer, anomali sisa dan kontras densitas batuan bawah permukaan di daerah panasbumi Sampuraga, Kabupaten Mandailing Natal, Sumatera Utara.

#### 1.4. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

- a. Untuk mengetahui nilai anomali Bouguer dan anomali sisa di daerah panasbumi Sampuraga dari hasil pengolahan data gayaberat.
- b. Untuk memperkirakan struktur batuan bawah permukaan tentang *volcanic-geothermal* di daerah Sampuraga berdasarkan anomali Bouguer dan anomali sisa.

#### 1.5. Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini diharapkan dapat bermanfaat bagi instansi yang terkait, mahasiswa dan masyarakat umum sebagai tambahan informasi atau pengetahuan yaitu :

- a. Dapat memahami proses pengolahan data, interpretasi data yang komprehensif sehingga mengetahui tentang anomali Bouguer dan anomali sisa di daerah panasbumi Sampuraga.
- b. Dapat menerapkan salah satu metode geofisika dalam memahami tentang *volcanic-geothermal* di daerah Sampuraga.



# UNIVERSITAS BRAWIJAYA

(halaman ini sengaja dikosongkan)



## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1. Tinjauan Pustaka Daerah Penelitian

#### 2.1.1. Tinjauan Geomorfologi Daerah Penelitian

Berdasarkan pengamatan bentang alam dan tingkat kemiringan lerengnya, maka geomorfologi daerah penelitian dapat dikelompokkan menjadi tiga satuan geomorfologi yaitu satuan perbukitan berlereng terjal, perbukitan bergelombang dan satuan pedataran seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.1.

##### 2.1.1.1 Geomorfologi Perbukitan Berlereng Terjal

Satuan geomorfologi ini menempati bagian barat dan selatan daerah penyelidikan yang meliputi sekitar 47% luas daerah penyelidikan. Umumnya berupa perbukitan memanjang berelif kasar, berlereng terjal antara 21% - 55% dengan elevasi antara 275 - 1475 meter di atas permukaan laut. Satuan ini tersusun oleh batuan gunungapi tersier berupa aliran lava dan aliran piroklastik.

##### 2.1.1.2 Geomorfologi Perbukitan Bergelombang

Satuan geomorfologi ini menempati bagian timur sampai selatan daerah panasbumi Sampuraga yaitu sekitar 24% dari luas daerah penelitian. Satuan ini terdiri atas perbukitan dengan kemiringan lereng antara 14% - 20% dan berada pada elevasi antara 250 - 525 meter di atas permukaan laut. Satuan morfologi ini tersusun oleh batuan granit, aliran piroklastik dan lahar.

##### 2.1.1.3 Geomorfologi Pedataran

Satuan pedataran terdapat di bagian tengah dan utara daerah panasbumi Sampuraga yang menempati areal sekitar 29% dari luas daerah penelitian. Daerah ini berada pada ketinggian antara 200-250m di atas permukaan air laut dengan kemiringan lereng antara 0% - 2% . Satuan ini tersusun oleh satuan batuan sedimen dan endapan alluvium yang terdiri dari material lepas berupa hasil rombakan batuan di bagian hulu sungai, dengan bentuk fragmen membundar hingga membundar tanggung.

## 2.1.2 Tinjauan Struktur Geologi Daerah Penelitian

Penentuan struktur geologi didasarkan atas hasil pengamatan lapangan, analisa citra *landsat* dan peta topografi terhadap gejala-gejala struktur di permukaan seperti pemunculan mata air panas, kelurusan lembah dan punggung, bidang sesar dan zona hancuran batuan. Berdasarkan hal tersebut maka di daerah panasbumi Sampuraga terdapat empat struktur sesar, yaitu:

### 2.1.2.1 Sesar Longat

Struktur sesar ini berarah relatif baratlaut-tenggara. Indikasi di lapangan menunjukkan adanya kelurusan punggung bukit dan lembah yang memanjang berarah relatif baratlaut-tenggara, kekar dan hancuran batuan. Jenis sesar ini diperkirakan sesar normal dimana blok timurlaut relatif bergerak turun dan bagian baratdaya sebagai blok yang relatif naik. Sesar ini terjadi akibat gaya yang bersifat tarikan yang berarah timurlaut-baratdaya. Sesar Normal Longat memotong batuan vulkanik Lava Andesit Porfiri dan Andesit yang berumur Miosen.

### 2.1.2.2 Sesar Panyabungan

Tersebar di bagaian timurlaut daerah panasbumi Sampuraga berarah relatif sama dengan Sesar Normal Longat, yaitu baratlaut-tenggara. Indikasi lapangan ditemukan adanya kekar dan dinding bidang sesar yang memanjang. Jenis struktur adalah sesar normal, dimana blok bagian timurlaut merupakan bagian yang relatif bergerak naik dan blok bagian baratdaya sebagai bagian yang relatif bergerak turun. Sesar Normal Panyabungan ini diperkirakan membentuk sesar tangga (*step fault*) dengan Sesar Normal Longat yang ada di sebelah baratnya. Kedua sesar ini berperan penting dalam pembentukan zona depresi berupa graben Panyabungan. Sesar ini memotong Satuan Granit Pra Tersier.

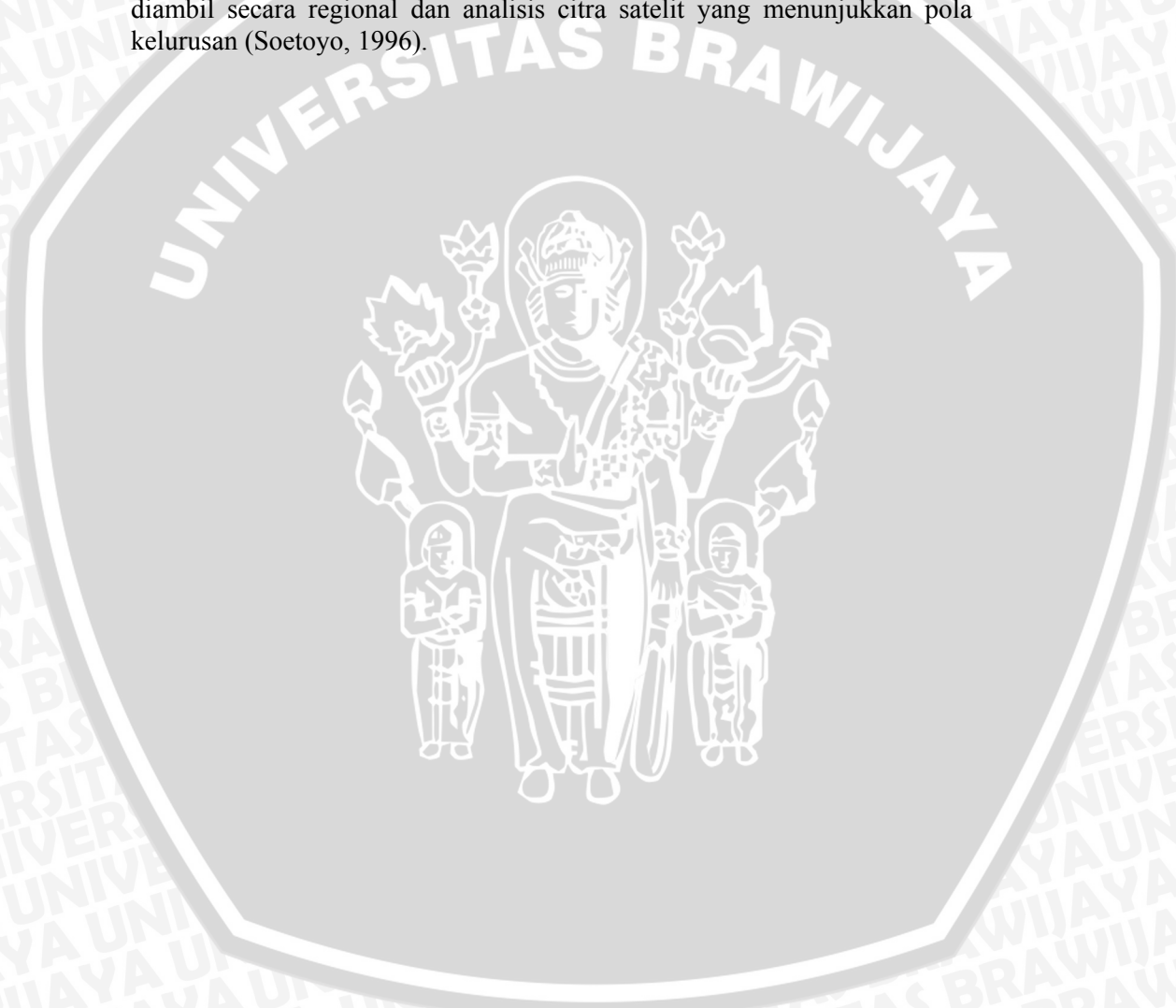
### 2.1.2.3 Sesar Sirambas

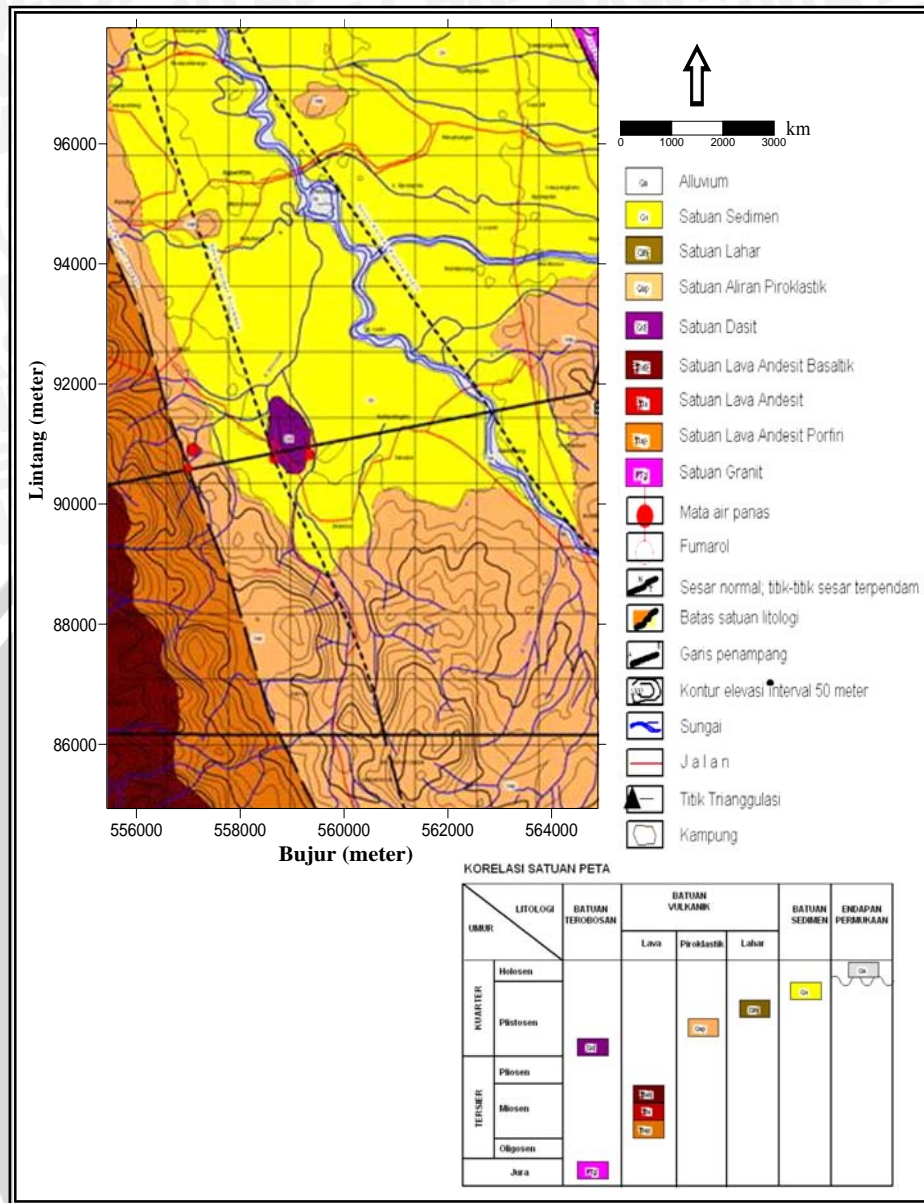
Sesar Sirambas berada di bagian tengah daerah panasbumi Sampuraga yang melintasi Desa Sirambas. Diperkirakan sebagai sesar normal berarah baratlaut-tenggara dimana blok sebelah baratdaya relatif bergerak naik dan blok sebelah timurlaut relatif bergerak turun. Dijumpai berupa zona hancuran batuan, kelurusan topografi berupa lembah Sungai Aek Nagari dan dinding sesar di daerah Aek Ngali sampai ke Lumban Dolok dan indikasi lainnya adalah kelurusan pemunculan mata air panas

Sampuraga di tengah Desa Sirambas dengan mata air panas Roburan Lombang di bagian selatan. Sesar tersebut berperan dalam pembentukan Graben Panyabungan dan pemunculan bukit-bukit memanjang dari tenggara ke baratlaut yang tersusun oleh satuan aliran piroklastik hasil dari erupsi celah (*fissure eruption*).

#### 2.1.2.4 Sesar Batang Gadis

Sesar Batang Gadis berada di bagian tengah daerah panasbumi Sampuraga memanjang searah aliran Sungai Batang Gadis, berarah baratlaut-tenggara. Sesar ini adalah sesar normal dengan blok baratdaya sebagai bagian yang bergerak turun dan blok sebelah timurlaut sebagai bagian yang bergerak naik. Bersamaan dengan Sesar Normal Sirambas yang berada di bagian baratnya, sesar ini merupakan bagian dari Graben Panyabungan. Penarikan sesar berdasarkan kelurusan topografi yang diambil secara regional dan analisis citra satelit yang menunjukkan pola kelurusan (Soetoyo, 1996).





Gambar 2.1 Peta geologi daerah panasbumi Sumpuraga, Mandailing Natal - Sumatera Utara (Kastowo, 1996).

## 2.2. Prinsip-prinsip Gayaberat

### 2.2.1. Teori Gayaberat Newton

Teori gayaberat didasarkan pada hukum Newton tentang gayaberat. Hukum gayaberat Newton yang menyatakan bahwa gaya tarik menarik antara dua buah benda adalah sebanding dengan massa kedua benda tersebut dan berbanding terbalik dengan jarak kuadrat antara pusat massa kedua benda tersebut (Kirbani, 2001).

Hukum gayaberat Newton :

$$\vec{F} = G x \frac{M x m}{R^2} \hat{R} \quad \dots\dots\dots (2.1)$$

Dimana, konstanta gayaberat ( $G$ )=  $6,67 \times 10^{-11} \text{ N.m}^2.\text{kg}^{-2}$ . Sedangkan hukum Newton lainnya adalah mengenai gerak yang menyatakan bahwa gaya ( $\vec{F}$ ) adalah perkalian antara massa dengan percepatan. Hukum kedua Newton mengenai gerak, yaitu:

$$\vec{F} = m x g \quad \dots\dots\dots (2.2)$$

Persamaan (2.1) disubstitusikan ke persamaan (2.2), maka didapat :

$$g = G x \frac{M}{R^2} \quad \dots\dots\dots (2.3)$$

Persamaan terakhir ini menunjukkan bahwa besarnya percepatan yang disebabkan oleh gayaberat di bumi ( $g$ ) adalah berbanding lurus dengan massa bumi ( $M$ ) dan berbanding terbalik dengan kuadrat jari-jari ( $R$ ) bumi. Dalam teori, nilai gayaberat bumi besarnya sama diseluruh permukaan bumi. Dalam kenyataannya nilai gayaberat bervariasi disetiap tempat karena bentuk bumi pepat akibat rotasi bumi, bentuk topografi permukaan bumi yang tidak teratur serta distribusi massa yang bervariasi terutama didekat permukaan.

### 2.2.2. Metode Gayaberat

Metode gayaberat merupakan metode penyelidikan dalam geofisika yang didasarkan pada variasi medan gayaberat di permukaan bumi. Dalam metoda ini yang dipelajari adalah variasi gayaberat akibat variasi rapat massa batuan di bawah permukaan, sehingga dalam pelaksanaannya yang diselidiki adalah perbedaan gayaberat dari suatu titik pengamatan terhadap titik pengamatan lainnya (Kirbani, 2001).

Dalam metode gayaberat, pengukuran dilakukan terhadap nilai komponen vertikal dari percepatan gayaberat di suatu tempat. Namun pada kenyataannya, bentuk bumi tidak bulat sehingga terdapat variasi nilai percepatan gayaberat untuk masing-masing tempat. Hal-hal yang dapat mempengaruhi nilai percepatan gayaberat adalah perbedaan derajat garis



lintang, perbedaan ketinggian (*topografi*), kedudukan bumi dalam tata surya, variasi rapat massa batuan dibawah permukaan bumi, perbedaan elevasi tempat pengukuran dan hal lain yang dapat memberikan kontribusi terhadap nilai gayaberat, misalnya bangunan dan lain-lain.

**2.2.3. Potensial Gayaberat Distribusi Massa**

Pada potensial gayaberat berlaku prinsip superposisi yaitu potensial gayaberat dari sekumpulan massa merupakan penjumlahan dari masing-masing massa. Besar potensial pada partikel uji merupakan penjumlahan vektor dari potensial massa. Prinsip superposisi dapat diterapkan untuk menentukan potensial gayaberat pada distribusi massa yang kontinu. Suatu distribusi massa yang kontinu *m* adalah sekumpulan massa yang sangat kecil dan banyak,  $dm = \rho(x,y,z)dv$ , dimana  $\rho(x,y,z)$  adalah densitas dari distribusi massa. Dengan menerapkan prinsip superposisi maka didapatkan :

$$U(P) = \gamma \int \frac{dm}{r} = \gamma \int \frac{\rho(Q)}{r} dv \dots\dots\dots (2.4)$$

Dimana pengintegrasian meliputi *v*, volume sebenarnya dari massa. Sedangkan *P* merupakan titik pengamatan, *Q* merupakan titik pengintegrasian dan *r* adalah jarak antara *P* dan *Q*. Densitas memiliki satuan  $gr.cm^{-3}$  (Blakely,1995).

**2.2.4. Rapat Massa**

Rapat massa ( $\rho$ ) merupakan perbandingan massa terhadap volume suatu benda. Suatu batuan dengan pori-pori yang terisi oleh fluida (air, minyak atau gas) dapat dinyatakan sebagai rapat massa dengan *n* komponen. Fraksi dan rapat massa fraksi masing-masing  $V_i$  dan  $\rho_i$  dapat dinyatakan dengan persamaan;

$$\rho = \sum_{i=1}^n \frac{V_i}{V} \rho_i \dots\dots\dots (2.5)$$

Apabila fraksi disederhanakan menjadi tiga bagian yaitu fraksi matriks padat, fraksi liquid dan fraksi gas, maka persamaan di atas menjadi :

$$\rho = \frac{V_m}{V} \rho_m + \frac{V_f}{V} \rho_f + \frac{V_g}{V} \rho_g \dots\dots\dots (2.6)$$

Dimana  $\rho_m$  ,  $\rho_f$  ,  $\rho_g$  masing-masing adalah rapat massa material matriks, rapat massa fluida dan rapat massa gas. Persamaan di atas menjelaskan bahwa rapat massa dipengaruhi oleh perubahan saturasi fluida atau perubahan massa komponen-komponennya. Apabila rapat massa

komponen pembentukannya tetap maka porositas batuananya tidak berubah. Anomali gayaberat ini berhubungan langsung dengan adanya perubahan rapat massa sebagai akibat adanya perubahan material yang mengisi volume pori sumber anomali (Kadir,1999).

### 2.2.5. Gayaberat Normal

Gayaberat normal adalah gayaberat teoritis pada permukaan laut rata-rata yang merupakan fungsi dari lintang geografi. Harga gayaberat normal telah banyak dirumuskan berdasarkan konstanta-konstanta yang diperhitungkan. Di tahun 1967 *Geodetic Reference System* menentukan rumusan IGF 1967 adalah:

$$G_{\phi} = 978031,846(1+0,0053024\sin^2\theta-0,0000058\sin^22\theta) \dots (2.7)$$

dimana  $G_{\phi}$  dalam  $m.s^2$  dan  $\theta$  adalah sudut lintang (Blakely,1995). Gayaberat memiliki satuan  $m/det^2$  (dalam SI), dimana  $1Gal= 1cm/det^2 = 10^{-2} m/det^2$ .

### 2.2.6. Koreksi Awal

#### 2.2.6.1. Konversi Skala Pembacaan

Nilai pembacaan alat gravimeter yang diperoleh dari suatu pengukuran adalah dalam besaran skala yang harus dikonversi ke dalam satuan percepatan gayaberat (dalam satuan mGal). Hal ini dilakukan dengan menggunakan tabel konversi dari alat gravimeter yang digunakan dalam penelitian. Perumusan yang digunakan dalam melakukan konversi skala pembacaan adalah :

$$mGal = \{[(\text{Bacaan} - \text{counter}) \times \text{Faktor Interval}] + mGal\} \times CCF \dots (2.8)$$

Dimana nilai CCF (*Calibration Correction Factor*) merupakan faktor kalibrasi dari alat gravimeter. Konversi pembacaan ini dilakukan untuk seluruh pembacaan yang diperoleh dalam setiap titik pengukuran (Hadipandoyo, 2004).

#### 2.2.6.2. Koreksi Tidal (*Tidal Correction*)

Penarikan massa bumi, bulan dan matahari dalam peredarannya mempengaruhi percepatan gayaberat bumi. Besarnya pengaruh pasang surut berkisar antara  $-0,10$  sampai  $0,15$  mGal. Nilai maksimum akan tercapai bila posisi bumi, bulan dan matahari dalam satu garis dan akan mencapai nilai minimum bila bulan, bumi dan matahari berada dalam satu garis.

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 gayaberat akibat pengaruh benda-benda langit khususnya matahari dan bulan, maka data hasil pengukuran perlu dikenakan koreksi pasang surut bumi (Longman, 1959), dengan rumusan di bawah ini :

$$Tdc = \frac{3\gamma r}{2} \left\{ \frac{2M}{3d^2} (\sin^2 p - 1) + \frac{Mr}{d^4} (5\cos^3 p - 1\cos p) + \frac{2S}{3D^3} (3\cos^2 q - 1) \right\} \dots\dots (2.9)$$

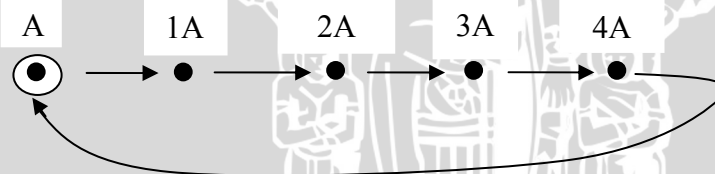
dimana :

- 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
- $\gamma$  = konstanta gayaberat Newton
- r = jarak pengukuran dari pusat bumi

### 2.2.6.3. Koreksi Drift

Pengukuran gayaberat yang dilakukan di suatu tempat yang kemudian diulang lagi pengukurannya maka secara teoritis nilainya akan tetap atau konstan. Pada kenyataannya, hal ini selalu diperoleh nilai pembacaan yang berbeda mengingat adanya pengaruh pasang surut diatas. Perbedaan ini, disamping dipengaruhi oleh kondisi pasang surut juga disebabkan karena pengaruh mekanisme alat, akibat guncangan selama transportasi yang disebut sebagai apungan (*drift*).

Dalam pelaksanaan pengukuran gayaberat, suatu lintasan pengukuran dimulai dari suatu titik acuan graviti (*gravity base station*), kemudian melakukan pengukuran dititik-titik pengamatan dan kembali ketitik acuan semula.



Gambar 2.2 Pengukuran titik-titik pengamatan gayaberat dalam suatu lintasan pengukuran.

Pada gambar diatas, pengukuran dimulai pada titik A yang dianggap sebagai titik acuan kemudian pengukuran dilanjutkan pada titik 1A, 2A, 3A, 4A dan kembali ketitik awal yaitu titik A. Pembacaan gayaberat pertama dititik A dengan pembacaan kedua dititik yang sama akan terdapat perbedaan dan perbedaan ini harus dihilangkan yang disebut sebagai koreksi drift. Koreksi drift dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$Drift_{station} = \frac{G_{A2} - G_{A1}}{T_{A2} - T_{A1}} \times (T_{station} - T_{A1}) \quad \dots\dots\dots (2.10)$$

Keterangan :

- $Drift_{station}$  = 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

Dengan catatan bahwa harga pembacaan dititik-titik pengambilan data telah dikoreksi dengan koreksi tidal (Hadipandoyo, 2004).

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

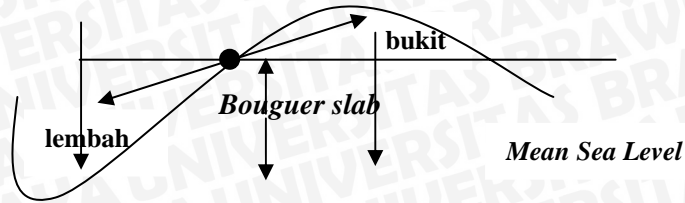
Koreksi udara bebas adalah perbedaan antara gayaberat yang diukur pada permukaan laut dengan yang diukur pada ketinggian *h* meter dengan ruang kosong atau tidak ada batuan diantaranya. Harga FAC positif di atas *mean sea level* dan negatif di bawah *mean sea level*. Harga koreksi udara bebas ditambahkan jika titik amat berada diatas bidang datum dan dikurangkan jika berada di bawah bidang datum. Nilai percepatan gayaberat di permukaan bumi adalah  $g_{fa}$ , maka koreksi udara bebas sebesar:

$$g_{fac} = -0,3086 \times 10^{-5} h \quad \dots\dots\dots (2.11)$$

dimana *h* merupakan ketinggian diatas permukaan laut. Untuk satuan dalam SI,  $g_{fac}$  dalam  $m/det^2$ , *h* dalam m dan dalam satuan CGS,  $g_{fac}$  dalam Gal, *h* dalam cm (Blakely,1995).

**2.2.6.5. Koreksi Medan (*Terrain Correction*)**

Kondisi topografi disekitar titik pengamatan terkadang tidak beraturan seperti adanya lembah atau bukit yang juga mempengaruhi nilai gayaberat dititik pengamatan. Bukit mempunyai efek yaitu memperkecil percepatan gayaberat. Karena itu koreksi terrain untuk bukit ini harus ditambahkan (dalam *Bouguer slab*), yang berarti bahwa adanya lembah disekitar titik pengamatan dianggap mempunyai massa batuan.



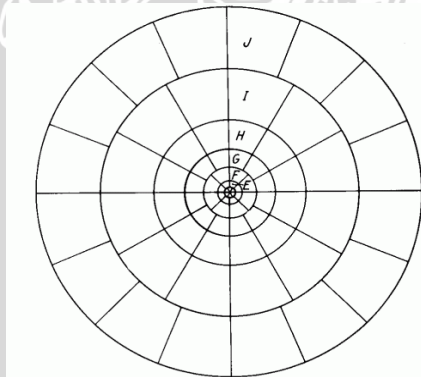
Gambar 2.3 Efek terrain dari bukit atau lembah disekitar titik pengamatan

Karena efek ini telah terkurangkan pada saat koreksi Bouguer, maka koreksi terrain untuk lembah harus ditambahkan untuk mengembalikan efek Bouguer tersebut. Secara topografi dapat diambil bentuk silindris konsentris yang terbagi menjadi zona-zona dan kompartemen dengan ketinggian yang berbeda-beda dan ditulis dalam bentuk rumus dibawah ini :

$$TC = 2\pi\gamma\rho \left[ R_2 - R_1 + \sqrt{(R_1^2 + \Delta h^2)} - \sqrt{(R_2^2 + \Delta h^2)} \right] \dots\dots (2.12)$$

- Keterangan :
- $R_1$  : radius bagian dalam dalam suatu zona
  - $R_2$  : radius bagian luar dalam suatu zona
  - $\Delta h$  : Beda ketinggian dari titik pengamatan

Dalam pelaksanaan perhitungan koreksi ini, maka digunakan *hammer chart* yang transparan seperti pada Gambar 2.4. *Hammert chart* membagi daerah titik pengamatan atas zona-zona dan kompartemen yang merupakan bagian dari silinder konsentris.



Gambar 2.4 *Hammer chart* (Hadipandoyo,2004)

### 2.2.6.6. Koreksi Bouguer (*Bouguer Correction*)

Koreksi Bouguer digunakan untuk menghitung kelebihan tarikan gayaberat yang disebabkan oleh ketebalan batuan tertentu dengan densitas batuan rata-rata ( $\rho$ ) gr/cm<sup>3</sup> (Untoro, 2005).

Dalam koreksi udara bebas dan gayaberat normal, massa batuan diantara titik amat dan bidang datum diabaikan. Pada keadaan yang sebenarnya tentunya massa dibawah titik pengukuran harus dipertimbangkan. Jadi koreksi Bouguer tergantung pada ketinggian titik amat dari bidang datum dan rapat massa batuan antara titik amat dan bidang amat (Kearey and Brooks, 1984). Besarnya koreksi Bouguer adalah (Nettleton, 1976) :

$$\begin{aligned} BC &= 0,04193 \rho h \text{ mGal/ m atau} \\ &= 0,01237 \rho h \text{ mGal/ft} \end{aligned} \quad \dots\dots\dots (2.13)$$

dimana :

$\rho$  = rapat massa Bouguer

$h$  = ketinggian titik pengukuran dari bidang sferoid

Pengukuran diatas *mean sea level*, BC dikurangkan (-) dan ditambahkan (+) dibawah *mean sea level*. Rumusan ini berlaku dengan asumsi bahwa bidang Bouguer merupakan plat datar tidak terhingga. Grant dan West (1965) mendefinisikan bahwa massa yang terletak antara permukaan topografi dan bidang sferoida dapat dibagi menjadi 2 bagian,yaitu :

1. Bagian massa yang terletak antara bidang Bouguer dan sferoida referensi dimana efek dari massa ini disebut efek Bouguer. Anomali yang dihasilkan setelah dilakukan koreksi Bouguer terhadap anomali udara bebas disebut anomali Bouguer sederhana.
2. Bagian massa yang berada diatas bidang Bouguer dan bagian massa yang hilang dibawah Bouguer menghasilkan efek yang disebut efek medan (*terrain effect*). Anomali yang dihasilkan setelah dilakukan koreksi medan terhadap anomali Bouguer sederhana disebut anomali Bouguer lengkap.

Pada koreksi Bouguer dan koreksi terrain ada satu nilai yang belum diketahui yaitu densitas Bouguer yang merupakan densitas rata-rata untuk seluruh massa di bawah permukaan. Densitas batuan dipengaruhi beberapa faktor diantaranya adalah rapat massa butir penyusunnya, porositas, kandungan fluida yang mengisi pori-porinya, serta pemadatan akibat

tekanan dan pelapukan yang dialami batuan tersebut. Metode penelitian densitas lapisan permukaan kerak bumi (densitas Bouguer) :

1. Densitas Bouguer standar =  $2670 \text{ kg/m}^3$  sebagai rata-rata densitas kerak bumi.
2. Pengukuran langsung seperti pengumpulan contoh batuan baik dari permukaan maupun dari sumur bor.
3. Dari peta geologi untuk mendapatkan jenis batuan, kemudian dilihat nilai densitasnya pada tabel densitas batuan.
4. Profil densitas (dengan menggunakan metode Nettleton):
  - a. Secara grafis yaitu dengan membuat profil topografi dan profil anomali Bouguer untuk densitas yang berbeda-beda tiap lintasan yang dipilih. Harga densitas yang anomali Bouguernya memiliki korelasi 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 (Suyanto dan Kirbani, 1999).
5. Metode Parasnis berasumsi bahwa tidak ada korelasi antara topografi dengan densitas permukaan sehingga anomali tersebar secara acak bersamaan dengan ketinggian. Hal ini menyebabkan korelasi antara topografi dan  $g$  akan mengacu pada lapisan Bouguer. Dengan mengplot harga  $\Delta g_{obs} + 0,3086h$  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  $\rho$  (Parasnis, 1986).

#### 2.2.6.7. Anomali Bouguer

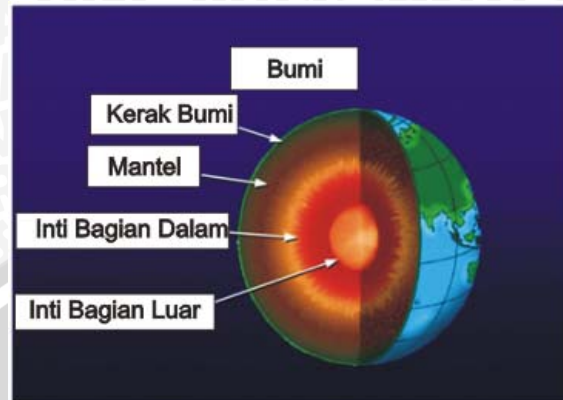
Anomali Bouguer merupakan suatu pemaparan dari gayaberat yang paling umum untuk memperkirakan gambaran kondisi bawah permukaan berdasarkan kontras rapat massa batuan. Dengan demikian nilai anomali Bouguer dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$BA = G_{sta} - (G_{\phi} + FAC + BC) + TC \dots\dots\dots (2.14)$$

Nilai anomali yang diperoleh adalah nilai anomali pada ketinggian suatu titik amat. Pentingnya MSL sebagai bidang datum hanyalah sebagai batas bahwa semua massa di bawah MSL mempengaruhi nilai anomali

Bouguer, sedangkan untuk massa di atas MSL hanya terdeviasi dari keadaan ideal (Moh. Untung, 2001).

### 2.3. Panasbumi

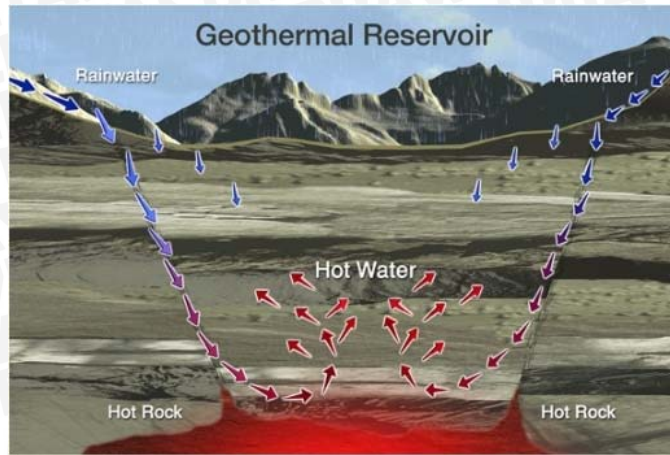


Gambar 2.5 Lapisan bumi ([www.taman.blogsome.com](http://www.taman.blogsome.com))

Secara bahasa, kata *geothermal* terdiri dari dua suku kata yaitu *geo* yang berarti bumi dan *thermal* yang berarti panas. Jadi istilah *geothermal* sama dengan panasbumi. *Geothermal* dapat diartikan sebagai energi panas yang terbentuk secara alami dibawah permukaan bumi. Dari gambar 2.5, terlihat bahwa bagian kerak bumi (*crust*) merupakan lapisan terluar yang keras, padat dan tersusun dari batuan yang mampu menahan aliran panas dari bawah permukaan bumi. Sedangkan mantel bumi (*mantle*) merupakan lapisan yang semi-cair atau berupa batuan yang meleleh atau sedang mengalami perubahan fisik akibat pengaruh tekanan dan temperatur tinggi disekitarnya. Sedangkan bagian luar dari inti bumi (*outer core*) berbentuk *liquid* dan lapisan terdalam dari inti bumi (*inner core*) berwujud padat ([www.taman.blogsome.com](http://www.taman.blogsome.com)).







Gambar 2.6 Reservoir panasbumi ([www.taman.blogsome.com](http://www.taman.blogsome.com))

Ketika sampai di permukaan bumi, maka air hujan akan merembes ke dalam tanah melalui saluran pori-pori atau rongga-rongga diantara butiran batuan. Bila jumlah air hujan yang turun cukup deras, maka air tersebut akan mengisi rongga-rongga antar butiran sampai penuh. Air hujan yang masuk ke tanah disebut air tanah. Jika sudah tidak tertampung lagi, maka air hujan yang masih dipermukaan akan mengalir ke tempat yang lebih rendah yang disebut dengan air permukaan.

Di daerah gunungapi, dimana terdapat potensi panasbumi sering ditemukan struktur sesar (*fault*) dan kaldera (*caldera*) sebagai akibat dari letusan gunung berapi maupun aktifitas tektonik lainnya. Keberadaan struktur tersebut tidak sekedar membuka pori-pori atau rongga-rongga antar butiran menjadi lebih terbuka, bahkan bisa menciptakan zona rekahan (*fracture zone*) yang cukup lebar dan memanjang secara vertikal atau hampir vertical. Sehingga air tanah dapat dengan mudah menerobos turun ke tempat yang lebih dalam lagi sampai akhirnya tertampung pada batuan panas. Air tersebut tidak bisa turun ke bawah sehingga air mencari jalan dalam arah horisontal ke lapisan batuan yang masih bisa diisi oleh air. Seiring dengan berjalannya waktu, air tersebut terus terakumulasi dan terpanaskan oleh batuan panas. Akibatnya temperatur air meningkat, volume bertambah dan tekanan menjadi naik. Sebagianya masih tetap berwujud air panas, namun sebagian lainnya telah berubah menjadi uap panas.

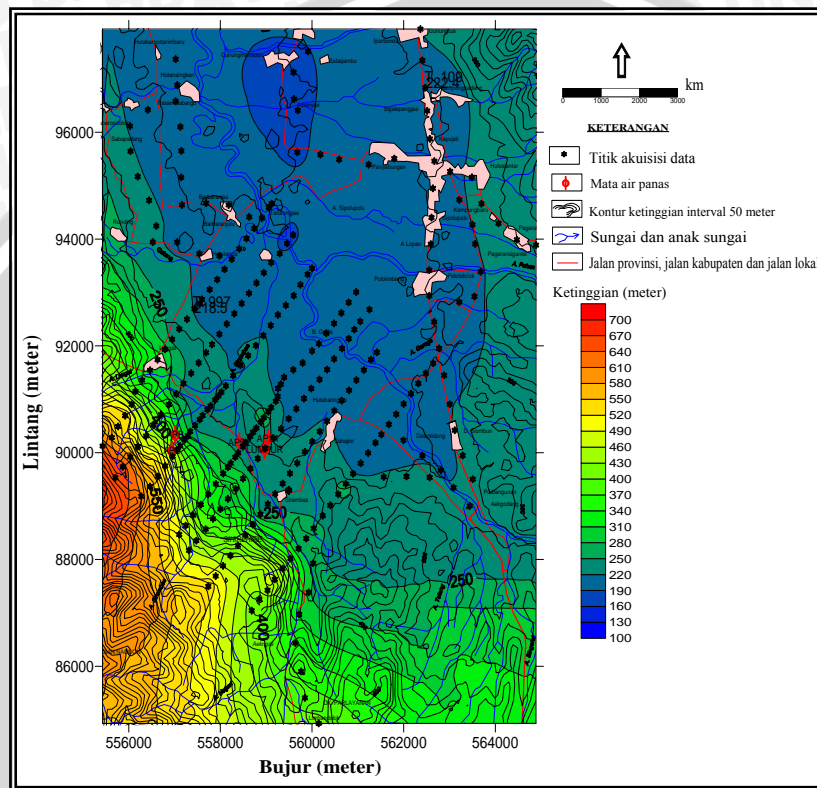
Tekanan yang terus meningkat, membuat fluida panas tersebut menekan batuan panas yang melingkupinya sambil mencari jalan terobosan

untuk melepaskan tekanan tinggi. Jika fluida tersebut menemukan celah yang bisa menuju permukaan bumi, maka akan dijumpai sejumlah manifestasi panasbumi. Namun bila celah itu tidak tersedia, maka fluida panas itu akan tetap berada di dalam reservoir panasbumi (*geothermal reservoir*). Sementara lapisan batuan dibagian atasnya dinamakan batuan penutup (*cap rock*) yang bersifat impermeabel atau sangat sulit ditembus oleh fluida ([www.taman.blogsome.com](http://www.taman.blogsome.com)).





Pengambilan data dilakukan dengan menggunakan alat gravimeter *La Coste Romberg type G-802*. Lintasan pengambilan data terdiri dari lintasan A, B, C, D, E, F dan G sebanyak 189 titik pengambilan data. Pada lintasan regional terdapat 74 titik ukur, sehingga jumlah titik pengambilan data terdapat 263 titik. Pada satu lintasan pengukuran, interval pengambilan titik adalah 250-500 m. Pada lintasan regional interval pengambilan titik adalah 500-1000 m sedangkan interval pengambilan titik pada daerah manifestasi panas bumi berkisar antara 100-150 m. Letak titik pengukuran data yang dikorelasikan dengan kontur ketinggian di daerah Sampuraga, dapat dilihat pada gambar 3.2.



Gambar 3.2 Titik akuisisi data yang dikorelasikan dengan kontur ketinggian.

### 3.2. Tahapan Penelitian

Pada penelitian ini yang dianalisa adalah data sekunder berupa data gayaberat, geologi daerah penelitian, anomali gayaberat dan kontras densitasnya.

Data sekunder yang diproses untuk mendapatkan nilai gayaberat antara lain: letak koordinat titik pengambilan data (bujur dan lintang), pembacaan gravimeter, waktu pengambilan data, ketinggian titik ukur, koreksi pasang surut dan nilai koreksi medan. Kemudian data diolah dengan melakukan beberapa tahapan untuk mendapatkan nilai anomali Bouguer, anomali sisa dan kontras densitas bawah permukaan.

Pengolahan data dilakukan dengan menggunakan program MS. Excel. Setelah diperoleh nilai anomali Bouguer kemudian data diolah menggunakan program Surfer 8 untuk mendapatkan kontur anomali Bouguer dan kontur anomali sisa. Hasil yang diperoleh kemudian dibandingkan dengan peta geologi daerah panasbumi Sampuraga dan sekitarnya sehingga pada akhirnya dapat dilakukan pemodelan untuk mengetahui struktur geologi bawah permukaan dengan menggunakan program GRAV2DC.

### 3.3. Data Penelitian

Data sekunder yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Waktu dan tanggal pengambilan data.
2. Letak koordinat titik pengamatan (*latitude* dan *longitude*).
3. Pembacaan gravimeter.
4. Koreksi pasang surut (*tidal correction*).
5. Ketinggian titik pengamatan.
6. Koreksi medan.

### 3.4. Peralatan Penelitian

Dalam penelitian ini peralatan yang digunakan adalah:

1. Tabel konversi pembacaan alat Gravimeter *La Coste Romberg* tipe G-802.
2. Perangkat Komputer dengan instalasi *software* MS. Word, MS. Excel, MapInfo, Surfer 8, dan GRAV2DC.

### 3.5. Prosedur Pelaksanaan Penelitian

Penelitian ini terdiri dari empat tahapan, yaitu:

#### 3.5.1. Pengolahan Data

Pada tahap pengolahan, data yang didapat dari hasil akuisisi lapangan terlebih dahulu dilakukan konversi nilai pembacaan ke dalam satuan mGal. Setelah itu dilakukan beberapa koreksi antara lain koreksi pasang-surut, koreksi apungan, gayaberat terkoreksi, gayaberat pengukuran, gayaberat normal, koreksi udara bebas, koreksi terrain dan koreksi Bouguer untuk mendapatkan nilai anomali Bouguer dan anomali sisa yang kemudian dikonturkan dengan menggunakan *software* Surfer 8 dan GRAV2DC.

#### 3.5.2. Penggambaran Pola Anomali Bouguer dan Anomali Sisa

Nilai anomali Bouguer dan anomali sisa yang telah diolah, kemudian dilakukan penggambaran kontur dengan menggunakan program Surfer 8. Data masukan yang berjumlah 263 titik berupa letak lintang, letak bujur serta nilai anomali yang akan dikonturkan pada setiap titik pengukuran. Dari kontur anomali Bouguer dan anomali sisa, kemudian dilakukan pemodelan yang dibuat sepanjang lintasan tertentu. Dalam penelitian ini, dilakukan analisa pada dua buah penampang melintang anomali Bouguer dan anomali sisa yang masing-masing berarah melintang dari baratdaya sampai timurlaut.

Dalam melakukan penarikan garis penampang perlu diperhatikan bentuk dari konturnya atau pola anomalnya. Bentuk yang dipertimbangkan adalah berupa tinggian atau rendahan anomali, kerapatan kontur sehingga dapat diperkirakan pola struktur geologi bawah permukaan yang berupa suatu patahan, suatu intrusi atau berupa lipatan (*antiklin* atau *sinklin*). Dalam penentuan garis penampang harus berarah tegak lurus terhadap garis kontur, sehingga dapat diperkirakan pola struktur geologi dengan baik.

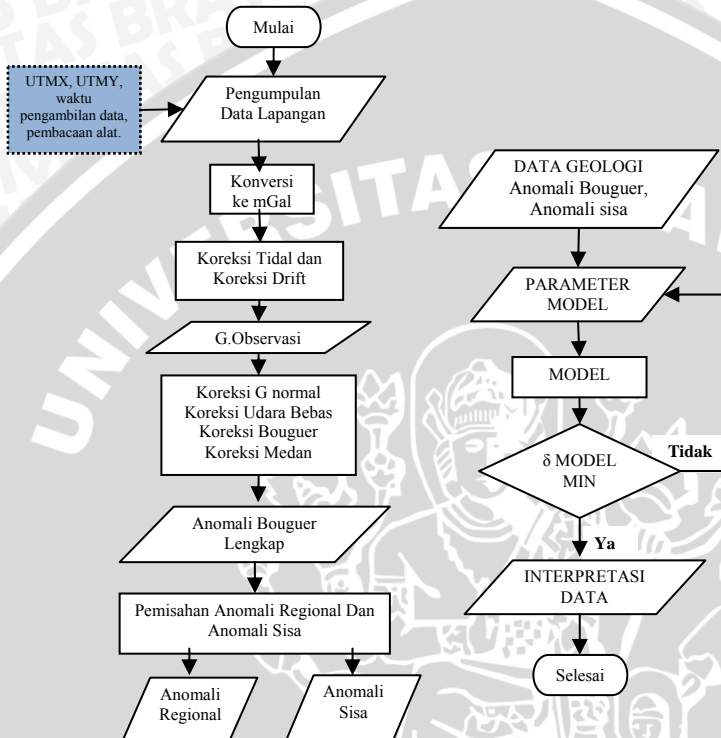
#### 3.5.3. Pemodelan Geologi

Pada tahap pemodelan, data yang diolah berupa nilai anomali dan jarak lintasan pada penampang yang telah dibuat. Penarikan penampang anomali ini dapat menggunakan program Surfer 8. Nilai yang telah diperoleh berupa jarak dan anomali Bouguer merupakan data masukan untuk program GRAV2DC sebagai suatu penampang melintang anomali. Setelah model anomali tergambar, maka dapat dilakukan pemodelan struktur bawah permukaan dengan memasukkan nilai kontras densitas

batuan, ketebalan lapisan (kedalaman) batuan tertentu seperti yang terbaca pada peta geologi daerah setempat (Pedley, 1991).

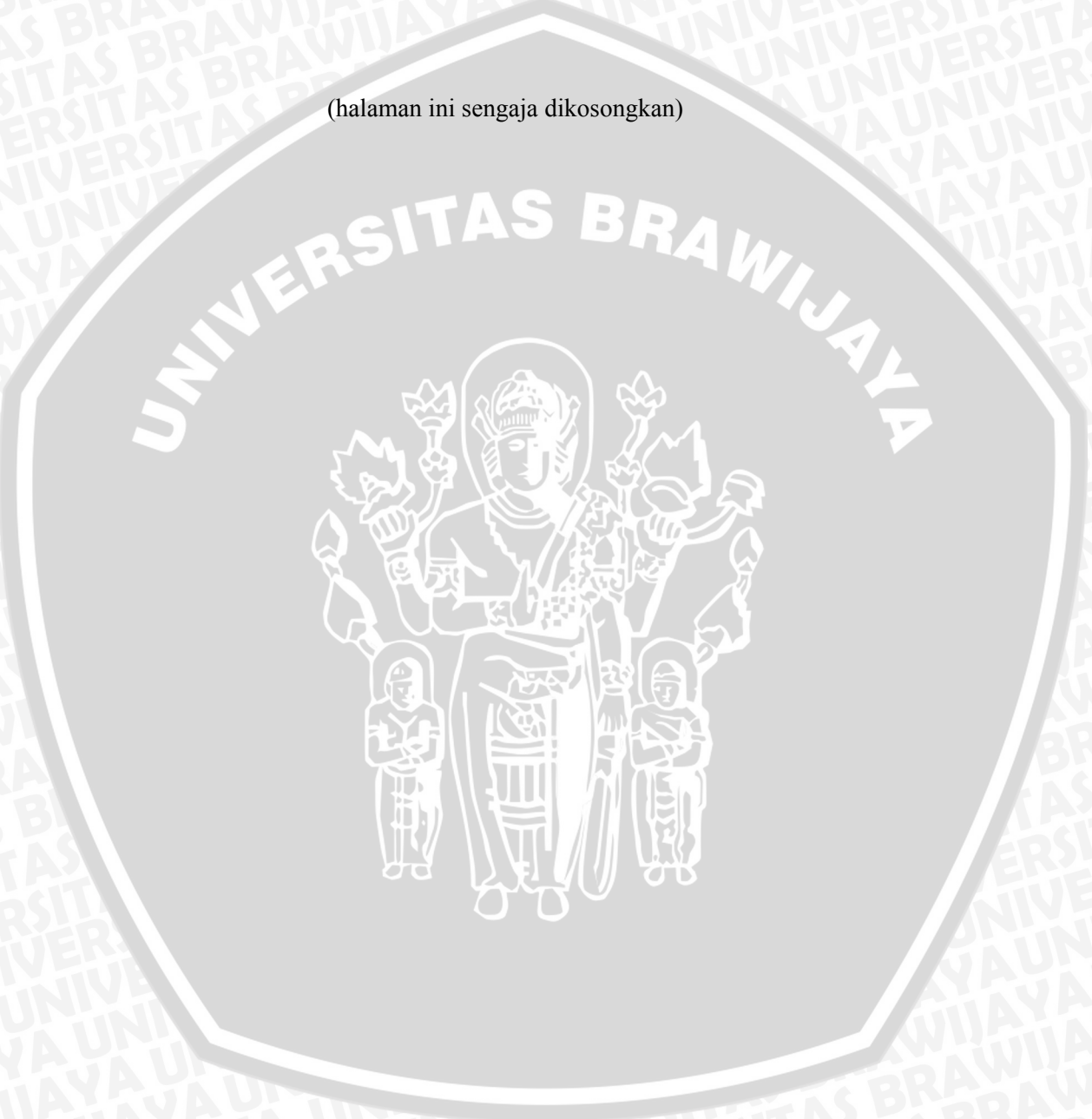
### 3.5.4. Interpretasi Data

Interpretasi data dilakukan dengan melihat peta sebaran anomali Bouguer dan anomali sisa. Interpretasi pola anomali Bouguer dan anomali sisa dilakukan berdasarkan peta geologi daerah yang bersangkutan sehingga diperoleh gambaran benda bawah permukaan penyebab anomali yaitu struktur bawah permukaan di daerah panasbumi. Alur penelitian selengkapny akan disajikan dalam bentuk diagram alir berikut ini:



Gambar 3.3 Diagram alir penelitian

(halaman ini sengaja dikosongkan)





## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1. Pengolahan Data

Untuk mempermudah interpretasi data maka data hasil pengukuran lapangan harus diolah. Pengolahan data gayaberat dilakukan untuk mendapatkan nilai gayaberat dari satu titik pengambilan data yang disebabkan adanya massa batuan di bawah permukaan. Pengolahan data gayaberat dimulai dari pengolahan data hasil pengukuran lapangan hingga siap untuk diinterpretasikan yang meliputi beberapa tahapan antara lain :

#### 4.1.1. Konversi ke Nilai mGal

Untuk mendapatkan nilai pembacaan dalam satuan mGal, maka nilai pembacaan dari gravimeter harus dikonversikan ke dalam nilai mGal dengan menggunakan tabel konversi dari gravimeter *LaCoste & Romberg* tipe G-802. Hal ini dilakukan karena nilai yang didapat dari pembacaan gravimeter belum memiliki satuan dan setiap model gravimeter memiliki tabel konversi yang sesuai dengan spesifikasi masing-masing alat.

#### 4.1.2. 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 saat melakukan pengambilan data di lapangan, nilai koreksi pasang surut terkecil adalah -0,0144 mGal dan nilai koreksi pasang surut terbesar adalah -0,0824 mGal.

#### 4.1.3. Koreksi Drift (*Drift Correction*)

Pada saat pengambilan data di lapangan ada kemungkinan terjadi penyimpangan, guncangan pada alat dan pergeseran pembacaan titik nol. Maka untuk menghilangkan pengaruh tersebut dilakukan koreksi drift dengan mengulangi pembacaan pada titik ikat dalam satu lintasan, sehingga dapat diketahui penyimpangannya. Koreksi drift dipengaruhi oleh waktu pengambilan data di tiap titik, konversi nilai ke dalam mGal dan koreksi tidal.

#### 4.1.4. Nilai Gayaberat Observasi ( $g_{obs}$ )

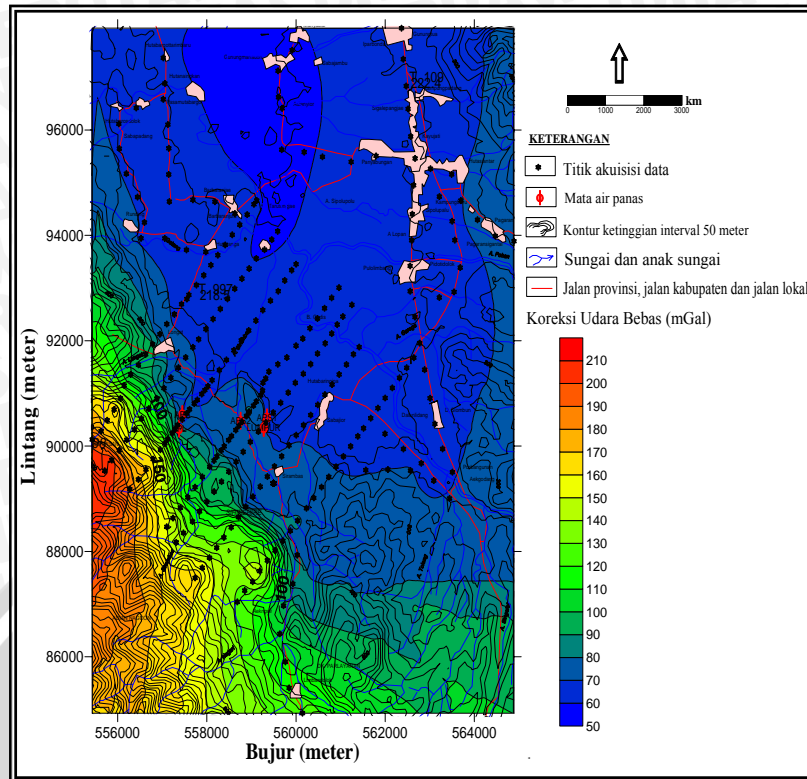
Nilai gayaberat observasi didapat dengan menjumlahkan nilai gayaberat terkoreksi dengan nilai beda gayaberat di tiap titik pengukuran. Nilai gayaberat terkoreksi merupakan penjumlahan dari nilai konversi data ke dalam mGal, koreksi tidal dan koreksi drift. Sedangkan nilai beda gayaberat diperoleh dari perbedaan nilai gayaberat tiap titik terhadap nilai gayaberat di titik awal (*base station*). Pada penelitian ini, nilai pengukuran diikatkan ke nilai gayaberat Internasional (IGSN 71) DG0 Bandung dengan nilai gayaberat pengamatan sebesar 977953,31 mGal dan titik awal berada pada koordinat 559496 (meter) BT dan 89292 (meter) LU.

#### 4.1.5. Nilai Gayaberat Normal

Bumi yang berotasi mengakibatkan bentuk bumi tidak bulat sempurna tetapi agak pepat pada kedua kutubnya. Sehingga besarnya nilai gayaberat di kutub lebih besar daripada di katulistiwa, semakin ke kutub nilai gayaberat semakin bertambah besar. Oleh karena itu besar nilai gayaberat di suatu tempat sangat dipengaruhi oleh letak lintangnya. Pada pengukuran data di lapangan, nilai lintang dan bujur dicatat dalam satuan meter sehingga perlu dikonversi kedalam satuan derajat. Pengkonversian letak koordinat ini menggunakan program *software MapInfo Professional 9.0*. Untuk mendapatkan nilai gayaberat normal, nilai lintang dan bujur dihitung dengan menggunakan persamaan 2.7.

#### 4.1.6. Koreksi Udara Bebas (*Free Air Correction*)

Perbedaan ketinggian yang bervariasi dari masing-masing titik pengamatan akan berpengaruh terhadap besarnya nilai gayaberat pada titik pengamatan tersebut. Karena nilai gayaberat berbanding terbalik dengan jarak, maka semakin tinggi tempat pengambilan data maka semakin kecil nilai gayaberatnya (Untung dan Sato, 1978).



Gambar 4.1 Kontur ketinggian yang dikorelasikan dengan kontur koreksi udara bebas (interval 10 mGal).

Dari gambar 4.1, terlihat bahwa semakin berwarna merah maka semakin tinggi letak daerah pengukuran dan semakin berwarna biru maka semakin rendah letak daerah pengukuran. Jika nilai koreksi udara bebas semakin besar maka nilai gayaberat di daerah tersebut semakin kecil dan begitupula sebaliknya. Hal ini dikarenakan nilai gayaberat berbanding terbalik dengan jarak.

#### 4.1.7. Koreksi Medan

Salah satu faktor penting dalam pengolahan data gayaberat adalah penggunaan koreksi medan. Hal ini dikarenakan topografi atas permukaan bumi yang sangat beragam akibat adanya bukit dan lembah. Terdapatnya lembah dan bukit akan mengurangi nilai gayaberat di titik pengamatan yang diakibatkan karena pengaruh massa lembah dan bukit. Lembah dan bukit di

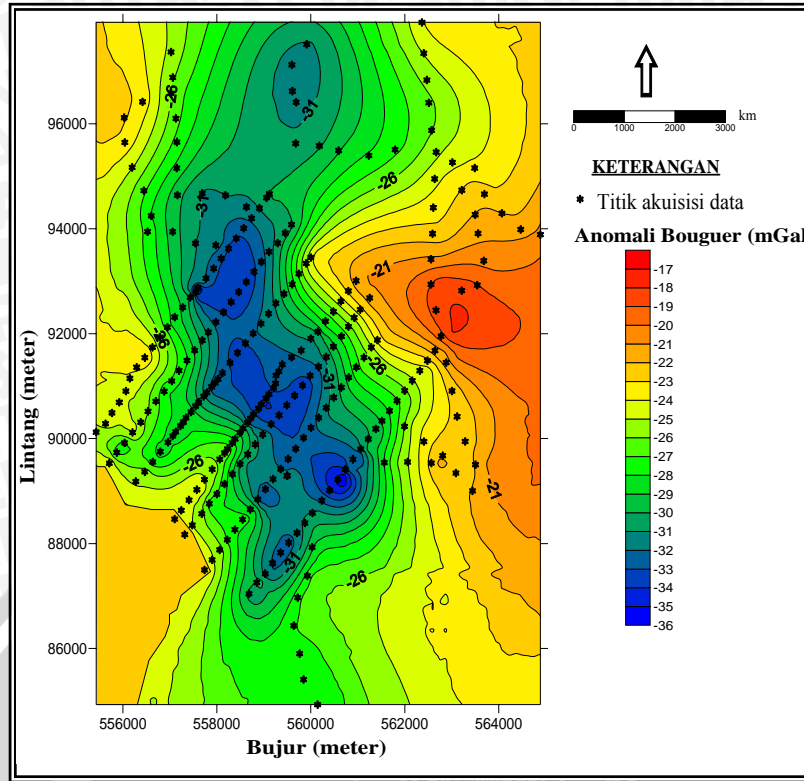
sekitar titik pengamatan menimbulkan efek yang mengurangi besar nilai gayaberat sebenarnya di titik pengamatan, sehingga koreksi medan yang diperhitungkan selalu berharga positif. Dalam penelitian ini, nilai koreksi medan dilakukan dengan cara pendekatan metode *hammert chart*.

#### 4.1.8. Penentuan Densitas Batuan dan Koreksi Bouguer

Anomali yang dihasilkan setelah dilakukan koreksi Bouguer terhadap anomali udara bebas disebut anomali Bouguer. Sebelum dilakukan proses perhitungan anomali Bouguer, maka harus ditentukan harga densitas Bouguernya. Rapat massa Bouguer yang diperoleh untuk perhitungan anomali Bouguer merupakan rapat massa rata-rata untuk seluruh massa. Pada penelitian ini digunakan metode Parasnis dengan pertimbangan bahwa metode ini mudah dan cepat dalam menentukan nilai densitas. Nilai koreksi Bouguer didapat dari plot grafik regresi, dimana sumbu Y merupakan nilai dari ( $\Delta g_{obs} + 0,3086h$ ) sedangkan sumbu X merupakan nilai dari ( $0,04193h$ ) yang menghasilkan persamaan  $y = 2,670x + 54,0$ . Sehingga didapat nilai densitas Bouguer di daerah penelitian sebesar  $2,67 \text{ gr/cm}^3$ .

#### 4.1.9. Nilai Anomali Bouguer

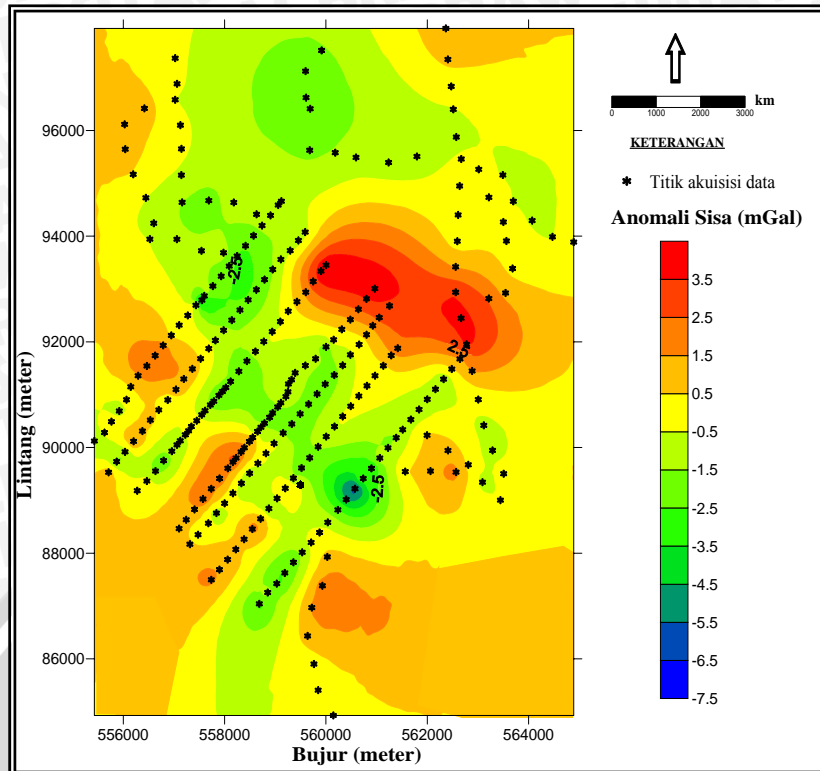
Anomali Bouguer merupakan nilai anomali gayaberat di suatu titik pengamatan yang dapat memperkirakan gambaran kondisi bawah permukaan berdasarkan kontras rapat massa batuan. Dalam perhitungannya, nilai anomali Bouguer dipengaruhi oleh nilai gayaberat observasi, nilai gayaberat normal, koreksi udara bebas, koreksi terrain dan koreksi Bouguer. Kemudian nilai anomali Bouguer dipetakan kedalam kontur dengan program Surfer 8 dengan data masukan berupa nilai lintang, bujur dan anomali Bouguer dari setiap titik pengamatan. Hasil tampilan dari kontur anomali Bouguer ditunjukkan pada gambar 4.2.



Gambar 4.2 Kontur anomali Bouguer (interval 1 mGal).

#### 4.1.10. Pemisahan Anomali Regional dan Anomali Sisa

Anomali Bouguer merupakan gabungan antara anomali regional dan anomali sisa. Interpretasi dilakukan terhadap anomali sisa sehingga anomali sisa harus dipisahkan dari anomali regional. Anomali sisa menunjukkan adanya sebuah struktur yang lebih dangkal, misalnya patahan. Proses pemisahan anomali sisa dalam penelitian ini dilakukan dengan menggunakan program Surfer8 dengan data masukan berupa nilai lintang, bujur dan anomali sisa dari setiap titik pengamatan. Hasil tampilan dari kontur anomali sisa ditunjukkan pada gambar 4.3.



Gambar 4.3 Kontur anomali sisa (Interval 1 mGal).

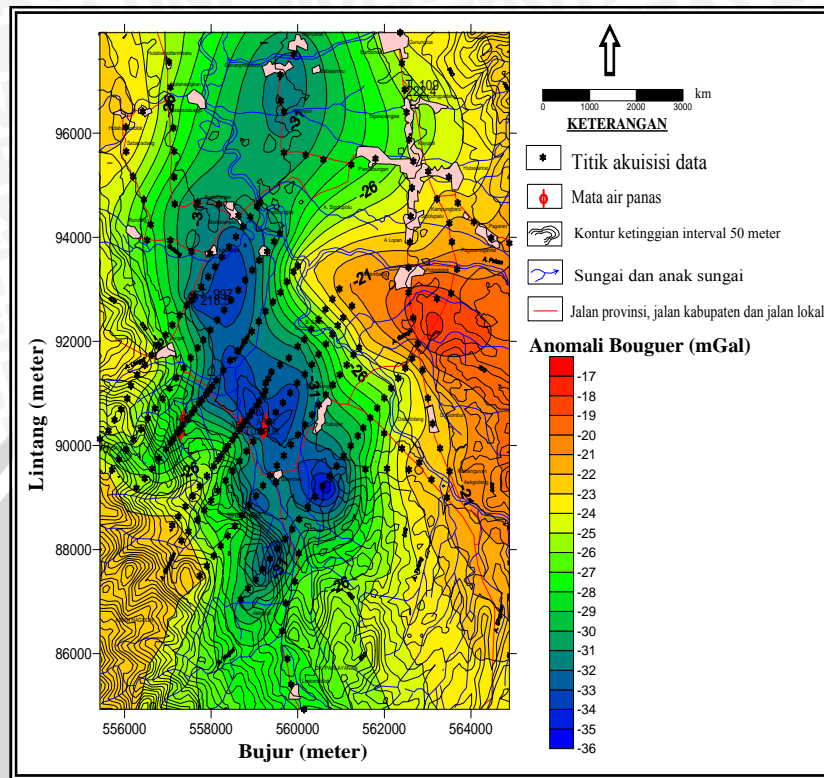
## 4.2. Interpretasi Data

Anomali Bouguer digunakan untuk memperkirakan struktur geologi bawah permukaan di daerah penelitian. Anomali Bouguer merupakan superposisi dari anomali-anomali yang ditimbulkan oleh struktur geologi dalam dan dangkal bawah permukaan. Anomali regional dapat memberikan gambaran tentang struktur bawah permukaan yang bersifat halus dan biasanya disebabkan oleh batuan yang dalam. Anomali sisa dapat memberikan informasi tentang struktur bawah permukaan yang bersifat kasar dan disebabkan oleh batuan yang dangkal.

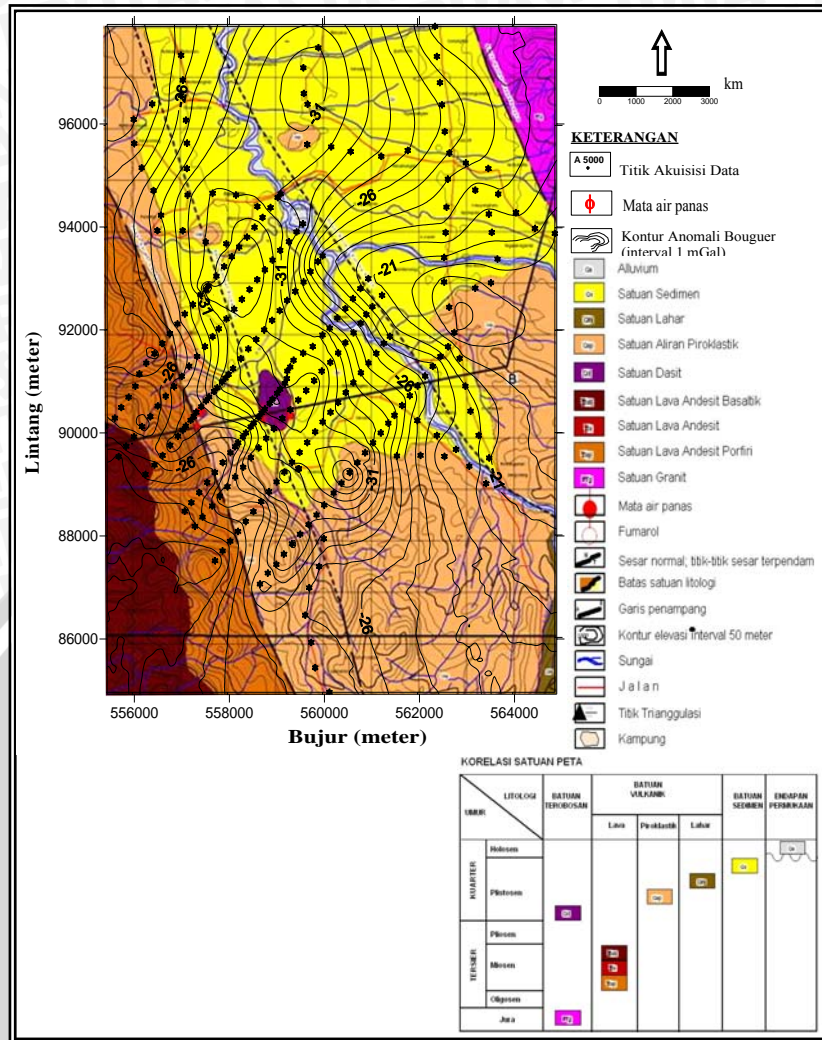
### 4.2.1. Interpretasi Kualitatif Anomali Bouguer dan Anomali Sisa

Interpretasi kualitatif dilakukan dengan cara membaca pola anomali gayaberat yang kemudian dihubungkan dengan peta geologi daerah panasbumi Sampuraga sehingga dapat memberikan gambaran struktur

geologi bawah permukaan daerah penelitian. Gambaran umum yang dihasilkan dari pengindikasian ini hanya berupa bentuk-bentuk struktur geologi tertentu dan belum menyangkut ukuran atau besaran geologi.



Gambar 4.4 Kontur ketinggian yang dikorelasikan dengan kontur anomali Bouguer (interval 1 mGal).



Gambar 4.5 Peta geologi yang dikorelasi dengan kontur anomali Bouguer.

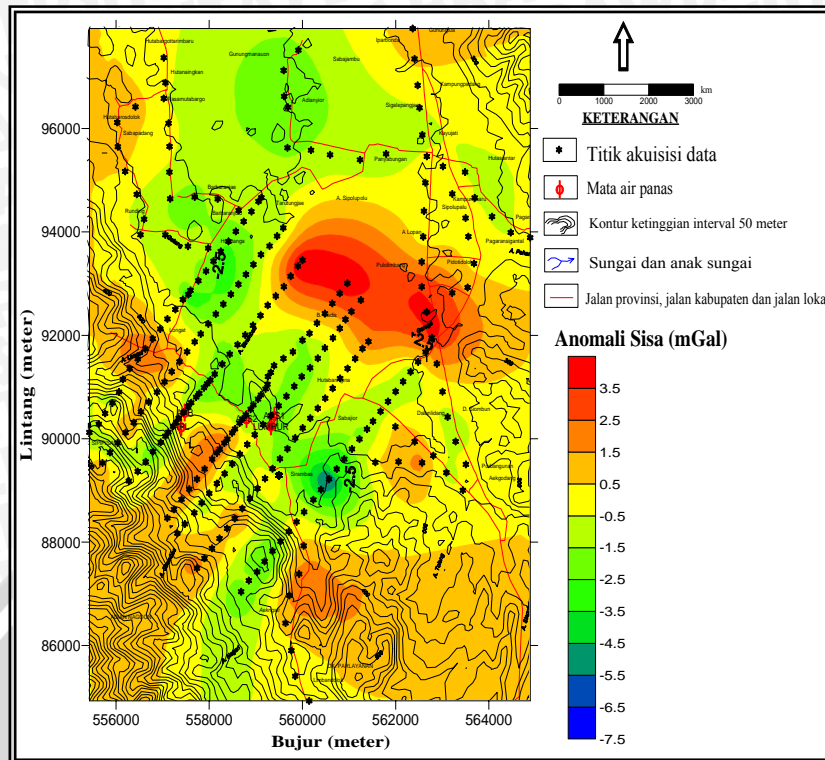
Dari gambar 4.4, terlihat sebaran anomali Bouguer di daerah penelitian yang berkisar antara -36 mGal sampai -17 mGal. Kontur anomali Bouguer memperlihatkan adanya arah kelurusan barat laut sampai tenggara. Kelurusan yang diperlihatkan dari hasil sebaran anomali Bouguer merupakan kelurusan yang cukup panjang dan diperkirakan memotong daerah manifestasi panas bumi Sampuraga. Adanya kelurusan ini juga menimbulkan adanya struktur graben dengan arah yang sejurus dengan



kelurusan. Kontur memanjang membentuk pola cekungan yang nilainya berkisar antara -36 mGal sampai -32 mGal yang kemungkinan besar merupakan indikasi dari adanya struktur graben. Garis-garis kontur dengan kerapatan tinggi berada di bagian baratdaya yang menggambarkan kontras rapat massa batuan yang relatif tinggi. Hal ini diakibatkan adanya sesar di daerah tersebut, sedangkan garis kontur yang renggang berada di bagian utara yang menggambarkan kontras rapat massa batuan yang relatif kecil akibat adanya perlapisan batuan dengan kemiringan yang landai.

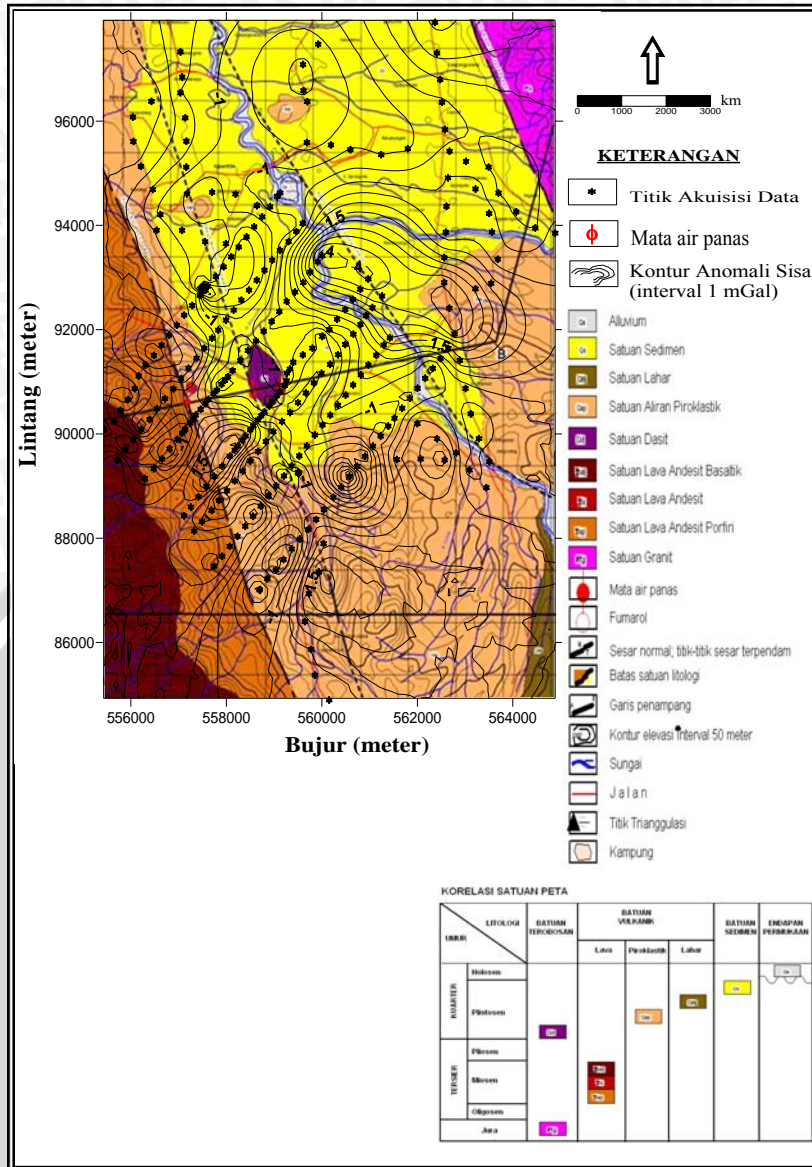
Pada gambar kontur anomali Bouguer yang dikorelasikan dengan peta geologi daerah panasbumi Sampuraga (Gambar 4.5), terlihat bahwa kelurusan pola anomali Bouguer searah dengan struktur sesar yang melintasi daerah tersebut. Pola anomali Bouguer rendah dapat diindikasikan karena adanya batuan yang mengisi zona depresi atau zona lemah dengan nilai kontras densitas yang lebih rendah jika dibandingkan dengan nilai densitas batuan sekitarnya. Batuan yang sudah mengalami alterasi akibat *hydrothermal* di daerah tersebut dapat dijadikan sebagai jalan keluar bagi fluida-fluida panasbumi ke permukaan. Dari data geologi, tempat kemunculan manifestasi panasbumi yang berupa mata air panas disebabkan oleh adanya terobosan dari batuan dasit. Batuan dasit merupakan batuan terobosan yang mengalami alterasi atau terubahkan oleh panasbumi. Kemunculan batuan terobosan ini ke permukaan merupakan indikasi awal bahwa batuan penyusun bawah permukaan pada daerah tersebut sudah mengalami perubahan permeabilitas.





Gambar 4.6 Kontur ketinggian yang dikorelasikan dengan kontur anomali sisa (interval 1 mGal).

Dari gambar 4.6, terlihat sebaran anomali sisa di daerah penelitian yang berkisar antara -35 mGal sampai -7,5 mGal. Arah penyebaran anomali sisa searah dengan kelurusan anomali Bouguer dan struktur sesar. Nilai anomali sisa sangat kecil karena besar nilainya merupakan efek dari fenomena geologi permukaan. Pada gambar terlihat pola kontur melingkar di bagian tengah yang berarah baratlaut sampai tenggara dengan nilai anomali mulai -5,5 mGal sampai -2,5 mGal. Pola kontur melingkar dengan pola cembung dengan nilai anomali tinggi berkisar antara 0,5 mGal sampai 3,5 mGal di bagian pinggir yang berarah baratlaut sampai tenggara yang berada di daerah perbukitan berlereng terjal sampai perbukitan bergelombang.



Gambar 4.7 Peta geologi yang dikorelasi dengan kontur anomali sisa.

Dari kontur anomali sisa, terlihat kontras densitas yang cukup besar yang disebabkan adanya batuan yang sudah teralterasi oleh panas bumi. Anomali sisa positif dapat disebabkan oleh adanya intrusi batuan andesit

dan diperkirakan merupakan sumber panas (*heat source*) dari sistem panasbumi Sampuraga. Sedangkan anomali sisa negatif mengindikasikan bahwa batuan dasit di daerah tersebut telah teralterasi oleh sistem panasbumi di daerah penelitian. Anomali sisa menggambarkan struktur dangkal akibat bentuk atas permukaan yang berhubungan dengan geologi daerah penelitian. Dari gambar 4.7 menunjukkan bahwa batuan terobosan yang berupa batuan dasit terlihat pada lokasi-lokasi yang berpola anomali cembung.

#### 4.2.2. Interpretasi Kuantitatif Anomali Bouguer dan Anomali Sisa

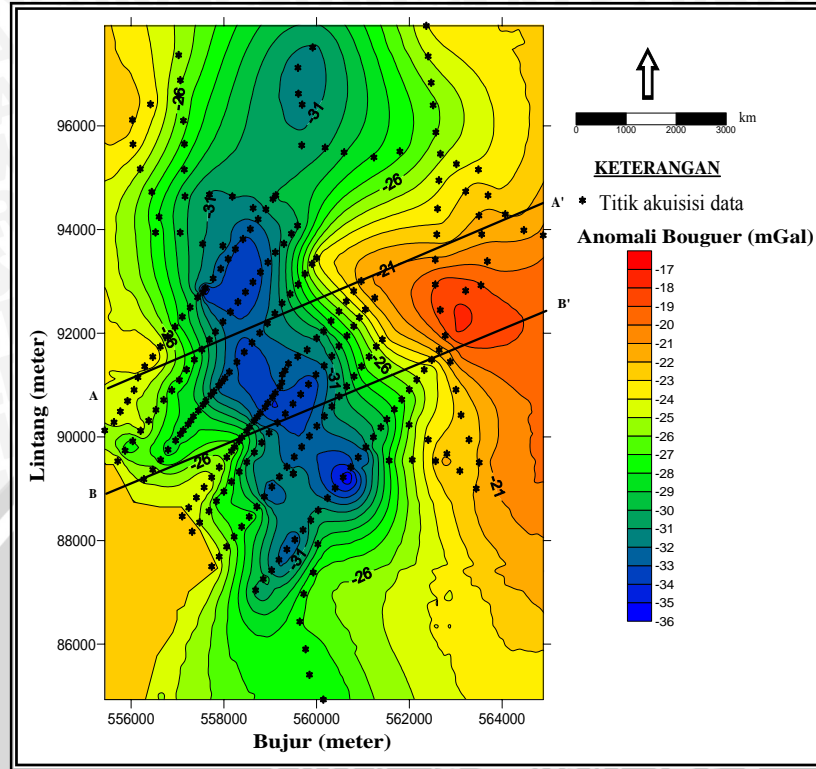
Pembuatan pemodelan struktur bawah permukaan dilakukan dengan menggunakan program GRAV2DC yang dibuat oleh G.R.J. Cooper. Interpretasi kuantitatif dilakukan dengan cara menganalisa penampang pola anomali Bouguer dan anomali sisa sepanjang suatu lintasan tertentu yang telah ditentukan. Dalam penelitian ini, penulis meneliti dua penampang anomali yaitu penampang AA' dan BB'. Data masukan program GRAV2DC berupa nilai jarak lintasan (meter) dan nilai anomali pengamatan. Bentuk model tersebut tergambar sebagai anomali pengamatan, sedangkan penampang hasil pemodelan geologi digambarkan sebagai anomali perhitungan. Prinsip kerja dari program GRAV2DC adalah menyamakan bentuk dari anomali pengamatan (yang berupa garis putus-putus) dengan anomali perhitungan (yang berupa garis tegas).

Interpretasi kuantitatif dilakukan berdasarkan hasil penafsiran kualitatif sehingga dapat menentukan bagian-bagian penampang anomali yang menarik untuk diperkirakan struktur geologi bawah permukaannya. Namun dalam interpretasi kuantitatif terdapat ambiguitas karena beragam model dapat dihasilkan karena adanya parameter rapat massa, geometri dan kedalaman yang tidak pasti. Sehingga diperlukan data pendukung berupa data geologi daerah penelitian, data bor, data rapat massa batuan dan data geofisika lainnya.

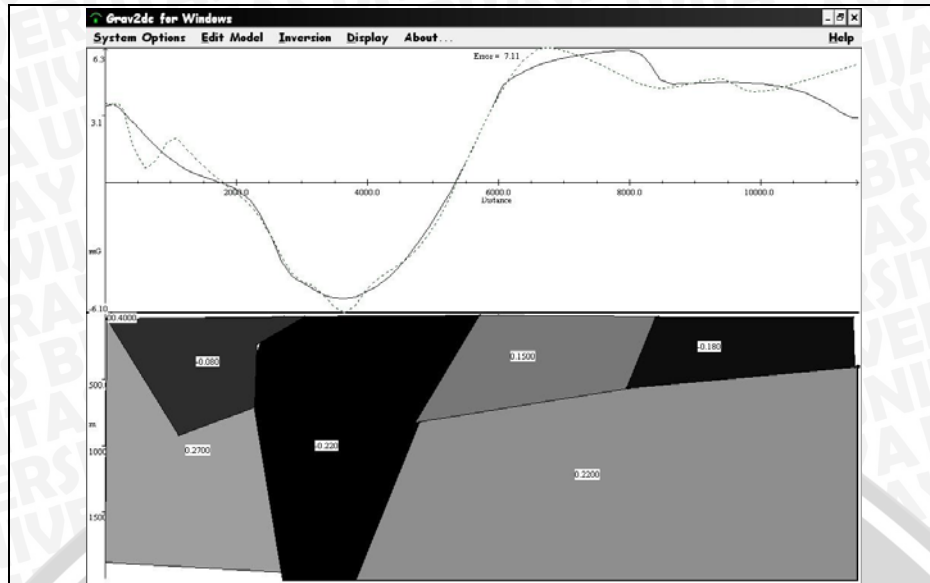
##### 4.2.2.1. Interpretasi Kuantitatif Penampang Melintang Anomali Bouguer AA' dan BB'

Penampang melintang anomali Bouguer lintasan AA' dan BB' diambil berdasarkan hasil penafsiran kualitatif pola kontur anomali Bouguer, dimana pada penampang AA' memotong beberapa tinggian dan rendahan anomali dengan nilai terendah yaitu -33,79 mGal dan nilai tertinggi yaitu -21,45 mGal. Sedangkan pada penampang BB' nilai anomali terendah yaitu -34,04 mGal dan nilai anomali tertinggi yaitu -18,14 mGal.

Lokasi penampang anomali Bouguer AA' dan BB' dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 4.8 Anomali Bouguer dengan model dua lintasan.



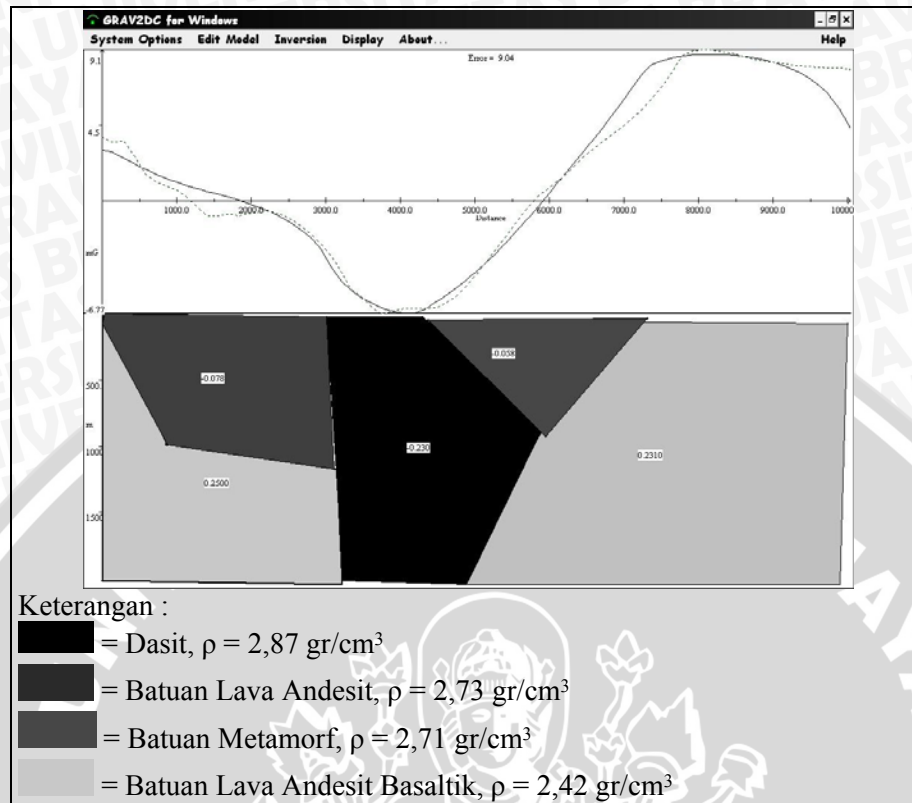
Keterangan :

- = Dasit,  $\rho = 2,87 \text{ gr/cm}^3$
- = Batuan Lava Andesit,  $\rho = 2,73 \text{ gr/cm}^3$
- = Batuan Metamorf,  $\rho = 2,71 \text{ gr/cm}^3$
- = Batuan Lava Andesit Basaltik,  $\rho = 2,42 \text{ gr/cm}^3$

Gambar 4.9 Model penampang melintang anomali Bouguer AA'.

Penampang melintang anomali Bouguer lintasan AA' memperlihatkan bentuk model berupa pola tinggian dan rendahan. Dimana pada sumbu Y positif merupakan nilai anomali pengamatan (dalam mGal), sumbu Y negatif merupakan kedalaman (yang mencapai 2000m) sedangkan sumbu X merupakan nilai jarak lintasan (dalam meter). Pola rendahan membentang sepanjang 2 km sampai 5 km ke arah timurlaut sedangkan pola anomali tinggian membentang dari jarak 6 km sampai 12 km ke arah timurlaut. Pola rendahan ini bisa disebabkan oleh adanya intrusi batuan dasit yang menerobos kerak granitik sampai lapisan vulkanik. Selain itu pada jarak 2 km sampai 5 km ke arah timurlaut juga bisa diindikasikan sebagai gambaran dari bentukan struktur graben. Hal ini akibat dari adanya rekahan batuan akibat alterasi oleh panasbumi. Adanya struktur graben di daerah tersebut menyebabkan nilai anomali rendah. Semakin ke arah timur

laut diindikasikan adanya sesar-sesar naik yang terlihat dengan nilai anomali Bouguer yang semakin meningkat.

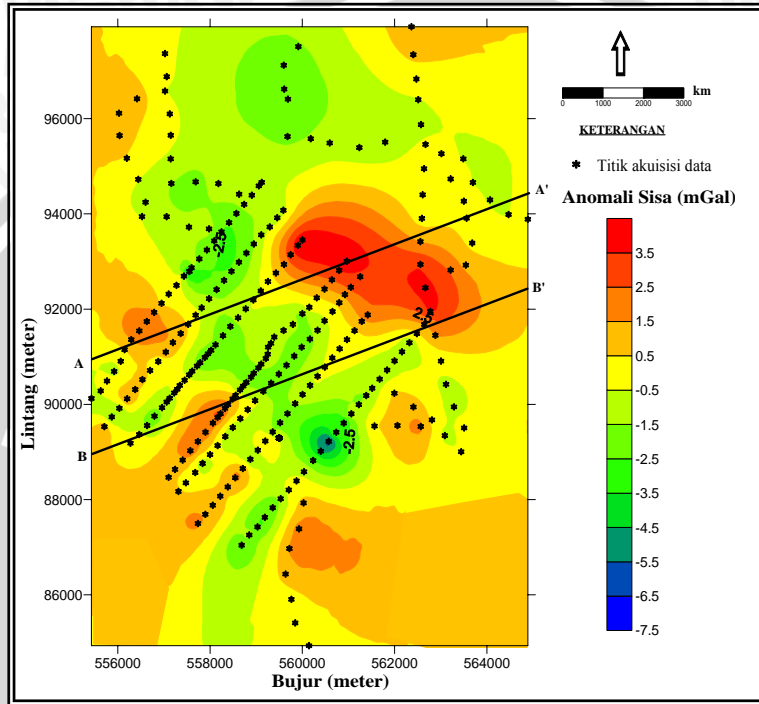


Gambar 4.10 Model penampang melintang anomali Bouguer BB'.

Pada penampang melintang anomali Bouguer lintasan BB', juga memperlihatkan adanya pola tinggian dan rendahan. Pola rendahan membentang dari jarak 3 km sampai 6 km ke arah timurlaut sedangkan pola tinggian terlihat dari jarak 6 km sampai 12 km ke arah timurlaut. Bentuk pola yang turun bisa diindikasikan karena adanya intrusi batuan dasit yang menerobos lapisan batuan vulkanik. Pada anomali dengan pola rendahan bisa diindikasikan sebagai bentuk akibat adanya struktur graben pada bawah permukaan. Semakin ke arah timur laut diindikasikan adanya sesar-sesar naik yang terlihat dengan nilai anomali Bouguer yang semakin meningkat.

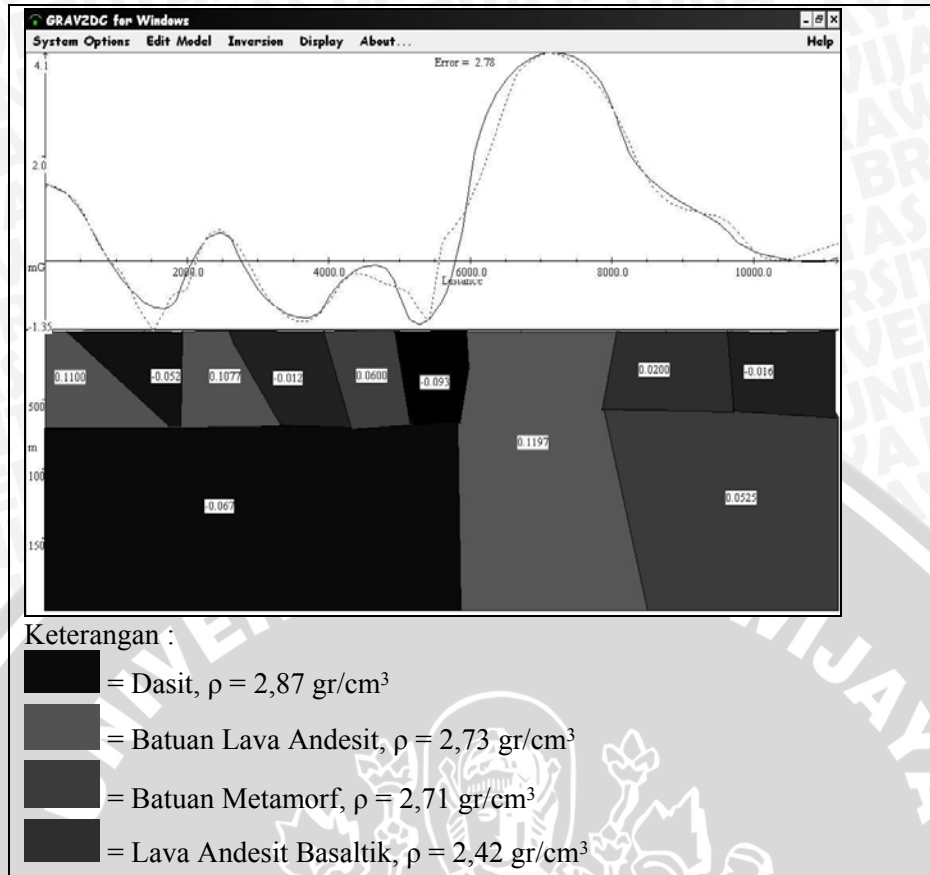
#### 4.2.2.2. Interpretasi Kuantitatif Penampang Melintang Anomali Sisa AA' dan BB'

Penampang melintang anomali sisa AA' dan BB' diambil berdasarkan hasil penafsiran kualitatif pola kontur anomali sisa. Pada penampang melintang AA' memotong beberapa tinggian dan rendahan anomali dengan nilai tertinggi yaitu 3,4286 mGal dan yang terendah yaitu -0,0521 mGal. Sedangkan pada penampang melintang BB' nilai anomali tertinggi yaitu 3,3186 mGal dan nilai anomali terendah yaitu -0,0601 mGal. Lokasi penampang anomali sisa AA' dan BB' dapat dilihat pada gambar berikut:



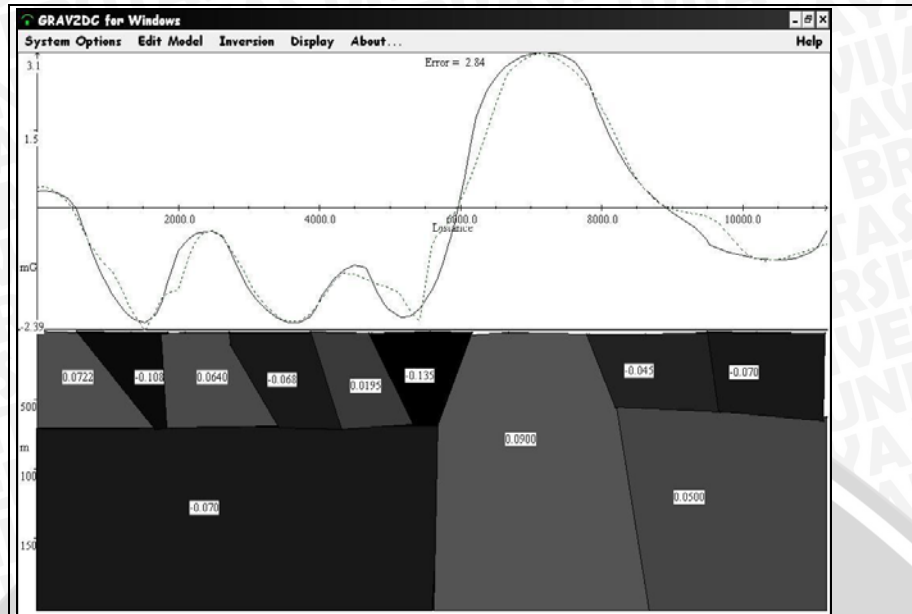
Gambar 4.11 Anomali sisa dengan model dua lintasan.





Gambar 4.12 Model penampang melintang anomali sisa AA'.

Pada penampang melintang anomali sisa AA' terlihat adanya hubungan yang signifikan dengan anomali Bouguer. Pola yang tergambar lebih mencerminkan struktur geologi permukaan sehingga data geologi permukaan dapat dijadikan data acuan untuk penafsiran pola anomali sisa. Pola rendahan terlihat pada jarak 1 km sampai 2 km dan jarak 3 sampai 5,5 km. Anomali rendah ini dapat disebabkan oleh adanya batuan intrusi dasit seperti yang terlihat pada peta geologi. Sedangkan pada jarak 6 km sampai 10 km terdapat pola tinggian anomali sisa yang mengindikasikan adanya suatu patahan yang dipengaruhi oleh batuan yang sudah mengalami alterasi dari panasbumi di daerah tersebut.



Keterangan :

- = Dasit,  $\rho = 2,87 \text{ gr/cm}^3$
- = Batu LAVA Andesit,  $\rho = 2,73 \text{ gr/cm}^3$
- = Batu Metamorf,  $\rho = 2,71 \text{ gr/cm}^3$
- = Lava Andesit Basaltik,  $\rho = 2,42 \text{ gr/cm}^3$

Gambar 4.13 Model penampang melintang anomali sisa BB'.

Pada penampang melintang anomali sisa BB' terlihat adanya hubungan yang sama dengan penampang melintang anomali Bouguer. Pola yang tergambar lebih mencerminkan struktur geologi permukaan sehingga data geologi permukaan dapat dijadikan data acuan untuk penafsiran pola anomali sisa. Pola anomali sisa rendah berada pada jarak 0,5 km sampai 6 km yang dikarenakan adanya batuan intrusi dasit seperti yang terlihat pada peta geologi. Pola anomali sisa tinggi berada pada jarak 6 km sampai 9 km yang mengindikasikan adanya patahan di daerah tersebut.

Dari pemodelan anomali sisa maka dapat diperkirakan bentuk struktur yang diindikasikan sebagai jalan keluar dari manifestasi panasbumi di daerah Sampuraga. Berdasarkan bentuk pemodelan dari penampang melintang anomali sisa AA' dan BB', tampak perbedaan densitas pada

daerah zona depresi dengan daerah sekitar. Perbedaan densitas dapat diindikasikan karena perbedaan batuan penyusunnya. Akibat alterasi panasbumi maka batuan yang diindikasikan sebagai jalan keluar dari manifestasi panasbumi adalah batuan dasit. Dari segi geomorfologi pada daerah panasbumi Sampuraga terdapat gunung api tidak aktif yang menjadi sumber panasbumi.

#### 4.2.3. Potensi Sumber Daya Panasbumi

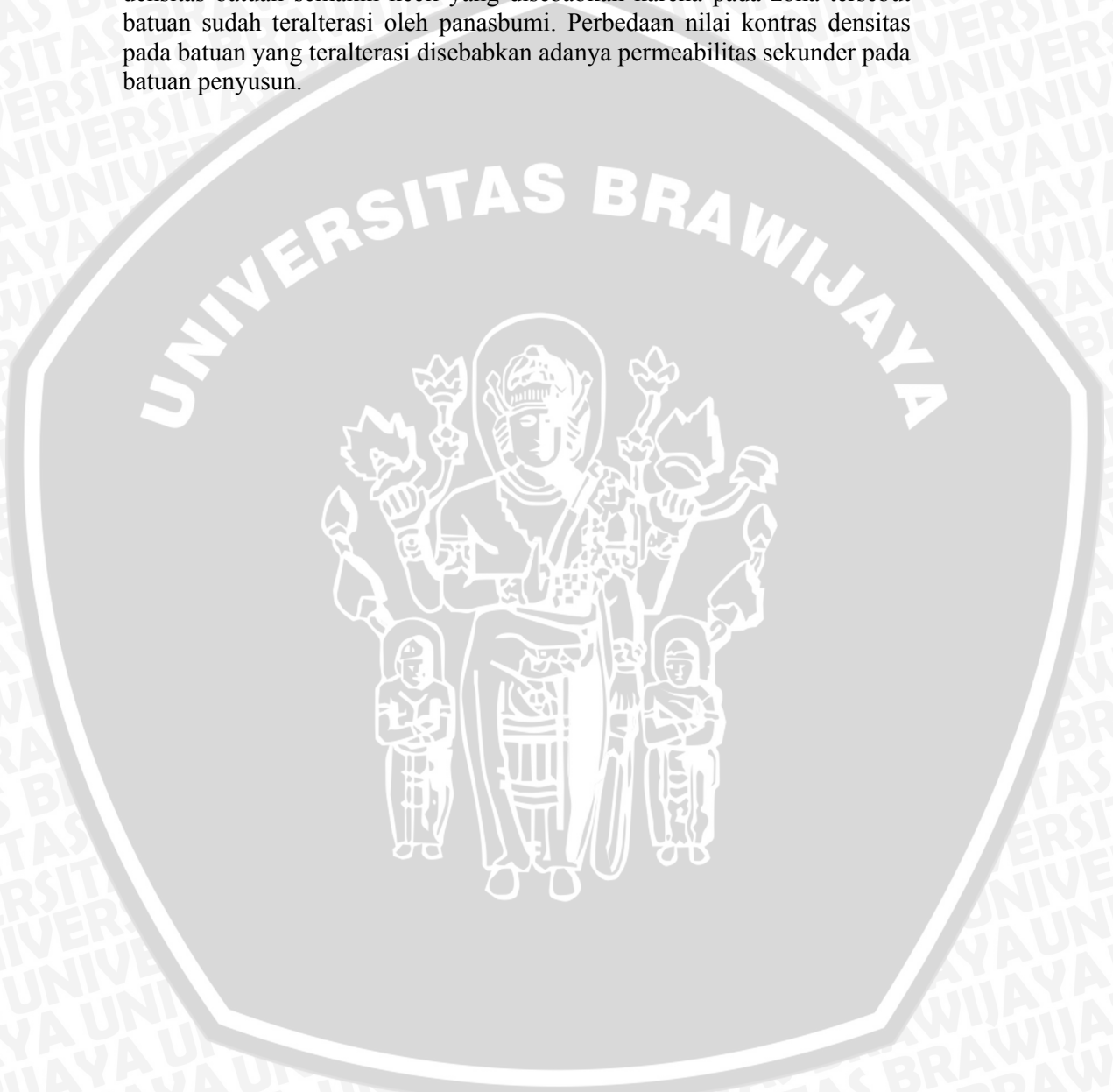
Penarikan penampang anomali sisa AA' dan BB' mengacu pada penampang anomali Bouguer AA' dan BB', sehingga bagian wilayah yang terpotong oleh penampang berada pada selang koordinat yang sama. Terdapat beberapa hubungan antara pola anomali Bouguer dan pola anomali sisa pada kedua lintasan tersebut. Pada arah barat laut sampai tenggara terlihat pola anomali rendah yang dapat diindikasikan terjadi akibat adanya batuan terobosan batuan dasit pada daerah sekitar daerah panasbumi Sampuraga. Berdasarkan interpretasi terhadap pemodelan yang dihasilkan, dapat dilihat adanya korelasi antara model anomali gayaberat dengan peta geologi daerah panasbumi Sampuraga.

Pada geologi Lembar Sampuraga diketahui bahwa daerah ini memiliki potensi *geothermal* yang belum dieksploitasi yaitu di sekitar daerah Sampuraga yang melebar ke sebelah barat dan tenggara desa Sirambas pada koordinat 558734 (meter) BT dan 90384 (meter) LU. Sehingga diindikasikan bahwa batuan yang menjadi sumber panas di daerah Sampuraga adalah intrusi andesit yang menerobos kerak granitik hingga lapisan batuan vulkanik melalui rekahan-rekahan batuan. Sehingga menyebabkan adanya rekahan-rekahan yang dijadikan jalan keluar dari fluida panasbumi.

Di daerah gunungapi yang terdapat potensi *geothermal* banyak terdapat sesar akibat aktivitas tektonik. Sesar-sesar tersebut akan mengakibatkan zona rekahan sehingga air hujan akan menerobos masuk melalui rongga-rongga rekahan dan menuju lapisan yang lebih dalam sampai akhirnya bertemu dengan batuan panas. Air yang terakumulasi pada batuan panas tersebut lama kelamaan akan semakin panas kemudian sebagian berubah menjadi uap panas. Akibat perbedaan tekanan antara permukaan bumi dengan bawah permukaan, maka air maupun uap panas akan berusaha mencari jalan keluar menuju permukaan bumi. Air atau uap panas yang muncul ke permukaan bumi tersebut dapat berupa uap panas, mata air panas maupun lumpur panas. Hal tersebut merupakan tanda-tanda adanya batuan terobosan yang memanaskan batuan reservoir dan

merupakan potensi *geothermal* yang dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi.

Adanya batuan intrusi masih memungkinkan untuk menyimpan panas dari dapur magma. Lokasi manifestasi yang berada pada zona hancuran menyebabkan timbulnya zona depresi atau zona lemah yang arahnya sejurus dengan kelurusan. Zona lemah menimbulkan adanya graben yang bisa diindikasikan sebagai jalan keluar dari fluida *geothermal*. Graben merupakan struktur yang wajar sebagai tempat terjadinya terobosan magma ke permukaan dan membentuk sistem panasbumi. Pada zona depresi, nilai densitas batuan semakin kecil yang disebabkan karena pada zona tersebut batuan sudah teralterasi oleh panasbumi. Perbedaan nilai kontras densitas pada batuan yang teralterasi disebabkan adanya permeabilitas sekunder pada batuan penyusun.



## BAB V PENUTUP

### 5.1. Kesimpulan

Berdasarkan pengolahan data dengan menggunakan metode gayaberat di daerah panasbumi Sampuraga, Kabupaten Mandailing Natal, Sumatera Utara dapat disimpulkan bahwa :

1. Arah penyebaran anomali Bouguer memperlihatkan adanya pola kelurusan dengan arah sesar utama di daerah tersebut pada arah baratlaut sampai tenggara. Nilai anomali Bouguer di daerah panasbumi Sampuraga berkisar antara -17 sampai -36 mgal sedangkan nilai anomali sisa berkisar antara 3,5 sampai -7,5 mGal.
2. Nilai anomali Bouguer yang berkisar antara -36 mGal sampai -32 mGal menggambarkan kontras rapat massa batuan yang rendah karena terdapat zona lemah pada struktur graben. Sedangkan nilai anomali Bouguer yang berkisar antara -17 mGal sampai -21 mGal menggambarkan kontras rapat massa batuan yang relatif tinggi. Anomali sisa positif yang berkisar antara 3,5 mGal sampai 1,5 mGal diperkirakan karena adanya intrusi batuan andesit dan diperkirakan sebagai sumber panas (*heat source*) dari sistem panasbumi Sampuraga. Sedangkan anomali sisa negatif yang berkisar antara -2,5 mGal sampai -4,5 mGal diperkirakan bahwa batuan dasit di daerah tersebut telah teralterasi oleh sistem panasbumi di daerah penelitian.

### 5.2. Saran

Untuk mendapatkan hasil interpretasi data yang lebih baik maka disarankan untuk membandingkan dengan metode geofisika yang lain seperti penggunaan metode magnetik dan metode geolistrik sehingga dapat diketahui lebih detail tentang penggambaran *volcanic-geothermal* pada daerah Sampuraga, Kabupaten Mandailing Natal, Sumatera Utara.

(halaman ini sengaja dikosongkan)

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



## DAFTAR PUSTAKA

- Anonymous, [www.e-dukasi.net](http://www.e-dukasi.net), Tanggal akses: 25 Februari 2009.
- \_\_\_\_\_, [www.taman.blogsome.com](http://www.taman.blogsome.com), Tanggal akses: 25 Februari 2009.
- Blakely, R.J., 1995, *Potential Theory in Gravity and Magnetic Application*, Cambridge University Press. USA.
- Grant, F.S., West, 1965, *Interpretation Theory in Applied Geophysics*, McGraw Hill, New York.
- Hadipandoyo, Sasongko, 2004, *In – House Training Gravity*, Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral Pusdiklat Migas Cepu, Blora.
- Kadir, WGA, 1999, *Survei Gravitasi 4D dan Dinamika Sumber Bawah Permukaan* : Proceeding Himpunan Ahli Geofisika Indonesia, 94-99.
- Kastowo, Geohard W. Leo, Soetoyo, Rock N.M.S, 1996, *Peta Geologi Lembar Mandailing Natal, Sumatera Utara*, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.
- Kirbani, SB. 2001, *Paduan Workshop Eksplorasi Geofisika (Teori dan Aplikasi)*, Laboratorium Geofisika Fakultas MIPA UGM, Yogyakarta.
- Kearey, P. and M. Brooks, 1984, *An Introduction to Geophysical Exploration*, Blackwell Scientific Publications, Dorking.
- Longman I.M., 1969, *Formula for Computing the Tidal Accelerations Due to the Moon and Sun*, Journal Geophysics Research, Vol.64, 2351-2355
- Moh, Untung, 2001, *Dasar-Dasar Magnet dan Gaya Berat Beserta Penerapannya*, Himpunan Ahli Geofisika Indonesia
- Nettleton, L.L., 1976, *Gravity and Magnetic in Oil Prospecting*. McGraw Hill, New York.
- Parasnis, D.S, 1986, *Principles of Applied Geophysics. 4<sup>th</sup> edition*, Chapman and Hall Ltd, London.
- Suyanto, Imam dan S.B. Kirbani, 1999, *Pembuatan Titik Ikat Baru dan Uji Kalibrasi Jalur Bandung - Tangkuban Perahu*, Pertemuan Ilmiah HAGI 1999, Surabaya.
- Soetoyo, 1996, *Hubungan Struktur Sesar Dengan Terbentuknya Endapan Aliran Piroklastik Di Daerah Panas Bumi Sampuraga, Mandailing Natal – Sumatera Utara*, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.
- Schon, J.H, 1995, *Seismic Exploratin, Physical Properties of Rock : Funsamental Theory and Priciple of Petrophysics*, Pergamon.

Skeels,D.C, 1947, *Ambiguity in Gravity Interpretation. Geophysics.*  
V.13:43-56.

Untoro, Yudistira, T, 2005, *Petunjuk Praktikum Gravitasi dan Geomaget,*  
Laboratorium Geofisika Terapan, ITB

Untung, M. dan Y.Sato, 1978, *Gravity and Geological Study in Java*  
*Indonesia,* Geological Survey of Indonesia.





**Lampiran I****Contoh Pemrosesan Data Gayaberat Daerah Panasbumi Sampuraga,  
Kabupaten Mandailing Natal, Sumatera Utara****Lintasan Pengukuran : 1****Tanggal Pengukuran : 17 Juli 2007**

| Stasiun | Jam   | Reading | Konversi  | Koreksi |
|---------|-------|---------|-----------|---------|
|         |       |         | (mGal)    | Tidal   |
| BASE    | 8:21  | 2755,25 | 2786,6091 | -0,0416 |
| E-4000  | 9:04  | 2756,43 | 2787,8034 | -0,0441 |
| E-4250  | 9:16  | 2757,15 | 2788,5321 | -0,0445 |
| E-4500  | 9:52  | 2757,99 | 2789,3823 | -0,0462 |
| E-4750  | 10:12 | 2758,84 | 2790,2426 | -0,0474 |
| E-5000  | 10:26 | 2760,29 | 2791,7101 | -0,0484 |
| E-5250  | 10:40 | 2761,44 | 2792,874  | -0,0494 |
| E-5500  | 10:53 | 2763,6  | 2795,0602 | -0,0505 |
| E-5750  | 11:06 | 2765,72 | 2797,2059 | -0,0516 |
| E-6000  | 11:19 | 2767,03 | 2798,5317 | -0,0528 |
| E-6250  | 11:51 | 2768,88 | 2800,4041 | -0,0558 |
| E-6500  | 12:08 | 2770,04 | 2801,5782 | -0,0576 |
| E-6750  | 12:55 | 2771,74 | 2803,2988 | -0,0625 |
| E-7000  | 13:13 | 2772,04 | 2803,6024 | -0,0645 |
| BASE    | 15:00 | 2755,2  | 2786,5585 | -0,075  |

| G.Observasi | X           | Y          | G Normal    |
|-------------|-------------|------------|-------------|
|             | meter       | meter      | (mGal)      |
| 977953,3100 | 559496      | 89292      | 978032,8723 |
| 977954,5108 | 559325      | 90446      | 978032,8989 |
| 977955,2416 | 559490,0716 | 90636,1018 | 978032,9034 |
| 977956,0977 | 559656,5674 | 90821,4068 | 978032,9077 |
| 977956,9610 | 559824,683  | 91013,7289 | 978032,9122 |

|             |             |            |             |
|-------------|-------------|------------|-------------|
| 977958,4305 | 559984,7884 | 91200,2741 | 978032,9166 |
| 977959,5963 | 560163,8776 | 91371,3999 | 978032,9206 |
| 977961,7842 | 560329,473  | 91555,561  | 978032,9249 |
| 977963,9315 | 560481,8939 | 91754,7845 | 978032,9296 |
| 977965,2588 | 560654,0739 | 91949,537  | 978032,9342 |
| 977967,1350 | 560800,8388 | 92134,7311 | 978032,9386 |
| 977968,3108 | 560923,3627 | 92305,9125 | 978032,9427 |
| 977970,0364 | 561051,5203 | 92459,134  | 978032,9463 |
| 977970,3418 | 561253,6054 | 92680,4618 | 978032,9516 |
| 977953,3100 | 559496      | 89292      | 978032,8723 |

| <b>Tinggi<br/>meter</b> | <b>Koreksi<br/>F A</b> | <b>Koreksi<br/>Bouguer</b> | <b>Anomali<br/>Bouguer</b> | <b>Anomali<br/>Sisa</b> |
|-------------------------|------------------------|----------------------------|----------------------------|-------------------------|
| 233,711                 | 72,1232                | 26,1646                    | -31,1922                   | -0,5617                 |
| 216,42                  | 66,7872                | 24,2288                    | -33,8931                   | -1,0328                 |
| 213,4391                | 65,8673                | 23,8951                    | -34,0163                   | -2,1606                 |
| 211,5116                | 65,2724                | 23,6793                    | -33,7234                   | -0,1325                 |
| 210,1084                | 64,8394                | 23,5222                    | -33,3002                   | -2,1263                 |
| 207,4481                | 64,0184                | 23,2244                    | -32,5002                   | -2,0476                 |
| 207,8649                | 64,1471                | 23,2711                    | -31,3050                   | -1,7833                 |
| 205,2102                | 63,3278                | 22,9739                    | -29,8131                   | -1,2045                 |
| 201,6223                | 62,2206                | 22,5722                    | -28,4252                   | -0,6733                 |
| 203,0352                | 62,6566                | 22,7304                    | -26,8751                   | -0,0144                 |
| 201,3969                | 62,1510                | 22,5470                    | -25,4151                   | 0,7261                  |
| 203,4602                | 62,7878                | 22,7780                    | -23,9012                   | 1,6588                  |
| 202,9081                | 62,6174                | 22,7161                    | -22,3191                   | 2,7670                  |
| 207,5086                | 64,0371                | 23,2312                    | -21,2077                   | 0,2647                  |
| 233,711                 | 72,1232                | 26,1646                    | -31,1922                   | -0,5617                 |

Lintasan Pengukuran : 2  
Tanggal Pengukuran : 18 Juli 2007

| Stasiun | Jam   | Reading | Konversi  | Koreksi |
|---------|-------|---------|-----------|---------|
|         |       | Counter | (mGal)    | Tidal   |
| BASE    | 7:38  | 2755,15 | 2786,5079 | -0,0553 |
| E-3750  | 8:44  | 2751,41 | 2782,7226 | -0,0547 |
| E-3500  | 9:01  | 2755,19 | 2786,5484 | -0,0549 |
| E-3250  | 9:16  | 2756,08 | 2787,4491 | -0,0552 |
| E-3000  | 9:32  | 2754,92 | 2786,2751 | -0,0556 |
| E-2750  | 9:52  | 2740,94 | 2772,1258 | -0,0562 |
| E-2500  | 10:08 | 2739,57 | 2770,7392 | -0,0569 |
| E-2250  | 10:27 | 2744,31 | 2775,5366 | -0,0578 |
| E-2000  | 10:54 | 2743,44 | 2774,6561 | -0,0593 |
| E-1750  | 11:22 | 2726,18 | 2757,1870 | -0,0612 |
| E-1500  | 11:36 | 2729,48 | 2760,5270 | -0,0622 |
| E-1250  | 12:36 | 2718,04 | 2748,9485 | -0,0669 |
| E-1000  | 12:57 | 2715,67 | 2746,5498 | -0,0686 |
| BASE    | 15:02 | 2754,97 | 2786,3257 | -0,0782 |

| G.Observasi | X           | Y          | G Normal    |
|-------------|-------------|------------|-------------|
|             | meter       | meter      | (mGal)      |
| 977953,3100 | 559496      | 89292      | 978032,8723 |
| 977949,5558 | 559155,622  | 90274,5101 | 978032,8950 |
| 977953,3892 | 558976,0448 | 90077,8462 | 978032,8904 |
| 977954,2966 | 558815,7705 | 89889,5809 | 978032,8861 |
| 977953,1296 | 558656,2482 | 89701,1359 | 978032,8817 |
| 977938,9889 | 558493,298  | 89513,0723 | 978032,8774 |
| 977937,6090 | 558330,4072 | 89324,0669 | 978032,8730 |
| 977942,4143 | 558163,6865 | 89134,2388 | 978032,8687 |
| 977941,5447 | 558000,1935 | 88943,9338 | 978032,8643 |
| 977924,0867 | 557838,2087 | 88759,819  | 978032,8601 |
| 977927,4321 | 557679,031  | 88567,6069 | 978032,8557 |

|             |             |            |             |
|-------------|-------------|------------|-------------|
| 977915,8767 | 557476,0653 | 88350,9976 | 978032,8508 |
| 977913,4860 | 557315,0897 | 88170,5623 | 978032,8467 |
| 977953,1049 | 559496      | 89292      | 978032,8723 |

| Tinggi<br>meter | Koreksi  | Koreksi  | Anomali  | Anomali |
|-----------------|----------|----------|----------|---------|
|                 | F A      | Bouguer  | Bouguer  | Sisa    |
| 233,711         | 72,1232  | 26,16467 | -31,1923 | -0,5617 |
| 244,3213        | 75,3976  | 27,35253 | -33,4430 | -1,6665 |
| 231,946         | 71,5785  | 25,96707 | -31,6072 | -0,3073 |
| 226,3018        | 69,8367  | 25,33519 | -31,2353 | -0,4373 |
| 233,0282        | 71,9125  | 26,08823 | -30,4662 | -0,2894 |
| 305,8303        | 94,3792  | 34,23865 | -30,9569 | -1,4748 |
| 317,8017        | 98,0736  | 35,57889 | -29,6868 | -0,9550 |
| 296,6485        | 91,5457  | 33,21072 | -28,2175 | -0,2703 |
| 302,0507        | 93,2128  | 33,81551 | -27,3402 | -0,0970 |
| 390,1454        | 120,3989 | 43,67799 | -28,1496 | -1,5825 |
| 379,7363        | 117,1866 | 42,51266 | -26,0270 | -0,1175 |
| 444,0778        | 137,0424 | 49,71589 | -25,3837 | -0,2351 |
| 461,5212        | 142,4254 | 51,66873 | -23,9122 | 0,6085  |
| 233,711         | 72,1232  | 26,16467 | -31,3974 | -0,7668 |

**Lintasan Pengukuran : 3**

**Tanggal Pengukuran : 19 Juli 2007**

| Stasiun | Jam  | Reading | Konversi  | Koreksi |
|---------|------|---------|-----------|---------|
|         |      | Counter | (mGal)    | Tidal   |
| BASE    | 8:09 | 2754,97 | 2786,3257 | -0,0624 |
| D-3500  | 8:34 | 2755,26 | 2786,6192 | -0,0624 |
| D-3600  | 8:48 | 2752,55 | 2783,8764 | -0,0624 |
| D-3750  | 8:59 | 2748,71 | 2779,9899 | -0,0625 |
| D-3850  | 9:08 | 2745,2  | 2776,4374 | -0,0626 |
| D-4000  | 9:24 | 2749,74 | 2781,0324 | -0,0629 |
| D-4100  | 9:35 | 2752,88 | 2784,2104 | -0,0631 |

|        |       |         |           |         |
|--------|-------|---------|-----------|---------|
| D-4250 | 9:44  | 2755,8  | 2787,1657 | -0,0634 |
| D-4350 | 9:57  | 2758,07 | 2789,4632 | -0,0637 |
| D-4500 | 10:09 | 2758,43 | 2789,8276 | -0,0641 |
| D-4600 | 10:18 | 2758,4  | 2789,7972 | -0,0644 |
| D-4750 | 10:26 | 2758,82 | 2790,2223 | -0,0647 |
| D-5000 | 10:39 | 2759,67 | 2791,0826 | -0,0653 |
| D-5250 | 10:57 | 2760,86 | 2792,287  | -0,0661 |
| D-5500 | 11:12 | 2762,04 | 2793,4813 | -0,0668 |
| D-5750 | 11:26 | 2764,57 | 2796,0419 | -0,0675 |
| D-6000 | 13:16 | 2765,99 | 2797,4791 | -0,074  |
| D-6250 | 13:33 | 2767,59 | 2799,0985 | -0,0751 |
| D-6500 | 13:48 | 2769,57 | 2801,1025 | -0,076  |
| D-6750 | 14:04 | 2771,22 | 2802,7725 | -0,0769 |
| D-7000 | 14:18 | 2772,16 | 2803,7239 | -0,0776 |
| BASE   | 16:15 | 2754,95 | 2786,3054 | -0,0824 |

| G. Observasi | X           | Y          | G Normal     |
|--------------|-------------|------------|--------------|
|              | meter       | meter      | (mGal)       |
| 977953,3100  | 559496      | 89292      | 978032,87230 |
| 977953,6056  | 558717      | 90383      | 978032,89753 |
| 977950,8639  | 558786,7947 | 90459,7608 | 978032,89932 |
| 977946,9782  | 558888,1991 | 90571,7824 | 978032,90193 |
| 977943,4264  | 558947,6298 | 90653,3979 | 978032,90383 |
| 977948,0224  | 559046,3606 | 90767,4047 | 978032,90649 |
| 977951,2011  | 559109,7864 | 90845,7289 | 978032,90832 |
| 977954,1569  | 559209,1352 | 90963,8437 | 978032,91109 |
| 977956,4552  | 559250,0892 | 91053,7455 | 978032,91319 |
| 977956,8202  | 559258,6793 | 91202,4402 | 978032,91668 |
| 977956,7902  | 559321,0118 | 91281,658  | 978032,91854 |
| 977957,2157  | 559392,0376 | 91412,8183 | 978032,92163 |
| 977958,0764  | 559592,8579 | 91552,3079 | 978032,92491 |

|             |             |            |              |
|-------------|-------------|------------|--------------|
| 977959,2815 | 559795,1505 | 91680,313  | 978032,92793 |
| 977960,4764 | 560000,489  | 91905,1138 | 978032,93324 |
| 977963,0374 | 560151,5145 | 92039,7097 | 978032,93642 |
| 977964,4773 | 560312,2779 | 92236,8134 | 978032,94110 |
| 977966,0970 | 560481,3909 | 92420,5794 | 978032,94547 |
| 977968,0997 | 560640,1311 | 92616,2454 | 978032,95013 |
| 977969,7717 | 560799,1986 | 92813,1823 | 978032,95483 |
| 977970,7236 | 560964,2204 | 93007,023  | 978032,95946 |
| 977953,3100 | 559496      | 89292      | 978032,87230 |

| <b>Tinggi<br/>meter</b> | <b>Koreksi<br/>F A</b> | <b>Koreksi<br/>Bouguer</b> | <b>Anomali<br/>Bouguer</b> | <b>Anomali<br/>Sisa</b> |
|-------------------------|------------------------|----------------------------|----------------------------|-------------------------|
| 233,711                 | 72,1232                | 26,1647                    | -31,1923                   | -0,5617                 |
| 225,3626                | 69,5469                | 25,2300                    | -32,5363                   | -1,1124                 |
| 236,8409                | 73,0891                | 26,5151                    | -33,3270                   | -1,7212                 |
| 254,5727                | 78,5611                | 28,5002                    | -33,9782                   | -2,1593                 |
| 271,598                 | 83,8151                | 30,4062                    | -34,1980                   | -2,2865                 |
| 251,7632                | 77,6941                | 28,1857                    | -33,6586                   | -1,7001                 |
| 239,0263                | 73,7635                | 26,7597                    | -33,0779                   | -1,1415                 |
| 226,1562                | 69,7918                | 25,3189                    | -32,6978                   | -0,7022                 |
| 216,3333                | 66,7605                | 24,2192                    | -32,3151                   | -0,4010                 |
| 214,3293                | 66,1420                | 23,9948                    | -32,4346                   | -0,6759                 |
| 213,9092                | 66,0124                | 23,9478                    | -32,6058                   | -0,9755                 |
| 213,1415                | 65,7755                | 23,8619                    | -32,4419                   | -0,9980                 |
| 211,7131                | 65,3347                | 23,7019                    | -32,0094                   | -1,2008                 |
| 210,3087                | 64,9013                | 23,5447                    | -31,2147                   | -1,1788                 |
| 205,8836                | 63,5357                | 23,0493                    | -31,0061                   | -2,0022                 |
| 207,0859                | 63,9067                | 23,1839                    | -28,2989                   | 0,0175                  |
| 205,8864                | 63,5365                | 23,0496                    | -27,1597                   | 0,3344                  |
| 207,2923                | 63,9704                | 23,2070                    | -25,3679                   | 1,3692                  |
| 206,4591                | 63,7133                | 23,1137                    | -23,5854                   | -1,4901                 |

|          |         |         |          |         |
|----------|---------|---------|----------|---------|
| 206,0604 | 63,5902 | 23,0691 | -22,0421 | -0,5251 |
| 206,772  | 63,8098 | 23,1488 | -21,0060 | -0,8291 |
| 233,711  | 72,1232 | 26,1647 | -31,1923 | -0,5617 |

**Lintasan Pengukuran : 4**

**Tanggal Pengukuran : 20 Juli 2007**

| Stasiun | Jam   | Reading | Konversi  | Koreksi |
|---------|-------|---------|-----------|---------|
|         |       | Counter | (mGal)    | Tidal   |
| BASE    | 8:44  | 2754,77 | 2786,1233 | -0,0653 |
| B-3500  | 9:13  | 2755,45 | 2786,8115 | -0,0662 |
| B-3750  | 9:25  | 2755,94 | 2787,3074 | -0,0666 |
| B-4000  | 9:37  | 2756,74 | 2788,1171 | -0,067  |
| B-4250  | 9:51  | 2756,66 | 2788,0362 | -0,0675 |
| B-4500  | 10:03 | 2757,2  | 2788,5827 | -0,068  |
| B-4750  | 10:15 | 2757,24 | 2788,6232 | -0,0684 |
| B-5000  | 10:30 | 2758,05 | 2789,443  | -0,069  |
| B-5250  | 10:43 | 2758,85 | 2790,2527 | -0,0695 |
| B-5500  | 11:05 | 2759,86 | 2791,2749 | -0,0704 |
| B-5750  | 11:19 | 2761,18 | 2792,6109 | -0,071  |
| B-6000  | 11:38 | 2762,75 | 2794,1999 | -0,0717 |
| B-6250  | 11:53 | 2764,3  | 2795,7687 | -0,0724 |
| B-6500  | 12:06 | 2765,73 | 2797,216  | -0,0729 |
| B-6750  | 12:18 | 2766,54 | 2798,0358 | -0,0734 |
| B-6950  | 12:31 | 2766,95 | 2798,4508 | -0,0739 |
| C-6650  | 13:40 | 2768,72 | 2800,2422 | -0,0764 |
| C-6500  | 13:49 | 2767,67 | 2799,1795 | -0,0766 |
| C-6250  | 14:01 | 2766,19 | 2797,6816 | -0,077  |
| C-6000  | 14:11 | 2763,96 | 2795,4246 | -0,0772 |
| C-5750  | 14:26 | 2762,17 | 2793,6129 | -0,0776 |
| C-5500  | 14:37 | 2760,5  | 2791,9227 | -0,0778 |
| C-5250  | 14:58 | 2759,48 | 2790,8903 | -0,0782 |
| C-5000  | 15:10 | 2758,18 | 2789,5746 | -0,0784 |

|        |       |         |           |         |
|--------|-------|---------|-----------|---------|
| C-4750 | 15:23 | 2757,35 | 2788,7345 | -0,0785 |
| C-4500 | 15:36 | 2756,17 | 2787,5402 | -0,0786 |
| C-4250 | 15:48 | 2755,61 | 2786,9734 | -0,0786 |
| C-4000 | 16:00 | 2755,44 | 2786,8014 | -0,0786 |
| C-3750 | 16:15 | 2755,48 | 2786,8419 | -0,0785 |
| BASE   | 17:20 | 2754,75 | 2786,103  | -0,0774 |

| G. Observasi | X           | Y          | G Normal    |
|--------------|-------------|------------|-------------|
|              | Meter       | meter      | (mGal)      |
| 977953,3100  | 559496      | 89292      | 978032,8723 |
| 977953,9991  | 557363      | 91488      | 978032,9234 |
| 977954,4954  | 557526,0887 | 91681,4455 | 978032,9280 |
| 977955,3054  | 557687,785  | 91873,2395 | 978032,9325 |
| 977955,2249  | 557817,5304 | 92027,1353 | 978032,9361 |
| 977955,7717  | 557979,6972 | 92219,4873 | 978032,9407 |
| 977955,8125  | 558141,0374 | 92410,8588 | 978032,9452 |
| 977956,6327  | 558302,9717 | 92602,9351 | 978032,9498 |
| 977957,4427  | 558464,2907 | 92794,2816 | 978032,9544 |
| 977958,4654  | 558626,1319 | 92986,2474 | 978032,9590 |
| 977959,8016  | 558787,4811 | 93177,6296 | 978032,9636 |
| 977961,3911  | 558948,6929 | 93368,8489 | 978032,9681 |
| 977962,9602  | 559109,8567 | 93560,0113 | 978032,9727 |
| 977964,4078  | 559294,1969 | 93726,8588 | 978032,9768 |
| 977965,2278  | 559456,0808 | 93918,8753 | 978032,9814 |
| 977965,6432  | 559589,2778 | 94076,8652 | 978032,9852 |
| 977967,4364  | 560001,3836 | 93452,3795 | 978032,9702 |
| 977966,3741  | 559902,8918 | 93339,0093 | 978032,9674 |
| 977964,8765  | 559747,6149 | 93142,7413 | 978032,9627 |
| 977962,6199  | 559601,2165 | 92939,7342 | 978032,9579 |
| 977960,8088  | 559427,877  | 92759,2092 | 978032,9535 |
| 977959,1191  | 559254,7714 | 92580,2161 | 978032,9493 |



|             |             |            |             |
|-------------|-------------|------------|-------------|
| 977958,0876 | 559100,0706 | 92382,265  | 978032,9446 |
| 977956,7724 | 558939,1974 | 92192,3001 | 978032,9400 |
| 977955,9331 | 558772,8817 | 92005,7571 | 978032,9356 |
| 977954,7395 | 558607,3627 | 91818,1081 | 978032,9312 |
| 977954,1734 | 558439,7564 | 91635,7422 | 978032,9269 |
| 977954,0022 | 558281,0046 | 91442,3883 | 978032,9223 |
| 977954,0437 | 558118,2197 | 91250,5097 | 978032,9178 |
| 977953,3100 | 559496      | 89292      | 978032,8723 |

| <b>Tinggi<br/>meter</b> | <b>Koreksi<br/>F A</b> | <b>Koreksi<br/>Bouguer</b> | <b>Anomali<br/>Bouguer</b> | <b>Anomali<br/>Sisa</b> |
|-------------------------|------------------------|----------------------------|----------------------------|-------------------------|
| 233,711                 | 72,12321460            | 26,1647                    | -31,1923                   | -0,5617                 |
| 241,964                 | 74,67009040            | 27,0886                    | -28,1428                   | 1,1372                  |
| 234,5062                | 72,36861332            | 26,2537                    | -29,5355                   | 0,3583                  |
| 226,4453                | 69,88101958            | 25,3513                    | -30,6268                   | -0,2460                 |
| 223,0648                | 68,83779728            | 24,9728                    | -31,5777                   | -0,8149                 |
| 217,2026                | 67,02872236            | 24,3165                    | -32,4553                   | -1,2878                 |
| 214,0318                | 66,05021348            | 23,9615                    | -33,2670                   | -1,8910                 |
| 208,5229                | 64,35016694            | 23,3448                    | -33,6877                   | -2,2510                 |
| 205,3469                | 63,37005334            | 22,9892                    | -33,6872                   | -2,4265                 |
| 202,4419                | 62,47357034            | 22,6640                    | -33,3637                   | -2,3636                 |
| 199,188                 | 61,46941680            | 22,2997                    | -32,7974                   | -2,0553                 |
| 196,0307                | 60,49507402            | 21,9462                    | -31,9391                   | -1,5636                 |
| 194,0233                | 59,87559038            | 21,7215                    | -30,8787                   | -0,8717                 |
| 190,7767                | 58,87368962            | 21,3580                    | -30,1400                   | -0,7024                 |
| 187,126                 | 57,74708360            | 20,9493                    | -30,0755                   | -1,0469                 |
| 187,8202                | 57,96131372            | 21,0271                    | -29,5956                   | -0,7820                 |
| 211,0013                | 65,11500118            | 23,6222                    | -23,4094                   | -0,5749                 |
| 212,8632                | 65,68958352            | 23,8307                    | -24,0711                   | -2,0335                 |
| 213,1258                | 65,77062188            | 23,8601                    | -25,4468                   | -0,8757                 |
| 213,7781                | 65,97192166            | 23,9331                    | -27,4858                   | 1,6389                  |

|          |             |         |          |         |
|----------|-------------|---------|----------|---------|
| 215,1466 | 66,39424076 | 24,0863 | -28,9287 | 0,7184  |
| 216,9488 | 66,95039968 | 24,2881 | -30,1657 | 0,0888  |
| 215,922  | 66,63352920 | 24,1731 | -31,2530 | -0,5738 |
| 220,2286 | 67,96254596 | 24,6553 | -31,5850 | -0,4613 |
| 221,8888 | 68,47488368 | 24,8411 | -31,9448 | -0,5307 |
| 224,1575 | 69,17500450 | 25,0951 | -32,5030 | -0,9011 |
| 217,8404 | 67,22554744 | 24,3879 | -34,0377 | -2,4947 |
| 220,4797 | 68,04003542 | 24,6834 | -33,4337 | -2,0535 |
| 222,9336 | 68,79730896 | 24,9581 | -32,6022 | -1,5953 |
| 233,711  | 72,12321460 | 26,1647 | -31,1923 | -0,5617 |

**Lintasan Pengukuran : 5**

**Tanggal Pengukuran : 21 Juli 2007**

| Stasiun | Jam   | Reading | Konversi  | Koreksi |
|---------|-------|---------|-----------|---------|
|         |       | Counter | (mGal)    | Tidal   |
| BASE    | 8:39  | 2754,44 | 2785,7893 | -0,0607 |
| A-3000  | 9:36  | 2742,61 | 2773,816  | -0,0635 |
| A-2750  | 9:54  | 2746,14 | 2777,3888 | -0,0644 |
| A-2500  | 10:25 | 2740,71 | 2771,893  | -0,066  |
| A-2250  | 10:53 | 2730,58 | 2761,6403 | -0,0674 |
| A-2000  | 11:16 | 2716,27 | 2747,157  | -0,0685 |
| A-1750  | 12:01 | 2693,02 | 2723,629  | -0,0705 |
| A-1500  | 12:54 | 2702,33 | 2733,0482 | -0,0726 |
| A-1250  | 13:21 | 2693,33 | 2723,9428 | -0,0735 |
| A-1000  | 13:45 | 2679,66 | 2710,1083 | -0,0742 |
| BASE    | 16:07 | 2754,41 | 2785,7589 | -0,0753 |

| G. Observasi | X           | Y          | G Normal    |
|--------------|-------------|------------|-------------|
|              | meter       | meter      | (mGal)      |
| 977953,3100  | 559496      | 89292      | 978032,8723 |
| 977941,3396  | 556629      | 91740      | 978032,9293 |
| 977944,9133  | 556466,0415 | 91543,4494 | 978032,9247 |

|             |             |            |             |
|-------------|-------------|------------|-------------|
| 977939,4190 | 556292,4428 | 91359,163  | 978032,9204 |
| 977929,1678 | 556147,2181 | 91148,3125 | 978032,9154 |
| 977914,6857 | 556063,4489 | 90904,8906 | 978032,9097 |
| 977891,1602 | 555921,3719 | 90691,5525 | 978032,9047 |
| 977900,5784 | 555766,1939 | 90490,0312 | 978032,9000 |
| 977891,4790 | 555629,5375 | 90283,2117 | 978032,8952 |
| 977877,6462 | 555429,2629 | 90123,7416 | 978032,8915 |
| 977953,3100 | 559496      | 89292      | 978032,8723 |

| <b>Tinggi</b> | <b>Koreksi</b> | <b>Koreksi</b> | <b>Anomali</b> | <b>Anomali</b> |
|---------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| <b>meter</b>  | <b>F A</b>     | <b>Bouguer</b> | <b>Bouguer</b> | <b>Sisa</b>    |
| 233,7110      | 72,1232        | 26,16467       | -31,1923       | -0,5617        |
| 321,0945      | 99,0898        | 35,94752       | -24,7609       | 2,1695         |
| 306,3411      | 94,5369        | 34,29584       | -23,0312       | 3,2544         |
| 327,1383      | 100,9549       | 36,62415       | -23,7411       | 2,0287         |
| 379,3313      | 117,0616       | 42,46731       | -24,2351       | 1,1258         |
| 453,8698      | 140,0642       | 50,81213       | -24,4732       | 0,7053         |
| 563,8241      | 173,9961       | 63,12186       | -25,0763       | -0,0647        |
| 528,1011      | 162,9720       | 59,12256       | -24,0511       | 0,9953         |
| 570,9633      | 176,1993       | 63,92111       | -24,4234       | 0,7635         |
| 636,0256      | 196,2775       | 71,20504       | -25,6282       | -0,3606        |
| 233,7110      | 72,1232        | 26,16467       | -31,1923       | -0,5617        |

**Lintasan Pengukuran : 6**

**Tanggal Pengukuran : 23 Juli 2007**

| <b>Stasiun</b> | <b>Jam</b> | <b>Reading</b> | <b>Konversi</b> | <b>Koreksi</b> |
|----------------|------------|----------------|-----------------|----------------|
|                |            | <b>Counter</b> | <b>(mGal)</b>   | <b>Tidal</b>   |
| BASE           | 8:37       | 2754,15        | 2785,4958       | -0,0531        |
| A-3250         | 9:34       | 2745,94        | 2777,1863       | -0,0572        |
| A-3500         | 9:55       | 2755,03        | 2786,3864       | -0,0586        |
| A-3750         | 10:06      | 2756,58        | 2787,9552       | -0,0594        |
| A-4000         | 10:20      | 2757,48        | 2788,8661       | -0,0603        |

|        |       |         |           |         |
|--------|-------|---------|-----------|---------|
| A-4250 | 10:33 | 2757,78 | 2789,1697 | -0,0612 |
| A-4500 | 10:44 | 2757,87 | 2789,2608 | -0,0619 |
| A-4750 | 10:53 | 2757,78 | 2789,1697 | -0,0625 |
| A-5000 | 11:06 | 2757,89 | 2789,281  | -0,0633 |
| A-5250 | 11:18 | 2758,47 | 2789,8681 | -0,064  |
| A-5500 | 11:32 | 2758,68 | 2790,0806 | -0,0648 |
| A-5750 | 12:10 | 2759,45 | 2790,8599 | -0,0669 |
| A-6000 | 12:26 | 2760,15 | 2791,5684 | -0,0677 |
| A-6250 | 13:07 | 2761,47 | 2792,9044 | -0,0694 |
| A-6500 | 13:27 | 2763,53 | 2794,9893 | -0,0701 |
| A-6750 | 13:37 | 2764,15 | 2795,6169 | -0,0705 |
| A-6850 | 13:49 | 2764,5  | 2795,9711 | -0,0708 |
| RB-18  | 14:23 | 2761,78 | 2793,2182 | -0,0716 |
| BASE   | 15:45 | 2754,14 | 2785,4856 | -0,072  |

| G.Observasi | X           | Y          | G Normal   |
|-------------|-------------|------------|------------|
|             | Meter       | meter      |            |
| 977953,3100 | 559496      | 89292      | 978032,872 |
| 977944,9919 | 556787,6971 | 91933,1521 | 978032,934 |
| 977954,1889 | 556947,9885 | 92122,2917 | 978032,938 |
| 977955,7561 | 557103,2724 | 92316,038  | 978032,943 |
| 977956,6650 | 557272,6395 | 92499,8814 | 978032,947 |
| 977956,9666 | 557433,7557 | 92693,2091 | 978032,952 |
| 977957,0562 | 557599,0168 | 92868,8769 | 978032,956 |
| 977956,9637 | 557767,5522 | 93055,2191 | 978032,961 |
| 977957,0732 | 557931,7741 | 93242,2091 | 978032,965 |
| 977957,6587 | 558091,5862 | 93433,7065 | 978032,970 |
| 977957,8693 | 558247,6477 | 93623,7468 | 978032,974 |
| 977958,6435 | 558412,4389 | 93816,7719 | 978032,979 |
| 977959,3499 | 558570,5813 | 94009,534  | 978032,984 |
| 977960,6809 | 558738,7207 | 94200,328  | 978032,988 |

|             |             |            |            |
|-------------|-------------|------------|------------|
| 977962,7636 | 558905,5821 | 94393,0798 | 978032,993 |
| 977963,3900 | 559056,7599 | 94589,7684 | 978032,998 |
| 977963,7429 | 559120,0706 | 94661,8381 | 978032,999 |
| 977960,9865 | 558630      | 94414      | 978032,993 |
| 977953,3100 | 559496      | 89292      | 978032,872 |

| Tinggi<br>meter | Koreksi<br>F A | Koreksi<br>Bouguer | Anomali<br>Bouguer | Anomali Sisa |
|-----------------|----------------|--------------------|--------------------|--------------|
|                 |                |                    |                    |              |
| 233,711         | 72,12321       | 26,1647            | -31,1923           | -0,5617      |
| 298,7617        | 92,19786       | 33,4473            | -25,7605           | 1,8073       |
| 238,7892        | 73,69035       | 26,7332            | -27,9182           | 0,2371       |
| 230,7077        | 71,19640       | 25,8284            | -28,5845           | 0,1271       |
| 224,4138        | 69,25410       | 25,1238            | -29,4034           | -0,1005      |
| 219,0855        | 67,60979       | 24,5273            | -30,4985           | -0,6655      |
| 215,0456        | 66,36307       | 24,0750            | -31,5062           | -1,2260      |
| 212,7606        | 65,65792       | 23,8192            | -32,3365           | -1,7580      |
| 210,6358        | 65,00221       | 23,5813            | -32,8341           | -2,1046      |
| 207,5164        | 64,03956       | 23,2321            | -33,0312           | -2,2709      |
| 205,0208        | 63,26942       | 22,9527            | -33,4819           | -2,7338      |
| 204,128         | 62,99390       | 22,8528            | -33,0296           | -2,4089      |
| 204,8627        | 63,22063       | 22,9350            | -32,3133           | -1,8434      |
| 202,9834        | 62,64068       | 22,7246            | -31,4761           | -1,2995      |
| 197,5916        | 60,97677       | 22,1210            | -30,5353           | -0,7876      |
| 198,334         | 61,20587       | 22,2041            | -29,8576           | -0,3615      |
| 196,2382        | 60,55911       | 21,9695            | -29,9354           | -0,5339      |
| 202,559         | 62,50971       | 22,6771            | -31,2610           | -1,2065      |
| 233,711         | 72,12321       | 26,1647            | -31,1923           | -0,5617      |

**Lintasan Pengukuran : 7**

**Tanggal Pengukuran : 24 Juli 2007**

| Stasiun | Jam | Reading | Konversi | Koreksi |
|---------|-----|---------|----------|---------|
|         |     | Counter | (mGal)   | Tidal   |

|        |       |         |           |         |
|--------|-------|---------|-----------|---------|
| BASE   | 8:29  | 2754,12 | 2785,4654 | -0,0431 |
| G-2750 | 9:26  | 2750,92 | 2782,2266 | -0,0482 |
| G-3000 | 9:43  | 2747,23 | 2778,492  | -0,0498 |
| G-3250 | 10:00 | 2753,38 | 2784,7164 | -0,0513 |
| G-3500 | 10:32 | 2749,6  | 2780,8907 | -0,0541 |
| G-3750 | 10:50 | 2746,9  | 2778,158  | -0,0556 |
| G-4000 | 11:01 | 2749,64 | 2780,9311 | -0,0565 |
| G-4250 | 11:18 | 2755,85 | 2787,2163 | -0,0578 |
| G-4500 | 11:33 | 2761,58 | 2793,0157 | -0,0589 |
| G-4750 | 11:44 | 2762,81 | 2794,2606 | -0,0597 |
| G-5000 | 11:57 | 2763,95 | 2795,4144 | -0,0606 |
| G-5250 | 12:14 | 2765,21 | 2796,6897 | -0,0618 |
| G-5500 | 12:27 | 2765,98 | 2797,469  | -0,0626 |
| G-5750 | 13:15 | 2766,83 | 2798,3293 | -0,0652 |
| G-6000 | 13:25 | 2768,23 | 2799,7463 | -0,0656 |
| G-6250 | 13:46 | 2769,08 | 2800,6066 | -0,0665 |
| F-6700 | 14:18 | 2768,97 | 2800,4952 | -0,0675 |
| F-6500 | 14:27 | 2767,65 | 2799,1592 | -0,0677 |
| F-6250 | 14:37 | 2765,7  | 2797,1856 | -0,0679 |
| F-6000 | 14:57 | 2764,6  | 2796,0723 | -0,0683 |
| F-5750 | 15:11 | 2763,14 | 2794,5946 | -0,0684 |
| F-5500 | 15:21 | 2761,32 | 2792,7526 | -0,0685 |
| F-5250 | 15:33 | 2759,92 | 2791,3356 | -0,0685 |
| F-5000 | 15:43 | 2758,31 | 2789,7061 | -0,0685 |
| F-4750 | 15:55 | 2757,27 | 2788,6535 | -0,0684 |
| F-4500 | 16:07 | 2755,93 | 2787,2973 | -0,0683 |
| F-4250 | 16:18 | 2754,84 | 2786,1941 | -0,0682 |
| F-4000 | 16:35 | 2754,02 | 2785,3642 | -0,0678 |
| F-3750 | 16:48 | 2753,46 | 2784,7974 | -0,0675 |
| F-3500 | 16:59 | 2753,15 | 2784,4836 | -0,0672 |
| BASE   | 17:18 | 2754,02 | 2785,3642 | -0,0665 |

| G.Observasi  | X           | Y          | G Normal   |
|--------------|-------------|------------|------------|
|              | meter       | meter      |            |
| 977953,31000 | 559496      | 89292      | 978032,872 |
| 977950,07953 | 559874      | 88392      | 978032,852 |
| 977946,34733 | 560036,0484 | 88584,2116 | 978032,856 |
| 977952,57423 | 560234,5065 | 88819,61   | 978032,861 |
| 977948,75327 | 560399,2894 | 89015,0651 | 978032,866 |
| 977946,02331 | 560572,9794 | 89221,0853 | 978032,871 |
| 977948,79810 | 560735,4452 | 89413,7919 | 978032,875 |
| 977955,08601 | 560897,1916 | 89605,6453 | 978032,880 |
| 977960,88784 | 561062,7365 | 89802,0043 | 978032,884 |
| 977962,13453 | 561224,4141 | 89993,776  | 978032,888 |
| 977963,29049 | 561385,6493 | 90185,023  | 978032,893 |
| 977964,56860 | 561514,6244 | 90338,0052 | 978032,896 |
| 977965,35016 | 561675,8577 | 90529,2499 | 978032,901 |
| 977966,21916 | 561837,0994 | 90720,5047 | 978032,905 |
| 977967,63812 | 561998,8793 | 90912,3977 | 978032,910 |
| 977968,50247 | 562160,1612 | 91103,7002 | 978032,914 |
| 977968,39760 | 561416,8458 | 91879,0022 | 978032,933 |
| 977967,06352 | 561287,9068 | 91742,1916 | 978032,929 |
| 977965,09208 | 561131,6447 | 91547,2219 | 978032,925 |
| 977963,98309 | 560968,1049 | 91358,9899 | 978032,920 |
| 977962,50859 | 560808,546  | 91167,7544 | 978032,916 |
| 977960,66884 | 560648,6724 | 90974,8251 | 978032,911 |
| 977959,25467 | 560488,5392 | 90782,0907 | 978032,907 |
| 977957,62752 | 560329,4378 | 90588,1858 | 978032,902 |
| 977956,57785 | 560168,3037 | 90396,99   | 978032,898 |
| 977955,22458 | 560004,8007 | 90206,8843 | 978032,893 |
| 977954,12407 | 559845,4283 | 90014,7356 | 978032,889 |
| 977953,29857 | 559678,2498 | 89804,8987 | 978032,884 |

|              |             |           |            |
|--------------|-------------|-----------|------------|
| 977952,73513 | 559517,5663 | 89612,842 | 978032,880 |
| 977952,42422 | 559358      | 89421     | 978032,875 |
| 977953,31000 | 559496      | 89292     | 978032,872 |

| <b>Tinggi<br/>meter</b> | <b>Koreksi<br/>F A</b> | <b>Koreksi<br/>Bouguer</b> | <b>Anomali<br/>Bouguer</b> | <b>Anomali Sisa</b> |
|-------------------------|------------------------|----------------------------|----------------------------|---------------------|
| 233,711                 | 72,12321               | 26,16467                   | -31,1923                   | -0,5617             |
| 251,7575                | 77,69236               | 28,18503                   | -30,2152                   | -0,3656             |
| 272,1836                | 83,99586               | 30,47180                   | -30,7852                   | -0,7409             |
| 229,7943                | 70,91452               | 25,72618                   | -32,5792                   | -2,4699             |
| 241,8782                | 74,64361               | 27,07901                   | -34,4336                   | -0,5308             |
| 250,4087                | 77,27612               | 28,03403                   | -36,0031                   | -0,3268             |
| 259,4221                | 80,05766               | 29,04311                   | -31,7219                   | -2,2784             |
| 219,0162                | 67,58840               | 24,51954                   | -33,0017                   | -0,8817             |
| 207,6877                | 64,09242               | 23,25128                   | -29,5241                   | -0,9005             |
| 201,1396                | 62,07168               | 22,51820                   | -29,7715                   | -1,6600             |
| 200,1793                | 61,77533               | 22,41069                   | -28,9994                   | -1,5367             |
| 199,0879                | 61,43853               | 22,28851                   | -28,0318                   | -1,0612             |
| 200,0771                | 61,74379               | 22,39925                   | -27,1679                   | -0,9367             |
| 198,9124                | 61,38437               | 22,26886                   | -26,5734                   | -1,1661             |
| 198,1898                | 61,16137               | 22,18796                   | -25,3481                   | -0,7727             |
| 197,8357                | 61,05210               | 22,14832                   | -24,5661                   | -0,7947             |
| 209,5355                | 64,66266               | 23,45815                   | -22,6595                   | 2,1539              |
| 208,8705                | 64,45744               | 23,38370                   | -24,0892                   | 1,2962              |
| 209,5434                | 64,66509               | 23,45903                   | -25,8679                   | 0,3381              |
| 211,5188                | 65,27470               | 23,68019                   | -26,5389                   | 0,4643              |
| 212,4249                | 65,55432               | 23,78163                   | -27,7542                   | 0,0909              |
| 215,3608                | 66,46034               | 24,11031                   | -28,9508                   | -0,1769             |
| 216,7143                | 66,87803               | 24,26184                   | -29,9900                   | -0,4180             |
| 221,3895                | 68,32080               | 24,78524                   | -30,6060                   | -0,3973             |
| 223,2804                | 68,90433               | 24,99693                   | -31,1419                   | -0,4989             |



|          |          |          |          |         |
|----------|----------|----------|----------|---------|
| 225,1908 | 69,49388 | 25,21081 | -31,9511 | -1,0229 |
| 227,1689 | 70,10432 | 25,43226 | -32,4495 | -1,3846 |
| 227,3824 | 70,17021 | 25,45616 | -33,0259 | -1,9830 |
| 230,1456 | 71,02293 | 25,76551 | -32,7790 | -1,9152 |
| 232,865  | 71,86214 | 26,06996 | -32,1827 | -1,5468 |
| 233,711  | 72,12321 | 26,16467 | -31,1923 | -0,5617 |



# UNIVERSITAS BRAWIJAYA

(halaman ini sengaja dikosongkan)



**Lampiran II****Nilai anomali Bouguer Penampang AA'**

| Sampuraga Line 1 |              |
|------------------|--------------|
| Jarak            | Nilai        |
| 0                | -23,91016491 |
| 119,1447297      | -23,95958232 |
| 192,4467833      | -23,90146454 |
| 279,6452458      | -24,22364162 |
| 421,0590879      | -25,85879417 |
| 440,1457618      | -26,03517805 |
| 600,6462779      | -26,90668164 |
| 649,6713925      | -26,9395961  |
| 761,1467939      | -26,62029477 |
| 878,2836971      | -26,12363212 |
| 921,64731        | -25,7771099  |
| 1082,147826      | -25,56276381 |
| 1106,896002      | -25,61126122 |
| 1242,648342      | -26,09021699 |
| 1335,508306      | -26,35983239 |
| 1403,148858      | -26,58001913 |
| 1563,649374      | -27,03090789 |
| 1564,120611      | -27,03208098 |
| 1724,14989       | -27,48546118 |
| 1792,732916      | -27,63387655 |
| 1884,650406      | -27,88793486 |
| 2021,34522       | -28,21007432 |
| 2045,150922      | -28,27050307 |
| 2205,651438      | -28,7114824  |
| 2249,957525      | -28,88047907 |
| 2366,151954      | -29,3290473  |



|             |              |
|-------------|--------------|
| 2478,569829 | -29,92835403 |
| 2526,65247  | -30,16416011 |
| 2687,152986 | -31,10266927 |
| 2707,182134 | -31,22785095 |
| 2847,653503 | -31,89937733 |
| 2935,794439 | -32,1422514  |
| 3008,154019 | -32,32167556 |
| 3164,406743 | -32,49598816 |
| 3168,654535 | -32,5056702  |
| 3329,155051 | -32,95966145 |
| 3393,019048 | -33,15923271 |
| 3489,655567 | -33,48723336 |
| 3621,631352 | -33,73190358 |
| 3650,156083 | -33,79152002 |
| 3810,656599 | -33,43330861 |
| 3850,243657 | -33,30350789 |
| 3971,157115 | -32,76302074 |
| 4078,855962 | -32,43461803 |
| 4131,657631 | -32,29515499 |
| 4292,158147 | -31,93033856 |
| 4307,468266 | -31,89813737 |
| 4452,658663 | -31,61625047 |
| 4536,080571 | -31,42691858 |
| 4613,159179 | -31,24931633 |
| 4764,692875 | -30,79159675 |
| 4773,659695 | -30,76093152 |
| 4934,160211 | -30,12610914 |
| 4993,30518  | -29,85367776 |
| 5094,660727 | -29,34422968 |
| 5221,917485 | -28,61835229 |
| 5255,161243 | -28,42095604 |
| 5415,661759 | -27,39165391 |



|             |              |
|-------------|--------------|
| 5450,529789 | -27,16168279 |
| 5576,162275 | -26,32570773 |
| 5679,142094 | -25,64596568 |
| 5736,662791 | -25,2716487  |
| 5897,163307 | -24,26899324 |
| 5907,754398 | -24,20453192 |
| 6057,663823 | -23,38174976 |
| 6136,366703 | -22,96967198 |
| 6218,164339 | -22,61852693 |
| 6364,979008 | -22,041324   |
| 6378,664856 | -22,00212334 |
| 6539,165372 | -21,60934378 |
| 6593,591312 | -21,52820021 |
| 6699,665888 | -21,45248517 |
| 6822,203617 | -21,45482227 |
| 6860,166404 | -21,47414941 |
| 7020,66692  | -21,61082564 |
| 7050,815922 | -21,64124063 |
| 7181,167436 | -21,77243862 |
| 7279,428226 | -21,88107656 |
| 7341,667952 | -21,9628198  |
| 7502,168468 | -22,18035741 |
| 7508,040531 | -22,18910146 |
| 7662,668984 | -22,42129692 |
| 7736,652835 | -22,54259376 |
| 7823,1695   | -22,68275106 |
| 7965,26514  | -22,89980173 |
| 7983,670016 | -22,92436782 |
| 8144,170532 | -23,1387296  |
| 8193,877445 | -23,19733035 |
| 8304,671048 | -23,29366149 |
| 8422,489749 | -23,35694909 |



|             |              |
|-------------|--------------|
| 8465,171564 | -23,36789831 |
| 8625,67208  | -23,3541188  |
| 8651,102054 | -23,3423566  |
| 8786,172596 | -23,26904941 |
| 8879,714358 | -23,19676778 |
| 8946,673112 | -23,14866488 |
| 9107,173628 | -23,03306859 |
| 9108,326663 | -23,03226967 |
| 9267,674144 | -22,95895055 |
| 9336,938968 | -22,93944053 |
| 9428,17466  | -22,97556734 |
| 9565,551272 | -23,18189882 |
| 9588,675176 | -23,21156645 |
| 9749,175692 | -23,45135467 |
| 9794,163577 | -23,49736185 |
| 9909,676209 | -23,56655235 |
| 10022,77588 | -23,56022811 |
| 10070,17672 | -23,53774926 |
| 10230,67724 | -23,44451035 |
| 10251,38819 | -23,4310203  |
| 10391,17776 | -23,32101184 |
| 10480,00049 | -23,24575131 |
| 10551,67827 | -23,17067799 |
| 10708,6128  | -23,01479488 |
| 10712,17879 | -23,01181481 |
| 10872,6793  | -22,8866976  |
| 10937,2251  | -22,82759998 |
| 11033,17982 | -22,72136799 |
| 11165,8374  | -22,60510046 |
| 11193,68034 | -22,57721762 |
| 11354,18085 | -22,42383425 |
| 11394,44971 | -22,38736913 |



11491,86287 | -22,30769454





(halaman ini sengaja dikosongkan)



## Lampiran III

## Nilai anomali Bouguer Penampang BB'

| Sampuraga Digit 2 |            |
|-------------------|------------|
| Titik             | Nilai      |
| 0                 | -42,511234 |
| 118,06985         | -23,775534 |
| 157,56248         | -23,763934 |
| 296,59387         | -23,724441 |
| 435,62526         | -24,631633 |
| 519,283           | -25,208605 |
| 574,65664         | -25,655015 |
| 713,68803         | -26,161126 |
| 852,71942         | -26,378314 |
| 920,49615         | -26,5267   |
| 991,75081         | -26,611764 |
| 1130,7822         | -27,05281  |
| 1269,8136         | -27,664819 |
| 1321,7093         | -27,888046 |
| 1408,845          | -28,189392 |
| 1547,8764         | -28,186832 |
| 1686,9077         | -28,095301 |
| 1722,9224         | -28,100492 |
| 1825,9391         | -28,190318 |
| 1964,9705         | -28,047288 |
| 2104,0019         | -27,905508 |
| 2124,1356         | -27,904149 |
| 2243,0333         | -27,91388  |
| 2382,0647         | -28,070292 |
| 2521,0961         | -28,359685 |
| 2525,3487         | -28,370977 |
| 2660,1275         | -28,768815 |
| 2799,1588         | -29,27416  |



|           |            |
|-----------|------------|
| 2926,5619 | -29,829164 |
| 2938,1902 | -29,880009 |
| 3077,2216 | -30,61927  |
| 3216,253  | -31,587152 |
| 3327,775  | -32,454448 |
| 3355,2844 | -32,627525 |
| 3494,3158 | -33,119505 |
| 3633,3472 | -33,744998 |
| 3728,9882 | -33,992219 |
| 3772,3785 | -34,049759 |
| 3911,4099 | -33,86601  |
| 4050,4413 | -33,725464 |
| 4130,2013 | -33,73721  |
| 4189,4727 | -33,723609 |
| 4328,5041 | -33,739667 |
| 4467,5355 | -33,699941 |
| 4531,4145 | -33,572952 |
| 4606,5669 | -33,421248 |
| 4745,5983 | -32,981    |
| 4884,6296 | -32,369777 |
| 4932,6276 | -32,131832 |
| 5023,661  | -31,657644 |
| 5162,6924 | -30,881089 |
| 5301,7238 | -30,066981 |
| 5333,8408 | -29,877525 |
| 5440,7552 | -29,226381 |
| 5579,7866 | -28,398978 |
| 5718,818  | -27,602885 |
| 5735,0539 | -27,525826 |
| 5857,8494 | -26,92313  |
| 5996,8807 | -26,442627 |
| 6135,9121 | -25,978171 |



|           |            |
|-----------|------------|
| 6136,2671 | -25,976801 |
| 6274,9435 | -25,404238 |
| 6413,9749 | -24,795974 |
| 6537,4802 | -24,300059 |
| 6553,0063 | -24,234918 |
| 6692,0377 | -23,730302 |
| 6831,0691 | -23,273866 |
| 6938,6934 | -22,916682 |
| 6970,1005 | -22,810659 |
| 7109,1318 | -22,295013 |
| 7248,1632 | -21,684467 |
| 7339,9065 | -21,232141 |
| 7387,1946 | -21,001569 |
| 7526,226  | -20,26246  |
| 7665,2574 | -19,335157 |
| 7741,1197 | -18,790468 |
| 7804,2888 | -18,415374 |
| 7943,3202 | -18,191175 |
| 8082,3516 | -18,146565 |
| 8142,3328 | -18,154769 |
| 8221,3829 | -18,199813 |
| 8360,4143 | -18,279613 |
| 8499,4457 | -18,382418 |
| 8543,546  | -18,436934 |
| 8638,4771 | -18,573882 |
| 8777,5085 | -18,725759 |
| 8916,5399 | -18,837047 |
| 8944,7591 | -18,850921 |
| 9055,5713 | -18,910454 |
| 9194,6026 | -18,996128 |
| 9333,634  | -19,072528 |
| 9345,9723 | -19,077833 |



|           |            |
|-----------|------------|
| 9472,6654 | -19,141154 |
| 9611,6968 | -19,147179 |
| 9747,1854 | -19,208444 |
| 9750,7282 | -19,210051 |
| 9889,7596 | -19,223836 |
| 10028,791 | -19,258611 |
| 10039,915 | -42,511234 |



## Lampiran IV

## Nilai anomali sisa Penampang AA'

| Sampuraga AS |            |
|--------------|------------|
| Titik        | Nilai      |
| 0            | 0,8633773  |
| 66,358154    | 0,8805299  |
| 124,69892    | 0,8636497  |
| 280,89572    | 0,756223   |
| 309,15136    | 0,7197219  |
| 437,09251    | 0,568568   |
| 551,94457    | 0,3102772  |
| 593,2893     | 0,1831895  |
| 749,48609    | -0,2789137 |
| 794,73778    | -0,3595195 |
| 905,68289    | -0,5768202 |
| 1037,531     | -0,7621759 |
| 1061,8797    | -0,7885576 |
| 1218,0765    | -1,1842291 |
| 1280,3242    | -1,4305523 |
| 1374,2733    | -1,639866  |
| 1523,1174    | -1,9482053 |
| 1530,4701    | -1,9527503 |
| 1686,6668    | -1,5507    |
| 1765,9106    | -1,316318  |
| 1842,8636    | -1,2207676 |
| 1999,0604    | -1,1633067 |
| 2008,7038    | -1,1365569 |
| 2155,2572    | -0,5003903 |
| 2251,497     | -0,2124009 |
| 2311,454     | -0,0909175 |
| 2467,6508    | 0,0045523  |
| 2494,2902    | -0,0021159 |



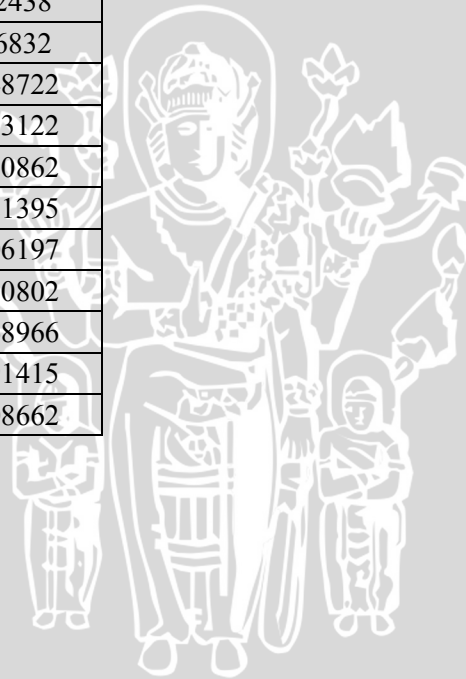
|           |            |
|-----------|------------|
| 2623,8476 | -0,1436621 |
| 2737,0835 | -0,3540105 |
| 2780,0444 | -0,4631809 |
| 2936,2412 | -0,8346125 |
| 2979,8767 | -0,9460487 |
| 3092,438  | -1,2146387 |
| 3222,6699 | -1,4621192 |
| 3248,6348 | -1,4890626 |
| 3404,8316 | -1,6835107 |
| 3465,4631 | -1,7483715 |
| 3561,0284 | -1,7901463 |
| 3708,2563 | -1,7921817 |
| 3717,2252 | -1,7888402 |
| 3873,4219 | -1,6491123 |
| 3951,0495 | -1,5049189 |
| 4029,6187 | -1,3622303 |
| 4185,8155 | -1,042364  |
| 4193,8427 | -1,0291517 |
| 4342,0123 | -0,8525601 |
| 4436,6359 | -0,8783036 |
| 4498,2091 | -0,8763504 |
| 4654,4059 | -0,9651774 |
| 4679,4291 | -0,9875086 |
| 4810,6027 | -1,0739815 |
| 4922,2223 | -1,120817  |
| 4966,7995 | -1,1387878 |
| 5122,9963 | -1,2298129 |
| 5165,0155 | -1,3175321 |
| 5279,1931 | -1,5845176 |
| 5407,8087 | -1,7890307 |
| 5435,3899 | -1,7205352 |
| 5591,5867 | -0,353148  |



|           |            |
|-----------|------------|
| 5650,602  | -0,1395681 |
| 5747,7835 | -0,0196274 |
| 5893,3952 | 0,2603671  |
| 5903,9803 | 0,2849137  |
| 6060,177  | 0,7563535  |
| 6136,1884 | 1,0077421  |
| 6216,3738 | 1,3054087  |
| 6372,5706 | 1,9272487  |
| 6378,9816 | 1,9561596  |
| 6528,7674 | 2,5855933  |
| 6621,7748 | 2,9097277  |
| 6684,9642 | 3,0740477  |
| 6841,161  | 3,2613017  |
| 6864,568  | 3,2837618  |
| 6997,3578 | 3,3851107  |
| 7107,3612 | 3,4286235  |
| 7153,5546 | 3,4228666  |
| 7309,7514 | 3,371747   |
| 7350,1544 | 3,3531605  |
| 7465,9482 | 3,2465221  |
| 7592,9476 | 3,1123868  |
| 7622,145  | 3,070565   |
| 7778,3418 | 2,8351671  |
| 7835,7408 | 2,7356466  |
| 7934,5386 | 2,5248721  |
| 8078,534  | 2,1671734  |
| 8090,7353 | 2,1338016  |
| 8246,9321 | 1,6616044  |
| 8321,3273 | 1,41433    |
| 8403,1289 | 1,1729263  |
| 8559,3257 | 0,8344449  |
| 8564,1205 | 0,8260713  |



|           |            |
|-----------|------------|
| 8715,5225 | 0,5992538  |
| 8806,9137 | 0,4951724  |
| 8871,7193 | 0,4520433  |
| 9027,9161 | 0,3610145  |
| 9049,7069 | 0,3475741  |
| 9184,1129 | 0,3116261  |
| 9292,5001 | 0,2748099  |
| 9340,3097 | 0,2682127  |
| 9496,5065 | 0,2195096  |
| 9535,2933 | 0,1900749  |
| 9652,7033 | 0,0943613  |
| 9778,0865 | -0,0940247 |
| 9808,9001 | -0,1512063 |
| 9965,0969 | -0,4011926 |
| 10020,88  | -0,4702675 |
| 10121,294 | -0,5762496 |
| 10263,673 | -0,642438  |
| 10277,49  | -0,646832  |
| 10433,687 | -0,6448722 |
| 10506,466 | -0,6273122 |
| 10589,884 | -0,6010862 |
| 10746,081 | -0,5321395 |
| 10749,259 | -0,5306197 |
| 10902,278 | -0,4590802 |
| 10992,053 | -0,4168966 |
| 11058,474 | -0,3891415 |
| 11198,593 | -0,3308662 |



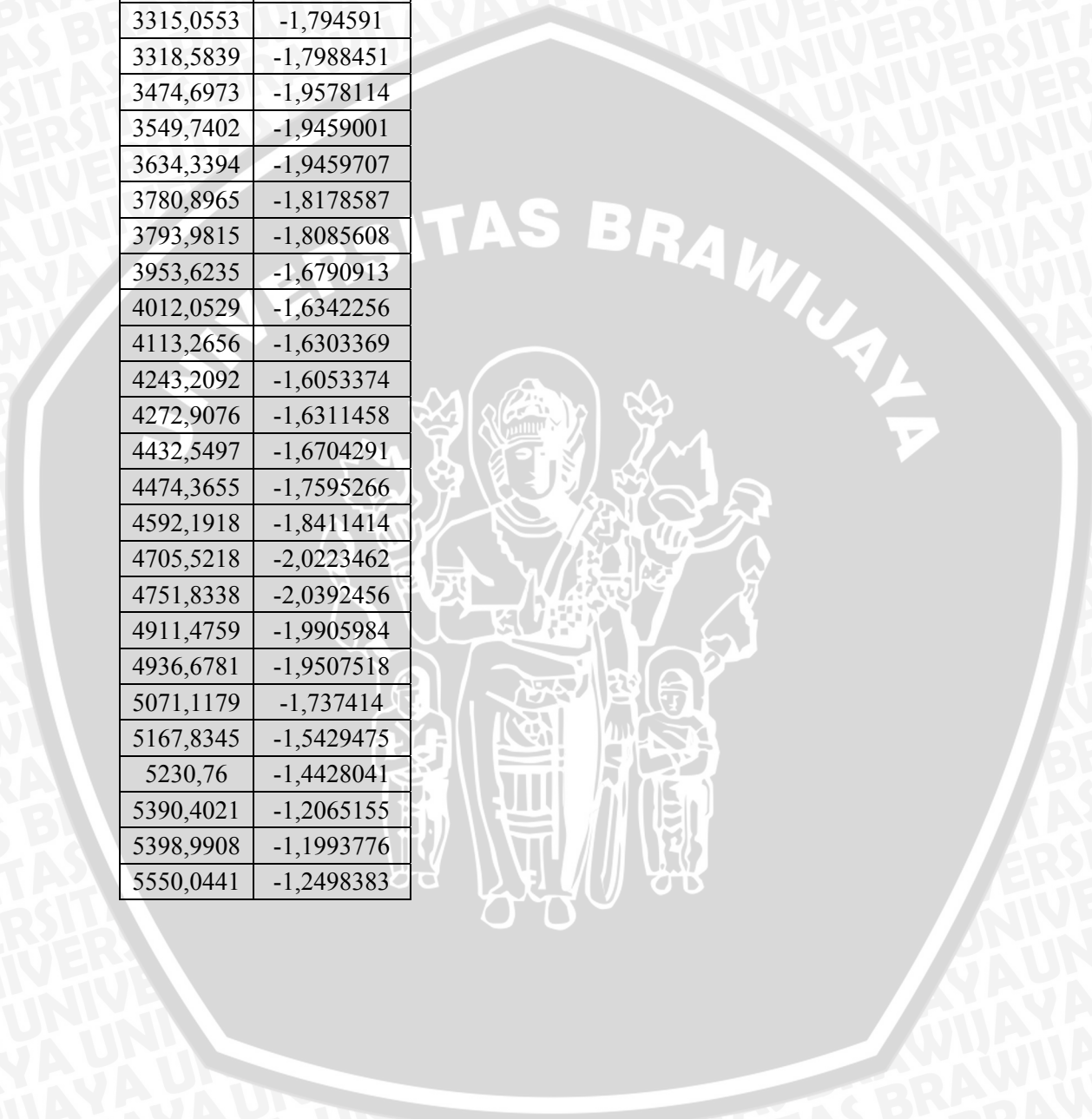


**Lampiran V****Nilai anomali sisa Penampang BB'**

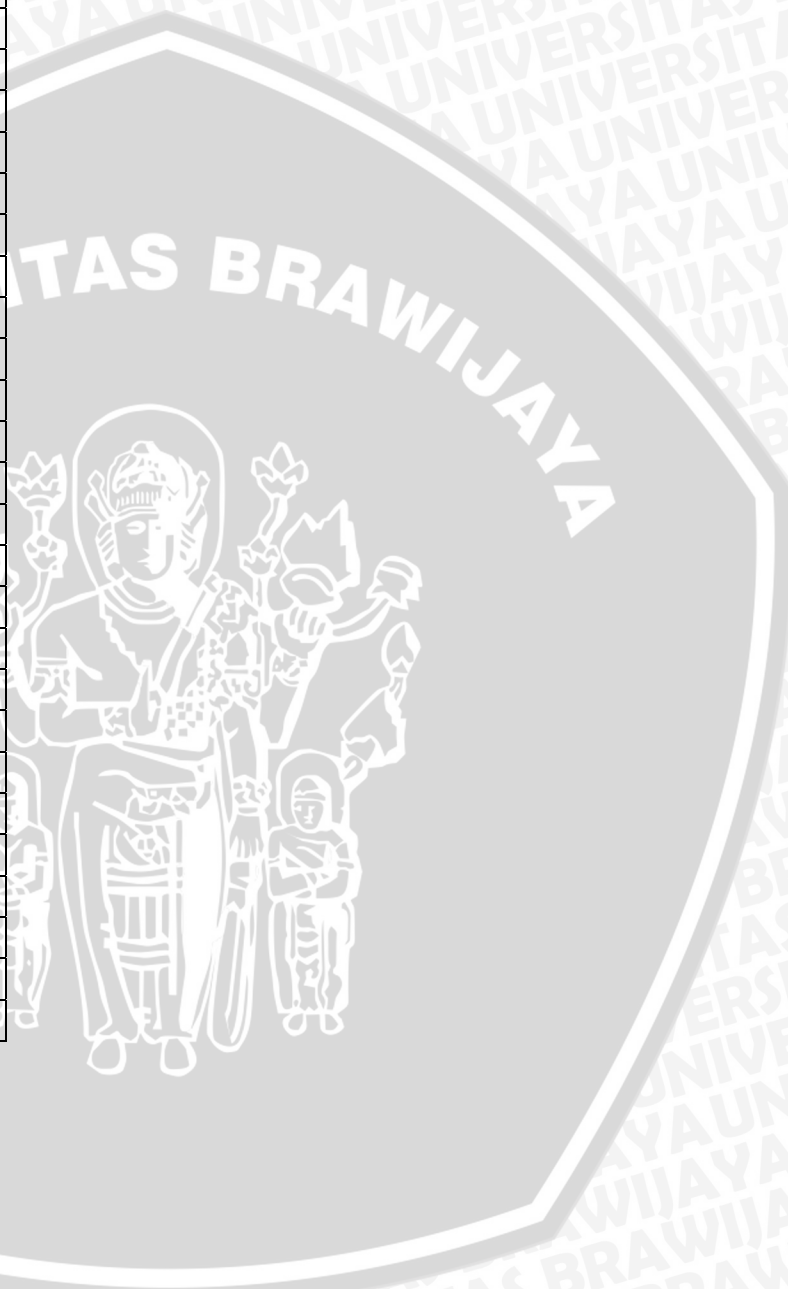
| Asisa Line 2 |           |
|--------------|-----------|
| Titik        | Nilai     |
| 0            | 0,5772491 |
| 82,395408    | 0,5225318 |
| 122,21407    | 0,5124099 |
| 281,85613    | 0,5186463 |
| 313,55173    | 0,5030342 |
| 441,49819    | 0,4671424 |
| 544,70805    | 0,5604354 |
| 601,14025    | 0,6114805 |
| 760,78231    | 0,6526159 |
| 775,86437    | 0,6443972 |
| 920,42437    | 0,6105764 |
| 1007,0207    | 0,6537654 |
| 1080,0664    | 0,6751865 |
| 1238,177     | 0,6837465 |
| 1239,7085    | 0,6838224 |
| 1399,3506    | 0,6737565 |
| 1469,3333    | 0,6419655 |
| 1558,9926    | 0,5989634 |
| 1700,4897    | 0,4475293 |
| 1718,6347    | 0,424478  |
| 1878,2767    | 0,2240127 |
| 1931,646     | 0,2219118 |
| 2037,9188    | 0,3397575 |
| 2162,8023    | 0,3626918 |
| 2197,5609    | 0,3711508 |
| 2357,2029    | 0,3237541 |
| 2393,9586    | 0,3002835 |
| 2516,845     | 0,1780701 |



|           |            |
|-----------|------------|
| 2625,1149 | 0,0015979  |
| 2676,487  | -0,1207566 |
| 2836,1291 | -0,5744366 |
| 2856,2713 | -0,6323288 |
| 2995,7712 | -1,0831221 |
| 3087,4276 | -1,338658  |
| 3155,4132 | -1,5057307 |
| 3315,0553 | -1,794591  |
| 3318,5839 | -1,7988451 |
| 3474,6973 | -1,9578114 |
| 3549,7402 | -1,9459001 |
| 3634,3394 | -1,9459707 |
| 3780,8965 | -1,8178587 |
| 3793,9815 | -1,8085608 |
| 3953,6235 | -1,6790913 |
| 4012,0529 | -1,6342256 |
| 4113,2656 | -1,6303369 |
| 4243,2092 | -1,6053374 |
| 4272,9076 | -1,6311458 |
| 4432,5497 | -1,6704291 |
| 4474,3655 | -1,7595266 |
| 4592,1918 | -1,8411414 |
| 4705,5218 | -2,0223462 |
| 4751,8338 | -2,0392456 |
| 4911,4759 | -1,9905984 |
| 4936,6781 | -1,9507518 |
| 5071,1179 | -1,737414  |
| 5167,8345 | -1,5429475 |
| 5230,76   | -1,4428041 |
| 5390,4021 | -1,2065155 |
| 5398,9908 | -1,1993776 |
| 5550,0441 | -1,2498383 |



|           |            |
|-----------|------------|
| 5630,1471 | -1,3806798 |
| 5709,6862 | -1,5529865 |
| 5861,3034 | -1,9493629 |
| 5869,3282 | -1,9722299 |
| 6028,9703 | -2,4094218 |
| 6092,4597 | -2,5635029 |
| 6188,6124 | -2,7702235 |
| 6323,6161 | -3,0092813 |
| 6348,2544 | -3,0067256 |
| 6507,8965 | -3,1602239 |
| 6554,7724 | -3,138678  |
| 6667,5385 | -2,9746631 |
| 6785,9287 | -2,4161789 |
| 6827,1806 | -2,289026  |
| 6986,8227 | -1,6580638 |
| 7017,085  | -1,5473326 |
| 7146,4647 | -1,0807402 |
| 7248,2414 | -0,783113  |
| 7306,1068 | -0,6120531 |
| 7465,7488 | -0,2601193 |
| 7479,3977 | -0,2351597 |
| 7625,3909 | 0,0236806  |
| 7710,554  | 0,1283987  |
| 7785,033  | 0,2099359  |
| 7941,7103 | 0,2691809  |
| 7944,675  | 0,2720555  |
| 8104,3171 | 0,3372576  |
| 8172,8666 | 0,3791501  |
| 8263,9591 | 0,4336142  |
| 8404,023  | 0,3999492  |
| 8423,6012 | 0,3979645  |
| 8583,2433 | 0,3745776  |



|           |            |
|-----------|------------|
| 8635,1793 | 0,3533725  |
| 8742,8853 | 0,3125209  |
| 8866,3356 | 0,2897455  |
| 8902,5274 | 0,2871372  |
| 9062,1695 | 0,2578947  |
| 9097,4919 | 0,2509435  |
| 9221,8115 | 0,2108737  |
| 9328,6482 | 0,1728582  |
| 9381,4536 | 0,1397545  |
| 9541,0956 | 0,1066385  |
| 9559,8046 | 0,1070962  |
| 9700,7377 | 0,1440173  |
| 9790,9609 | 0,1568079  |
| 9860,3798 | 0,1969812  |
| 10020,022 | 0,1856338  |
| 10022,117 | 0,1854296  |
| 10179,664 | 0,372077   |
| 10253,274 | 0,4662326  |
| 10339,306 | 0,3952202  |
| 10484,43  | 0,2841752  |
| 10498,948 | 0,2879574  |
| 10658,59  | 0,3329329  |
| 10715,586 | 0,3496034  |
| 10818,232 | 0,1856619  |
| 10946,742 | -0,0601929 |
| 10977,874 | -0,0794967 |
| 11137,516 | -0,08124   |
| 11177,899 | -0,0819767 |
| 11297,158 | -0,0772574 |
| 11409,055 | -0,1436762 |
| 11437,276 | -0,1599677 |

