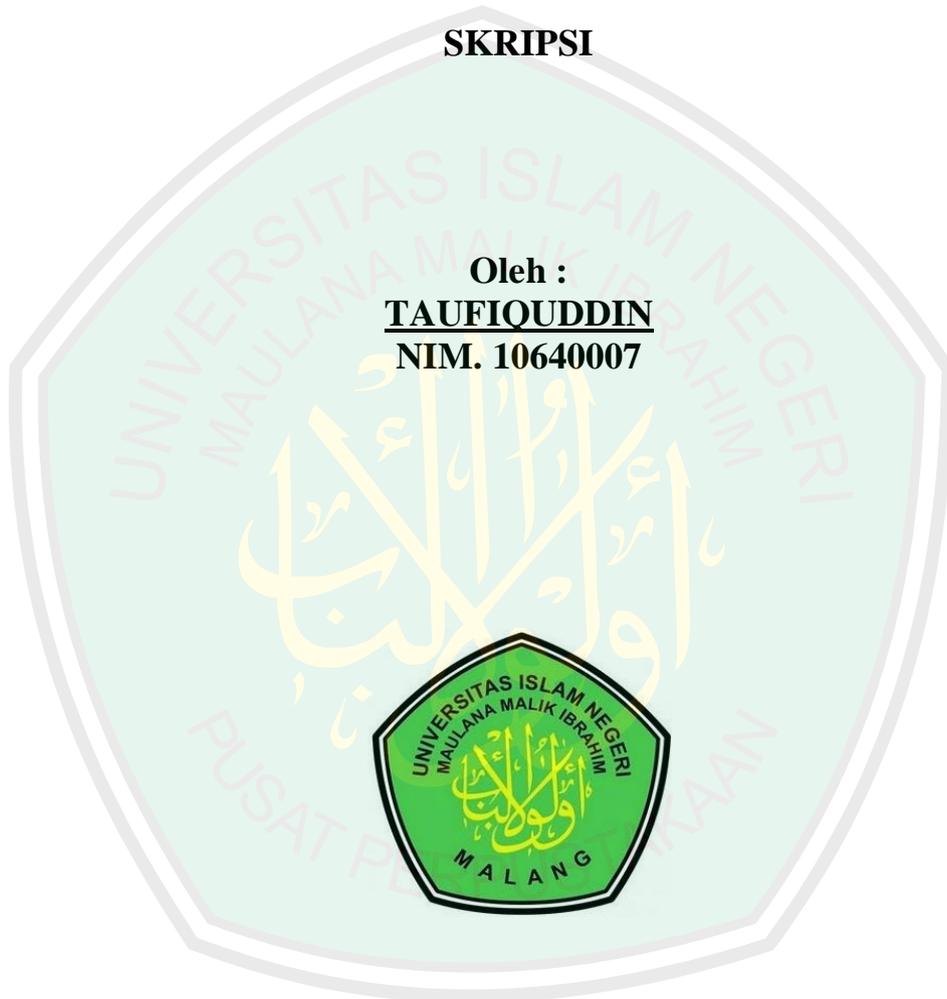


**IDENTIFIKASI STRUKTUR BAWAH PERMUKAANDAERAH  
POTENSI PANAS BUMI DENGAN METODE GRAVITY  
(Studi Kasus di Daerah Sumber Air Panas Desa Lombang  
Kecamatan Batang-Batang Kabupaten Sumenep)**

**SKRIPSI**

Oleh :

**TAUFIQUDDIN**  
**NIM. 10640007**



**JURUSAN FISIKA  
FAKULTAS SAIN DAN TEKNOLOGI  
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM  
MALANG  
2014**

**IDENTIFIKASI STRUKTUR BAWAH PERMUKAAN DAERAH POTENSI  
PANAS BUMI DENGAN METODE GRAVITY  
(Studi Kasus di Daerah Sumber Air Panas Desa Lombang Kecamatan  
Batang-Batang Kabupaten Sumenep)**

**SKRIPSI**

**Diajukan kepada:  
Fakultas Sains dan Teknologi  
Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang  
Untuk Memenuhi Salah Satu Persyaratan Dalam  
Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)**

**Oleh:  
TAUFIQUDDIN  
NIM. 10640007**

**JURUSAN FISIKA  
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI  
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM  
MALANG  
2014**

**HALAMAN PERSETUJUAN**

**IDENTIFIKASI STRUKTUR BAWAH PERMUKAAN DAERAH POTENSI  
PANAS BUMI DENGAN METODE GRAVITY  
(Studi Kasus di Daerah Sumber Air Panas Desa Lombang Kecamatan  
Batang-Batang Kabupaten Sumenep)**

**SKRIPSI**

Oleh:  
**TAUFIQUDDIN**  
**NIM. 10640007**

Telah Diperiksa dan Disetujui untuk Diuji:  
Tanggal: 25 November 2014

Pembimbing I,

Pembimbing II,

Irjan, M.Si  
NIP. 19691231 200604 1 003

Drs. Abdul Basid, M.Si  
NIP. 19650504 199003 1 003

Mengetahui,  
Ketua Jurusan Fisika

Erna Hastuti, M.Si  
NIP. 19811119 200801 2 009

## HALAMAN PENGESAHAN

**IDENTIFIKASI STRUKTUR BAWAH PERMUKAAN DAERAH POTENSI  
PANAS BUMI DENGAN METODE GRAVITY  
(Studi Kasus di Daerah Sumber Air Panas Desa Lombang Kecamatan  
Batang-Batang Kabupaten Sumenep)**

### SKRIPSI

Oleh:

**TAUFIQUDDIN**

**NIM. 10640064**

Telah Dipertahankan di Depan Dewan Penguji Skripsi dan  
Dinyatakan Diterima sebagai Salah Satu Persyaratan  
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)  
Tanggal : 25 November 2014

Penguji Utama:	<u>Novi Avisena, M.Si</u> NIP. 19761109 200604 1 004	
Ketua Penguji:	<u>Agus Krisbiantoro, MT</u> NIP. 20140201 1 242	
Sekretaris Penguji:	<u>Irjan, M.Si</u> NIP. 19691231 200604 1 003	
Anggota Penguji:	<u>Drs. Abdul Basid, M.Si</u> NIP. 19650504 199003 1 003	

Mengesahkan,  
Ketua Jurusan Fisika

Erna Hastuti, M.Si  
NIP. 19811119 200801 2 009

**SURAT PERNYATAAN  
KEASLIAN TULISAN**

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Taufiquddin

NIM : 10640007

Jurusan : Fisika

Fakultas : Sains dan Teknologi

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa skripsi yang saya tulis ini merupakan hasil karya saya sendiri, bukan merupakan pengambil-alihan data, tulisan atau pikiran orang lain yang saya akui sebagai hasil tulisan atau pikiran saya sendiri, kecuali dengan mencantumkan sumber cuplikan pada daftar pustaka. Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan skripsi ini hasil contekan, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Malang, 25 November 2014

Yang membuat pernyataan,

Taufiquddin  
NIM. 10640007

## Motto

﴿٧﴾ وَمَنْ يَعْمَلْ مِثْقَالَ ذَرَّةٍ شَرًّا يَرَهُ ﴿٨﴾

*Barangsiapa yang mengerjakan kebaikan seberat biji dzarrahpun, niscaya Dia akan melihat (balasan)nya (7). dan Barangsiapa yang mengerjakan kejahatan sebesar biji dzarrahpun, niscaya Dia akan melihat (balasan)nya pula (8).*

*(QS. Al Zalzalah : 7-8)*

*“Sebaik-baik Manusia adalah yang bermanfaat bagi manusia lainnya” (al Hadist)*

## HALAMAN PERSEMBAHAN

*Untuk sepasang malaikat di seberang pulau  
(ayah dan ibu tersayang yang penuh kasih)  
yang tiada lelah menyuntikan semangat dan  
motivasi*

*Untuk keluarga serta bangsa dan negara  
tercinta*

*aku persembahkan ini untuk kalian  
semoga bermanfaat...*

*^\_^*

## KATA PENGANTAR

Puji Syukur kehadirat Allah SWT, yang telah melimpahkan rahmat Sehat wal afiyat sehingga penulis dapat menyumbangkan hasil karya ilmiah dan pemikiran melalui sebuah tulisan kecil yang diajukan untuk memperoleh gelar Sarjana Sains dari Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang dengan judul “IDENTIFIKASI STRUKTUR BAWAH PERMUKAAN DAERAH POTENSI PANAS BUMI DENGAN METODE GRAVITY (Studi Kasus di Daerah Sumber Air Panas Desa Lombang Kecamatan Batang-Batang Kabupaten Sumenep)”.

Tidak lupa penulis mengucapkan terimakasih kepada semua pihak yang telah memberikan motivasi dan inspirasi hingga skripsi ini dapat diselesaikan, semoga Allah SWT membalas dengan segala kebaikan yang telah membantu dengan tulus dan ikhlas kepada:

1. Prof. DR. H. Mudjia Rahardjo, M.Si selaku Rektor Universitas Islam Negeri (UIN) Maulana Malik Ibrahim Malang.
2. DR. drh. Bayyinatul Muchtaromah, M.Si selaku Dekan Fakultas Sains Dan Teknologi Universitas Islam (UIN) Maulana Malik Ibrahim Malang.
3. Erna Hastuti, M.Si selaku Ketua Jurusan Fisika Universitas Islam Negeri (UIN)Maulana Malik Ibrahim Malang.
4. Bapak Irjan M.Si selaku dosen pembimbing yang telah memberikan petunjuk, pengarahan dengan sabar dan teliti serta waktu yang diluangkan sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.

5. Bapak Drs. Abdul Basid selaku dosen pembimbing Integrasi Sains dan Islam yang telah membantu, memberikan masukan dan arahan terhadap permasalahan integrasi dalam skripsi ini.
6. Seluruh Dosen Fisika, Dosen Agama, Ustadz-Ustadzah PKPBA dan Ma'had Sunan Ampel al-Aly yang telah mengamalkan ilmunya kepada penulis selama menimba ilmu di UIN Maliki Malang.
7. Kedua Orang tua, Bapak Drs. H. Sulaiman M. Saleh dan Ibu Hj. St. Ramlah, A.Ma serta kakak-kakak tercinta Miratunnisa, A.Md Kes, Taufiqurrahman, A.Md, Khairunnisa, S.PdI, Nurul Hidayah, S.PdI, Nur Innayah, S.Pd serta adikku tersayang Muh. Fakhimuddin yang tiada lelah memberikan motivasi dan mendukung penulis menyelesaikan skripsi.
8. Teman-teman tercinta tim Pengambilan data Fendi, Iqbal, Munir, Faisol, Aji, Bahar, Nasich, Dhani, Dina, Nita, Sofi, Salama, Fika, Icha, Zahroh, Siti, Isna, Mas Ari, Aziz, Qomar terimakasih atas keikhlasan dan kerja kerasnya dalam pengambilan data.
9. Seluruh Teman-Teman GEOPHYSICS '10 dan '11, seluruh Fisika Angkatan 2010 yang tidak disebutkan satu persatu, Laskar SD 12 (bang Boriel). Terimakasih atas semangat dan dukungannya karena tanpa adanya kalian penulis tidak akan bisa mengerjakan skripsi.
10. Semua pihak yang tidak dapat saya sebutkan satu-persatu, kami ucapkan terimakasih banyak atas bantuan, dan motifasinya.

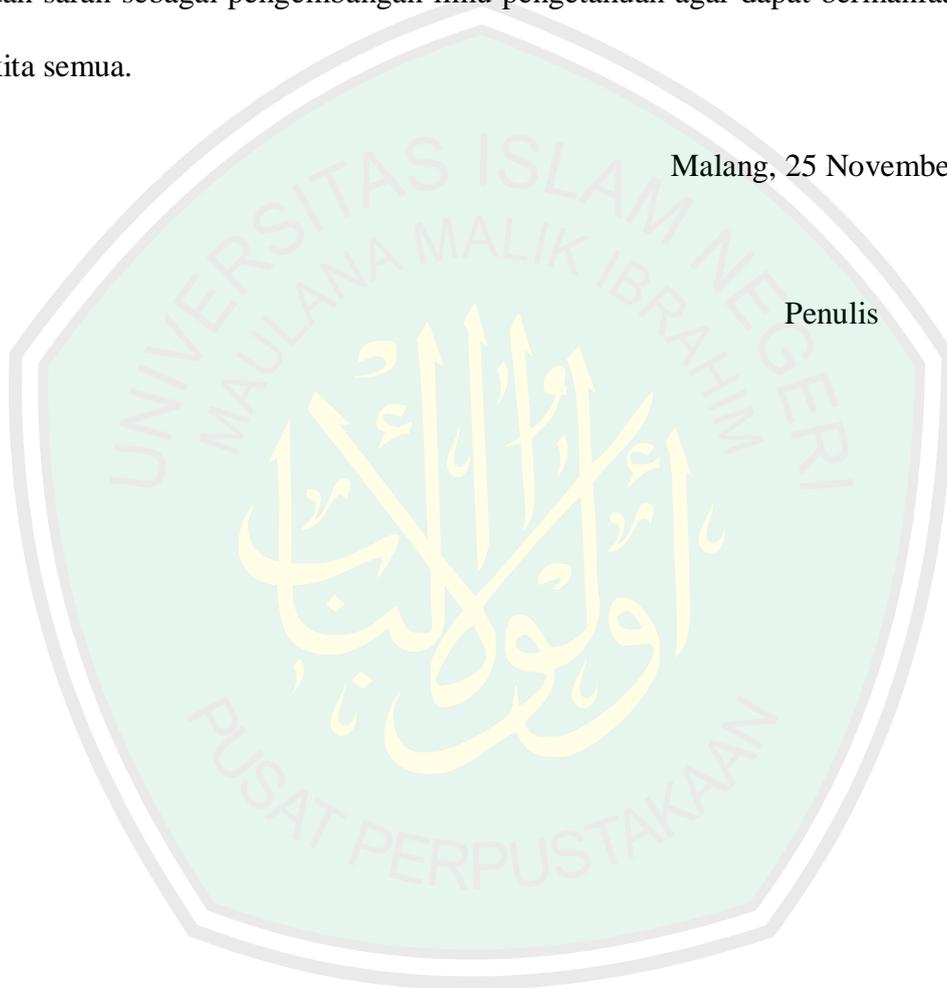
Semoga Allah SWT membalas kebaikan dan semua amal ibadah atas bantuan dan bimbingan semua pihak-pihak selama penulisan skripsi ini. Penulis

berharap skripsi ini dapat bermanfaat bagi pembaca pada umumnya dan bagi penulis pada khususnya.

Penulis menyadari masih banyak kekurangan dan ketidaksempurnaan dalam tulisan-tulisan kecil ini, oleh karena itu, penulis masih membutuhkan kritik dan saran sebagai pengembangan ilmu pengetahuan agar dapat bermanfaat untuk kita semua.

Malang, 25 November 2014

Penulis



## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL .....</b>	<b>i</b>
<b>HALAMAN PENGANTAR .....</b>	<b>ii</b>
<b>HALAMAN PERSETUJUAN .....</b>	<b>iii</b>
<b>HALAMAN PENGESAHAN .....</b>	<b>iv</b>
<b>HALAMAN PERNYATAAN .....</b>	<b>v</b>
<b>MOTTO .....</b>	<b>vi</b>
<b>HALAMAN PERSEMBAHAN .....</b>	<b>vii</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>viii</b>
<b>DAFTAR ISI .....</b>	<b>xi</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>xiv</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xv</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN .....</b>	<b>xvi</b>
<b>ABSTRAK.....</b>	<b>xvii</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	4
1.3 Tujuan Penelitian .....	5
1.4 Batasan Masalah .....	5
1.5 Manfaat Penelitian .....	5
<b>BAB II KAJIAN PUSTAKA .....</b>	<b>6</b>
2.1 Struktur Bumi .....	6
2.2 Panas Bumi ( <i>Geothermal</i> ) .....	10
2.2.1 Pembentukan Panas Bumi.....	11
2.2.2 Sistem Panas Bumi .....	12
2.3 Prinsip-Prinsip Gravitasi .....	17
2.3.1 Teori Gravitasi Newton .....	17
2.3.2 Metode Gravitasi .....	18
2.3.3 Potensial Gravitasi Distribusi Massa .....	18
2.3.4 Rapat Massa .....	19
2.3.5 Gravitasi Normal .....	20
2.3.6 Koreksi awal.....	20
2.3.6.1 Konversi Skala Pembacaan .....	20
2.3.6.2 Koreksi Tidal.....	21
2.3.6.3 Koreksi Drift .....	22
2.3.6.4 Korekasi Gravitasi Normal .....	22
2.3.6.5 Koreksi Udara Bebas .....	23
2.3.6.6 Koreksi Bouger.....	24
2.3.6.7 Koreksi Medan .....	27
2.3.6.8 Anomali Bouger .....	28
2.3.6.9 Anomali Percepatan Gravitasi.....	29
2.4 Reduksi Bidang Datar .....	30
2.5 Kontinuasi ke Atas .....	31
2.6 Geologi Daerah Penelitian.....	32

2.6.1 Geografis Wilayah.....	32
2.6.2 Morfologi .....	32
2.6.3 Stratigrafi .....	34
2.6.4 Struktur .....	36
2.7 Gravimeter La Coste Romberg.....	37
2.8 Rapat Massa Batuan.....	38
<b>BAB III METODE PENELITIAN .....</b>	<b>40</b>
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian.....	40
3.2 Data Penelitian.....	41
3.3 Peralatan Penelitian.....	41
3.4 Prosedur Pelaksanaan Penelitian .....	41
3.4.1 Akuisisi Data.....	42
3.4.2 Pengolahan Data.....	44
3.4.2.1 Konversi Harga Bacaan Gravimeter .....	44
3.4.2.2 Koreksi Pasang Surut ( <i>Tide Correction</i> ).....	45
3.4.2.3 Koreksi Apungan ( <i>Drift Correction</i> ) .....	45
3.4.2.4 Medan Gravitasi Terkoreksi.....	46
3.4.2.5 Different in Reading ( $\Delta g$ ) .....	46
3.4.2.6 Medan Gravitasi Observasi .....	46
3.4.2.7 Medan Gravitasi Teoritis (Gravitasi Normal) .....	47
3.4.2.8 Koreksi Udara Bebas ( <i>Free Air Correction</i> ).....	47
3.4.2.9 Koreksi Bouguer.....	47
3.4.2.10 Koreksi Medan ( <i>Terrain Correction</i> ) .....	48
3.4.3 Anomali Bouguer .....	49
3.4.3.1 Pemisahan Anomali Bouguer.....	49
3.4.3.2 Penggambaran Pola Anomali regional dan Anomali lokal .....	51
3.4.3.1 Pemodelan geologi .....	51
3.4.4 Interpretasi Data .....	52
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>54</b>
4.1 Akuisisi Data .....	54
4.2 Penolahan Data .....	54
4.3 Medan Gravitasi Observasi (g Obs).....	56
4.4 Medan Gravitasi Teoritis (g Normal).....	57
4.5 Koreksi Udara Bebas ( <i>Free Air Correction</i> ) .....	58
4.6 Koreksi Bouguer ( <i>Bouguer Correction</i> ) .....	60
4.7 Koreksi Medan ( <i>Terrain Correction</i> ) .....	61
4.8 Interpretasi Kualitatif .....	63
4.8.1 Anomali Bouguer Lengkap.....	64
4.8.1.1 Reduksi Bidang Datar.....	66
4.8.1.2 Kontinuasi ke Atas ( <i>upward continuation</i> ).....	68
4.9 Interpretasi Kuantitatif .....	71
4.9.1 Penampang Melintang Lintasan AB.....	73
4.9.2 Penampang Melintang Lintasan CD.....	76
4.9.3 Penampang Melintang Lintasan EF .....	79
4.9.4 Penampang Melintang Lintasan GH .....	82
4.9.5 Model Penampang 3 Dimensi .....	85

4.10 Analisa Potensi Panas Bumi (Geothermal) Desa Lombang .....	87
4.11 Panas Bumi (Geothermal) dalam Kajian Al Qur'an dan Hadist.....	91
4.11.1 Proses Pembentukan Panas Bumi .....	91
4.11.2 Teori Gravitasi dalam Al Quran .....	96
4.11.3 Pemanfaatan Panas Bumi (Geothermal) .....	97
<b>BAB V PENUTUP .....</b>	<b>99</b>
5.1 Kesimpulan.....	99
5.1 Saran.....	100

**DAFTAR PUSTAKA**

**LAMPIRAN**



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Tujuh Lapisan Bumi .....	7
Gambar 2.2	Sistem Panas Bumi .....	10
Gambar 2.3	Reservoar Panas Bumi .....	14
Gambar 2.4	Pendekatan Bouguer untuk Massa di atas Permukaan Laut.....	25
Gambar 2.5	Model Hammer Chart untuk Koreksi Medan.....	29
Gambar 2.6	Sumber Ekvivalen Titik Massa .....	31
Gambar 2.7	Lembar Geologi Daerah Penelitian .....	34
Gambar 2.8	Gravitometer La Coste Romberg.....	39
Gambar 3.1	Lokasi Daerah Penelitian .....	41
Gambar 3.2	Sistem Looping Penelitian .....	44
Gambar 3.2	Model Hammer Chart .....	51
Gambar 4.1	Kontur Topografi Daerah Penelitian.....	55
Gambar 4.2	Kontur Medan Gravitasi Observasi Daerah Penelitian.....	57
Gambar 4.3	Kontur Medan Gravitasi Teoritis ( $g$ normal) Daerah Penelitian .....	58
Gambar 4.4	Kontur Koreksi Udara Bebas Daerah Penelitian .....	59
Gambar 4.5	Kontur Hasil ( $g$ obs – $g$ normal + koreksi udara bebas) .....	60
Gambar 4.6	Kontur Koreksi Bouguer Daerah Penelitian.....	61
Gambar 4.7	Kontur Koreksi Medan Daerah Penelitian .....	62
Gambar 4.8	Kontur Anomali Bouguer Lengkap .....	64
Gambar 4.9	Kontur Hasil Reduksi Bidang Datar .....	67
Gambar 4.10	Kontur anomali Bouguer lengkap regional hasil kontinuasi keatas ..	69
Gambar 4.11	Kontur anomali Bouguer lengkap regional hasil kontinuasi keatas ..	70
Gambar 4.12	Penampang AB, CD dan EF pada Kontur anomali lokal.....	72
Gambar 4.13	Lintasan penampang anomali lokal AB .....	73
Gambar 4.14	Model penampang anomali lokal lintasan AB .....	74
Gambar 4.15	Lintasan penampang anomali lokal CD .....	76
Gambar 4.16	Model Penampang Anomali Lokal Lintasan CD .....	78
Gambar 4.17	Lintasan penampang anomali lokal EF.....	79
Gambar 4.18	Model Penampang Anomali Lokal Lintasan EF .....	81
Gambar 4.19	Model Penampang Anomali Lokal Lintasan GH .....	83
Gambar 4.20	Lintasan penampang anomali lokal EF.....	84
Gambar 4.21	Model 3 Dimensi Daerah penelitian .....	83

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Kolom Stratigrafi Daerah Penelitian .....	36
Tabel 2.2 Rapat Massa Batuan .....	39
Table 3.1 Kutipan contoh tabel konversi gravimeter tipe G-1053 .....	45



## DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1 Tabel Konversi ke Milligal untuk Gravitimeter Tipe G-1053
- Lampiran 2 Data Gravity Daerah Sumber Air Panas Desa Lembang
- Lampiran 3 Pengolahan Tide correction
- Lampiran 4 Tabel Hammer Chart
- Lampiran 5 Pengolahan Data Menggunakan Surfer 10
- Lampiran 6 Reduksi Bidang Datar menggunakan Matlab 2010
- Lampiran 7 Kontinuasi ke Atas Menggunakan Magpick
- Lampiran 8 Pemodelan Menggunakan Grav2DC For Windows
- Lampiran 9 Data irisan penampang AB, CD, EF dan GH
- Lampiran 10 Gambar pengambilan data Gravitasi di lapangan



## ABSTRAK

Taufiquddin. 2014. **Identifikasi Struktur Bawah Permukaan Daerah Potensi Panas Bumi dengan Metode Gravity** (*Studi Kasus di Daerah Sumber Air Panas Desa Lombang Keccamatan Batang-Batang Kabupaten Sumenep*). Skripsi. Jurusan Fisika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Pembimbing : (I) Irjan, M.Si (II) Drs. Abdul Basid, M.Si

---

**Kata Kunci:** Anomali Bouguer, *Geothermal*, Struktur Geologi

Telah dilakukan penelitian dengan metode gravitasi pada tanggal 3-4 Mei 2014 di daerah sumber air panas Desa Lombang Kabupaten Sumenep dengan tujuan untuk mengetahui pola anomali Bouguer dan struktur geologi bawah permukaan di daerah tersebut. Setelah dilakukan koreksi data yang meliputi: konversi ke mgal, koreksi drift, koreksi tidal, koreksi lintang, koreksi udara bebas, koreksi bouger dan koreksi medan maka didapatkan nilai anomali Bouguer lengkap. Selanjutnya dilakukan interpretasi secara kualitatif dan kuantitatif. Interpretasi kualitatif dilakukan dengan membaca pola kontur anomali bouguer lengkap, sedangkan interpretasi kuantitatif dilakukan dengan membuat penampang 2D pada empat lintasan AB, CD, EF dan GH. Berdasarkan interpretasi kualitatif didapat variasi nilai anomali Bouguer antara 76-78.5 mGal dengan nilai anomali tinggi menyebar pada bagian tengah dan semakin tinggi ke arah timur sumber mata air panas dan anomali rendah yang terdapat pada arah barat laut dan menyebar dari barat daya ke arah utara daerah penelitian. Hampir seluruh daerah penelitian didominasi oleh nilai anomali Bouguer tinggi. Berdasarkan interpretasi kuantitatif pada model penampang 2D lintasan AB, CD, EF dan GH, didapatkan tujuh lapisan batuan dibawah permukaan yaitu lapisan lapuk, tanah/soil, kuarsa, gamping lempungan, batu pasir, gamping pasir dan batuan gamping. Berdasarkan sifat fisik dari tiap lapisan batuan diduga batuan penyimpan air panas dalam sistem geothermal di daerah penelitian adalah batuan gamping dengan batuan penutup (*cap rock*) berupa batu gamping lempungan dan batuan lapuk yang berada diatas permukaan.

## ABSTRACT

Taufiquddin. 2014. **Subsurface Structure Identification on Hot Springs Lombang Village Regional Sumenep Town** (*Case Study at Hot springs Lombang Village Batang-Batang Subdistrict Sumenep Town*). Theses. Physics Department, Faculty of Science and Technology, State Islamic University Maulana Malik Ibrahim of Malang. Promotor: (I) Irjan, M.Si (II) Drs. Abdul Basid, M.Si

---

**Kata Kunci:** Bouguer anomaly, Geothermal, Structural geology

Has been studied by gravity method on 3 to 4 May 2014 on hot springs area in Lombang village Sumenep town to determine the pattern of total bouguer anomaly and subsurface geological structure in that area. After correction of data which includes: mgal convert, drift correction, tidal correction, latitude effect correction, free air correction, bouguer correction and terrain correction, obtained Bouguer anomaly complete values. Then performed a quantitave and qualitative interpretattion. Qualitative interpretation is done by reading of bouguer anomaly complete contour patterns, while qualitative interpretation is done by creating a 2 D cross-section of the paths AB, CD, EF And GH. Base on the qualitative of the Bouguer anomaly complete contours obtained variation values between 73.2 mgal until 78.5 mgal with a high anomaly located on the center to east on hot springs area and low anomaly located on the northwesterly to sothwestern research areah. All research area almost dominated by high Bouguer anomalies. Base on quantitative interpretation of 2 D cross-section model of the path AB, CD, EF and GH, obtained seven body: piet layer, soil, quartz, limestone-clay, dolomite, limestone sandy, sandstone and limestone. Based on physical properties of each layer ar body of rock, believed in the system of geothermal in the form of hot springs in the research area is limestone with rock cover (cap rock) is limestone-clay and saoil on the surface.

## مستخلص البحث

توفيق الدين. 2014. تعيين البنية تحت سطح المنطقة المتميزة بحرارة الأرض على ضوء طريقة الرواسي (دراسة حالة في منطقة الماء الحار لومبانق بناحية باتانق باتانق سومينيب). بحث علمي. قسم الفيزياء، كلية العلوم والتكنولوجيا، جامعة مولانا مالك إبراهيم الإسلامية الحكومية مالانق. المشرف الأول: إرجان الماجستير، المشرف الثاني: عبد الباسط الماجستير

### الكلمات الأساسية: أنومالي بوغير، جيوترمال، وبنية جيولوجية

قام الباحث بهذا البحث بطريقة الرواسي في اليوم الثالث والرابع من مايو ٢٠١٤ بمنطقة الماء الحار لومبانق سومينيب بهدف معرفة بنية أنومالي بوغير وبنية جيولوجية ودرجة إمكانية جيوترمال بالمنطقة. وبعد تحليل البيانات بمراحل: التحويل إلى mgal، تصحيح drift، تصحيح تيدال، تصحيح العرض، تصحيح الهواء الحار، تصحيح بوغير، وتصحيح الميدان، فحصل على نتيجة أنومالي بوغير التام. ثم تفسيرها بالكيفي والكمي. التفسير الكيفي هو بملاحظة بنية كونتور أنومالي بوغير التامة، أما التفسير الكمي فهو بتصميم المقطع العرضي 2D خطوط AB، CD، EF و GH. بالنسبة إلى التفسير الكيفي فتوجد تنوع نتيجة أنومالي بوغير بين 76-78.5 mgal بنتيجة أنومالي المرتفع الذي ينتشر في الوسط ويزداد ارتفاعاً إلى شرق مصدر عين الماء الحار وأنومالي المنخفض الموجود في الشمال الغربي وينتشر من الجنوب الغربي إلى شمال ميدان البحث. و ميدان البحث بنتيجة أنومالي المرتفع. وبالنسبة إلى التفسير الكمي بتصميم المقطع العرضي 2D خطوط AB، CD، EF و GH فتوجد سبع طبقات الحجر تحت السطح، وهي: كدان، طين، كوارسا، حجر كلسي خزفي، حجر رملي، حجر كلسي رملي، وحجر كلسي. بناء على الخصائص الفيزيائية لكل طبقة الأحجار فتعتبر الحجر الذي يحفظ الماء الحار في نظام جيوترمال في ميدان البحث هو حجر كلسي وحجر ساتر على شكل حجر كلسي خوفي وكدان على سطح الأرض.

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Pertumbuhan penduduk dan percepatan pembangunan nasional beberapa tahun terakhir yang tidak diimbangi dengan pertumbuhan kebutuhan energi mengakibatkan semakin berkurangnya ketersediaan sumber daya energi seiring dengan perjalanan waktu. Sumber daya energi saat ini masih didominasi oleh energi fosil, yaitu; minyak (*oil*), gas (*gas*) serta batu bara dan hanya sebagian kecil atau kurang dari 5 % berasal dari energi baru terbarukan. Energi fosil sebagaimana yang kita ketahui bersama merupakan sumber daya energi yang pembentukannya memerlukan waktu ribuan bahkan jutaan tahun sementara eksplorasi besar-besaran dalam rangka untuk memenuhi kebutuhan energi untuk seluruh aspek kehidupan terus dilakukan. Oleh karena itu perlu suatu upaya penelitian yang berkelanjutan dalam rangka mendapatkan energi alternatif sebagai pengganti energi fosil.

Indonesia memiliki tatanan tektonik yang kompleks karena terletak pada pertemuan antara tiga lempeng besar (Eurasia, Hindia Australia, dan Pasifik). Subduksi antar lempeng benua dan samudra menghasilkan suatu proses peleburan magma dalam bentuk *partial melting*. Batuan mantel dan magma mengalami diferensiasi pada saat perjalanan ke permukaan. Proses tersebut membentuk kantong-kantong magma yang berperan dalam pembentukan jalur gunung api yang dikenal sebagai lingkaran api (*ring of fire*). Munculnya rentetan gunung api Pasifik di sebagian wilayah Indonesia beserta aktivitas tektoniknya dijadikan

sebagai model konseptual pembentukan sistem panas bumi Indonesia. Hal ini sebagaimana yang telah Allah jelaskan dalam Al-Quran Surah An-Naml [27]: 88.

وَتَرَى الْجِبَالَ تَحْسِبُهَا جَامِدَةً وَهِيَ تَمُرُّ مَرَّ السَّحَابِ ۗ صُنِعَ اللَّهُ الَّذِي أَتَقَنَ كُلَّ شَيْءٍ إِنَّهُ خَبِيرٌ بِمَا تَفْعَلُونَ ﴿٨٨﴾

*“Dan kamu Lihat gunung-gunung itu, kamu sangka Dia tetap di tempatnya, Padahal ia berjalan sebagai jalannya awan. (Begitulah) perbuatan Allah yang membuat dengan kokoh tiap-tiap sesuatu; Sesungguhnya Allah Maha mengetahui apa yang kamu kerjakan.”* (Q.S. An-Naml [27]: 88)

Sudarmojo (2008) menganalogikan gunung-gunung seperti awan dan menjelaskan bahwa gunung-gunung dalam ayat di atas tidak diam, melainkan berjalan seperti awan. Awan tidak bergerak sendiri, tetapi digerakkan oleh angin demikian pula lempeng benua dan lempeng samudra ia tidak bergerak sendiri, tetapi bergerak karena adanya aliran konveksi magma dibawah lapisan litosfer bumi.

Energi panasbumi adalah energi sumberdaya alam berupa air panas atau uap yang terbentuk dalam reservoir di dalam bumi melalui pemanasan air bawah permukaan oleh batuan beku panas (Tim Pertamina, 2007). Air permukaan yang berasal dari sungai, hujan, danau, laut dan lain-lain meresap menjadi air tanah, mengalir dan bersentuhan dengan tubuh magma atau batuan beku panas tersebut, mendidih serta kemudian membentuk air dan uap panas. Karena berat jenis, temperatur dan tekanannya, uap dan air panas ini mengalir kembali ke permukaan melalui bidang-bidang rekahan di lapisan kulit bumi dan membentuk manifestasi panasbumi. Energi panasbumi ini dapat dimanfaatkan secara langsung untuk

pengeringan produksi hasil pertanian, pariwisata dan kebutuhan rumah tangga ataupun secara tidak langsung sebagai penggerak turbin pembangkit listrik.

Metode gravitasi merupakan salah satu metode ekspolarasi geofisika yang mengukur variasi gaya berat di dalam permukaan bumi. Metode ini sering dan cukup baik digunakan pada tahapan eksplorasi pendahuluan guna menentukan daerah spesifik yang selanjutnya akan disurvei dengan menggunakan metode-metode geofisika yang lebih detail. Pada kasus panas bumi perbedaan densitas batuan merupakan acuan dalam penyelidikan metode gravitasi. Hasil dari penyelidikan metode gravitasi dapat memberikan gambaran bawah permukaan sehingga dapat digunakan untuk penafsiran struktur dasar dan patahan yang mungkin dijadikan jalur keluar fluida-fluida panas bumi.

Kabupaten Sumenep merupakan salah satu kabupaten di pulau Madura dengan potensi sumber daya alam (SDA) yang sangat melimpah. Eksplorasi mineral, minyak dan gas bumi telah banyak dilakukan di beberapa tempat di wilayah kabupaten Sumenep dan kepulauannya. Desa Lombang Kecamatan Batang-Batang merupakan bagian dari daerah Waru-Sumenep yang termasuk lajur Rembang. Lajur ini merupakan punggungan yang terlipat dan membentuk antiklinorium yang memanjang pada arah barat-timur. Daerah ini pada umumnya termasuk perbukitan landai hingga pegunungan berlereng terjal (R.L Simotorang, dkk. 1992).

Telah dilakukan penelitian awal tentang potensi panas bumi di daerah Lombang oleh Syamsul Arifin (2013) dengan menggunakan metode Geolistrik. Penelitian tersebut memberikan informasi mengenai kondisi struktur bawah

permukaan dan distribusi fluida panas bumi (*hydrothermal*) yang merata di sekitar sumber air panas Desa Lombang. Hasil penelitian juga memperkirakan bahwa sistem panasbumi di daerah Lombang ini berupa sistem panas bumi oleh cekungan sedimentasi sebagai akibat dari tatanan geologi daerah setempat. Pada penelitian tersebut belum ditemukan seberapa besar potensi panas bumi (*geothermal*). Sehingga dari hasil tersebut belum dapat memperkirakan potensi akan energi panas bumi (*geothermal*) cukup besar. Selain itu pada penelitian tersebut juga belum bisa mengindikasikan keberadaan batuan sumber (reservoir) dan patahan disekitar daerah potensi panas bumi. Sehingga perlu dilakukan penelitian lanjut untuk bisa memetakan secara rinci potensi panas bumi di daerah tersebut.

Berdasarkan hal-hal di atas maka penulis bermaksud untuk melakukan penelitian dengan judul “Identifikasi struktur bawah permukaan daerah potensi panas bumi dengan metode gravity (Studi kasus di daerah sumber air panas Desa Lombang Kecamatan Batang-batang Kabupaten Sumenep)”.

## **1.2 Rumusan Masalah**

- 1) Bagaimana pola anomali Bouguer di daerah Lombang Kabupaten Sumenep berdasarkan interpretasi data gravitasi?
- 2) Bagaimana struktur geologi bawah permukaan di daerah Lombang Kabupaten Sumenep berdasarkan interpretasi data gravitasi?

## **1.3 Tujuan Penelitian**

- 1) Untuk mengetahui pola anomali Bouguer di daerah Lombang Kabupaten Sumenep berdasarkan interpretasi data gravitasi.

- 2) Untuk mengetahui struktur geologi bawah permukaan di daerah Lombang Kabupaten Sumenep berdasarkan interpretasi data gravitasi.

#### **1.4 Batasan Masalah**

Penelitian ini menggunakan metode gravitasi (*gravity*) dengan menganalisa pola anomali Bouguer dan membangun model struktur bawah permukaan untuk menduga potensi geothermal. Sedangkan wilayah yang diteliti adalah di desa Lombang Kecamatan Batang-Batang Kabupaten Sumenep dengan cakupan area penelitian terletak pada koordinat  $6^{\circ} 55' 48,97''$  -  $6^{\circ} 55' 52,79''$  LS dan  $113^{\circ} 04' 05,65''$  -  $114^{\circ} 04' 11,05''$  BT.

#### **1.5 Manfaat Penelitian**

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi mengenai struktur geologi bawah permukaan dan potensi geothermal di daerah Lombang Kabupaten Sumenep kepada pihak terkait (pengelola atau pemerintah), agar dapat memaksimalkan potensi geothermal di daerah tersebut.

## BAB II KAJIAN PUSTAKA

### 2.1 Struktur Bumi

Bumi yang berbentuk bundar mempunyai retakan, pecahan atau patahan dengan jari-jari 6.371 km. Namun bentuk yang bundar tersebut memiliki permukaan yang tidak rata atau penuh dengan benjolan, gunung dan lembah. Tidak sedikit gunung yang masih menyemburkan lahar panas maupun dingin. Selain itu, daerah tertentu sering mengalami gempa, sedangkan daerah lain sangat jarang. Gunung yang sesekali menyemburkan lahar panas menandai bahwa di dalam bumi terdapat cairan (Agus Purwanto, 2013).

Dalam Al-Quran Allah menyebut kata bumi dalam puluhan Surat dan ratusan Ayat, baik hanya dengan kata bumi atau kata Bumi yang disandingkan dengan kata Langit mulai ayat yang menjelaskan proses penciptaan bumi, struktur, masa penciptaan dan proses-proses yang terjadi didalamnya sampai tentang kehancurannya di hari akhir. Di antara ayat yang menjelaskan penciptaan bumi, Adalah firman Allah dalam Surat Ath-Thariq [65] ayat 12 di bawah ini.

اللَّهُ الَّذِي خَلَقَ سَبْعَ سَمَاوَاتٍ وَمِنَ الْأَرْضِ مِثْلَهُنَّ يَتَنَزَّلُ الْأَمْرُ بَيْنَهُنَّ لِتَعْلَمُوا أَنَّ اللَّهَ  
عَلَىٰ كُلِّ شَيْءٍ قَدِيرٌ وَأَنَّ اللَّهَ قَدْ أَحَاطَ بِكُلِّ شَيْءٍ عِلْمًا ﴿١٢﴾

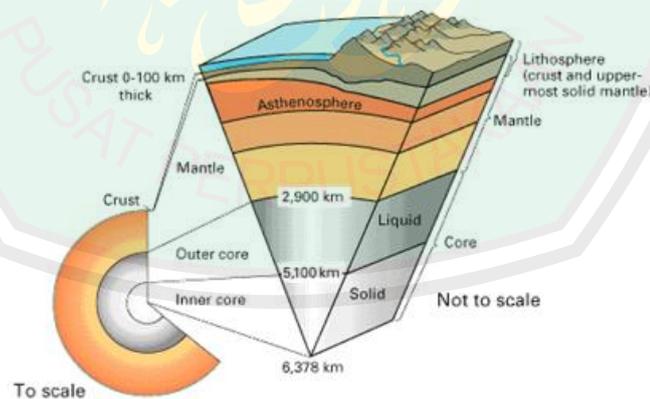
*“Allah-lah yang menciptakan tujuh langit dan seperti itu pula bumi. perintah Allah Berlaku padanya, agar kamu mengetahui bahwasanya Allah Maha Kuasa atas segala sesuatu, dan Sesungguhnya Allah ilmu-Nya benar-benar meliputi segala sesuatu.”(Q.S. Ath-Thalaq [65]: 12).*

Fakta sains telah menjelaskan bahwa lapisan dalam planet Bumi memang terdiri atas tujuh lapis. Setiap lapisan mempunyai karakteristik dan tugas masing-

masing. Demikian pula dengan langit yang memiliki tujuh lapis atmosfer, tepat seperti yang diungkapkan-Nya dalam ayat diatas Allahlah yang menciptakan tujuh langit dan seperti itu pula bumi (Sudarmojo, 2008: 56).

Berbagai kajian dan penelitian geofisika telah membuktikan bahwa bumi terbentuk dari tujuh lapisan tertentu dari dalam keluar dengan susunan sebagai berikut (An-Najjar, 2006: 269):

- 1) *Centrosphere* (Inti Bumi)
- 2) Lapisan Luar Inti Bumi
- 3) Lapisan Terbawah Pita Bumi (Pita Bawah)
- 4) Lapisan Tengah Pita Bumi (Pita Tengah)
- 5) Lapisan Teratas Pita Bumi (Pita Atas)
- 6) Lapisan Bawah Kerak Bumi
- 7) Lapisan Atas Kerak Bumi



Gambar 2. 1 Tujuh Lapisan Bumi (Daudah. 2009)

Penelitian gelombang seismik bumi menyatakan bahwa bagian dalam bumi terdiri dari tiga lapis utama dengan komposisi yang berlainan. Ketiga lapis tersebut adalah inti (core), selubung (mantle), dan kerak (crust). Inti terdiri dari dua

bagian, yaitu inti yang padat dengan kedalaman 5.150-6.370 km dan inti luar yang merupakan fluida panas dengan kedalaman 2.890-5.150 (Agus Purwanto, 2013).

Di luar inti terdapat selubung atau mantel dengan kedalaman 650-2.890 km dan diperkirakan terdiri dari bahan-bahan silikon, magnesium, dan oksigen, serta sedikit besi, kalsium dan aluminium. Bagian dalam mantel dengan ketebalan antara 200-300 km diperkirakan mempunyai susunan kimiawi yang berbeda dari mantel luarnya (Agus Purwanto, 2013).

Lapisan luar setelah mantel adalah daerah transisi yang disebut mesosfer dengan 400-650 km. Diatas di daerah transisi terdapat mantel atas dengan kedalaman 10-400 km, bagian atasnya disebut astenosfer. Selanjutnya adalah kerak bumi yang terdiri dari dua bagian, yaitu kerak samudera dan kerak benua. Kerak samudera mencapai kedalaman 10 km. Kerak ini terbentuk dari aktivitas vulkanik. Kerak benua mempunyai kedalaman 0-50 km, merupakan bagian terluar bumi dan tersusun dari kristalin. Kerak bumi merupakan bagian bumi paling dingin. Batuan dingin lapisan ini disebut litosfer (lapisan kuat) karena mengalami deformasi secara perlahan (Agus Purwanto, 2013).

Setiap lapisan bumi mempunyai sifat atau kandungan mineral yang berbeda-beda, sesuai dengan kedalaman lapisan atau sesuai dengan keadaan geologi lapisan tersebut. Keadaan lapisan bumi seringkali tampak dari warnanya, sebagai contoh tanah lempung yang berwarna kemerah-merahan akan lain sifatnya dengan tanah yang berwarna hitam kecoklat-coklatan. Tanah berbukit yang berwarna putih biasanya banyak mengandung kapur. Adapula lapisan tanah yang berwarna kuning dan ini menunjukkan tanah tersebut banyak mengandung

belerang. Keadaan geologi lapisan bumi yang dibedakan dari warnanya, ternyata diungkapkan juga di dalam Al-Qur'an, lihatlah ayat berikut ini:

أَلَمْ تَرَ أَنَّ اللَّهَ أَنْزَلَ مِنَ السَّمَاءِ مَاءً فَأَخْرَجْنَا بِهِ ثَمَرَاتٍ مُخْتَلِفًا أَلْوَانُهَا وَمِنَ الْجِبَالِ جُدَدٌ بَيْضٌ وَحُمْرٌ مُخْتَلِفٌ أَلْوَانُهَا وَغَرَابِيبُ سُودٌ

*“Tidakkah kamu melihat bahwasanya Allah menurunkan hujan dari langit lalu Kami hasilkan dengan hujan itu buah-buahan yang beraneka macam jenisnya. dan di antara gunung-gunung itu ada garis-garis putih dan merah yang beraneka macam warnanya dan ada (pula) yang hitam pekat” (Q.S. Faathir [35]: 27).*

Firman Allah tersebut di atas sesuai benar dengan keadaan geologi lapisan tanah yang senyatanya. Bahkan dengan kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi pada saat ini, manusia telah dapat melakukan observasi keadaan di bumi melalui penginderaan jarak jauh lewat satelit atau pesawat terbang dan hasil pengindraannya dibedakan dari warna hasil pemotretan keadaan di bumi (Wardhana, 2004: 112).

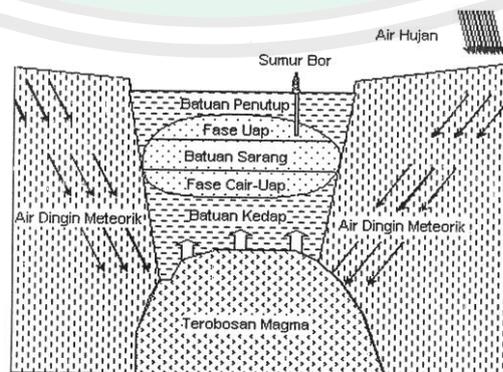
Allah mengawali ayat ini dengan berfirman kepada Nabi-Nya sebagai bentuk penetapan beliau sebagai rasul-Nya, “Tidaklah engkau melihat....” Dengan matamu bahwasanya Allah menurunkan air dari langit? Lalu dengannya Kami mengeluarkan buah-buahan yang beraneka ragam warnanya, ada yang kuning, merah, dan ada juga yang hitam. Hal ini terlihat pada kurma, anggur, buah-buahan, dan sayur-sayuran. Demikian juga pada gunung-gunung, terdapat pula adanya jalan-jalan (Al-judad jamak dari jiddah yaitu jalan atau garis yang jelas pada sesuatu) dan garis-garis yang berwarna merah, kuning, putih, dan hitam, sebagaimana halnya warna dari gunung-gunung itu. Diantara manusia, binatang melata, dan binatang ternak ada pula yang berwarna putih, hitam, merah,

kuning sebagaimana halnya garis-garis yang terlihat pada pegunungan dan buah-buahan. Semua ini tidak akan diketahui kecuali oleh orang-orang yang berpikir, dan tidak ada yang memetik 'ibrah atau pelajaran dari semua itu, kecuali oleh orang-orang alim (ulama) (Al-Jazairi, 2009: 123).

## 2.2 Panas Bumi (*Geothermal*)

Secara bahasa, kata geothermal terbentuk dari dua kata yaitu *geo* yang berarti bumi dan *thermal* yang artinya panas. Jadi istilah geothermal diartikan sebagai panas bumi. Geothermal juga dapat diartikan sebagai panas bumi yang terbentuk secara alami di bawah permukaan bumi.

Panas bumi secara umum dapat diartikan sebagai jumlah kandungan panas yang tersimpan dalam bumi dan membentuk sistem panas bumi yang telah ada sejak bumi terbentuk. Sistem panas bumi tersebut mencakup sistem hidrotermal yang merupakan sistem tata air, proses pemanasan dan kondisi sistem dimana air yang terpanasi terkumpul sehingga sistem panas bumi mempunyai persyaratan seperti harus tersedianya air, batuan pemanas, batuan sarang, dan batuan penutup (Alzwar, 1987: 90).



Gambar 2. 2 Sistem panas bumi (Alzwar. 1987)

### 2.2.1 Pembentukan Panas Bumi

Pembentukan panas bumi umumnya terjadi pada jalur gunung api, seperti halnya di Indonesia, sehingga pembentukan panas bumi tersebut dipengaruhi oleh proses-proses geologi yang telah berlangsung di sepanjang jalur gunung api tersebut. Proses geologi yang dimaksud adalah kegiatan magmatis dan proses pengangkatan. Kegiatan magmatis berwujud dalam bentuk-bentuk terobosan dan letusan gunung api sedangkan proses pengangkatan akan mengakibatkan terbentuknya sesar di sepanjang jalur gunung api. Kedua aspek ini akan mendangkalkan sumber-sumber panas tersebut. Proses pengangkatan tersebut akan menyebabkan daerah yang bersangkutan terangkat lebih tinggi dari daerah sekitar dan akan membentuk sistem pegunungan yang berfungsi sebagai daerah penangkap air hujan, karena air yang meresap di dalam tanah relatif lebih banyak dibandingkan daerah sekitarnya, maka daerah tersebut merupakan wadah air tanah meteorik selama waktu geologi yang lintasannya merupakan sumber air bagi daratan rendah di sekitarnya sedangkan jalur rekahan yang terbentuk akibat pengangkatan menyebabkan air panas atau uap merembes ke permukaan dan ini merupakan petunjuk adanya sistem panas bumi di kedalaman serta indikasi gejala akhir kegiatan vulkanisme gunung api.

Air yang telah terpanasi dan terkumpul di dalam batuan sarang karena terapit oleh lapisan-lapisan kedap air (uap) menyebabkan air dan uap dalam batuan sarang berada dalam kondisi tekanan hidrostatik tinggi. Tekanan yang sangat tinggi ini menyebabkan uap jenuh di dalam batuan cadangan akan berubah ke fasa cairan, sehingga di dalam sistem batuan cadangan terdapat dua fasa uap,

yaitu fasa cair-uap yang terkondensasi dan fasa uap yang sebenarnya. Pengurangan dan pelepasan tekanan hidrostatik tersebut, seperti misalnya karena pengeboran, menyebabkan air yang bersuhu sangat tinggi tersebut berubah mejadi bentuk uap.

### 2.2.2 Sistem Panas Bumi

Sistem panas bumi adalah sistem energi panas bumi yang memenuhi kriteria *geologi*, *hidrogeologi*, dan *heat transfer* yang cukup terkontaminasi untuk membentuk sumber daya energi. Tidak setiap kondisi *geologi* yang serupa menghasilkan sistem panas bumi yang sama. Secara umum pembagian sistem panas bumi di Indonesia ada dua yaitu sistem konveksi *hidrotermal* dan sistem panas kering (Djoko Santoso, 1995).

Magma gunungapi adalah sumber panas yang memanasi air bawah permukaan sehingga menjadi uap panas bumi. Magma ini muncul ke permukaan disebabkan oleh aliran konveksi “pergerakan cairan magma” dibawah lempeng bumi yang berusaha keluar melalui rekahan-rekahan yang mucul akibat perbedaan tekanan dan temperatur didalamnya. Magma ini mengalir dari tempat bertemperatur tinggi ke rendah melalui pematang tengah samudera (*Mid Oceanic Ridge*) dan seterusnya bergerak mendorong lempengan yang ada (sebagai dasar samudra) ke arah palung dan masuk kembali ke perut bumi.

Siklus ini berlangsung kurang lebih selama 200 tahun-an, sejak lempeng samudera pertama terbentuk di pematang tengah samudera, kembali masuk ke dalam palung samudera lebur menjadi magma kembali dan sebagian dikeluarkan kembali melalui gunung-gunung berapi. Siklus ini dikemukakan oleh Alfred

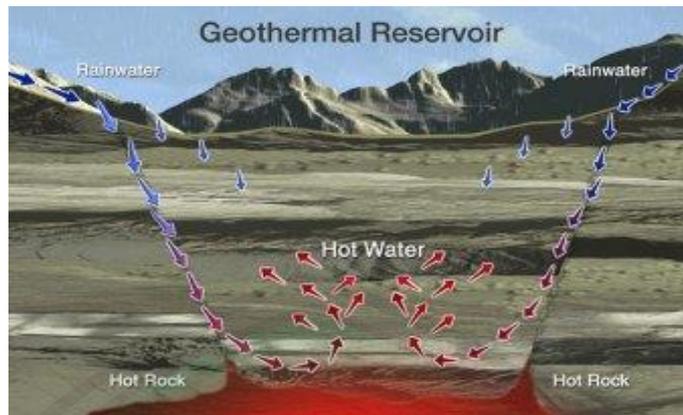
Wegener (1912) sebagai teori kontinental drift yang kemudian pada tahun 1960 di kenal sebagai teori “*plate tectonics*”. Hal ini telah tersuratkan dalam Al-Quran Surah An-Naml [27]: 88.

وَتَرَى الْجِبَالَ تَحْسَبُهَا جَامِدَةً وَهِيَ تَمُرُّ مَرَّ السَّحَابِ صُنَّعَ اللَّهِ الَّذِي آتَقَنَ كُلَّ شَيْءٍ إِنَّهُ خَبِيرٌ بِمَا تَفْعَلُونَ

“Dan kamu Lihat gunung-gunung itu, kamu sangka Dia tetap di tempatnya, Padahal ia berjalan sebagai jalannya awan. (Begitulah) perbuatan Allah yang membuat dengan kokoh tiap-tiap sesuatu; Sesungguhnya Allah Maha mengetahui apa yang kamu kerjakan.”(Q.S. An-Naml [27]: 88)

Ayat diatas menjelaskan bahwa gunung-gunung itu tidak diam, melainkan berjalan seperti Awan. Awan tidak bergerak sendiri, tetapi digerakkan oleh angin demikian pula lempeng benua dan lempeng samudra ia tidak bergerak sendiri, tetapi bergerak karena adanya aliran konveksi magma dibawah lapisan litosfer bumi (Sudarmojo, 2008: 92).

Di daerah gunung api, dimana terdapat potensi gheothermal sering ditemukan struktur sesar (*fault*) dan kaldera (*caldera*). Keberadaan struktur tersebut membuka pori-pori batuan sehingga menciptakan rekahan yang memanjang hampir vertical. Air tanah kemudian bertemu dengan batuan panas, terakumulasi dan terpanaskan. Akibatnya temperature air naik, volume bertambah dan tekanan menjadi naik. Lokasi tempat fluida panas tersebut dinamakan reservoir panas bumi (*geothermal reservoir*), sementara lapisan batuan di bagian atasnya dinamakan batuan penutup (*caprock*) yang bersifat impermeable atau teramat sulit ditembus oleh fluida ( Bronto, 2001: 11-5).



Gambar 2. 3 – Reservoir Panas Bumi.

Panas bumi di permukaan bisa berbentuk seperti *warm ground*, *steaming ground*, kolam lumpur panas, kolam air panas, *fumarol*, sumber air panas, rembesan, *geyser*, dan daerah alterasi hidrotermal selalu dikaitkan dengan proses geologi dan model sistem panas bumi (Djoko Santoso, 1995).

1) *Warm ground*

*Warm ground* adalah tanah panas. Panas yang keluar karena konduktivitas termal pada lapisan bagian atas dan gradien temperatur lebih dari  $25^{\circ}\text{-}30^{\circ}\text{C}$ . Aliran panas yang tinggi ini dapat di deteksi dengan infra merah.

2) *Steaming ground*

*Steaming ground* bisa diartikan sebagai tanah beruap. Uap yang keluar berasal dari penguapan air panas pada kedalaman dangkal atau dari kedalaman yang dalam.

3) Kolam lumpur panas

Kolam lumpur panas atau *mud vulkano* adalah kubangan lumpur panas, sedikit mengandung uap dan gas  $\text{CO}_2$  dan tidak terkondensasi. Gas  $\text{CO}_2$  keluar dari satu celah dengan temperatur lebih kecil dari titik didih

4) Kolam air panas

Kolam air panas biasanya terdapat di tengah-tengah suatu kubahan hidrotermal minor purba dan bisa juga berbentuk hot lake. Kolam air panas terjadi dari fumarol yang sudah tidak aktif lagi. Kolam air panas yang bersistem uap air biasanya berlumpur dan berwarna abu-abu, sedang yang bersistem air panas biasanya bersih dan sedikit abu-abu, yang bersistem air panas asam terjadi pada kedalaman yang sangat dalam.

5) *Fumarol*

*Fumarol* adalah hembusan gas magnetik dan uap yang keluar dengan suhu tinggi, dimana uap air umumnya lebih banyak dengan temperatur kurang dari 100°C.

6) Sumber air panas

Sumber air panas biasanya berasosiasi dengan sumber air bawah permukaan yang memiliki kecepatan aliran yang tinggi, umumnya berwarna bening dengan disertai endapan silica sinter.

7) Rembesan

Aliran air panas dari kedalaman yang dalam menuju ke permukaan sebagian akan merembes ke daerah yang bertopografi rendah, hingga bercampur dengan aliran sungai.

8) *Geyser*

*Geyser* adalah sistem air panas yang memancar ke udara setiap waktu yang diakibatkan karena rongga dalam batuan terisi penuh maka tekanan akan mengakibatkan air panas atau uap terdorong keluar ke udara.

9) Daerah alterasi hidrotermal

Daerah alterasi hidrotermal merupakan daerah dimana antara fluida dan batuan reservoir saling bereaksi mengakibatkan perubahan fasa padat dan cair dan menghasilkan mineral baru. Kelimpahan mineral hidrotermal yang terbentuk selama interaksi fluida dan batuan tergantung pada beberapa faktor khususnya temperatur, komposisi fluida (PH), ketersediaan fluida (*permeabilitas*) dan adanya pendidihan.

Pemanfaatan panas bumi dapat dilakukan dengan dua cara yaitu secara langsung dan tidak langsung. Pemanfaatan secara langsung biasanya digunakan untuk mandi, mencuci, memasak, pemanasan ruangan, pertanian, perikanan, peternakan dan untuk pariwisata. Sedangkan untuk pemanfaatan secara tidak langsung adalah dimanfaatkan sebagai energi panas bumi untuk pembangkit tenaga listrik panas bumi (PLTPB).

Lebih jauh lagi, pembagian sistem panasbumi menurut Goff dan Cathy (2000), berdasarkan kriteria geologi, geofisika, hidrologi, dan teknologi, dapat dibagi atas 5 tipe, yaitu (1) sistem panas bumi batuan beku muda (*young igneous systems*), (2) sistem tektonik (*tectonic systems*), (3) *geopressured system*, (4) *hot dry rock systems*, (5) *magma tap systems*. Dari tipe satu sampai tipe tiga, air panas alami bisa diperoleh lewat kegiatan eksploitasi. Karena itu, ketiganya bisa disatukan menjadi sistem hidrotermal (*hydrothermal systems*). Sementara untuk tipe empat dan lima, air panas alami tidak bisa diperoleh. Justru kedua sistem itu memerlukan air yang diinjeksikan kedalam bumi lalu air tersebut disedot kembali untuk diambil panasnya.

## 2.3 Prinsip-Prinsip Gravitasi

### 2.3.1 Teori Gravitasi Newton

Teori Gravitasi didasarkan oleh hukum Newton tentang gravitasi. Hukum gravitasi 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 (Jacobs, 1974: 105).

Hukum gravitasi Newton (Burger, 1992: 319) :

$$F = G \frac{mM}{R^2} \quad (2.1)$$

Dimana, konstanta gravitasi ( $G$ ) =  $6.67 \times 10^{-11} \text{ N.m}^2.\text{kg}^{-2}$ . Sedangkan hukum Newton lainnya adalah mengenai gerak yang menyatakan bahwa gaya ( $F$ ) adalah perkalian antara massa dengan percepatan. Hukum Newton mengenai gerak Newton, yaitu (Burger, 1992: 319) :

$$F = mg \quad (2.2)$$

Persamaan (2.1) disubstitusikan ke persamaan (2.2), maka di dapat (Burger, 1992: 319) :

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

Persaman terakhir ini menunjukkan bahwa besarnya percepatan yang disebabkan oleh gravitasi di bumi ( $g$ ) adalah berbanding lurus dengan massa bumi ( $M$ ) dan berbanding terbalik dengan kuadrat jari-jari bumi ( $R$ ). Dalam teori, nilai gravitasi bumi besarnya sama diseluruh permukaan bumi. Dalam kenyataannya nilai gravitasi bervariasi di setiap tempat karena bentuk bumi pepat akibat rotasi bumi, bentuk topografi permukaan bumi yang tidak teratur serta distribusi massa yang bervariasi terutama di dekat permukaan (Santoso, 2002: 81).

### 2.3.2 Metode Gravitasi

Metode gravitasi merupakan metode penyelidikan dalam geofisika yang didasarkan pada variasi medan gravitasi di permukaan bumi. Dalam metode ini yang dipelajari adalah variasi gravitasi akibat variasi rapat massa bawah batuan di bawah permukaan, sehingga dalam pelaksanaannya yang diselidiki adalah perbedaan gravitasi dari satu titik pengamatan terhadap pengamatan lainnya (Sunaryo, 1997: 1).

Dalam metode gravitasi, pengukuran dilakukan terhadap nilai komponen vertikal dari percepatan gravitasi di suatu tempat. Namun pada kenyataannya, bentuk bumi tidak bulat sehingga terdapat variasi nilai percepatan gravitasi untuk masing-masing tempat. Hal-hal yang dapat mempengaruhi nilai percepatan gravitasi adalah perbedaan derajat garis lintang, perbedaan ketinggian (*topografi*), kedudukan bumi dalam tata surya, variasi rapat massa batuan di bawah permukaan bumi, perbedaan elevasi tempat pengukuran dan hal lain yang dapat memberikan kontribusi nilai gravitasi, misalnya bangunan dan lain-lain (Sunaryo, 1997: 1).

### 2.3.3 Potensial Gravitasi Distribusi Massa

Pada potensial gravitasi berlaku prinsip superposisi yaitu potensial gravitasi dari sekumpulan massa dari masing-masing massa. Beda potensial pada partikel uji merupakan penjumlahan vektor dari potensial massa. Prinsip superposisi dapat diterapkan untuk potensial gravitasi 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

distribusi massa. Dengan menerangkan prinsip supersposisi maka didapatkan (Blakely, 1995: 46):

$$U(p) = \gamma \int_v \frac{dm}{r} = \gamma \int_v \frac{\rho(Q)}{r} dv \quad (2.4)$$

Dimana pengintegralan meliputi  $v$ , volume sebenarnya dari massa. Sedangkan  $P$  merupakan titik pengamatan,  $Q$  merupakan titik pengintegralan dan  $r$  adalah jarak antara  $P$  dan  $Q$ . Densitas memiliki satuan  $\text{gr.cm}^{-3}$  (Blakely, 1995: 46).

#### 2.3.4 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 (Kadir, 1999) :

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

Apabila fraksi disederhanakan menjadi tiga bagian yaitu fraksi matriks padat, fraksi liquid dan fraksi gas, maka persamaan di atas menjadi (Kadir, 1999):

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

Dimana  $\rho_m$ ,  $\rho_f$ ,  $\rho_g$  masing-masing adalah rapat massa material matriks, rapat massa fluida dan rapat massa gas. Persamaan diatas 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 gravitasi ini berhubungan langsung dengan adanya perubahan rapat massa sebagai akibat adanya perubahan material yang mengisi volume pori sumber anomali (Kadir, 1999).

### 2.3.5 Gravitasi Normal

Gravitasi normal adalah gravitasi teoritis pada permukaan laju rata-rata yang merupakan fungsi dari lintang geografi. Harga gravitasi normal telah banyak dirumuskan berdasarkan konstanta-konstanta yang diperhitungkan. Di tahun 1967 *Geodetic Reference System* merumuskan IGF 1967 adalah (Blakely, 1995: 135) :

$$g = 978031,846(1 + 0,0053024\sin 2\lambda - 0,0000058\sin 22\lambda) \quad (2.7)$$

Dimana  $\lambda$  adalah sudut lintang. Gravitasi memiliki satuan  $\text{m}\cdot\text{det}^{-2}$  (dalam SI), dimana  $1 \text{ Gal} = 1\text{cm}/\text{det}^2 = 10^{-2} \text{ m}/\text{det}^2$  (Blakely, 1995: 135).

### 2.3.6 Koreksi Awal

#### 2.3.6.1 Konversi Skala Pembacaan

Nilai pembacaan alat gravitometer yang diperoleh dari suatu pengukuran adalah dalam besaran skalar yang harus dikonversi ke dalam satuan percepatan gravitasi (dalam satuan m Gal). Hal ini dilakukan dengan menggunakan tabel konversi dari alat gravitometer yang digunakan dalam penelitian. Perumusan yang digunakan dalam melakukan konversi skala pembacaan tersebut sebagai berikut (Sunaryo, 1997: 11):

$$m\text{Gal} = [ \{ (\text{Bacaan-counter}) \times \text{Faktor Interval} \} + m\text{Gal} ] \times \text{CCF} \quad (2.8)$$

dimana nilai CCF (*Calibration Correction Factor*) merupakan faktor kalibrasi dari alat gravitometer. Konversi pembacaan ini dilakukan untuk seluruh dalam setiap titik pengukuran.

### 2.3.6.2 Koreksi Tidal (*Tidal Correction*)

Penarikan massa bumi, bulan dan matahari dalam peredarannya mempengaruhi percepatan gravitasi 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 dalam satu garis (Longman, 1959).

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

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

Di mana :

$p$  = sudut zenith bulan

$q$  = sudut zenith matahari

$M$  = massa bulan

$S$  = massa matahari

$d$  = jarak antara pusat bumi dan bulan

$D$  = jarak antara pusat bumi dan matahari

$\gamma$  = konstanta Gravitasi Newton

$r$  = jarak pengukuran dari pusat bumi

### 2.3.6.3 Koreksi Drift

Karena sering terjadi guncangan pada saat pengukuran (transportasi), mengakibatkan bergesernya pembacaan titik nol pada alat (pada alat gravitometer tidak diklem sehingga pegas tetap bekerja). Keadaan ini disebut drift (apungan) yang besarnya sebagai fungsi waktu. Koreksi ini dilakukan dengan cara membuat lintasan tertutup pada titik-titik pengukuran (loop tertutup), yaitu dengan cara melakukan pengukuran ulang pada stasiun awal (titik ikat pada tiap loop). Besarnya koreksi drift adalah (Sunaryo, 1997: 11) :

$$D_n = \left\{ \frac{(g_b - g_a)}{(t_b - t_a)} (t_n - t_a) \right\} \quad (2.10)$$

Di mana :

$D_n$  = Koreksi drift pada waktu pembacaan titik ikat

$g_a$  = Pembacaan gravitometer di titik awal

$g_b$  = Pembacaan gravitometer di titik akhir

$t_a$  = Waktu pembacaan di titik awal

$t_b$  = Waktu pembacaan di titik akhir

$t_n$  = Waktu pembacaan di titik pengamatan

### 2.3.6.4 Koreksi Gravitasi Normal ( $g_n$ )

Karena bumi yang berotasi dan ellipsoid, menyebabkan jari-jari bumi bervariasi untuk lintang yang berbeda. Percepatan sentrifugal menyebabkan rotasi bumi maksimum di katulistiwa dan nol di kutub, hal ini berlawanan dengan percepatan gravitasi yang lebih besar di kutub dibandingkan di katulistiwa. Kiranya perlu dibuat suatu bentuk perumusan  $g_0$  sebagai fungsi kedudukan

lintang, yang kemudian biasa disebut gravitasi teoritis atau koreksi gravitasi normal ( $g_n(\theta)$ ). Selama beberapa tahun perumusan harga gravitasi normal mengalami perbaikan. Perumusan menurut Geodetic Reference System yang mengacu pada bentuk bumi secara teoritis adalah sebagai berikut :

- Rumusan IGF (*International Gravity Formulae*) pertama yang diterima secara internasional pada tahun 1930 (Blakely, 1995: 135),

$$g_n = 9.78049(1 + 0.0052884 \sin^2 \lambda - 0.0000059 \sin^2 2\lambda) \quad (2.11)$$

pada rumusan ini telah ditemukan error sekitar 13 mgal, kemudian dengan bantuan satelit yang lebih maju rumusan yang lebih baik ditemukan.

- Di tahun 1967 *Geodetic Reference System* menentukan rumusan IGF 1967 (Blakely, 1995: 135),

$$g_n = 9.78031846(1 + 0.0053024 \sin^2 \lambda - 0.0000058 \sin^2 2\lambda) \quad (2.12)$$

- *International association of Geodesy* mengembangkan *Geodetic Reference System* 1980, yang menuntun pada *World Geodetic System 1984* (WGS84) dalam rumusan yang lebih sempurna (Blakely, 1995: 136):

$$g_n = 9.7803267714 \left( \frac{1 + 0.0019385138639 \sin^2 \lambda}{\sqrt{1 - 0.00669437999013 \sin^2 \lambda}} \right) \quad (2.13)$$

Dimana  $g_n$  dalam  $\text{m} \cdot \text{sec}^{-2}$  dan  $\lambda$  adalah sudut lintang (Blakely, 1995: 136).

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

Untuk hasil pengukuran gravitasi di laut dapat langsung dibandingkan dengan nilai gravitasi normal ( $g_n$ ) karena bidang geoid bersesuaian dengan permukaan laut. Pengukuran gravitasi di daratan harus dikenakan koreksi akibat ketinggian tempat yang berada di bawah atau di atas permukaan laut (Blakely, 1995: 140).

Koreksi udara bebas didasari kenyataan bahwa gravitasi bumi secara keseluruhan dapat dianggap sama seandainya massa terkonsentrasi di pusatnya.

Jika ketinggian gravimeter dirubah, maka jarak dari pusat bumi berubah dengan nilai yang sama besar (Dobrin, 1960: 230).

Jika jarak dari permukaan sferoid ke pusat bumi adalah  $r$  dan ketinggian pengukuran gravitasi di titik amat dari bidang sferoid adalah  $h$  (dimana  $h \ll r$ ) jika  $g(r)$  mewakili gravitasi pada bidang geoid atau gravitasi normal, maka percepatan gravitasi di titik amat mengikuti deret Taylor (Blakely, 1995: 140):

$$g(r+h) = g(r) + h \frac{\partial}{\partial r} g(r) + \frac{h^2}{2} \frac{\partial^2}{\partial r^2} g(r) + \dots \quad (2.14)$$

Dengan mengabaikan faktor yang berorder tinggi di dapat (Blakely, 1995: 140):

$$g(r) = g(r+h) - h \frac{\partial}{\partial r} g(r) \quad (2.15)$$

Apabila percepatan gravitasi di permukaan bumi adalah  $g(r) = -\gamma M/r^2$  maka koreksi udara bebas (Blakely, 1995: 140):

$$\begin{aligned} g(r) &= g(r+h) - \frac{2g(r)}{r} h \\ g(r+h) - g(r) &= \frac{2g(r)}{r} h \\ g_{fa} &= -0.3086 \times 10^{-5} h \end{aligned} \quad (2.16)$$

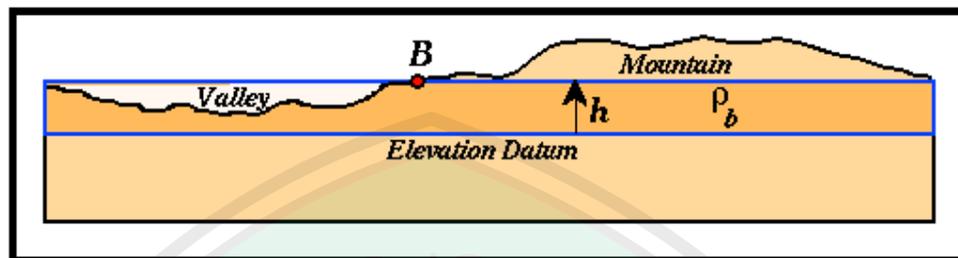
Dimana  $h$  adalah ketinggian di atas permukaan laut. Persamaan (2.16) sesuai dengan satuan SI ( $g_{fa}$  dalam  $\text{m} \cdot \text{sec}^{-2}$ ,  $h$  dalam  $\text{m}$ ) dan satuan CGS ( $g_{fa}$  dalam  $\text{gal}$ ,  $h$  dalam  $\text{cm}$ ) karena  $g_{fa}/h$  satuannya  $\text{sec}^{-2}$  (Blakely, 1995: 140).

Harga koreksi udara bebas ditambahkan jika titik amat berada di atas bidang datum dan dikurangkan jika berada di bawah bidang datum.

### 2.3.6.6 Koreksi Bouguer (*Bouguer Correction*)

Dalam koreksi udara bebas dan gravitasi normal massa di bawah titik pengukuran harus diperhitungkan. Jadi koreksi Bouguer tergantung pada ketinggian titik amat dari bidang datum dan rapat massa batuan antara titik amat dan bidang datum. Koreksi Bouguer harganya berlawanan dengan koreksi udara

bebas, dikurangkan jika titik amat berada di atas bidang datum dan ditambahkan bila titik amat berada di bawah bidang datum (Burger, 1992: 327).



Gambar 2. 4 Pendekatan Bouguer untuk massa di atas permukaan laut  
(Exploration Geophysics: Gravity Notes 06/20/02: 32)

Besarnya koreksi Bouguer adalah (Sunaryo, 1997: 12):

$$\begin{aligned} B_c &= 0,04193 \rho h \text{ mgal/m atau} \\ &= 0,01273 \rho h \text{ mgal/ft} \end{aligned} \quad (2.17)$$

dimana :

$\rho$  = Rapat massa Bouguer

$h$  = Ketinggian titik pengukuran dari bidang sferoid

rumusan ini berlaku dengan asumsi bahwa bidang Bouguer merupakan pelat dasar tak hingga.

Grant dan West (1965), mendefinisikan bahwa massa yang terletak antara permukaan topografi dan bidang sferoida dapat di bagi menjadi dua bagian :

- a. Bagian massa yang terletak antara bidang Bouguer dan sferoida referensi di mana efek dari massa ini disebut efek Bouguer. Anomali yang dihasilkan setelah dilakukan koreksi Bouguer terhadap anomali udara bebas disebut anomali Bouguer sederhana.
- b. Bagian massa yang berada di atas bidang 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 rata-rata untuk seluruh massa di bawah permukaan. Densitas batuan dipengaruhi beberapa faktor diantaranya adalah rapat massa butir pembentuknya, porositas, kandungan fluida, yang mengisi pori-porinya, serta pemadatan akibat tekanan dan pelapukan yang dialami batuan tersebut.

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

1. Densitas Bouguer standar =  $2670 \text{ kg/m}^3$  sebagai densitas kerak bumi rata-rata.
2. Pengukuran langsung seperti pengumpulan sampel batuan baik dari permukaan dan sumur bor.
3. Dari peta geologi untuk mendapatkan jenis batuan, kemudian dilihat harga densitasnya pada table densitas batuan.
4. Profil densitas (metode Nettleton).
  - a. Secara grafis yaitu dengan membuat profil topografi dan profil anomali Bouguer untuk densitas yang berbeda-beda dari tiap lintasan yang dipilih sebagai densitas Bouguer adalah densitas yang profil anomali Bouguernya memiliki koreksi paling minimum dengan profil topografi.
  - b. Secara analitik, yaitu dengan menggunakan persamaan matematis untuk menghitung Koefisien Korelasi dari semua data pengukuran. Cara ini

sangat baik karena memasukkan semua data pengukuran gravitasi sehingga menjadi korelasi silang dua dimensi. Persamaan analitik yang digunakan untuk menghitung Koefisien Korelasi (k) adalah :

$$k = \frac{\sum_{k=1}^n [\Delta g_k(\rho_1) - \Delta g][h_k - h]}{\sqrt{\sum_{k=1}^n [\Delta g_k(\rho_1) - \Delta g(\rho_1)]^2} \sqrt{\sum_{k=1}^n [h_k - h]^2}} \quad (2.18)$$

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

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

### 2.3.6.7 Koreksi Medan (*Terrain Correctin*)

Kondisi topografi disekitar titik pengamatan terkadang tidak beraturan seperti adanya lembah atau bukit yang juga mempengaruhi nilai Gravitasi di titik pengamatan. Bukit mempunyai efek yaitu memperkecil percepatan Gravitasi. Karena itu koreksi Terrain untuk bukit ini harus ditambahkan yang berarti bahwa lembah disekitar titik pengamatan dianggap mempunyai massa batuan (Dobrin, 1960: 230).

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 di bawah ini (Burger, 1992: 332):

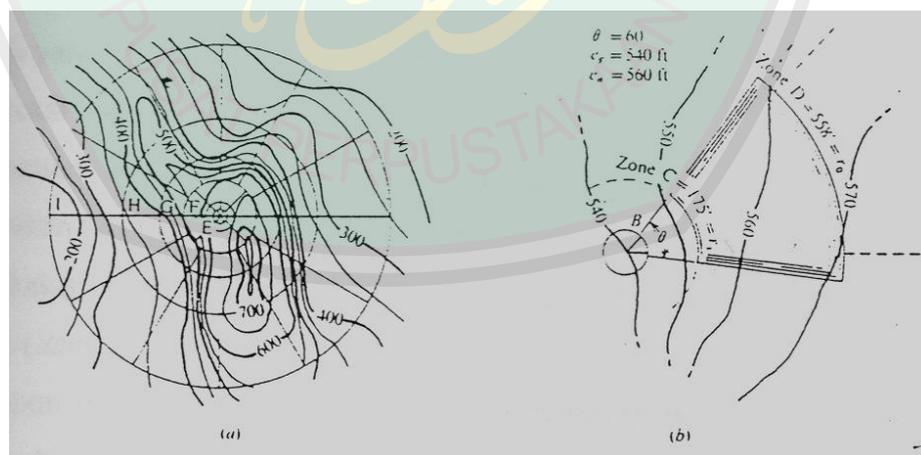
$$TC = 2\pi\gamma\rho \left[ R_2 - R_1 + \sqrt{(R_1^2 + \Delta h^2)} - \sqrt{(R_2^2 + \Delta h^2)} \right] \quad (2.19)$$

dimana ;  $R_1$  = radius bagian 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 2.2. *Hammer chart* membagi daerah titik pengamatan atas zona-zona dan kompartemen yang merupakan bagian dari silinder konsentris (Dobrin, 1960: 231).



Gambar 2. 5 Model Hammer Chart untuk koreksi medan (Telford. 1976).

### 2.3.6.8 Anomali Bouguer

Anomali Bouguer merupakan suatu pemaparan dari gravitasi yang paling umum untuk memperkirakan gambaran kondisi bawah permukaan berdasarkan

kontras rapat massa batuan. Dengan demikian nilai anomali Bouguer dapat dirumuskan sebagai berikut (Sunaryo, 1997: 13):

$$BA = g_{obs} - g_{\phi} + FAC + BC + TC \quad (2.20)$$

dimana,

$g_{obs}$  : Harga gaya gravitasi pengukuran di titik tersebut

FAC : *Free Air Correction*/ koreksi udara bebas

BC : *Bouguer Correction*/ koreksi Bouguer

TC : *Terrain Correction*/ koreksi medan

Nilai anomali yang diperoleh adalah nilai anomali pada ketinggian titik amat.

### 2.3.6.9 Anomali Percepatan Gravitasi

Setelah dilakukan konversi terhadap data percepatan gravitasi hasil pengukuran, maka akan diperoleh anomali percepatan gravitasi yaitu (Blakely, 1995: 143):

a) Anomali udara bebas ( $\Delta g_{fa}$ ).

$$\Delta g_{fa} = g_{ob} - g_n + 0.03086h (+T_{dc}) \quad (2.21)$$

b) Anomali Bouguer ( $g_{bg}$ )

1. Anomali Bouguer sederhana ( $\Delta g_{bgs}$ )

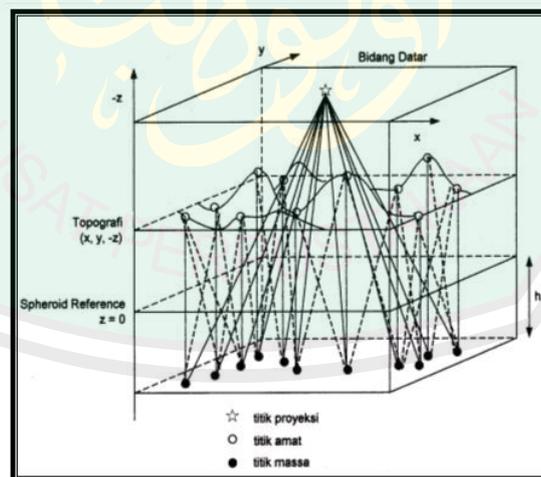
$$\Delta g_{bgs} = g_{ob} - g_n + 0.03086h - 0.04193\rho h (+T_{dc}) \quad (2.22)$$

2. Anomali Bouguer Lengkap ( $\Delta g_{bg}$ )

$$\Delta g_{bg} = g_{ob} - g_n + 0.03086h - 0.04193\rho h + T_c (+T_{dc}) \quad (2.23)$$

## 2.4 Reduksi Bidang datar

Data anomali Bouguer lengkap masih berada pada permukaan topografi dengan ketinggian yang bervariasi sedangkan dalam analisa lanjut diperlukan data anomali medan gaya berat yang berada pada bidang datar. Hal ini dapat diatasi dengan membawa anomali Bouguer lengkap tersebut ke bidang datar pada ketinggian tertentu menggunakan metode sumber ekuivalen titik massa (Dampney, 1969) dan metode pendekatan deret Taylor. Proses dengan menggunakan metode sumber ekuivalen titik massa ini adalah menentukan sumber ekuivalen titik massa diskrit pada kedalaman tertentu di bawah permukaan dengan memanfaatkan data anomali Bouguer lengkap permukaan. Kemudian dihitung medan gravitasi teoritis yang diakibatkan oleh sumber ekuivalen tersebut pada suatu bidang datar dengan ketinggian tertentu seperti gambar 2.6



Gambar 2. 6 Sumber ekuivalen titik massa (Elisa. 2003)

Persamaan dasar yang digunakan dalam proses ini adalah (Dampney, 1969):

$$\Delta g(x, y, z) = G \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{\sigma(\alpha, \beta, h)(h - z) d\alpha d\beta}{((x - \alpha)^2 + (y - \beta)^2 + (z - h)^2)^{3/2}} \dots \quad (2.24)$$

Dengan

$\Delta g(x, y, z)$  = Anomali medan gravitasi Bouguer lengkap

$\sigma(\alpha, \beta, h)$  = Distribusi kontras densitas meliputi bidang  $z = h$

$z$  = Sumbu vertikal dengan arah positif ke bawah

$h$  = Kedalam sumber ekuivalen titik massa dari datum (sferoida acuan)

Selain metode sumber ekuivalen titik massa, proses membawa anomali medan gravitasi ke bidang datar dapat juga dilakukan dengan pendekatan deret Taylor. Metode ini menggunakan derivatif dari suatu fungsi pada suatu titik untuk mengekstrapolasi fungsi disekitar titik itu. Medan potensial pada *irregular surface*,  $z(x, y)$ , dapat diperoleh dengan melakukan kontinuitas terhadap medan potensial yang berada pada bidang datar ( $z_0 = \text{konstan}$ ) berdasarkan deret Taylor.

## 2.5 Kontinuitas ke Atas (*Upward Continuation*)

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

$$U(x, y, z_0 - \Delta z) = \frac{\Delta z}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{U(x', y', z_0)}{((x - x')^2 + (y - y')^2 + \Delta z^2)} dx' dy' \dots (2.25)$$

Dimana:  $U(x, y, z_0 - \Delta z)$  adalah harga medan potensial pada bidang hasil kontinuitas,  $U(x', y', z_0)$  adalah harga medan potensial pada bidang observasi sebenarnya,  $\Delta z$  adalah jarak atau ketinggian pengangkatan (Blakely, 1995: 316).

## 2.6 Geologi Daerah Penelitian

### 2.6.1 Geografis Wilayah

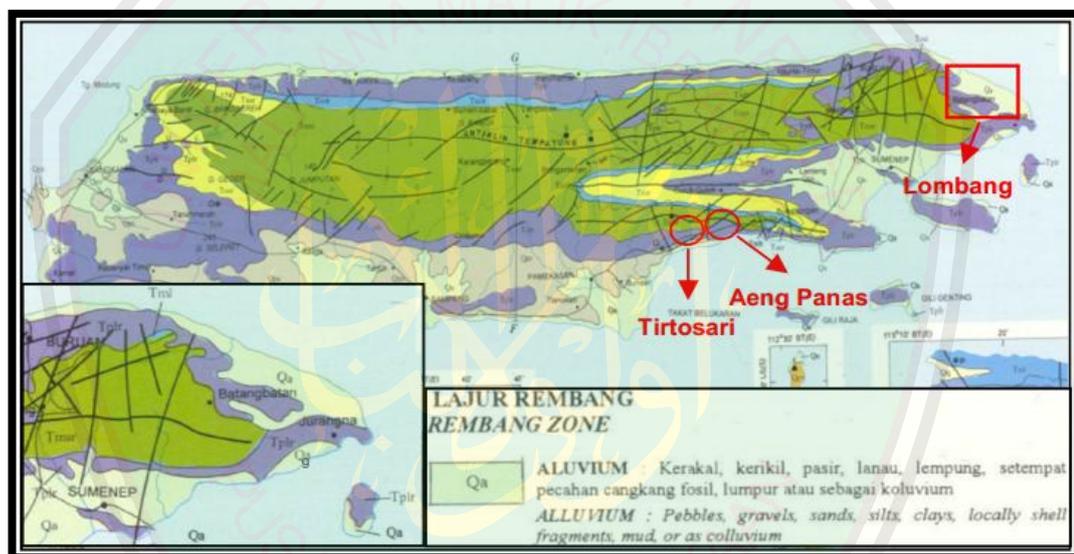
Daerah penelitian ini terletak di sekitar area sumber mata air panas (*hydrothermal*) yang berada di desa Lombang, Kecamatan Batang-batang Kabupaten Sumenep, sekitar  $\pm 20$  Km dari Kota Sumenep. Secara geografis daerah penelitian terletak pada koordinat  $07^{\circ} 55' 52.79''$  LS dan  $114^{\circ} 04' 11.05''$  BT. Wilayah ini berada di bagian ujung timur utara dari Kabupaten Sumenep dan berhadapan dengan laut Jawa di sebelah utara sehingga daerah ini secara geografis terletak berdekatan dengan kawasan pesisir pantai utara Madura, berjarak  $\pm 1$  Km dari pesisir pantai.

Adapun manifestasi panas bumi (*geothermal*) di daerah ini antara lain adalah keberadaan sumber mata air panas (*hot springs*) yang mengandung belerang (*sulfur*) dengan kolam pemandian air panas belerang berukuran  $3 \times 3$  m<sup>2</sup> dan beberapa sumur air panas. Manifestasi panas bumi (*geothermal*) tersebut di daerah ini terletak di sekitar area persawahan dan ladang daerah setempat pada ketinggian 16-22 m dpl dengan suhu air panas yang pernah diukur ialah sebesar  $45^{\circ}$  C. Kedalaman lapisan bawah permukaan yang mengandung air di beberapa sumur daerah setempat ialah terletak pada kedalaman 5-8 m dari permukaan sehingga akifer di daerah ini tergolong zona akifer dangkal.

### 2.6.2 Morfologi

Sebagian besar wilayah Madura termasuk dalam lajur rembang, merupakan punggung yang terlipat dan membentuk anticlinorium yang memanjang padamarah barat-timur, mulai dari Purwodadi (Jawa Tengah) menerus

ke daerah Tuban-Surabaya (Jawa Timur) dan berakhir di daerah yang dipetakan (Gambar.2.7). Daerah ini pada umumnya termasuk pegunungan landau hingga pegunungan berlereng terjal. Mempunyai julang (ketinggian) dari 0 hingga 440 m di atas muka laut. Secara geologi pulau Madura merupakan bagian dari unsur daratan utara pulau Jawa dan kelanjutan dari alur pegunungan kapur yang terletak di bagian utara-selatan lembah Solo yang sebagian besar terdiri dari perbukitan cadas dan pegunungan-pegunungan kapur yang lebar.



Gambar 2. 7 Lembar geologi daerah penelitian (Sitomorang, dkk. 1992)

Berdasarkan bentang alamnya daerah Madura dikelompokkan menjadi tiga satuan morfologi, yakni: dataran rendah, perbukitan dan kras. Morfologi bergelombang dengan ketinggian 0-200 m dpl menempati bagian utara (termasuk daerah prospek geothermal desa Lombang), tengah dan selatan memanjang dengan arah barat-timur, umumnya dibentuk oleh batuan sedimen yang terdiri dari batu lempung Formasi Tawun, batu pasir anggota Formasi Ngrayong dan batu gamping. Pola aliran sungai pada umumnya mendaun dan sebagian kecil sejajar,

searah dengan arah jurus lapisan, sebagian memotong arah jurus lapisan, lembahnya termasuk menjelang dewasa (Situmorang, dkk. 1992).

### 2.6.3 Stratigrafi

Berdasarkan peta geologi Lembar Waru-Sumenep (Situmorang drr., 1992), daerah penelitian termasuk dari bagian Cekungan Jawa Timur utara. Tataan stratigrafinya dari tua ke muda adalah Formasi Tawun, Formasi Ngrayong, Formasi Bulu, Formasi Pasean, Formasi Madura, Formasi Pamekasan, dan Alluvium. Kolom stratigrafi beserta litologi tersaji dalam tabel 2.1.

Formasi Tawun secara litologis terdiri atas batulempug, napal, batugamping lempungan dengan sisipan orbitoid. Formasi ini berumur Miosen Awal-Tengah dan sedimennya diendapkan pada lingkungan laut agak dangkal (sublitoral) dengan ketebalan sekitar 300 m.

Formasi Ngrayong yang menindih secara selaras atas Formasi Tawun merupakan perulangan batupasir kuarsa dengan batugamping orbitoid dan batulempung. Formasi ini berumur Miosen tengah dan diendapkan pada lingkungan laut dangkal (litoral) dengan ketebalan lebih kurang 600 m.

Formasi Bulu menjemari dengan Formasi Ngrayong terdiri atas batugamping pelat dengan sisipan napal pasiran. Formasi ini berumur Miosen Tengah bagian akhir, diendapkan dalam lingkungan laut dangkal (zona neritik tengah) dengan ketebalan sekitar 200 m.

Formasi Pasean, yang menindih selaras Formasi Bulu, merupakan perselingan napal dengan batugamping lempungan, batugamping pasiran dan batugamping oolit, napal pasiran, berbutir halus sampai sedang, berlapis baik dan

mengandung sedikit kuarsa. Formasi ini berumur Miosen Akhir dan diendapkan dalam laut dangkal (inner sublittoral) dengan tebal kurang lebih 600 m.

Formasi Madura sebagian menindih selaras dan sebagian lagi tidak selaras Formasi Pasean, Formasi Bulu, Formasi Ngrayong dan diduga berumur Pliosen, sedangkan di Lembar Tanjung Bumi-Pamekasan dan Lembar Surabaya-Sapulu berumur Miosen Akhir-Pliosen. Formasi Madura terdiri dari batugamping terumbu dan batugamping dolomitan. Batugamping terumbu berbentuk padat dan permukaannya umumnya berongga, setempat dolomitan. Satuan batuan ini beragam antara batuan gamping kapuran, di bagian bawah batugamping pasiran batugamping oolit, batugamping hablur dan batugamping dolomitan. Formasi ini diendapkan dalam lingkungan laut dangkal dan tenang dengan ketebalan sekitar 250 m.

Formasi Pamekasan menindih tidak selaras Formasi Madura terdiri atas konglomerat, batupasir, batu lempung dan batugamping. Konglomerat bersifat kompak, padat, terpilah buruk dengan komponen dasar terdiri atas batugamping foraminifera dan batugamping hablur dan ketebalannya sekitar 4 m. Formasi Pamekasan diperkirakan berumur Pleistosen. Sejak kala Holosen telah terjadi pegerosian dan terendaan alluvium yang terdiri atas fraksi lepas berukuran lempung-krakal dan pertumbuhan terumbu koral.

Tabel 2.1 Kolom stratigrafi daerah penelitian (Sitomorang, dkk.1992)

UMUR		FORMASI	TEBAL (m)	LITOLOGI	PERIAN LITOLOGI	FOSIL
KALA						
HOLOSEN			5-15		Pasir kuarsa lempung, kerikil, kerakal dan batugamping koral	
PLISTOSEN		PAMEKASAN	50		Konglomerat, batupasir, batulempung dan batugamping	
PLIOSEN		MADURA	± 2.50		Batugamping terumbu, dolomitan terdiri dari batugamping kapuran, batugamping pasiran, batugamping hablur dan batugamping oolit, setempat berlepis.	<i>Operculina</i> sp <i>Amphistegina</i> sp <i>Elphidium</i> sp <i>Pseudrotalia</i> sp <i>Ammonia</i> sp
MIOSEN	AKHIR	PASEAN	± 6.00		Perselingan napal pasiran dengan batugamping lempungan, batugamping pasiran dan batugamping oolit, berlapis baik, mengandung banyak foraminifera	<i>Lepidocyclina ruttleri</i> <i>Lepidocyclina</i> sp <i>Cycloclypeus</i> sp <i>Operculina</i> sp <i>Globigerina acostaensis</i>
					Batugamping pasiran dengan sisipan napal, putih-coklat, struktur pelat-pelat dan silang-siur berkembang baik, mengandung foraminifera besar dan foram kecil, moluska	<i>Lepidocyclina</i> sp <i>Cycloclypeus</i> sp <i>Operculina</i> sp <i>Cycloclypeus annulatus</i> <i>Lepidocyclina ruttleri</i>
	AWAL	NGRAYONG	± 600		Batupasir kuarsa, umumnya lepas, putih, putih kecoklatan, berselingan dengan batugamping orbitoid dan batulempung, setempat menyerpih, selingan batu lempung, selingan batugamping orbitoid semakin rapat dan tebal ke bagian atas. Tebal lapisan 8 - 20 m pada bagian atas di dalam lempung dan pasir kuarsa di jumpai gipsium dan konkresi besi	<i>Lepidocyclina ruttleri</i> <i>Cycloclypeus annulatus</i> <i>Cyclocly</i> spp <i>Myogypsina</i> sp <i>Amphistegina</i> sp <i>Orbulina universa</i> <i>Globigerinoides immaturus</i> <i>Globigerina trilobus</i> <i>Ammonia</i> sp
				TAWUN	± 300	

#### 2.6.4 Struktur

Struktur di daerah Madura adalah lipatan dan sesar. Struktur antiklin dan sinklin berarah barat – timur, jurus sesar umumnya berarah barat daya-timur laut dan barat laut-tenggara. Antiklin berkembang pada Formasi Ngrayong, Bulu dan Formasi Pasean. Sinklin pada umumnya berkembang pada Formasi Ngrayong. Sesar

yang terdapat di daerah ini adalah sesar naik, sesar geser dan sesar normal, jurus sesar naik berarah barat-timur, jurus sesar geser dan sesar normal berarah barat daya-timur laut dan barat laut-tenggara. Kelurusan pada umumnya searah dengan jurus sesar geseran sesar normal (Situmorang, 1992).

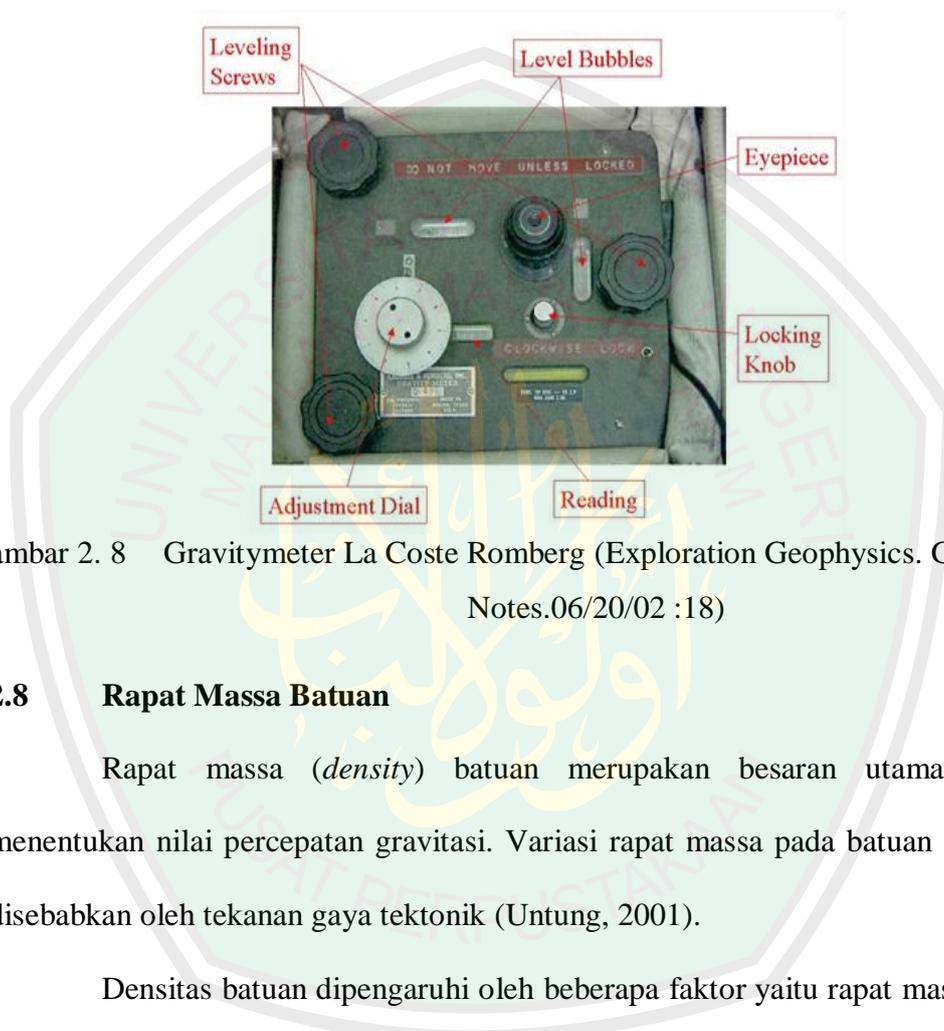
Daerah prospek geothermal ini terletak di Kecamatan Batang-Batang, Kabupaten Sumenep, Jawa Timur (Madura). Keberadaan potensi panas bumi atau geothermal diindikasikan oleh munculnya sumber mata air panas (hot springs) di desa Lombang. Seperti halnya daerah prospek geothermal Tirtosari Sumenep, tatanan geologi (geological setting) di daerah ini didominasi oleh batuan sedimen dari Formasi Madura dan Formasi Ngrayong yang mana terdiri dari batu gamping terumbu, batu gamping dolomite dan pasir (sandstone) (Situmorang, 1992).

Prospek geothermal di desa lombang ini diperkirakan merupakan system panas bumi geopressured (geopressured system) yang terasosiasi dengan depresi zona cekungan sedimen yang memanjang dari Jawa Barat ke Jawa Timur, yaitu: Bogor - Serayu Utara – Kendeng – Zona depresi selat Madura (Arifin, 2013).

## **2.7 Gravimeter La Coste Romberg**

Alat ini dibuat setelah gravimeter Worden pada tahun 1970. Gravimeter La Coste Romberg memanfaatkan prinsip pegas panjang nol (*zero-length spring*) yakni adanya suatu pegas yang mempunyai sifat bahwa tegangannya berbanding lurus dengan panjangnya. Artinya apabila pegas dikenai gaya maka tegangan yang terjadi akan sebanding dengan panjang pegas. Jadi dengan mengukur pertambahan panjang pegas dapat diketahui besarnya gaya mempengaruhinya. Pengukuran pertambahan panjang pegas ini dilakukan dengan

cara memantau sekrup agar pegas kembali ke panjang semula (zero-length). Banyaknya putaran sekrup menunjukkan pertambahan panjang pegas akibat pengaruh gaya yang pertama tadi (Munadi, 2001: 42).



Gambar 2. 8 Gravimeter La Coste Romberg (Exploration Geophysics. Gravity Notes.06/20/02 :18)

## 2.8 Rapat Massa Batuan

Rapat massa (*density*) batuan merupakan besaran utama dalam menentukan nilai percepatan gravitasi. Variasi rapat massa pada batuan sedimen disebabkan oleh tekanan gaya tektonik (Untung, 2001).

Densitas batuan dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu rapat massa butir pembentuknya, porositas, kandungan fluida yang mengisi pori-porinya, serta pepadatan akibat tekanan dan pelapukan yang dialami batuan tersebut (Kirbani, 2001).

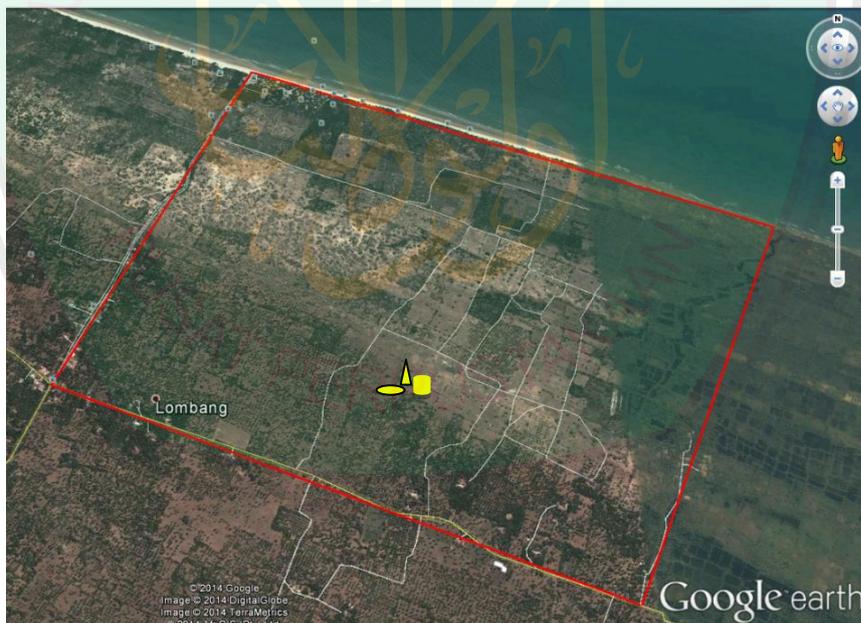
Tabel 2.2 Rapat Massa batuan

Batuan/mineral	Rapat massa (gr/cm <sup>3</sup> )	Rapat Massa Rata-rata(gr/cm <sup>3</sup> )
<b>Batuan Beku</b>		
Andesit	2.40-2.80	2.61
Basalt	2.70-3.30	2.99
Diorit	2.72-2.99	2.85
Gabro	2.70-3.50	3.03
Granit	2.50-2.81	2.64
Lava	2.70-3.00	2.90
Porfiritik	2.60-2.89	2.74
<b>Batuan Sedimen</b>		
Lempung	1.63-2.60	1.70
Kerikil	1.70-2.40	1.95
Pasir	1.70-2.30	1.6
Lanau	1.80-2.20	1.43
Batu pasir	1.61-2.76	2.35
Batu gamping	1.93-2.90	2.55
<b>Batu malihan</b>		
Kuarsa	2.50-2.70	2.60
Granulit	2.52-2.73	2.65
Marmer	2.60-2.90	2.75

## BAB III METODE PENELITIAN

### 3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada tanggal 3-4 Mei 2014. Tempat penelitian terletak di sekitar sumber air panas Desa Lombang Kecamatan Batangbatang Kabupaten Sumenep Madura. Lokasi mata air panas tersebut berdekatan dengan pesisir pantai daerah setempat. Di sekitar sumber panas tersebut adalah sawah, ladang, rumah dan bekas tempat wisata pemandian air panas. Pengolahan data bertempat di Laboratorium Geofisika Jurusan Fisika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri (UIN) Maulana Malik Ibrahim Malang.



Gambar 3.1 Lokasi Daerah Penelitian

Keterangan:

- Sumur air panas
- Bekas kolam pemandian
- Mata air panas
- Daerah penelitian

### 3.2 Data Penelitian

Data yang diambil dalam penelitian ini adalah :

- a. Koordinat Lintang dan Bujur
- b. Waktu pengambilan data (hari, jam, dan tanggal)
- c. Ketinggian titik ukur
- d. Pembacaan gravitometer

Data koordinat lintang dan bujur, waktu pengambilan data, ketinggian titik ukur terbaca melalui GPS yang digunakan pada waktu di lapangan. Pembacaan gravitometer harus dikonversi ke dalam mgal dimana  $1 \text{ gal} = 1 \text{ cm/det}^2 = 10^{-2} \text{ m/det}^2$ .

### 3.3 Peralatan Penelitian

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

- a. Gravitometer La Coste dan Romberg tipe G-1053
- b. Peralatan pendukung : Gps Garmin, peta Topografi, peta geologi, alat tulis, penggaris, perangkat komputer untuk pengolahan data, dan Software (Magpick, Surfer 10, Matlab 2008, Excel, Grav2DC V 2.1).

### 3.4 Prosedur Pelaksanaan Penelitian

Penelitian ini meliputi tahap pengambilan data, pengolahan data dan interpretasi terhadap hasil pengolahan data. Pada penelitian ini yang dianalisa adalah berupa data gravitasi, geologi daerah penelitian, anomali gaya berat dan kontras densitasnya.

Berikut akan dijelaskan tahap-tahap prosedur pelaksanaan penelitian dalam metode gravitasi :

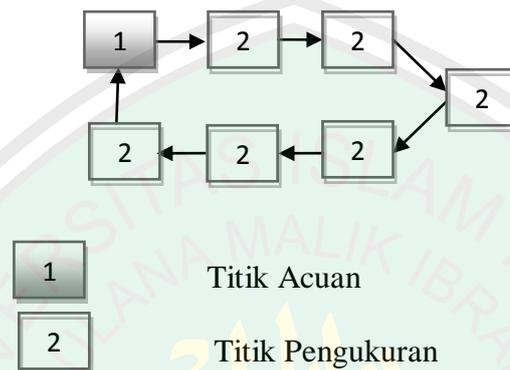
### 3.4.1 Akuisisi Data

Pengambilan data dilakukan di desa Lombang Kecamatan Batang-Batang Kabupaten Sumenep dengan area cakupan penelitian terletak pada koordinat  $6^{\circ} 55' 48,97''$  -  $6^{\circ} 55' 52,79''$  LS dan  $113^{\circ} 04' 05,65''$  -  $114^{\circ} 04' 11,05''$  BT, dengan luas daerah penelitian sebesar 2100 m x 1800 m dan jarak spasi antara titiknya sebesar 300 m. Sebelum pengambilan data penulis melakukan survey lapangan hal ini perlu dilakukan untuk menentukan titik-titik pengukuran, dengan memanfaatkan peta topografi yang didapatkan dari Google Earth dapat ditentukan lintasan pengukuran serta perkiraan sebaran titik-titik yang dibutuhkan. Beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam penentuan lintasan, titik ikat dan base station adalah sebagai berikut :

- Letak titik pengukuran harus jelas dan mudah dikenal.
- Lokasi letak titik pengukuran harus mudah dibaca dalam peta.
- Lokasi titik pengukuran harus mudah dijangkau serta bebas dari gangguan kendaraan bermotor, mesin, dll.
- Lokasi titik pengukuran harus terbuka sehingga GPS mampu menerima sinyal dari satelit dengan baik tanpa ada penghalang.

Tahap selanjutnya adalah pengambilan data, yaitu dengan melakukan kalibrasi alat dan menentukan titik acuan (base station) sebelum pengambilan data gaya berat di titik-titik ukur lainnya. Lokasi titik acuan harus berupa titik atau tempat yang stabil atau mudah dijangkau. Penentuan titik acuan sangat penting,

karena pengambilan data lapangan harus dilakukan secara looping, yaitu dimulai dari titik acuan yang telah ditentukan, dan berakhir pada titik tersebut. Titik acuan perlu diikatkan terlebih dahulu pada titik ikat yang sudah diketahui nilai mutlak nya.



Gambar 3.2 Sistem Looping penelitian

Pada gambar 3.2 ditunjukkan pola looping pada proses pengambilan data, dimana pengukuran dimulai pada titik 1 yang menjadi titik acuan, kemudian dilanjutkan pada titik-titik ukur lapangan dan berakhir kembali di titik 1. Tujuan dari system looping agar dapat diperoleh nilai koreksi apungan alat (drift) yang disebabkan oleh adanya perubahan pembacaan akibat gangguan berupa guncangan alat selama perjalanan. Dalam pengukuran gravitasi terdapat beberapa data yang perlu dicatat meliputi waktu pembacaan, nilai pembacaan gravitometer, posisi koordinat stasiun pengukuran (lintang dan bujur) dan ketinggian titik ukur.

Setelah menentukan lokasi titik pengukuran, selanjutnya dilakukan pengambilan data dengan menggunakan Gravitometer La Coste Romberg G-1053. Data yang terbaca pada pada gravitometer tidak langsung dalam satuan mGal, tetapi dalam satuan skala pembacaan yang harus dikonversi ke satuan mGal terlebih dahulu dengan menggunakan tabel kalibrasi.

Pada penelitian ini pengambilan data diharapkan dapat menghasilkan sebanyak 65 titik dengan luas daerah penelitian 2100 x 1800 m, jarak antara satu titik dengan yang lainnya  $\pm 300$  m dengan dua kali pengambilan data pada setiap titik pengamatan. Pengambilan data dilakukan selama dua hari, yaitu tanggal 3-4 Mei 2014.

### **3.4.2 Pengolahan Data**

Pada tahap pengolahan data sering disebut dengan reduksi data gravitasi, secara umum pengolahan data gravitasi dapat dibagi menjadi dua tahapan yaitu tahap awal dan tahap lanjutan. Tahap awal meliputi seluruh proses mulai dari pembacaan nilai gravitasi sampai di dapatkan nilai anomali Bouguer di setiap titik amat. Proses tersebut meliputi, konversi pembacaan gravitimeter ke milligal, koreksi apungan (drift correction), koreksi tidal (tide correction), koreksi lintang (latitude correction), koreksi udara bebas (free air Correction), koreksi Bouguer (Bouguer correction) dan koreksi medan (terrain correction). Dalam pelaksanaannya mulai dari konversi data sampai semua koreksi dapat dilakukan dengan bantuan perangkat lunak Microsoft office Excel. Sedangkan tahap selanjutnya adalah pengkonturan dan pemodelan data anomali Bouguer berdasarkan nilai densitas yang sudah diketahui dengan menggunakan tabel 2.1.

#### **3.4.2.1 Konversi Harga Bacaan Gravimeter**

Pemrosesan data gravitasi dilakukan terhadap nilai pembacaan gravimeter untuk mendapatkan nilai anomali Bouguer. Untuk memperoleh nilai anomali Bouguer dari setiap titik amat, maka dilakukan konversi pembacaan

gravimeter menjadi nilai gravitasi dalam satuan milligal berdasarkan persamaan (2.8). Untuk melakukan konversi memerlukan tabel konversi dari gravimeter, pada setiap gravimeter sudah dilengkapi dengan tabel konversi.

Cara melakukan konversi adalah sebagai berikut:

- 1) Misal hasil pembacaan gravimeter G-1053 adalah 1685,66. Nilai ini diambil nilai bulat sampai ratusan yaitu 1600. Dalam tabel konversi (Tabel 3.1) nilai 1600 sama dengan 1622,50 mGal. Dengan Faktor interval 1,01409.
- 2) Sisa dari hasil pembacaan yang belum dihitung yaitu 85,66
- 3) Kedua perhitungan diatas dijumlahkan, hasilnya adalah:  $1622,50 + (85,66 \times 1,01409) = 1709,36188$  mGal.

*Tabel 3.1 Kutipan contoh tabel konversi gravimeter tipe G-1053*

COUNTER READING	VALUE IN MILLIGALS	FACTOR FOR INTERVAL
1500	1521,10	1,01404
1600	1622,50	1,01409
1700	1723,91	1,01409

#### **3.4.2.2. Koreksi Pasang Surut (Tide Correction)**

Pada proses akuisisi data, tidak dilakukan pengukuran terhadap variasi harian akibat pasang surut di base, sehingga untuk menghitung besarnya pasang surut dilakukan menggunakan software Tide. Dalam software tersebut data yang dimasukkan secara berurutan berupa data bujur, lintang, tinggi (h), jam, menit, tanggal, bulan, dan tahun. Hasil dari input tersebut berupa data pasang surut.

#### **3.4.2.2 Koreksi Apungan (Drift Correction)**

Pada akuisisi pengukuran dimulai di base dan diakhiri di base, sehingga besarnya koreksi apungan dapat dihitung dengan asumsi bahwa besarnya

penyimpangan berbanding lurus terhadap waktu. Koreksi drift disebabkan oleh guncangan alat saat dibawa. besar koreksi ini sesuai dengan persamaan (2.10).

Sebelum dilakukan perhitungan, nilai waktu, lintang, dan bujur harus dikonversi terlebih dahulu. Waktu dikonversi dalam bentuk detik, sedangkan bujur dan lintang dikonversi menjadi derajat.

### 3.4.2.3 Medan Gravitasi Terkoreksi

Medan gravitasi terkoreksi yaitu nilai gravitasi hasil pengukuran dilapangan setelah melalui konversi ke miligal dan telah terkoreksi dari pengaruh pasang surut dan apungan, yaitu dengan menambahkan koreksi tidal dan koreksi apungan pada nilai pengukuran yang telah di konversi ke milligal

### 3.4.2.4 Different in Reading ( $\Delta g$ )

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

$$\Delta g = G \text{ tiap titik} - G \text{ Base Station (BS)}$$

### 3.4.2.5 Medan Gravitasi Observasi

Pengukuran gravitasi menggunakan gravitimeter adalah relatif terhadap Base Station (BS), sehingga dalam pengukuran diperoleh beda nilai antara stasiun pengamatan dengan BS.

$$g_{\text{obs}} = g_{\text{abs BS}} + g_{\text{drif}}$$

$g$  absolute base station pada penelitian ini adalah 978181.0965 mGal.

### 3.4.2.6 Medan Gravitasi Teoritis ( Koreksi Lintang/ Gravitasi Normal)

Koreksi lintang merupakan koreksi pembacaan gravitasi akibat letak atau perbedaan derajat lintang bumi. Pada penelitian ini untuk koreksi lintang digunakan persamaan yang dirumuskan World Geodetic System 1984 (WGS84) (Blakely, 1995: 136) :

$$g_n = 9.7803267714 \left( \frac{1 + 0.0019385138639 \sin^2 \lambda}{\sqrt{1 - 0.00669437999013 \sin^2 \lambda}} \right) \quad (3.1)$$

Dimana  $g_n$  dalam  $\text{m} \cdot \text{sec}^{-2}$  dan  $\lambda$  adalah sudut lintang (Blakely, 1995: 136).

### 3.4.2.7 Koreksi Udara Bebas (Free Air Correction)

Koreksi udara bebas merupakan koreksi akibat perbedaan ketinggian pada titik pengukuran dengan mengabaikan adanya massa yang terletak di antara titik ukur dengan bidang referensi ukuran. Menurut Kirbani (2001) koreksi Udara bebas dapat dihitung berdasarkan formula:

$$\text{FAC} = 0,3086 \times h \quad (3.2)$$

dimana,

FAC = *free air correction* (mGal/m)

h = ketinggian titik ukur (m)

### 3.4.2.8 Koreksi Bouguer

Koreksi Bouguer dilakukan untuk menghilangkan efek massa batuan yang mengisi ruang antara titik pengukuran dan bidang acuan. Besar koreksi ini dapat dihitung berdasarkan persamaan:

$$\text{BC} = 2\pi G \rho h$$

Karena ,  $2\pi G = 0,04191$  maka (Sunaryo, 1997: 12),

$$BC = 0.04191\rho h \quad (3.3)$$

dimana,

BC : Bouguer Correction (mGal/m)

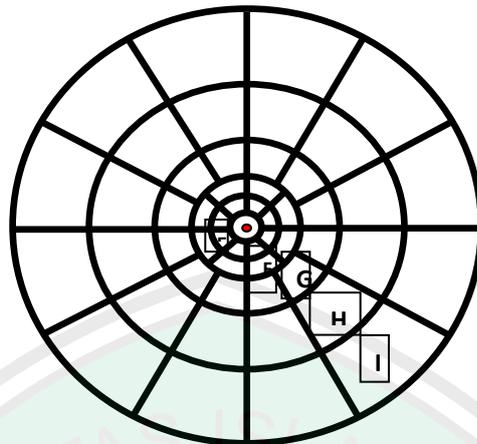
G : Konstanta Gravitasi ( $6,67 \times 10^{-11} \text{m}^3/\text{kg}\cdot\text{s}^2$ )

$\rho$  : Rapat massa batuan rata-rata ( $2,67 \text{ gr/cm}^3$ )

h : Ketinggian (m)

#### 3.4.2.9 Koreksi Medan (Terrain Correction)

Koreksi terrain diakibatkan oleh adanya efek dari massa di sekitar titik pengukuran, seperti gunung, lembah, bukit, dsb. Besar koreksi terrain dapat dihitung berdasarkan persamaan (2.19). Pada penelitian ini perhitungan koreksi terrain dilakukan dengan menggunakan Hammer chart, dengan menggambar lingkaran yang terbagi dalam beberapa segmen yang diletakkan di atas peta topografi seperti gambar 3.3. Pada penelitian ini outer radius  $r_o$  dan Inner radius  $r_i$  berdasarkan tabel Hammer (1939). Adapun lingkaran (zona) yang digunakan adalah zona E (8 segmen), zona F (8 segmen), zona G (12 segmen), zona H (12 segmen), dan zona I (12 segmen). Cara kerja dari Hammer chart, dengan menggunakan bantuan tabel Hammer (1939) yaitu dengan menghitung rata-rata ketinggian pada setiap segmen dan menghitung selisih ketinggian antara titik ukur dengan ketinggian rata-rata tiap segmen. Kemudian nilai ketinggian tersebut dilihat pada tabel Hammer (1939) sehingga akan diketahui nilai koreksi terrain dari segmen tersebut, nilai ketinggian dalam satuan feet. Nilai koreksi terrain total pada satu titik pengukuran adalah jumlah total koreksi terrain pada semua zona (E,F,G,H dan I).



Gambar 3.3 Model Hammer Chart

### 3.4.3 Anomali Bouguer

Setelah data bacaan gravitasi dikoreksi maka didapat nilai anomali

Bouguer lengkap:

$$ABL = G_{obs} - G_n + FAC - BC + TC \quad (3.4)$$

dimana,

ABL = Anomali bouguer lengkap

$G_{obs}$  = Nilai gravitasi obeservasi

$G_n$  = Nilai gravitasi koreksi lintang(gravitasi normal)

FAC = *Free air correction*/ koreksi udara bebas

BC = *Bouguer correction*/koreksi Bouguer

TC = *Terrain correction*/ koreksi topografi

Kemudian nilai anomali tersebut dikonturkan dengan menggunakan software Surfer 10.

#### 3.4.3.1 Pemisahan Anomali Bouguer

Anomali Bouguer disebabkan oleh dua bagian yaitu anomali regional dan anomali lokal. Anomali regional bersifat smooth (halus) dan biasanya disebabkan

oleh batuan-batuan yang dalam. Sedangkan anomali lokal bersifat kasar dan disebabkan oleh batuan-batuan yang dangkal. Kedua anomali tersebut harus dipisahkan karena mempunyai fungsi yang berlainan untuk mendapatkan manfaatnya secara optimum.

Pemisahan antara anomali regional dan anomali lokal bisa dilakukan dengan melakukan proses kontinuitas, baik dengan kontinuitas ke atas (*upward continuation*) atau kontinuitas ke bawah (*downward continuation*), dalam hal ini penulis menggunakan proses kontinuitas ke atas. Sebelum dilakukan kontinuitas perlu dilakukan reduksi ke bidang datar.

Proses pengangkatan ke bidang datar perlu dilakukan karena nilai anomali Bouguer yang sudah terkoreksi merupakan nilai yang masih terpapar pada topografi, yaitu terletak pada titik-titik yang tidak teratur dengan ketinggian yang bervariasi. Hal ini dapat menimbulkan kesulitan dalam melakukan interpretasi. Reduksi bidang datar merupakan langkah yang harus dilakukan sebelum dilakukan kontinuitas ke atas. Reduksi bidang datar dilakukan dengan membawa data pada topografi ke tengah-tengah bidang topografi, reduksi ini bisa dilakukan dengan bantuan program *verder* atau metode *dampney*. Pada penelitian ini reduksi ke bidang datar dilakukan dengan menggunakan metode deret Taylor yang telah dituliskan dalam bentuk algoritma, kemudian algoritma tersebut dijalankan di Software *MatLab 2010*.

Kontinuitas ke atas dilakukan bertujuan untuk memperkecil pengaruh topografi. Kontinuitas ke atas dilakukan dengan menggunakan kontinuitas *surface*

to surface dari data yang sudah di reduksi ke bidang datar (Blakely, 1995).  
Kontinuasi ke atas bisa dilakukan dengan bantuan Software Magpick.

#### **3.4.3.2 Penggambaran Pola Anomali regional dan Anomali lokal**

Nilai anomali regional dan nilai anomali lokal yang telah diolah, kemudian dilakukan penggambaran kontur dengan menggunakan program Surfer 9. Dari kontur anomali lokal, kemudian dilakukan pemodelan yang dibuat sepanjang lintasan tertentu. Dalam penelitian ini, dilakukan analisa pada dua buah penampang melintang anomali lokal yang masing-masing berarah melintang.

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.

#### **3.4.3.3 Pemodelan Geologi**

Pada tahap pemodelan, setelah dilakukan penarikan penampang selanjutnya dilakukan proses digitize dan slice menggunakan program surfer 9. Sampai diperoleh data berupa nilai anomali dan jarak lintasan pada penampang yang telah dibuat, yang merupakan data masukan untuk program GRAV2DC sebagai suatu penampang melintang anomali. Setelah model anomali tergambar, maka dapat dilakukan pemodelan struktur bawah permukaan dengan memasukkan

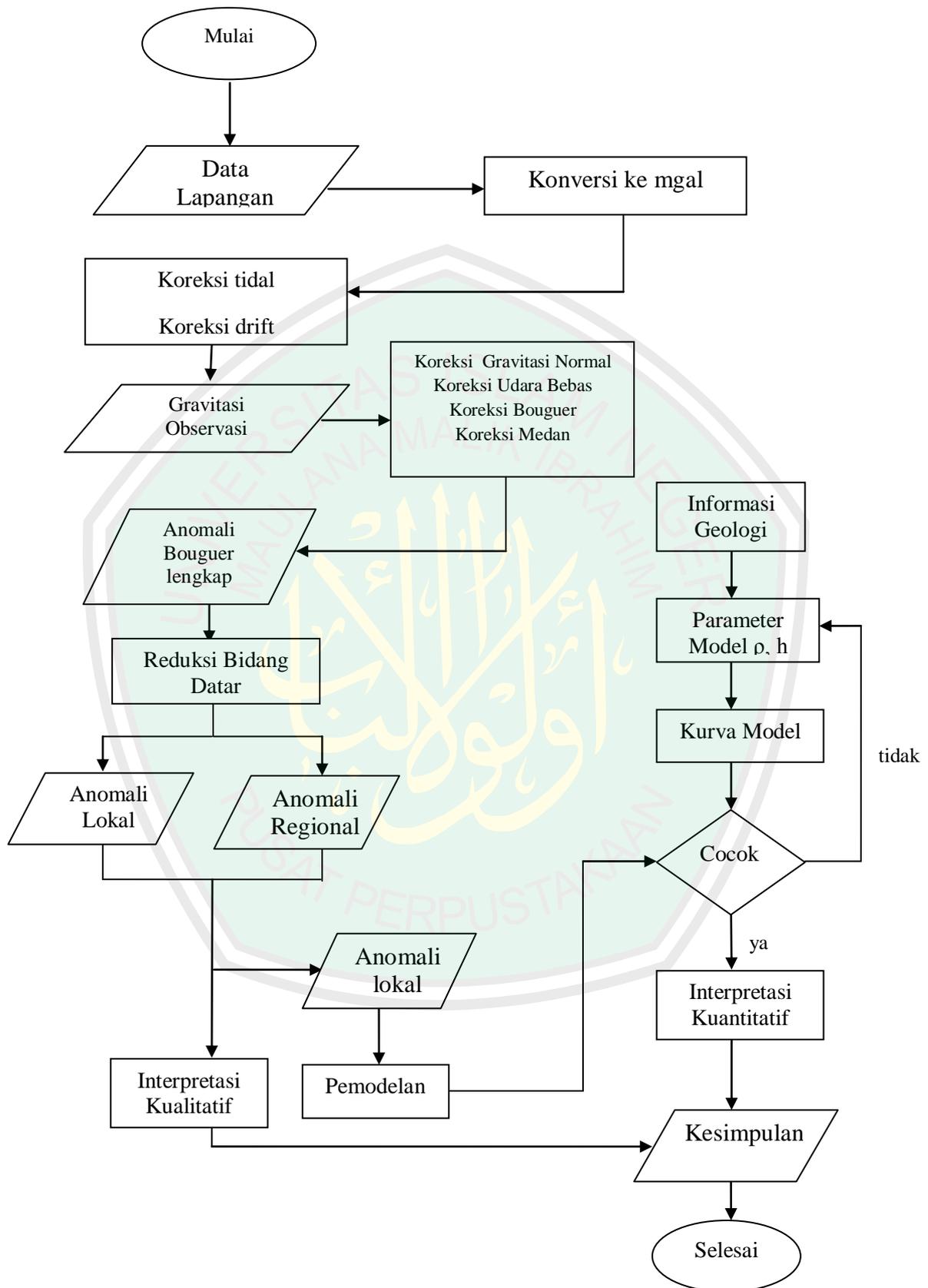
nilai kontras densitas batuan, ketebalan lapisan batuan tertentu seperti yang terbaca pada peta geologi.

#### **3.4.4 Interpretasi Data**

Pada prinsipnya interpretasi dapat dilakukan secara kualitatif dan kuantitatif. Interpretasi kualitatif dilakukan dengan cara membaca pola anomali gravitasi yang kemudian dihubungkan dengan tatanan geologinya dan data geologi lainnya. Sedangkan interpretasi kuantitatif dapat dilakukan dengan menganalisa penampang pola anomali sepanjang lintasan tertentu yang telah ditentukan. Dalam penelitian ini dibuat empat penampang anomali yaitu penampang AB, CD, EF dan GH.

Pada tahap interpretasi parameter benda yang diestimasi adalah posisi, dimensi, kontras rapat massa dengan sekitar, besar benda, dan lain-lain. Karena sifat ketidakunikan data gravitasi artinya benda dengan bentuk yang berlainan dapat menerangkan data yang sama, maka banyak dikembangkan berbagai metode untuk mendapatkan hasil yang optimum. Disamping itu juga diperlukan kontrol-kontrol lain misalnya data geologi, data metode geofisika yang lain.

Interpretasi data dilakukan dengan melihat peta sebaran anomali Bouguer dan anomali lokal. Interpretasi pola anomali Bouguer dan anomali lokal didasarkan data geologi daerah yang bersangkutan sehingga diperoleh gambaran benda bawah permukaan penyebab anomali struktur bawah permukaan di daerah panas bumi. Alur penelitian selengkapnya akan disajikan dalam diagram alir berikut ini :





## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Metode gravity merupakan salah satu metode eksplorasi dalam geofisika yang mencari perbedaan nilai medan gravitasi dari satu titik ke titik yang lain di suatu tempat yang disebabkan oleh distribusi massa yang terdapat di bawah permukaan daerah penelitian. Metode ini sering dan cukup baik digunakan pada tahapan eksplorasi pendahuluan guna menentukan daerah spesifik yang selanjutnya akan disurvei dengan menggunakan metode-metode geofisika yang lebih detail.

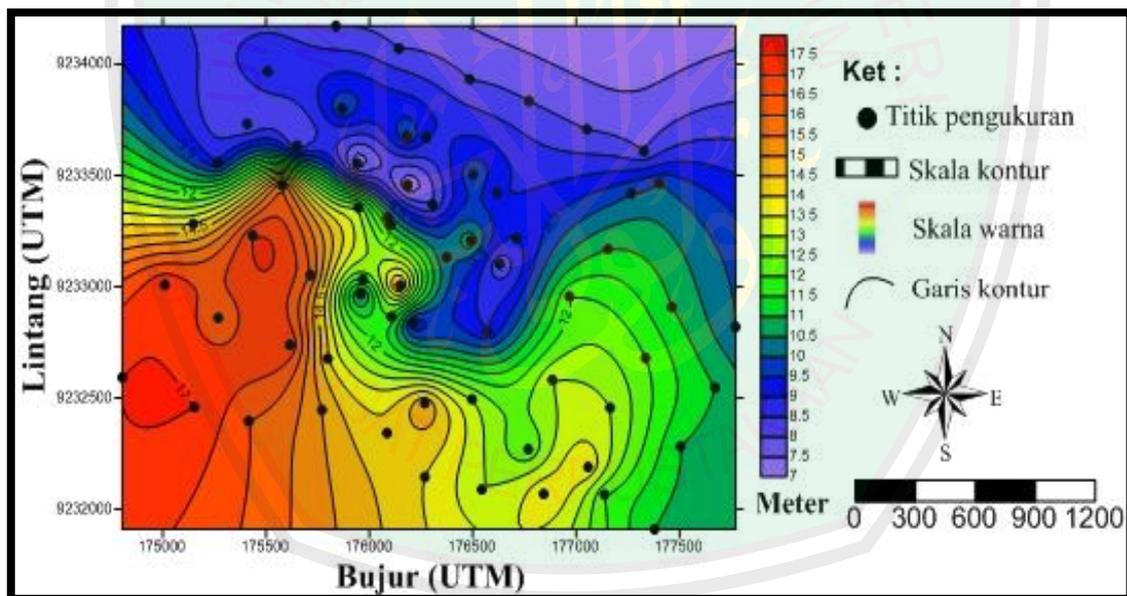
#### 4.1 Akuisisi Data

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah Gravitymeter La Coste dan Romberg tipe G-1053 yang memanfaatkan prinsip pegas serta sangat peka terhadap perubahan densitas di bawah permukaan bumi. Pengambilan data pengukuran dilakukan sebanyak 3 kali dan kemudian data-data tersebut dirata-ratakan untuk mengurangi tingkat kesalahan (*error*) dan *noise* pada saat pengolahan data. Data yang diperoleh pada penelitian ini adalah sebanyak 65 titik dengan jarak spasi tiap titik pengukuran  $\pm 300$  m pada luas area penelitian 1800 m x 2100 m. Kemudian mengukur waktu pengambilan data yang meliputi hari, jam, menit, dan detik. Mengukur ketinggian titik titik pengamatan serta koordinat lintang dan bujur di setiap titik..

#### 4.2 Pengolahan Data

Pengolahan (reduksi) data gravitasi dilakukan untuk memperoleh anomali bouger lengkap dari suatu titik pengamatan yang dipengaruhi oleh rapat massa (densitas) batuan di bawah permukaan. Data yang diperoleh di lapangan merupakan

hasil kompleks dari kontribusi banyak hal. Adanya gangguan (*noise*) pada saat pengukuran tidak dapat dihindari sehingga untuk menghilangkan efek *noise* tersebut dilakukan beberapa koreksi. Proses tersebut dimulai dari konversi pembacaan gravitimeter ke milligal yang bertujuan untuk memperoleh nilai anomali bouger dari setiap titik pengamatan. Kemudian dilakukan koreksi pasang surut (*tide correction*) untuk mengurangi pengaruh gaya gravitasi bumi, bulan dan matahari terhadap data yang diperoleh, serta dilakukan koreksi apungan (*drift correction*) yang bertujuan untuk menghilangkan *noise* (gangguan) yang disebabkan oleh guncangan alat pada saat dibawa.



Gambar 4.1 Kontur topografi dan titik pengukuran daerah penelitian

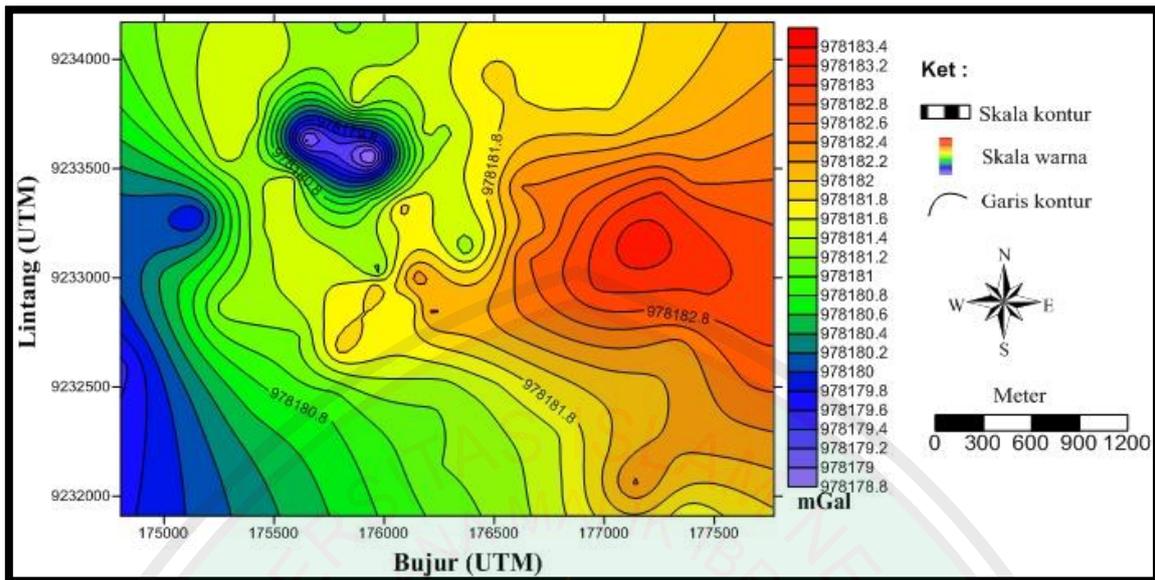
Dari gambar peta kontur topografi daerah penelitian diatas menunjukkan bentuk topografi yang tidak datar yang ditandai dengan anomali rendah, sedang dan tinggi. Nilai topografi daerah penelitian ini berkisar dari 7 meter sampai 17,5 meter. Anomali yang rendah di tandai dengan warna ungu dan nilai yang rendah menunjukkan daerah

dataran rendah, berada pada bagian utara penelitian. Hal ini disebabkan oleh daerah penelitian bagian utara berada persis pada bagian bibir pantai. Anomali sedang ditunjukkan dengan warna hijau merupakan bentuk topografi yang datar. Anomali sedang ini berada di bagian tengah, memanjang dari arah barat ke timur daerah penelitian. Sedangkan warna kuning sampai merah menunjukkan daerah yang lebih tinggi yang berada di selatan dan barat daya dari daerah penelitian.

Selain itu perbedaan lintang di setiap tempat, bentuk topografi bumi yang tidak datar, dan gaya tarik planet lain seperti matahari dan bulan merupakan hal-hal yang mempengaruhi nilai medan gravitasi yang disebabkan benda anomali di bawah permukaan yang sebenarnya. Sehingga perlu dilakukan pengolahan data gravitasi yang bertujuan untuk mereduksi penyebab medan gravitasi yang tidak berhubungan dengan struktur geologi penyebab anomali.

#### **4.3 Medan Gravitasi Observasi (g Obs)**

Data yang diperoleh dilapangan kemudian dilakukan beberapa koreksi, yang terdiri dari konversi ke mGal, koreksi pasang surut, dan koreksi drift sehingga diperoleh nilai medan gravitasi observasi. Data hasil konversi ke mGal dijumlahkan dengan koreksi pasang surut dan koreksi drift. Kemudian hasilnya dijumlahkan dengan nilai  $g$  diff ( $\Delta g$ ) di tiap titik pengukuran maka akan didapatkan nilai medan gravitasi observasi. Selanjutnya nilai medan gravitasi observasi dikonturkan dengan menggunakan Surfer 10. Adapaun hasil kontur yang diperoleh adalah sebagai berikut.



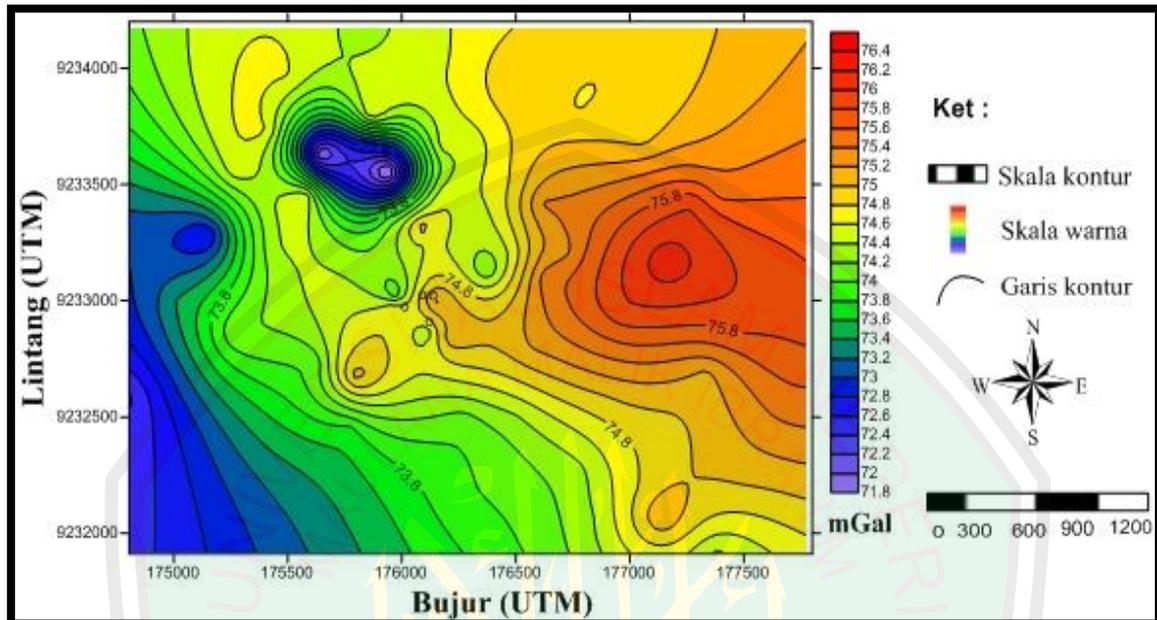
Gambar 4.2 Kontur medan gravitasi observasi daerah penelitian

Gambar di atas merupakan kontur medan gravitasi observasi daerah penelitian yang sudah dikonversi ke mGal dan telah dilakukan koreksi pasang surut dan koreksi drift. Namun medan gravitasi observasi ini masih dipengaruhi oleh banyak hal. Seperti bentuk topografi yang berbeda dan perbedaan lintang dari titik-titik pengukuran. Nilai medan gravitasi observasi yang terukur pada daerah penelitian ini berkisar dari 978178.9 mGal sampai 978183 mGal.

#### 4.4 Medan Gravitasi Teoritis (g Normal)

Bentuk bumi yang tidak bulat seutuhnya (elesoid) menyebabkan perbedaan jari-jari bumi di khatulistiwa dan di kutub. Perbedaan tersebut menyebabkan nilai medan gravitasi berbeda di setiap lintangnya. Secara teoritis nilai medan gravitasi akan semakin besar jika mendekati kutub dan akan semakin kecil bila mendekati khatulistiwa. Besarnya nilai koreksi ini dapat dilihat pada lampiran 2. Nilai tersebut kemudian menjadi koreksi terhadap nilai medan gravitasi observasi. Dengan cara

mengurangkan nilai Gravitasi observasi dengan nilai koreksi gravitasi normal. hasil koreksi tersebut kemudian diperlihatkan oleh gambar 4.2 di bawah ini.



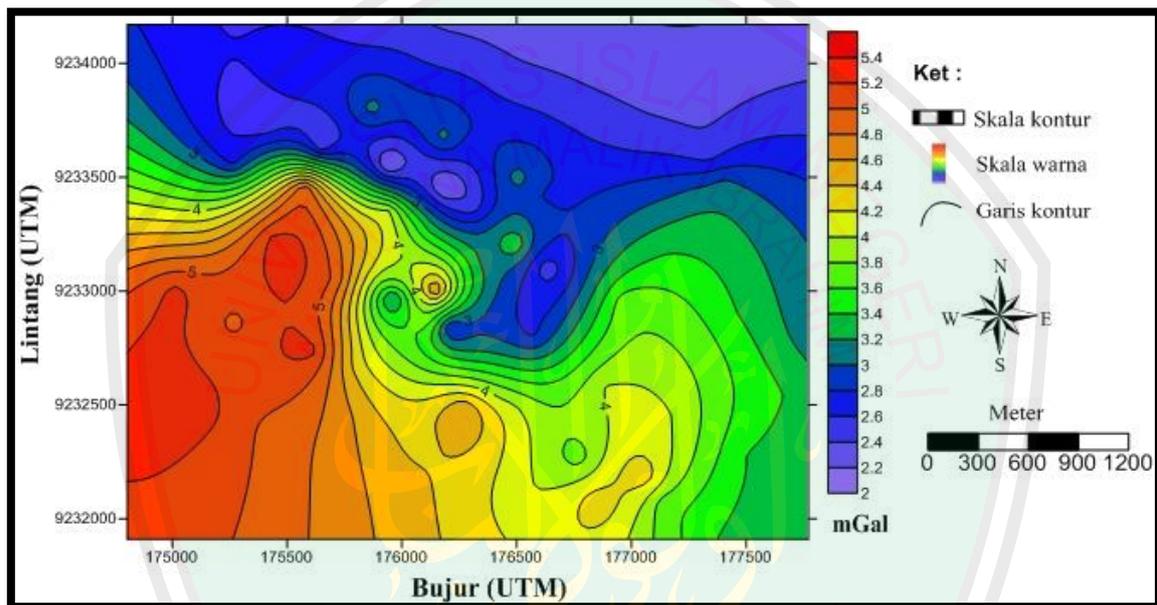
Gambar 4.3 Kontur hasil koreksi medan gravitasi teoritis ( $g$  normal) daerah penelitian

Gambar 4.3 di atas adalah kontur hasil medan gravitasi normal atau koreksi lintang. Berdasarkan hasil koreksi tersebut diperoleh nilai dari 71.8 mGal sampai 76.6 mGal. Dari gambar kontur dapat dilihat ada anomali tinggi dan rendah yang ditunjukkan oleh pola klotsur. Anomali rendah berada dibagian utara dan barat daerah penelitian. Sedangkan anomali tinggi berada dibagian timur daerah penelitian. Hasil koreksi lintang ini masih dipengaruhi oleh topografi disekitar titik pengukuran, sehingga masih harus dilakukan beberapa koreksi terhadap ketinggian topografi daerah penelitian.

#### 4.5 Koreksi Udara Bebas (*Free Air Correction*)

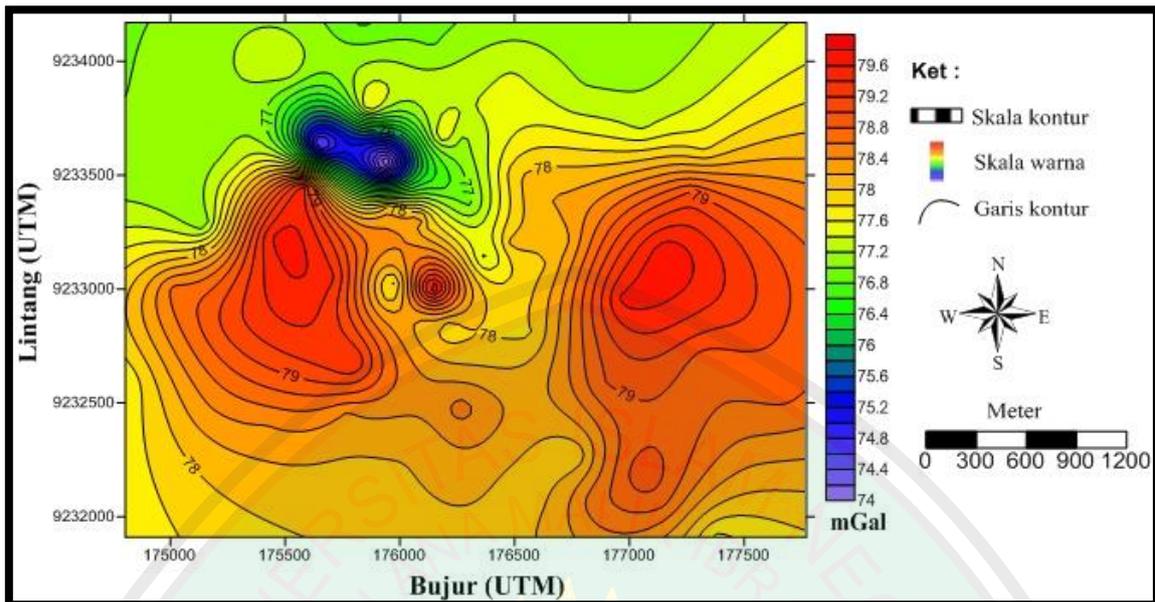
Besarnya nilai gravitasi pada titik amat juga dipengaruhi oleh perbedaan titik pengukuran yang bervariasi. Karena gravitasi berbanding terbalik dengan kuadrat jarak.

Sehingga semakin tinggi titik ukur semakin kecil gravitasinya. Oleh karena itu diperlukan sebuah koreksi untuk mereduksi pengaruh ketinggian titik amat terhadap data gravitasi, yaitu koreksi udara bebas. Koreksi udara bebas merupakan koreksi yang disebabkan oleh pengaruh ketinggian terhadap medan gravitasi. Koreksi udara bebas pada penelitian ini terlihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 4.4 Kontur koreksi udara bebas daerah penelitian

Gambar 4.4 di atas merupakan nilai koreksi udara bebas yang kemudian dikonturkan menggunakan surfer 10 berkisar dari 2 mGal sampai 5.6 mGal. Dari gambar tersebut terlihat jelas bahwa kontur yang dihasilkan hampir mirip dengan kontur topografi pada gambar 4.1. Hal ini disebabkan karena pengaruh topografi terhadap medan gravitasi. Langkah selanjutnya adalah melakukan koreksi terhadap medan gravitasi dengan mengurangi nilai gravitasi observasi dengan gravitasi normal kemudian dijumlahkan dengan koreksi udara bebas sehingga nilai medan gravitasi daerah penelitian diperoleh sebagai berikut.



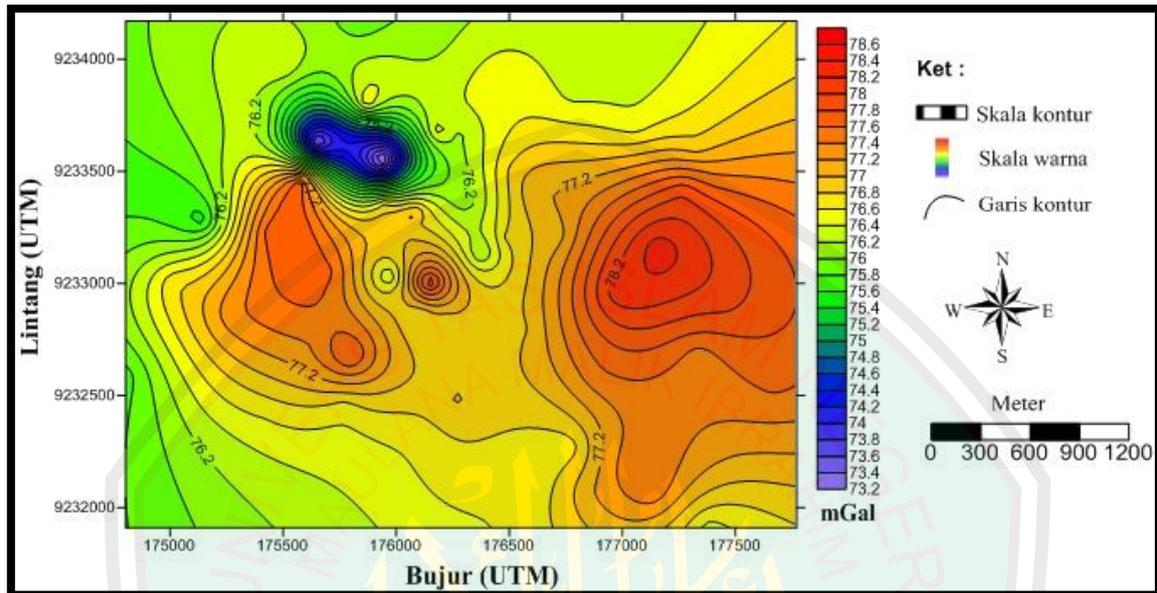
Gambar 4.5 Kontur hasil koreksi udara bebas daerah penelitian

Gambar 4.5 di atas merupakan gambar kontur hasil medan gravitasi yang sudah terkoreksi dengan gravitasi obeservasi, gravitasi normal (teoritis) dan koreksi udara bebas. Setelah dikoreksi nilai medan gravitasi yang dihasilkan berkisar dari 75 mGal sampai 80 mGal. Kontur medan gravitasi yang sudah terkoreksi ini hampir sama dengan kontur medan gravitasi observasi. Karena pengaruh medan gravitasi observasi yang masih tinggi sehingga perlu dilakukan koreksi terhadap perbedaan ketinggian pada setiap titik pengamatan atau koreksi bouger.

#### 4.6 Koreksi Bouger (*Bouger Correction*)

Dalam melakukan koreksi udara bebas massa yang terletak di antara titik ukur dengan bidang referensi ukuran diabaikan. Oleh karena itu dibutuhkan koreksi yang dapat menghilangkan efek massa yang ada di antara titik ukur dengan bidang referensi tersebut. Koreksi ini dinamakan koreksi Bouguer. Koreksi Bouguer memperhitungkan

massa batuan yang terdapat diantara stasiun pengukuran dengan bidang geoid. Hasil koreksi Bouguer pada penelitian ini dapat dilihat pada gambar 4.6 di bawah ini.

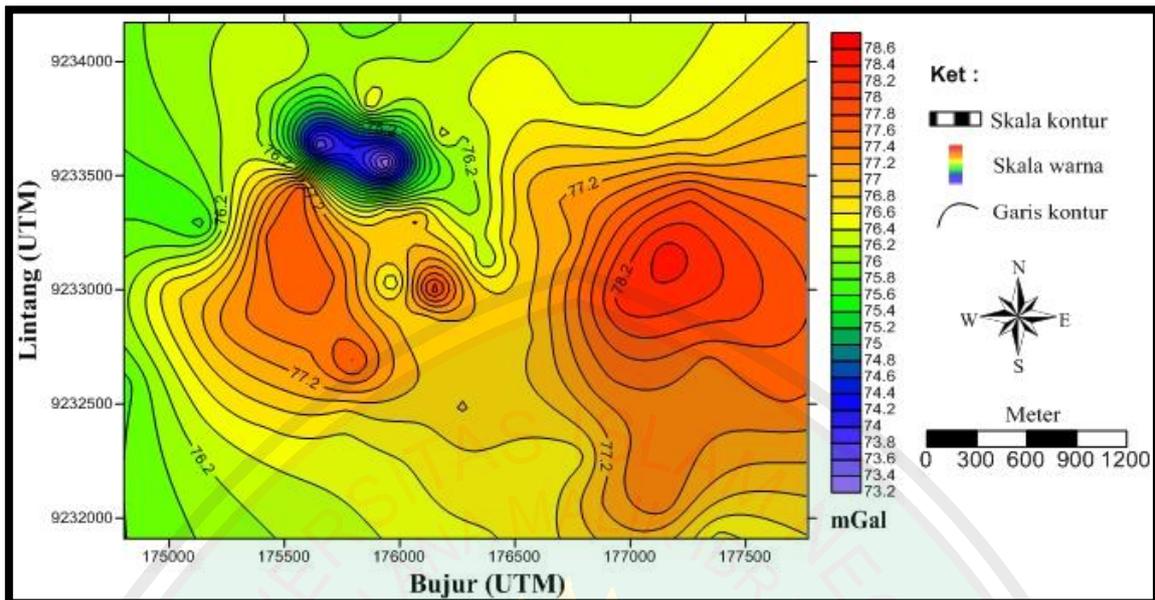


Gambar 4.6 Kontur hasil koreksi Bouguer daerah penelitian

Gambar 4.6 di atas merupakan hasil koreksi boger pada daerah penelitian yang telah dikonturkan. Dengan kisaran nilai dari 73.2 mGal sampai 78.8 mGal dan selang kontur 0.2 mGal. Kontur yang dihasilkan pada koreksi bouger ini menyerupai kontur hasil koreksi udara bebas daerah penelitian. Kesamaan ini disebabkan oleh koreksi bouger yang secara langsung berkaitan dengan ketinggian titik pengamatan serta topografi daerah penelitian.

#### 4.7 Koreksi Medan (*Terrain Correction*)

Koreksi medan diperlukan karena setiap pengukuran gravitasi memiliki bentuk permukaan yang tidak datar. Koreksi medan diakibatkan oleh adanya efek dari massa di sekitar titik pengukuran, seperti gunung, lembah, bukit, dsb. Hasil koreksi medan pada penelitian ini dapat dilihat pada gambar 4.7 di bawah ini.



Gambar 4.7 Kontur hasil koreksi medan daerah penelitian

Gambar 4.7 di atas merupakan kontur hasil koreksi medan (terrain) pada daerah penelitian. Dengan kisaran nilai dari 73,2 mGal sampai 78,8 mGal dan selang kontur 0,2 mGal. Nilai koreksi medan (terrain) yang dihasilkan pada penelitian ini sangat kecil namun bisa berpengaruh terhadap anomali bouguer lengkap sehingga akan mempengaruhi interpretasi data. Nilai koreksi medan (terrain) dapat dilihat lebih detail pada lampiran 2. Hasil koreksi medan ini juga merupakan kontur anomali bouguer lengkap daerah penelitian yang nantinya akan dianalisa secara kualitatif.

Dalam penelitian gravitasi dibutuhkan nilai anomali Bouguer lengkap sebagai penentuan struktur geologi bawah permukaan dalam tahap interpretasi. Interpretasi anomali Bouguer lengkap dapat dilakukan secara kualitatif maupun kuantitatif. Interpretasi kualitatif dilakukan dengan menilai seberapa banyak informasi bawah permukaan yang dapat ditafsirkan berdasarkan kualitas data anomali gravitasi,

sedangkan interpretasi kuantitatif dilakukan dengan melakukan perhitungan-perhitungan untuk mendapatkan gambaran bawah permukaan benda penyebab anomali.

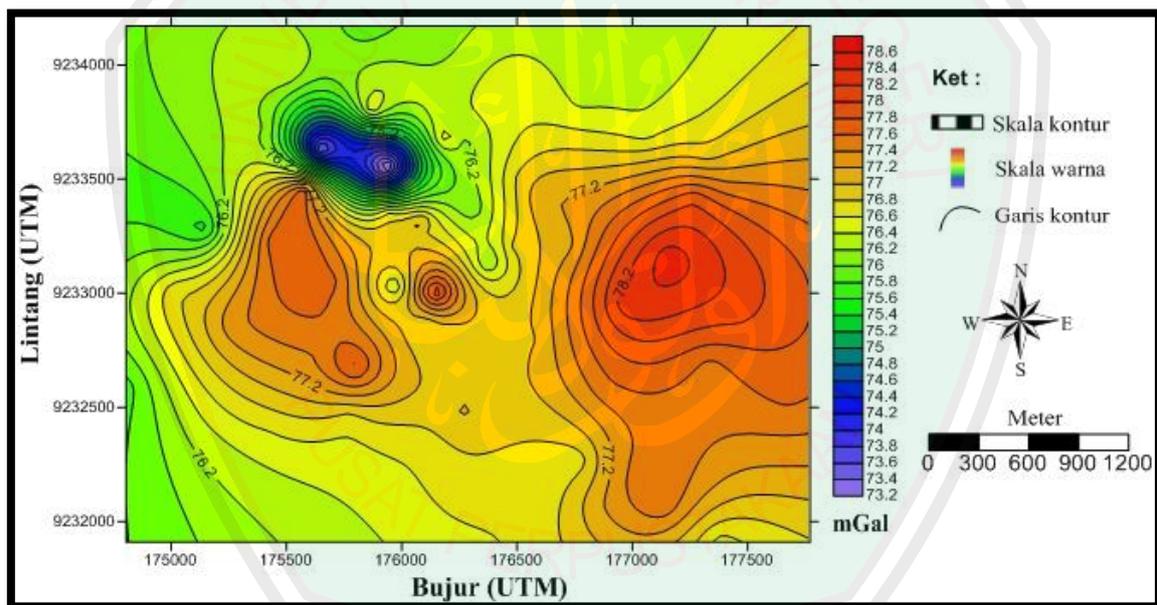
Untuk dapat menafsirkan struktur geologi di sekitar permukaan diperlukan anomali lokal yang diperoleh melalui pemisahan anomali Bouguer menjadi anomali regional dan lokal. Pemisahan anomali ini dapat dilakukan dengan metode pencocokan permukaan (*surface fitting*), turunan vertikal, metode empiris (*grid griffin*), dan metode filtering. Dalam penelitian ini digunakan metode filtering dengan menggunakan bantuan program Magpick yang menerapkan metode integral kontinuasi ke atas (*upward continuation*) untuk memperoleh nilai anomali regional dan anomali lokal. Anomali regional dapat menjelaskan efek dalam yang menggambarkan keadaan bawah permukaan (*subsurface*). Anomali lokal lebih terfokus pada efek dangkal yang dapat menjelaskan struktur geologi di sekitar permukaan, sedangkan anomali Bouguer digunakan untuk menjelaskan efek dalam dan dangkal.

#### **4.8 Interpretasi Kualitatif**

Interpretasi kualitatif merupakan suatu bentuk penafsiran terhadap suatu anomali yang dilakukan dengan cara membaca pola anomali gravitasi yang kemudian dihubungkan dengan tatanan geologi daerah setempat dan data-data kebumihannya. Sehingga secara umum dapat memberikan gambaran struktur geologi bawah permukaan daerah penelitian. Gambaran umum yang dihasilkan dari penafsiran ini hanya berupa pola-pola atau bentuk-bentuk struktur geologi tertentu saja, belum menyangkut ukuran/besaran geologi.

#### 4.8.1 Anomali Bouger Lengkap

Anomali bouger lengkap merupakan hasil dari reduksi topografi dalam hal ini koreksi medan terhadap gravitasi udara bebas, dalam perhitungannya nilai anomali bouger dipengaruhi oleh nilai gravitasi observasi, nilai gravitasi normal, koreksi udara bebas, koreksi terrain dan koreksi bouger. Besar anomali lengkap dapat dihitung secara teoritis. Sebaran anomali bouger di daerah penelitian bervariasi antara 73.0497-78.4953 mGal. Nilai-nilai tersebut kemudian dikonturkan dengan menggunakan surfer 10 seperti pada gambar 4.8 di bawah ini.



Gambar 4.8 Kontur anomali Bouger lengkap

Secara kualitatif dapat ditafsirkan bahwa pola kontur anomali bouger dapat dibedakan menjadi 2 pola. Pola pertama adalah pola tinggian dengan rentang nilai anomali 76-78.5 mGal. Pola kedua adalah pola rendah dengan rentang nilai anomali 73.2-75.8 mGal. Nilai anomali tinggian tersebut diperkirakan berasal dari batuan yang memiliki densitas yang tinggi dan berkaitan langsung dengan batuan penyebab sistem

geothermal di daerah ini. Karena daerah penelitian merupakan bagian struktur antiklin batuputih, sehingga diduga kuat bahwa batuan dibawah permukaan tanah didominasi oleh batu pasir dan batu gamping. Pola anomali tinggi ini menyebar pada bagian tengah daerah penelitian dan semakin tinggi ke arah timur daerah sumber mata air panas. Sedangkan nilai anomali rendah atau disebabkan oleh struktur batuan yang lebih turun dibandingkan dengan batuan disekitarnya. Pola anomali rendah ini terdapat dan menyebar dari barat daya sampai barat laut daerah penelitian. Selain itu terdapat nilai anomali yang sangat rendah pada barat laut, hal ini disebabkan oleh struktur batuan yang lebih rendah dari sekitarnya.

Pada arah timur dan barat penelitian terdapat masing satu pola klosur yang cukup tinggi. Yaitu pada arah barat berkisar antara 77-77.8 mGal. Pada arah timur berkisar antara 77-78.5 mGal. Nilai anomali yang tinggi tersebut diduga karena pengaruh batuan yang memiliki densitas yang cukup tinggi. Pola yang tinggi ini diduga kuat sangat berkaitan langsung dengan pola sistem geotermal yang ada di daerah tersebut dan diperkirakan berkaitan dengan batuan intrusi di bawah permukaan. Pola anomali yang tinggi ini hampir mendominasi seluruh daerah penelitian. Sedangkan pada daerah sekitar sumber air panas terdapat dua pola klosur yang kecil yang nilainya berkisar antara 76.6-77.6 mGal. Pada daerah barat daya penelitian terdapat suatu klosur yang memiliki nilai anomali yang cukup rendah yaitu 73.2-76 mGal. Nilai anomali yang rendah tersebut diduga disebabkan oleh adanya batuan yang cukup dalam. Sedangkan pada arah selatan daerah penelitian tidak terdapat satu klosurpun. Hal ini disebabkan oleh daerah penelitian yang kurang luas ke arah selatan.

Untuk mendapatkan informasi geologi dari daerah penelitian perlu dilakukan pengolahan lanjutan dari data anomali bouger lengkap yang diperoleh. Yaitu reduksi bidang datar serta proses pemisahan anomali regional dan lokal dengan melakukan kontinuitas keatas pada data yang telah direduksi pada bidang datar.

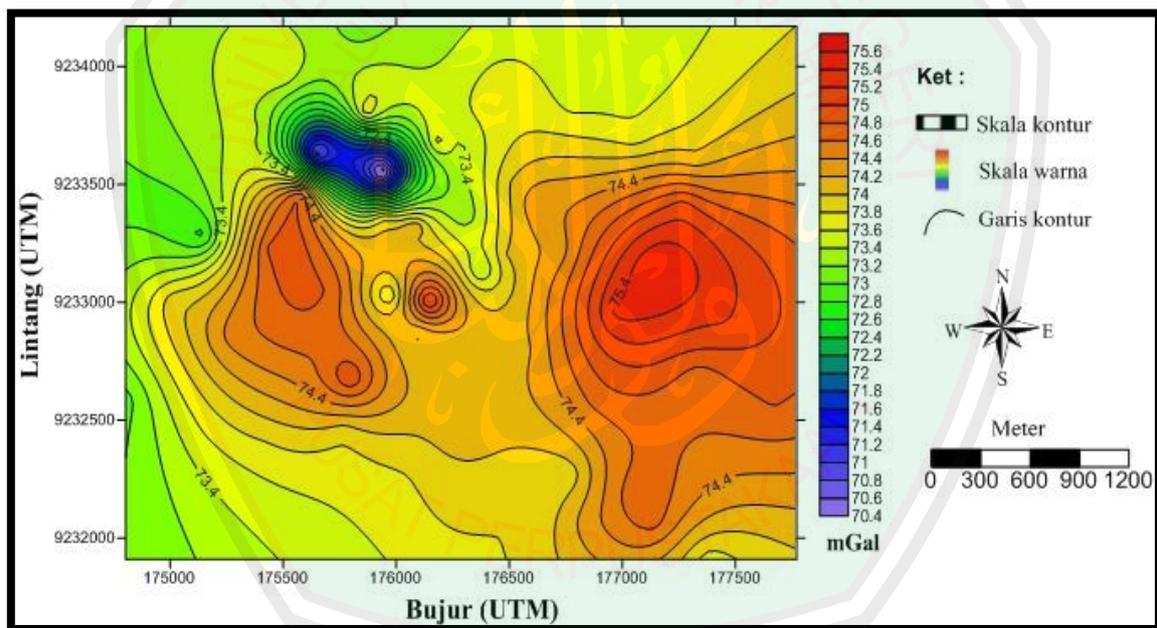
#### **4.8.1.1 Reduksi Bidang Datar**

Setelah anomali bouger lengkap diperoleh langkah selanjutnya adalah proses reduksi pada bidang datar. Proses ini dilakukan karena nilai densitas benda di bawah permukaan akan terbaca sesuai dengan pola topografi yang ada pada daerah observasi. Pada penelitian ini proses membawa anomali gravitasi kebidang datar dilakukan dengan menggunakan metode pendekatan deret Taylor. Metode ini menggunakan derivatif dari suatu fungsi pada suatu titik untuk mengekstrapolasi fungsi disekitar titik itu. Perhitungan pada proses ini dilakukan dengan menggunakan program matlab 2010. Selanjutnya data dari hasil program tersebut diplot dan dikonturkan dengan menggunakan surfer 10.

Nilai anomali bouger yang terdapat pada daerah topografi tidak rata akan mempengaruhi kesalahan dalam interpretasi atau pemodelan. Untuk menghindari hal tersebut, data anomali medan magnet total harus ditransformasi pada suatu bidang dengan ketinggian yang sama (*level surface*) untuk mempermudah dalam melakukan interpretasi atau pemodelan. Dalam melakukan transformasi pada suatu bidang pada ketinggian yang sama, dalam arti lain adalah reduksi ke bidang datar dapat menggunakan beberapa metode, diantaranya menggunakan pendekatan *Taylor Series Approximation*.

Blakely (1995:322) menjelaskan bahwa deret Taylor menggunakan turunan sebuah fungsi yang dihitung pada satu titik untuk mengekstrapolasi fungsi terhadap titik yang berdekatan. Deret Taylor diterapkan sebagai suatu teknik untuk memodifikasi bentuk benda penyebab anomali agar bisa memecahkan problem invers nonlinier. Deret Taylor juga dapat digunakan untuk memprediksi harga suatu medan potensial pada titik yang jauh dari permukaan observasi..

Adapun kontur hasil reduksi bidang datar dapat dilihat pada gambar 4.9 sebagai berikut.



Gambar 4.9 Kontur hasil reduksi bidang datar

Gambar diatas merupakan hasil dari reduksi ke bidang datar pada ketinggian rata-rata di topografi yaitu 15 mdpl. Pada kontur hasil reduksi bidang datar menampilkan kontur yang mirip dengan kontur anomali Bouger lengkap dengan perubahan nilai anomali yang sedikit lebih rendah dari nilai anomali bouger lengkap sebelum direduksi.

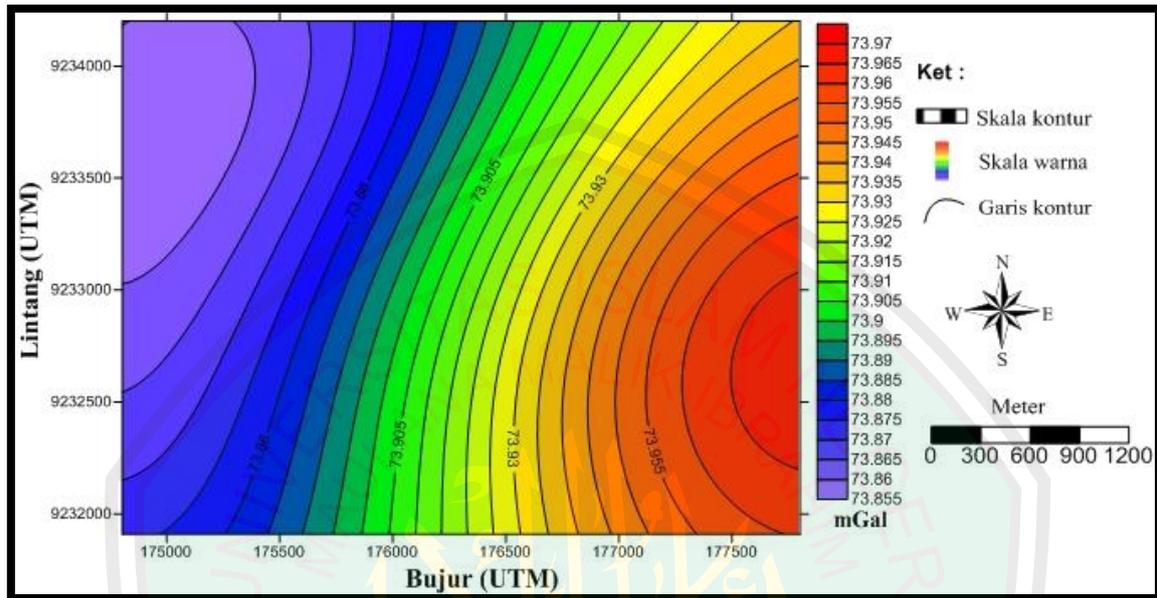
Nilai anomali gravitasi setelah direduksi tersebut berkisar dari 70.4 mGal sampai 75.8 mGal. Perubahan nilai anomali setelah direduksi ke bidang datar ini kemungkinan disebabkan oleh penyebaran batuan yang relatif seragam di bawah permukaan. Perbedaan nilai anomali yang dihasilkan itu juga dipengaruhi oleh ketinggian bidang datar pada saat direduksi.

#### **4.8.1.2 Kontinuasi keatas (*upward continuation*)**

Data anomali yang dihasilkan merupakan data campuran dari anomali regional dan anomali lokal, sehingga data yang setelah direduksi bidang datar perlu dilakukan tahap selanjutnya yaitu kontinuasi keatas untuk memisahkan kedua anomali tersebut. Metode ini pada dasarnya dipakai untuk menghilangkan efek lokal sehingga yang didapatkan hanyalah kecenderungan regionalnya saja. Hasil yang diperoleh kemudian dikurangkan terhadap anomali medan gravitasi bouger lengkap yang sudah direduksi pada bidang datar, sehingga diperoleh anomali medan gravitasi Bouger lengkap lokal yang siap diinterpretasi.

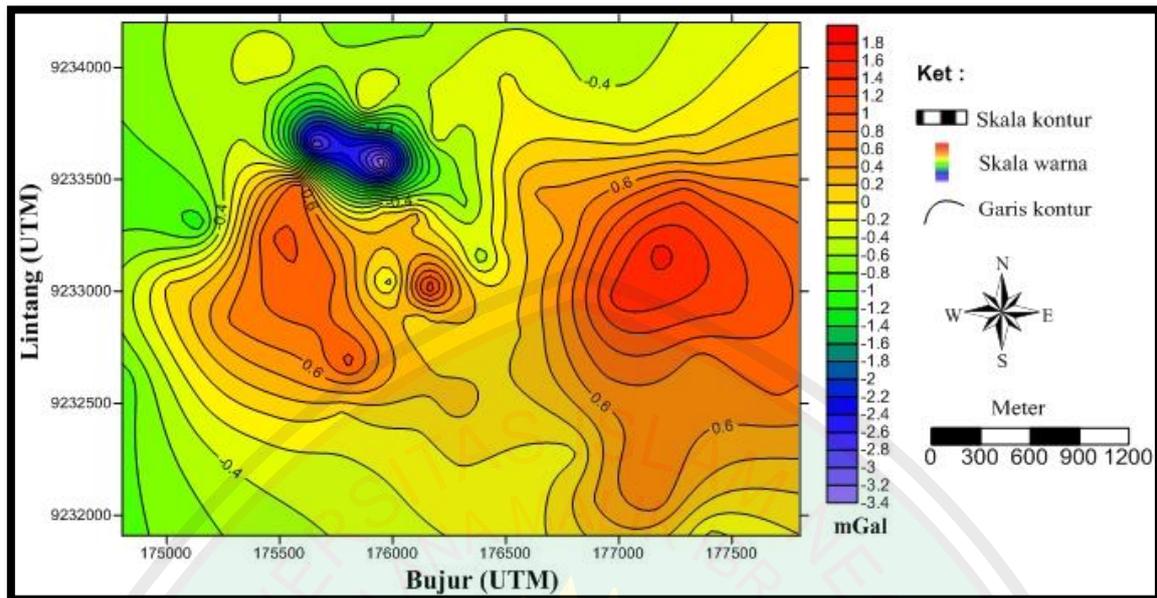
Proses kontinuasi ke atas adalah langkah perubahan data medan potensial yang diukur pada suatu level permukaan menjadi data yang seolah-olah diukur pada level permukaan yang lebih atas, kontinuasi keatas juga merupakan salah satu metode yang digunakan sebagai filter yang berguna untuk menghilangkan bising yang ditimbulkan oleh benda-benda dekat permukaan. Dalam penelitian ini, penulis menggunakan perangkat lunak Magpick untuk melakukan kontinuasi keatas. Setelah dilakukan beberapa percobaan kontinuasi dengan ketinggian mulai dari 100 - 3000 m, kontinuasi yang dianggap paling bagus, kontinuasi dengan ketinggian 2000 m.

Selanjutnya hasil pemisahan dengan Magpick dikonturkan menggunakan software Surfer 10.



Gambar 4.10 Kontur anomali Bouguer lengkap regional hasil kontinuasi keatas

Dari peta kontur anomali regional di atas terlihat adanya penyebaran nilai anomali rendah, sedang dan tinggi. Nilai anomali rendah terdapat pada bagian barat daerah penelitian dengan nilai sekitar 73.855 mgal – 73.895 mgal. Anomali rendah ini mungkin disebabkan oleh karena struktur batuan muda yang relatif turun. Kemudian nilai anomali sedang berada pada bagian tengah daerah penelitian dengan nilai sekitar 73.9 mgal – 73.925 mgal. Sementara nilai anomali tinggi terdapat pada bagian timur daerah penelitian dengan nilai sekitar 73.93 mgal – 73.97 mgal. Anomali tinggi ini mungkin disebabkan oleh karena struktur batuan tua yang relatif naik. Ketiga anomali tersebut memiliki tren menerus dari arah utara menuju selatan daerah penelitian.



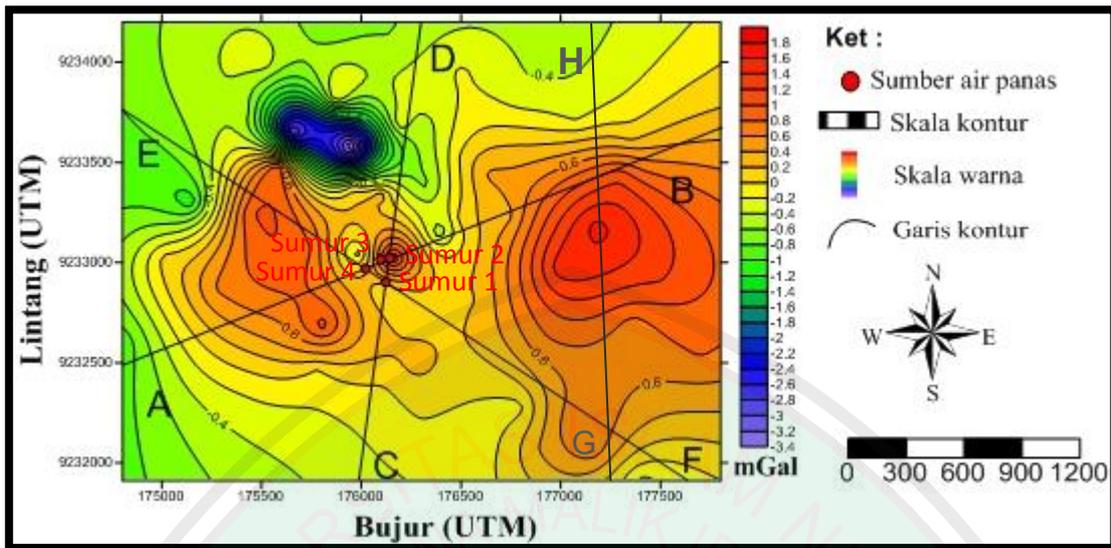
Gambar 4.11 Kontur anomali Bouguer lengkap lokal hasil kontinuasi keatas

Berdasarkan peta pada Gambar 4.11 di atas nilai anomali bouguer lengkap lokal didapat -3.4 mGal sampai 1.8 mGal. Dari gambar tersebut terlihat bahwa anomali rendah pada bagian barat daya daerah penelitian dan anomali tinggi pada bagian tengah menuju ke timur daerah penelitian yang sebelumnya terdapat pada anomali Bouguer lengkap (Gambar 4.8) masih muncul pada anomali lokal ini. Hal ini menunjukkan bahwa proses kontinuasi ke atas berhasil memisahkan anomali regional-residual pada daerah penelitian. Dari peta kontur anomali lokal ini terlihat adanya anomali dengan nilai positif dan negatif. Anomali dengan nilai positif dan negatif tersebut disebabkan oleh karena tiga hal yaitu densitas batuan, posisi dan besar body batuan yang menghasilkan anomali. Anomali rendah pada bagian barat daya daerah penelitian dengan nilai berkisar antara -3.4 mgal sampai -1.8 mgal diduga merupakan suatu struktur batuan yang lebih dalam. Batuan pengisi struktur ini diduga memiliki densitas yang rendah dibandingkan batuan di sekitarnya. Sementara anomali tinggi pada bagian tengah menuju timur daerah

penelitian dengan nilai berkisar antara 0.2 mgal – 2 mgal diduga berasal dari struktur batuan yang naik pada daerah penelitian. Batuan pada daerah tersebut diduga memiliki densitas yang tinggi dibandingkan batuan di sekitarnya. Berdasarkan peta geologi, batuan pada bagian timur daerah penelitian merupakan batuan berumur miosen. Pada daerah antara anomali dan anomali tinggi terdapat anomali dengan jarak antar kontur yang rapat. Jarak antara kontur yang rapat ini diduga merupakan akibat dari perbedaan struktur dan jenis batuan yang terdapat pada daerah tersebut. Anomali bouger lengkap lokal kemudian di iris untuk kemudian diinterpretasi secara kuantitatif mengenai struktur bawah permukaan.

#### **4.9 Interpretasi Kuantitatif**

Setelah anomali regional dan lokal dipisahkan, maka kita akan memperoleh anomali Bouger lengkap lokal yang kemudian diinterpretasi. Interpretasi dilakukan dengan menganalisa dan mengiris anomali lokal tersebut, proses ini dinamakan dengan interpretasi kuantitatif. Interpretasi kuantitatif dilakukan dengan menganalisis penampang pola anomali sepanjang lintasan tertentu yang telah ditentukan. Dalam penelitian ini dibuat empat penampang anomali yaitu penampang AB, CD, EF dan GH pada kontur anomali lokal. Interpretasi kuantitatif dilakukan berdasarkan hasil penafsiran kualitatif sehingga dapat menentukan bagian – bagian penampang anomali yang menarik untuk ditafsirkan struktur geologi bawah permukaannya.



Gambar 4.12 Penampang AB, CD, EF dan GH pada kontur anomali lokal

Dalam interpretasi kuantitatif ini terdapat ambiguitas karena beragam model yang dapat dihasilkan, disebabkan oleh adanya parameter rapat massa, geometri dan kedalaman tidak pasti. Oleh karena itu diperlukan data pendukung berupa data geologi daerah penelitian, data rapat massa batuan, bila perlu sampai data bor serta data geofisika lainnya. Interpretasi geologi secara kuantitatif dilakukan berdasarkan pemodelan sepanjang penampang anomali tertentu, sehingga dapat ditafsirkan geometri dari benda-benda geologi bawah permukaan yang menjadi penyebab timbulnya anomali.

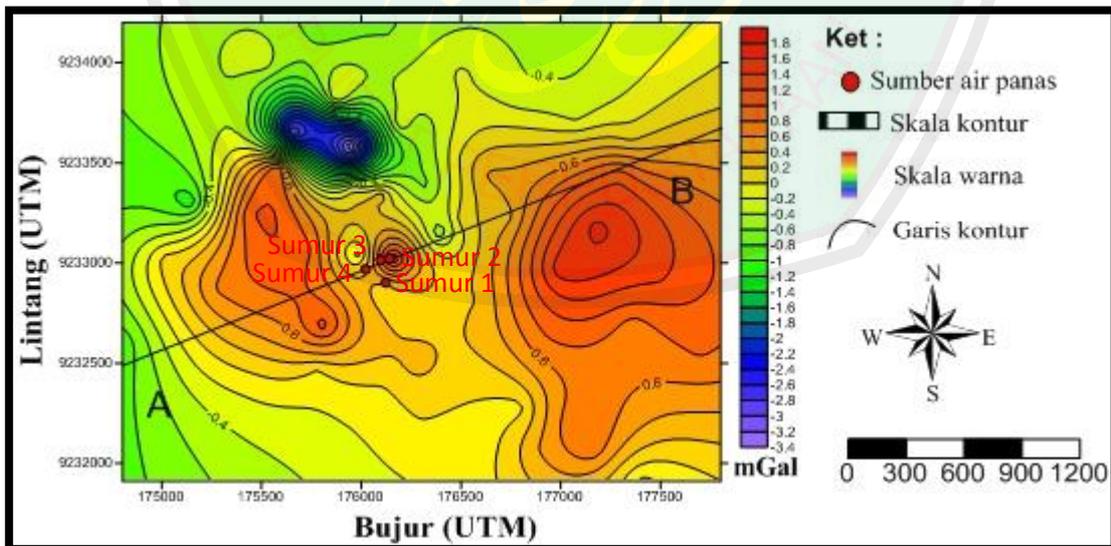
Interpretasi kuantitatif ini dilakukan dengan menafsirkan pola anomali untuk menentukan struktur bawah permukaan dilakukan dengan melalui tahap pemodelan. Pemodelan geologi dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak *Grav2DC for windows* yang dapat dipakai untuk memodelkan data gaya gravitasi. Data masukan berupa nilai jarak lintasan (dalam meter) dan nilai anomalnya, bentuk model tersebut

tergambar sebagai anomali amatan (anomali yang diamati) sedangkan penampang hasil pemodelan geologi digambarkan sebagai anomali hitungan (anomali yang dihitung).

Pada tahap pemodelan ini dilakukan dengan metode *trial and error* yaitu terus mencoba pendekatan geologi yang mungkin untuk struktur bawah permukaan sehingga dalam pengerjaannya harus diiterasi sampai diperoleh nilai ralat (*error*) yang sangat kecil.

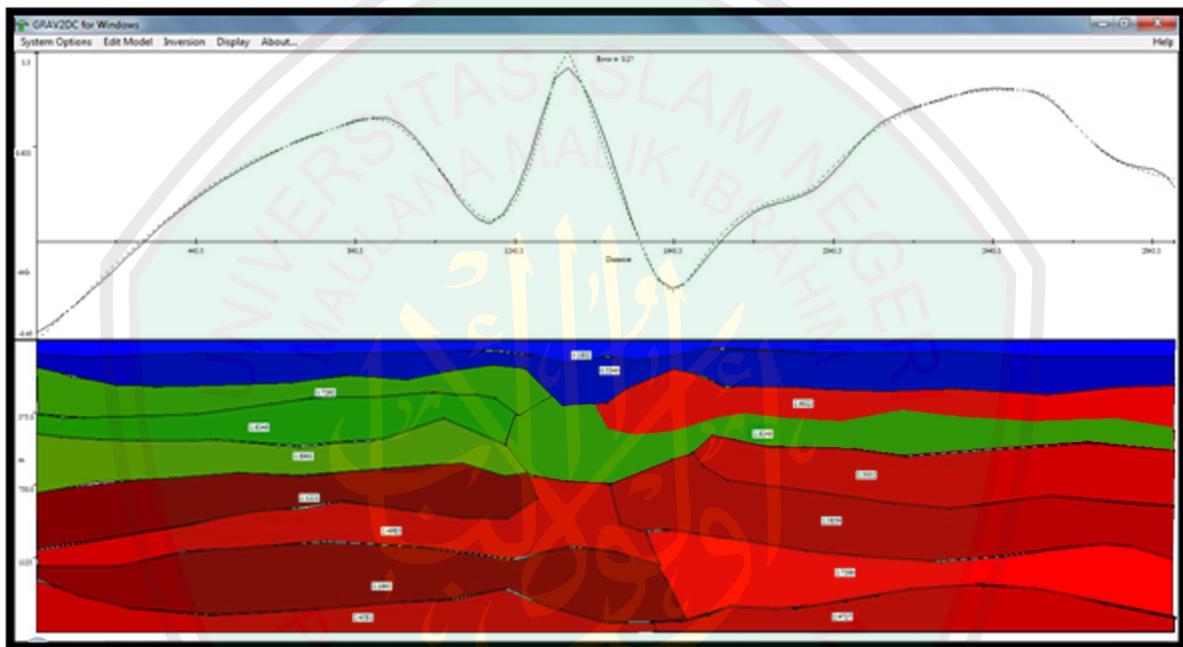
#### 4.9.1 Penampang Melintang Lintasan AB

Penampang anomali Bouguer lokal lintasan AB diambil berdasarkan hasil penafsiran kualitatif pola kontur anomali, dimana pada penampang AB memotong beberapa tiggian dan rendahan anomali dengan nilai tertinggi 1.3 mGal dan terendah -0.65 mGal serta memotong sumber air panas yang berada pada lokasi penelitian dengan nilai eror yang dihasilkan adalah 0.27. Lokasi penampang anomali Bouguer AB dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 4.13 Lintasan penampang anomali lokal AB

Gambar 4.13 di atas merupakan lintasan penampang AB pada gambar peta kontur anomali lokal. Hasil pemodelan penampang AB ini dapat dilihat pada gambar 4.15. Kedalaman maksimum model struktur bawah permukaan menggunakan Grav2dc 1500 m dengan panjang lintasan  $\pm 2900$  m dari barat daya ke arah timur laut daerah penelitian.



Ket:

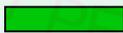
	Batuan lapuk = $0.5346 \text{ gr/cm}^3$		Gamping kuarsa = $2.1221 \text{ gr/cm}^3$
	Kuarsa lempung = $1.8961 \text{ gr/cm}^3$		Gamping lempungan = $2.4 \text{ gr/cm}^3$
	Dolomite+kuarsa = $1.6146 \text{ gr/cm}^3$		Gamping+pasiran = $2.3739 \text{ gr/cm}^3$
			Gamping = $2.7386 \text{ gr/cm}^3$

Gambar 4.14 Model penampang anomali lokal lintasan AB

Gambar di atas merupakan model penampang anomali lokal AB. Sumbu Y arah positif merupakan nilai anomali pengamatan yaitu  $-0.65$  mGal sampai  $1.3$  mGal sedangkan sumbu Y arah negatif pada area pemodelan merupakan nilai kedalaman model yang dibuat yaitu  $1500$  m, sumbu X merupakan nilai jarak atau panjang lintasan yang dilalui oleh penampang AB yaitu  $\pm 2900$  m. Penampang anomali AB ini memotong

sumur 4, sumur 3 dan sumur 2 serta memotong pola klosur anomali yang tinggi dan rendah. Garis putus-putus pada kurva pemodelan merupakan nilai anomali yang diamati sedangkan garis kontinu adalah nilai anomali yang dihitung berdasarkan respon dari model lapisan yang telah dibuat.

Penafsiran litologi batuan pada daerah penelitian ini didasari oleh data geologi daerah setempat. Berdasarkan informasi geologi diketahui bahwa daerah penelitian merupakan bagian struktur antiklin batuputih, yang ditemukan di bagian utara Lembar. Dengan Sumbu yang memanjang dari arah barat ke timur melalui gunung Batuputih menunjam di daerah Batang-batang. Antiklin ini berkembang dalam Formasi Tawun dan Formasi Ngrayong yang didominasi oleh batu pasri dan batu gamping (Situmorang, dkk : 12. 1992).

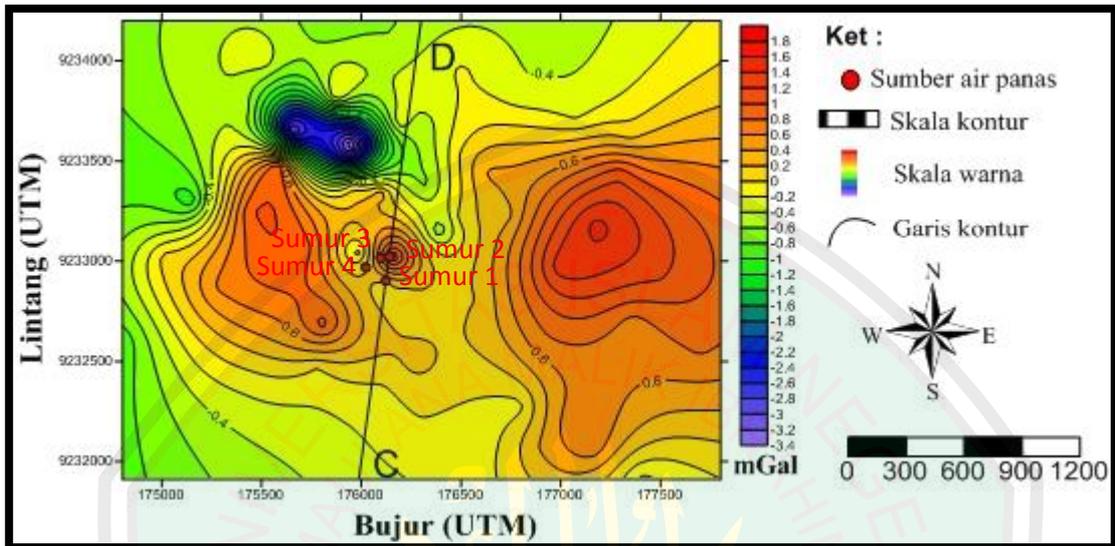
Pada lapisan pertama yang ditunjukkan dengan warna biru  yang diduga sebagai batuan lapuk dengan nilai densitas  $0.0182-0.5546 \text{ gr/cm}^3$  yang merupakan hasil pelapukan batuan dari air hujan dan akar tumbuhan. Lapisan ini memiliki ketebalan yang bervariasi antara 0-150 m dari permukaan. Pada lapisan kedua ditunjukkan dengan warna hijau  dengan densitas  $1.7297 \text{ gr/cm}^3$  diduga sebagai campuran antara kuarsa dan lempung yang memanjang sampai ketengah daerah penelitian, berada pada kedalaman 145-375 m dengan ketebalan 230 m. Sedangkan pada arah menenggara yaitu pada jarak 1350-2870 arah sumbu X ditunjukkan dengan warna merah  dengan densitas  $2.6022 \text{ gr/cm}^3$  diduga sebagai campuran batu pasir dan gamping. Sedangkan pada lapisan ke tiga ditunjukkan oleh warna hijau daun  dengan nilai densitas  $1.6146 \text{ gr/cm}^3$  berada pada kedalaman 375-500 m dari

0-1275 m pada sumbu X dengan ketebalan sekitar 125-200 m diduga sebagai pasir sedangkan pada jarak 1275-2780 m arah sumbu X ditunjukkan dengan warna merah redup [REDACTED] dengan nilai densitas 2.3739 gr/cm<sup>3</sup> diduga sebagai campuran gamping dan pasir pada kedalaman 476-565 m dengan ketebalan lapisan 100-300 m. Pada lapisan ke empat di tunjukan oleh warna merah padam [REDACTED] dengan nilai densitas 2.1221 gr/cm<sup>3</sup> pada kedalam 760-980 m, memanjang kearah sumbu X sampai 1250 m dengan ketebalan lapisan sekitar 220 m ditafsirkan sebagai campuran gamping dan dolomite. Pada lapisan ke lima ditunjukkan oleh warna merah [REDACTED] dengan densitas 2.4983 gr/cm<sup>3</sup> ditafsirkan sebagai gamping dan lempungan berada pada kedalaman 1000-1250 m dengan ketebalan lapisan 250 m. Pada lapisan ke enam ditunjukkan dengan warna merah tua [REDACTED] dengan densitas 2.1463 gr/cm<sup>3</sup> diduga sebagai campuran gamping dan dolomite dengan ketebalan 100-200 m. Pada lapisan ketujuh ditandai dengan warna merah redup [REDACTED] dengan nilai densitas 2.4518 gr/cm<sup>3</sup> di duga sebagai campuran gamping dan pasir berada pada kedalaman 1250-1500 m dengan ketebalan lapisan sekitar 300 m. Keberadaan batu gamping pada penampang lapisan AB ini diduga kuat sebagai batuan penyebab sistem geotermal. Karena batuan tersebut akan cepat panas apabila bersentuhan dengan air.

#### **4.9.2 Penampang Melintang Lintasan CD**

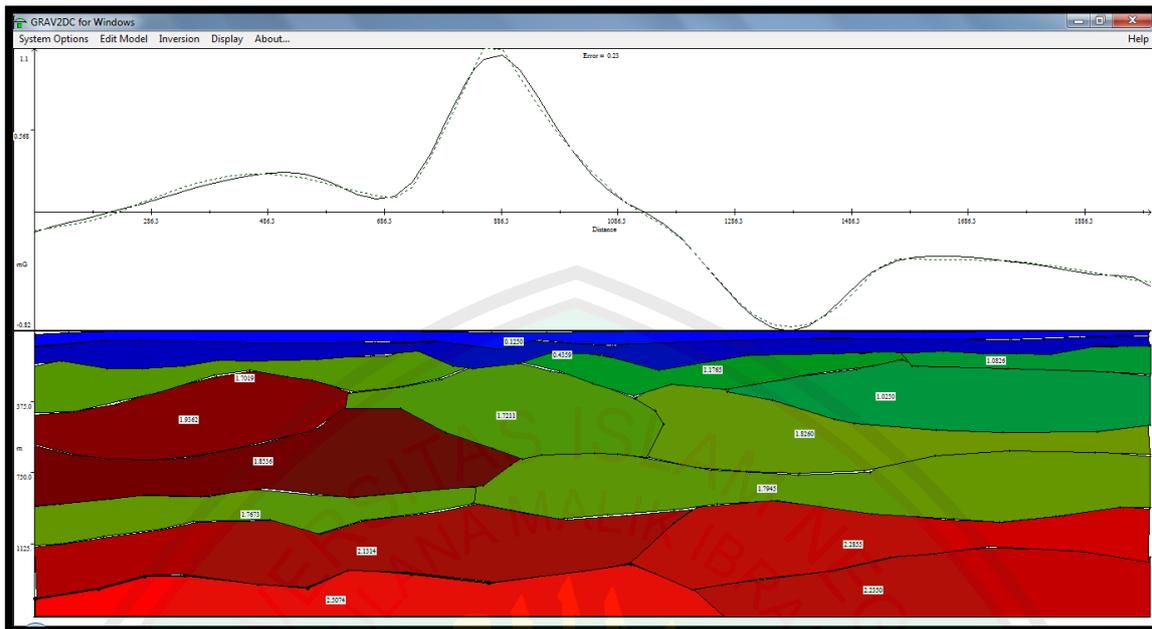
Penampang anomali Bouguer lokal lintasan CD diambil berdasarkan hasil penafsiran kualitatif pola kontur anomali, dimana pada penampang CD memotong beberapa tiggian dan rendahan anomali dengan nilai tertinggi 1.1 mGal dan terendah -0.82 mGal serta memotong sumber air panas (sumur 1 dan sumur 2) yang berada pada

lokasi penelitian dengan nilai eror yang dihasilkan adalah 0.23. Lokasi penampang anomali Bouguer CD dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 4.15 Lintasan penampang anomali lokal CD

Gambar 4.15 di atas merupakan lintasan penampang CD pada gambar peta kontur anomali lokal. Hasil pemodelan penampang CD ini dapat dilihat pada gambar 4.16. Kedalaman maksimum model struktur bawah permukaan menggunakan Grav2dc  $\pm 1500$  m dengan panjang lintasan  $\pm 2220$  m dari selatan ke arah utara daerah penelitian.

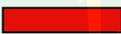


Ket:

<span style="display: inline-block; width: 20px; height: 10px; background-color: blue; border: 1px solid black;"></span> Batuan lapuk = 0.4802 gr/cm <sup>3</sup>	<span style="display: inline-block; width: 20px; height: 10px; background-color: brown; border: 1px solid black;"></span> Gamping = 1.9362 gr/cm <sup>3</sup>
<span style="display: inline-block; width: 20px; height: 10px; background-color: green; border: 1px solid black;"></span> Tanah /soil = 1.1765 gr/cm <sup>3</sup>	<span style="display: inline-block; width: 20px; height: 10px; background-color: red; border: 1px solid black;"></span> Gamping+lempungan=2.1314 gr/cm <sup>3</sup>
<span style="display: inline-block; width: 20px; height: 10px; background-color: lightgreen; border: 1px solid black;"></span> Kuarsa+pasiran =1.7211gr/cm <sup>3</sup>	<span style="display: inline-block; width: 20px; height: 10px; background-color: orange; border: 1px solid black;"></span> Gamping+pasiran = 2.4057 gr/cm <sup>3</sup>

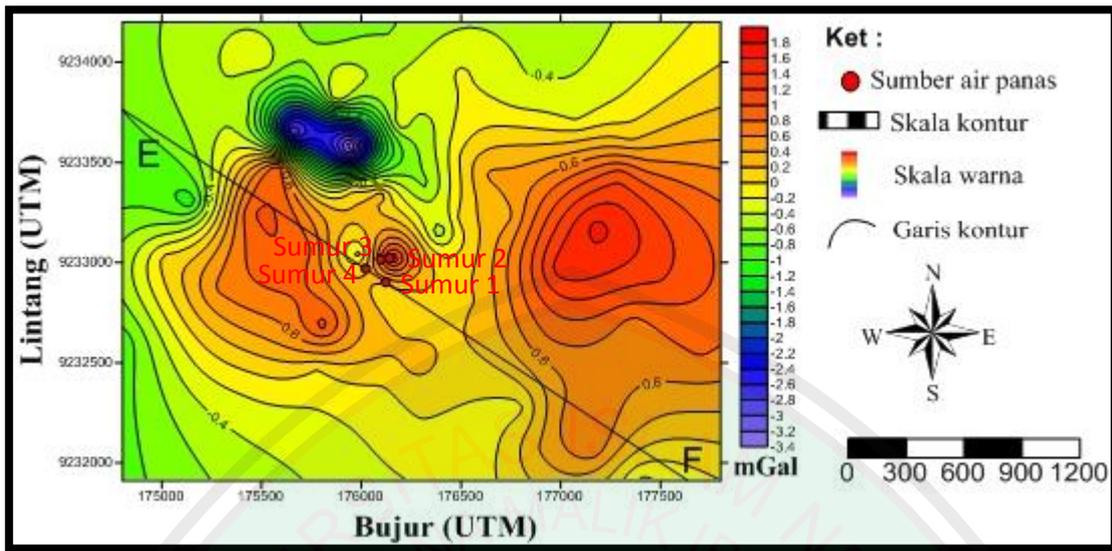
Gambar 4.16 model penampang anomali lokal lintasan CD

Pada lapisan pertama yang ditunjukkan dengan warna biru  yang diduga sebagai batuan lapuk dengan nilai densitas 0.0182-0.4802 gr/cm<sup>3</sup> yang merupakan hasil pelapukan dari air hujan dan akar tumbuhan. Lapisan ini memiliki ketebalan yang bervariasi antara 0-150 m dari permukaan. Pada lapisan kedua ditunjukkan dengan warna hijau  dengan densitas 1.7211 gr/cm<sup>3</sup> diduga sebagai campuran antara kuarsa dan lempung yang memanjang sampai ketengah daerah penelitian, berada pada kedalaman 145-375 m dengan ketebalan 150 m sedangkan pada arah menenggara yaitu pada jarak 1350-2870 arah sumbu X ditunjukkan dengan warna hijau muda  dengan densitas 1.1765 gr/cm<sup>3</sup> diduga sebagai tanah/soil. Sedangkan pada lapisan ke tiga ditunjukkan oleh warna merah tua  dengan nilai densitas 1.9362

gr/cm<sup>3</sup> berada pada kedalaman 385-850 m dari 0-890 m pada sumbu X dengan ketebalan sekitar 475 m diduga sebagai gamping sedangkan pada jarak 890-2100 arah sumbu X ditunjukkan dengan hijau  dengan nilai densitas 1.7211 gr/cm<sup>3</sup> diduga sebagai kuarsa pada kedalaman 500-1100 m dengan ketebalan lapisan 400-500 m. Pada lapisan ke empat di tunjukan oleh warna hijau  dengan nilai densitas 1.7673 gr/cm<sup>3</sup> pada kedalam 850-1125 m, memanjang kearah sumbu X sampai 886 m dengan ketebalan lapisan sekitar 250 m ditafsirkan sebagai kuarsa. Pada lapisan ke lima ditandai dengan warna merah redup  dengan nilai densitas 2.1314 gr/cm<sup>3</sup> berada pada kedalaman 1125-1380 m dengan ketebalan 300-600 diinterpretasikan sebagai campuran gamping dan lempungan. Pada lapisan keenam ditunjukkan dengan warna merah cerah  dengan nilai densitas 2.5074 gr/cm<sup>3</sup> diduga sebagai campuran gamping dan kuarsa pada kedalaman 1380-1500 m dengan ketebalan lapisan 200-300 m. Indikasi keberadaan batu gamping pada penampang lapisan CD ini diduga kuat sebagai batuan penyebab sistem geotermal. Karena batuan tersebut akan cepat panas apabila bersentuhan dengan air

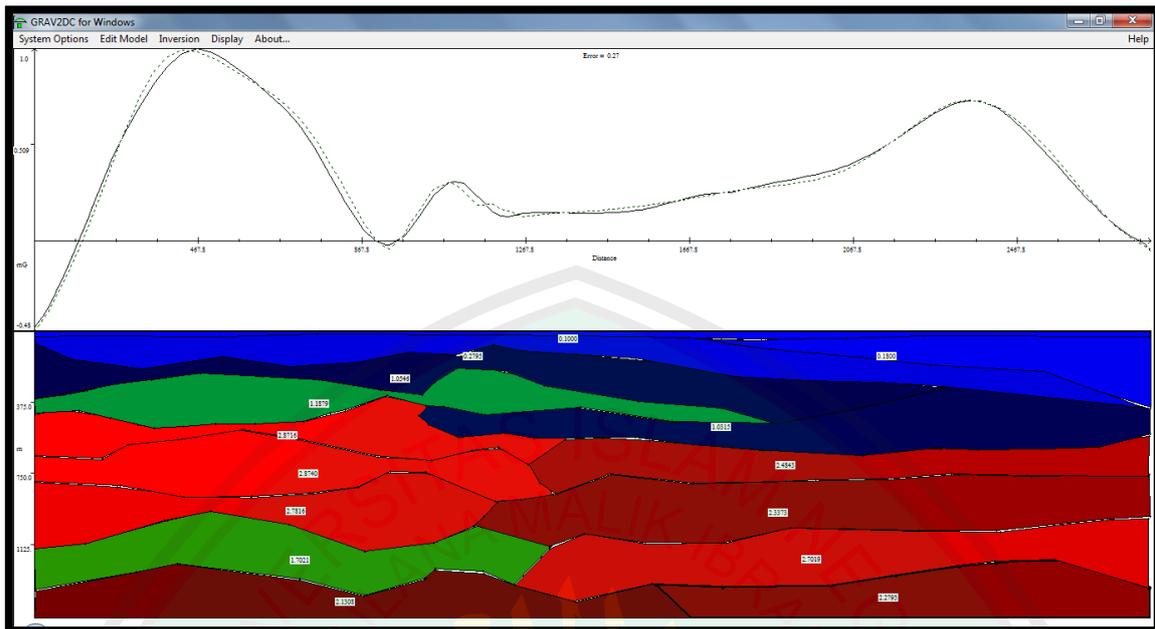
#### **4.9.3 Penampang Melintang Lintasan EF**

Penampang anomali Bouguer lokal lintasan EF diambil berdasarkan hasil penafsiran kualitatif pola kontur anomali, dimana pada penampang EF memotong beberapa tiggian dan rendahan anomali dengan nilai tertinggi 1.0 mGal dan terendah - 0.48 mGal serta memotong sumber air panas (sumur 1 dan sumur 4) yang berada pada lokasi penelitian dengan nilai eror yang dihasilkan adalah 0.27. Lokasi penampang anomali Bouguer EF dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 4.17 Lintasan penampang anomali lokal EF

Gambar 4.17 di atas merupakan lintasan penampang EF pada gambar peta kontur anomali lokal. Hasil pemodelan penampang EF ini dapat dilihat pada gambar 4.18. Kedalaman maksimum model struktur bawah permukaan menggunakan Grav2dc  $\pm 1500$  m dengan panjang lintasan  $\pm 2770$  m dari barat laut ke arah tenggara daerah penelitian.



Ket:

	Batuan lapuk = 0.1800 gr/cm <sup>3</sup>		Gamping = 2.7816 gr/cm <sup>3</sup>
	Tanah/soil = 1.0341 gr/cm <sup>3</sup>		Pasiran+kuarsa=1.7021 gr/cm <sup>3</sup>
	Tanah+pasiran = 1.1879 gr/cm <sup>3</sup>		Gamping+pasiran = 2.4834 gr/cm <sup>3</sup>
	Kuarsa+lempungan = 2.8716 gr/cm <sup>3</sup>		

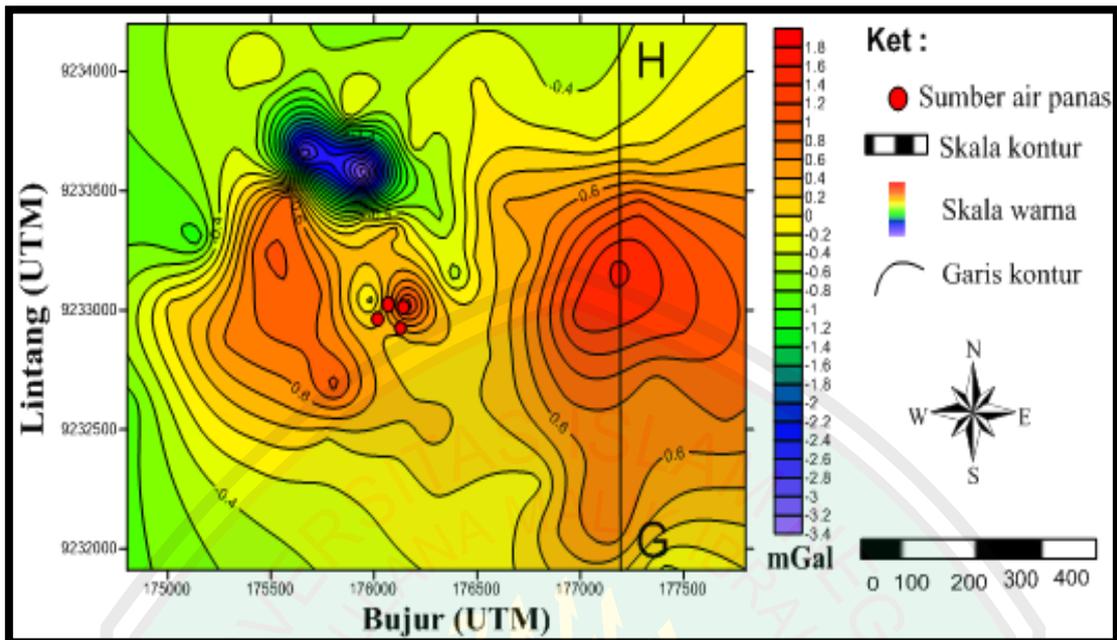
Gambar 4.18 model penampang anomali lokal lintasan EF

Pada lapisan pertama yang ditunjukkan dengan warna biru  yang diduga sebagai batuan lapuk dengan nilai densitas 0.0180 gr/cm<sup>3</sup> yang merupakan hasil pelapukan dari air hujan dan akar tumbuhan. Lapisan ini memiliki ketebalan yang bervariasi antara 150-250 m dari permukaan. Pada lapisan kedua ditunjukkan dengan warna biru tua  dengan densitas 1.0341 gr/cm<sup>3</sup> diduga sebagai tanah/soil yang memanjang sampai keujung daerah penelitian, berada pada kedalaman 100-370 m dengan ketebalan 150-250 m. Sedangkan pada lapisan ke tiga ditunjukkan oleh warna hijau muda  dengan nilai densitas 1.1879 gr/cm<sup>3</sup> berada pada kedalaman 370-400 m dari sepanjang 1800 m pada sumbu X dengan ketebalan sekitar 150-200 m diduga sebagai campuran tanah dan pasir. Pada lapisan ke empat ditunjukkan oleh warna

merah cerah [REDACTED] dengan nilai densitas 2.8716 gr/cm<sup>3</sup> pada kedalaman 400-850 m, memanjang ke arah sumbu X sampai 1300 m dengan ketebalan lapisan sekitar 400-500 m ditafsirkan sebagai campuran kuarsa dan gamping. sedangkan pada jarak 1300-2100 arah sumbu X ditunjukkan dengan merah tua [REDACTED] dengan nilai densitas 2.4834 gr/cm<sup>3</sup> diduga sebagai campuran gamping dan pasir pada kedalaman 550-1130 m dengan ketebalan lapisan 500-600 m. Pada lapisan ke lima ditandai dengan hijau [REDACTED] dengan densitas 1.7021 gr/cm<sup>3</sup> ditafsirkan sebagai campuran gamping dan lempung memanjang sampai 1300 pada arah sumbu X pada kedalaman 1230-1300m dengan ketebalan 200 m. sedangkan pada jarak 1300-2100 arah sumbu X ditunjukkan dengan merah [REDACTED] dengan nilai densitas 2.7019 gr/cm<sup>3</sup> diduga sebagai gamping dengan kedalaman 200 m. Pada lapisan ke enam ditandai dengan warna merah tua [REDACTED] dengan nilai densitas 2.2792 gr/cm<sup>3</sup> berada pada kedalaman 1300-1500 m dengan ketebalan sekitar 300 m diinterpretasikan sebagai campuran gamping dan pasir. Keberadaan batu gamping pada penampang lapisan EF ini diduga kuat sebagai batuan penyebab sistem geotermal. Karena batuan tersebut akan cepat panas apabila bersentuhan dengan air.

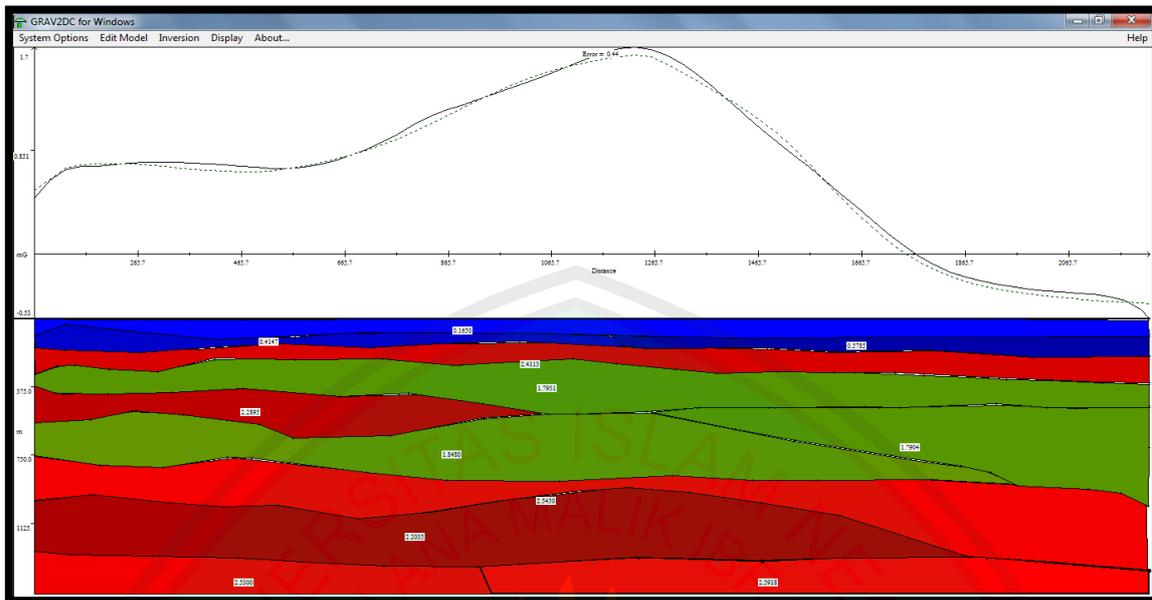
#### **4.9.4 Penampang Melintang Lintasan GH**

Penampang anomali Bouguer lokal lintasan GH diambil berdasarkan hasil penafsiran kualitatif pola kontur anomali, dimana pada penampang GH memotong beberapa anomali tiggian dan rendahan dengan nilai tertinggi 1.7 mGal dan terendah -0.36 mGal dengan nilai eror yang dihasilkan adalah 0.44. Lokasi penampang anomali Bouguer GH dapat dilihat pada gambar berikut:

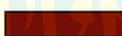


Gambar 4.19 Lintasan penampang anomali lokal GH

Gambar 4.19 di atas merupakan lintasan penampang GH pada gambar peta kontur anomali lokal. Hasil pemodelan penampang GH ini dapat dilihat pada gambar 4.20. Kedalaman maksimum model struktur bawah permukaan menggunakan Grav2dc  $\pm 1500$  m dengan panjang lintasan  $\pm 2170$  m memanjang dari selatan ke arah utara daerah penelitian.



Ket:

	Batuan lapuk = $0.4802 \text{ gr/cm}^3$		Gamping = $2.2562 \text{ gr/cm}^3$
	Kuarsa+pasiran = $1.7211 \text{ gr/cm}^3$		Gamping+lempungan = $2.4113 \text{ gr/cm}^3$
			Gamping+pasiran = $2.5057 \text{ gr/cm}^3$

Gambar 4.20 model penampang anomali lokal lintasan GH

Pada lapisan pertama yang ditunjukkan dengan warna biru  yang diduga sebagai batuan lapuk dengan nilai densitas  $0.0182\text{-}0.4802 \text{ gr/cm}^3$  yang merupakan hasil pelapukan dari air hujan dan akar tumbuhan. Lapisan ini memiliki ketebalan yang bervariasi antara 0-150 m dari permukaan. Pada lapisan kedua ditunjukkan dengan warna hijau  dengan densitas  $2.4111 \text{ gr/cm}^3$  diduga sebagai campuran antara gamping dan lempung dengan ketebalan 50-100 m. Pada lapisan ke tiga ditunjukkan dengan warna  dengan densitas  $1.7211 \text{ gr/cm}^3$  diduga sebagai campuran antara kuarsa dan pasir yang memanjang sampai ke daerah pinggir pantai dengan ketebalan 150 m. Sedangkan pada lapisan ke empat ditunjukkan oleh warna merah tua  dengan nilai densitas  $2.2562 \text{ gr/cm}^3$  berada pada kedalaman 385-850 m dari 0-1100 m pada sumbu X dengan ketebalan sekitar 475 m diduga sebagai

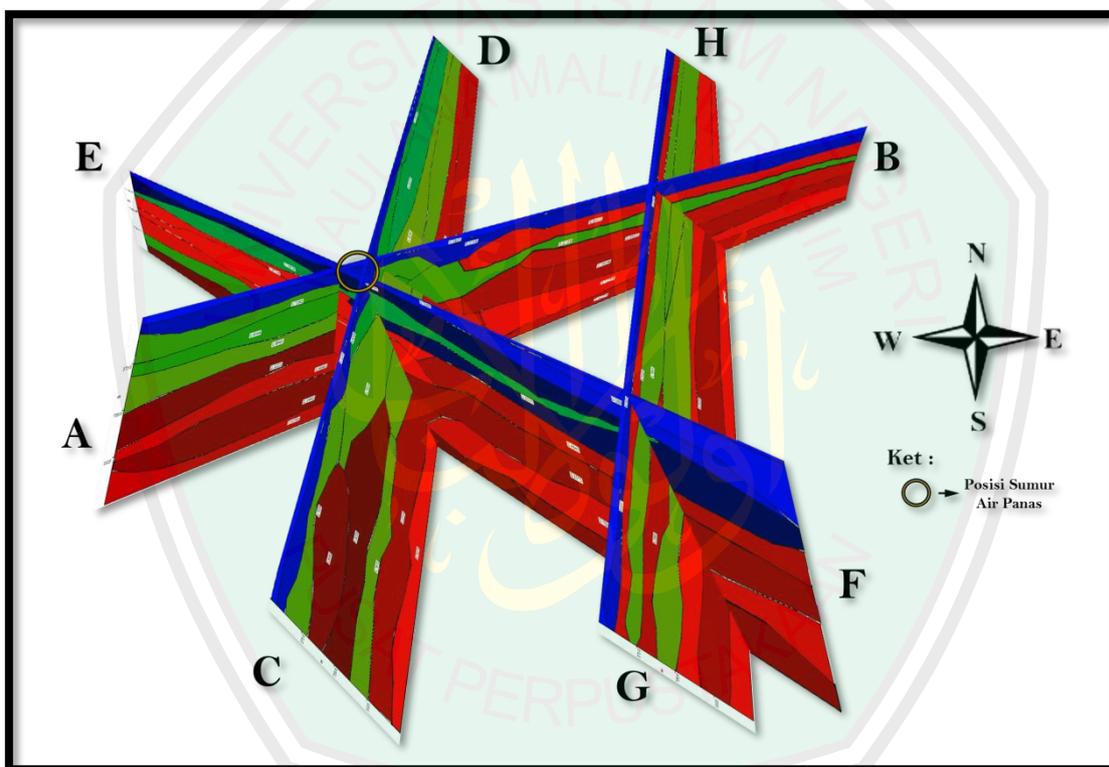
gamping sedangkan pada jarak 1100-2100 arah sumbu X ditunjukkan dengan hijau  dengan nilai densitas  $1.7211 \text{ gr/cm}^3$  diduga sebagai kuarsa pada kedalaman 500-1100 m dengan ketebalan lapisan 400-500 m. Pada lapisan ke lima di tunjukan oleh warna hijau  dengan nilai densitas  $1.7673 \text{ gr/cm}^3$  dengan ketebalan lapisan sekitar 250 m ditafsirkan sebagai kuarsa. Pada lapisan ke enam ditandai dengan warna merah tua  dengan nilai densitas  $2.2562 \text{ gr/cm}^3$  berada pada kedalaman 1125-1380 m dengan ketebalan 300-500 diinterpretasikan sebagai gamping. Pada lapisan ketujuh ditunjukkan dengan warna merah cerah  dengan nilai densitas  $2.5074 \text{ gr/cm}^3$  diduga sebagai campuran gamping dan pasir pada kedalaman 1380-1500 m dengan ketebalan lapisan 200-300 m. Indikasi keberadaan batu gamping pada penampang lapisan GH ini diduga kuat sebagai batuan penyebab sistem geotermal. Karena batuan tersebut akan cepat panas apabila bersentuhan dengan air.

#### **4.9.5 Model Penampang 3 Dimensi**

Umumnya pengolahan data gravitasi berakhir pada tahap pemodelan struktur bawah permukaan yang kemudian diinterpretasi baik secara kualitatif ataupun secara kuantitatif. Namun pada penelitian ini penulis mencoba membuat model 3 dimensi struktur bawah permukaan dari model 2 dimensi dari penampang AB, CD, EF dan GH. Pemodelan struktur secara 3 dimensi ini dilakukan untuk melihat keselarasan dan kesinambungan dari model penampang 2 dimensi struktur bawah permukaan daerah penelitian.

Model penampang 3 dimensi merupakan gambar hasil pengolahan data gravitasi berupa penampang 2 dimensi yang direkonstruksi menjadi bentuk 3 dimensi

(3D vertikal). Pemodelan ini diharapkan memberikan gambaran mengenai kondisi lapisan bawah permukaan dengan korelasi antar setiap penampang pada daerah penelitian. Selain itu diharapkan dapat menggambarkan keadaan bawah permukaan dengan lapisan batuan penyimpan fluida (air) yang diduga sebagai batuan penyebab sistem panas bumi, sehingga dapat memudahkan proses interpretasi geologi secara vertikal.



Gambar 2.21 Model 3 dimensi penampang AB, CD, EF dan GH daerah penelitian

Gambar 2.21 di atas merupakan model penampang 3 dimensi struktur bawah permukaan daerah penelitian. Dari model yang diperoleh terlihat jelas kesesuaian setiap lapisan dibawah permukaan. Lokasi keempat sumur air panas ditandai dengan lingkaran sehingga dari rekonstruksi model diperoleh keselarasan dan kesinambungan disetiap

laipasanya. Keberadaan batuan gamping sebagai batuan penyebab sistem panas bumi di daerah penelitian tersebar merata tepatnya di lokasi sekitar sumur air panas pada kedalaman 900 meter kebawah. Selain itu, berdasarkan gambaran mengenai keadaan geologi bawah permukaan daerah panas bumi Lombang dalam rekonstruksi 3 dimensi dari model ini diperkirakan juga terdapat beberapa endapan lapisan batuan dari hasil erosi maupun hasil sedimentasi pinggir pantai yang tidak atur di sekitar area penelitian sehingga diduga adanya suatu rekahan (*crack*) sebagai jalur keluarnya *fluida* (air) yang teridentifikasi dilokasi sumber air panas. Hal ini disebabkan oleh ketidakselarasan batuan yang berada di atas batuan gamping yaitu pada kedalaman 200-800 meter ke bawah.

#### **4.10 Analisa Potensi Panas Bumi (*Geothermal*)**

Panas bumi di Indonesia sering dikaitkan dengan aktivitas vulkanik atau gunung api karena berada pada jalur pertemuan lempeng benua dan samudera (*ring of fire*). Sehingga sering dengan dijumpai banyaknya aktifitas gunung api yang menjadikan Indonesia memiliki potensi panas bumi terbesar di dunia. Namun beberapa dekade tahun terakhir semakin banyaknya penelitian yang dilakukan oleh Badan geologi tentang potensi panas bumi memberikan informasi bahwa Indonesia memiliki potensi panas bumi non vulkanik. Sistem panas bumi Non-vulkanik merupakan sistem panas bumi yang tidak berkaitan secara langsung dengan proses vulkanisme dan umumnya berada di luar jalur vulkanik Kuarter. Fluida panas bumi tipe ini biasanya mempunyai temperatur lebih rendah dan disebut sistem *low entalphy*. Lingkungan non-vulkanik di

Indonesia bagian barat pada umumnya tersebar di bagian timur Paparan Sunda termasuk di daerah penelitian ini.

Berdasarkan kajian penelitian sebelumnya (Samsul Arifin, 2013) mengenai potensi panas bahwa daerah penelitian ini merupakan salah satu dari sistem panas bumi non vulkanik karena tidak ada pengaruh aktifitas gunung api yang mempengaruhi terjadinya panas bumi. Selain itu diduga merupakan sistem panas bumi sebagai akibat dari tatanan geologi daerah setempat (*geopressured system*) yang terasosiasi dengan zona depresi atau cekungan sedimen yang memanjang dari Jawa Barat ke Jawa Timur, yaitu Bogor - Serayu utara - Kendeng - Zona depresi selat Madura. Hal ini juga sesuai dengan informasi geologi daerah setempat. Daerah potensi panas bumi di desa Lombang Kecamatan Batang-batang Kabupaten Sumenep ini diperkirakan merupakan asosiasi dari daerah manifestasi panas bumi berupa sumber air panas yang telah diidentifikasi sebelumnya, yaitu sumber air panas Tirtosari dan di desa Aeng panas.

Jones (1970) serta Duffield dan Sass (2003) dalam artikel ilmiah Badan geologi nasional menyatakan bahwa sistem panas bumi geopressure terbentuk ketika air panas terperangkap dan terjadi pertukaran atau pencampuran dengan batuan sekitarnya. Panas bumi di cekungan sedimen merupakan hasil interaksi dari berbagai sumber panas dan mekanisme pemindahan (*transfer*) panas dimana panas dari kedalaman dipindahkan ke permukaan. Sistem geopressure di Indonesia diantaranya terdapat di Lapangan Duri (Cekungan Sumatra Tengah), Kalimantan Timur (Cekungan Tarakan – Kutai Timur), Pulau Buru, Papua (Manokwari), dan juga Jawa Timur (Madura). Sumber panas berasal dari sisa panas pada batuan terobosan, batuan plutonik, dan faktor pembebanan pada

lapisan sedimen dalam. Biasanya unsur Uranium, Thorium, dan Potasium bergerak ke arah kerak setelah proses pembentukan gunung api tua dan terjadi pemindahan panas pada bagian atas kerak samudera.

Keberadaan mata air panas (hot springs) di daerah hidrotermal desa Lombang merupakan indikasi kemungkinan adanya suatu sistem geotermal. Perubahan fisika batuan reservoir seperti porositas dan permeabilitas dapat terjadi karena alterasi hidrotermal, sedangkan pengaruh dari alterasi hidrotermal adalah menurunnya porositas. Ciri-ciri dan kelimpahan mineral hidrotermal yang terbentuk selama interaksi fluida dan batuan tergantung beberapa faktor, khususnya temperatur, komposisi fluida (pH), ketersediaan fluida (zona permeabilitas) dan adanya pendidihan (boiling temperature). Identifikasi yang telah dilakukan pada daerah air panas ini meliputi suhu air panas yang terukur berkisar pada suhu 45°C (pada permukaan). Adapun komposisi mineral fluida (air) panas di desa Lombang berupa kandungan kimia Sulfur (S) atau belerang (Arifin, 2013).

Penafsiran litologi batuan pada daerah penelitian ini didasari oleh data geologi daerah setempat. Berdasarkan informasi geologi diketahui bahwa daerah penelitian merupakan bagian struktur antiklin batuputih, yang ditemukan di bagian utara Lembar. Dengan Sumbu yang memanjang dari arah barat ke timur melalui gunung Batuputih menjam di daerah Batang-batang. Antiklin ini berkembang dalam Formasi Tawun dan Formasi Ngrayong yang didominasi oleh batu pasir dan batu gamping (Situmorang, dkk : 12. 1992).

Berdasarkan penafsiran kualitatif diketahui bahwa pola kontur anomali bouger dapat dibedakan menjadi 2 pola. Pola pertama adalah pola tinggian dengan rentang nilai anomali 76-78.5 mGal. Pola kedua adalah pola rendah dengan rentang nilai anomali 73.2-75.8 mGal. Nilai anomali tinggian tersebut diperkirakan berasal dari batuan yang memiliki densitas yang tinggi dan berkaitan langsung dengan batuan penyebab sistem geothermal di daerah ini. Karena daerah penelitian merupakan bagian struktur antiklin, sehingga diduga kuat bahwa batuan dibawah permukaan tanah didominasi oleh batu gamping, batu pasir dan dolomite. Pola anomali tinggi ini menyebar pada bagian tengah daerah penelitian dan semakin tinggi kearah timur daerah sumber mata air panas. Sedangkan nilai anomali rendah atau disebabkan oleh struktur batuan yang lebih turun dibandingkan dengan batuan disekitarnya. Pola anomali rendah ini terdapat dan menyebar dari barat daya sampai barat laut daerah penelitian. Selain itu terdapat nilai anomali yang sangat rendah pada barat laut, disebabkan oleh struktur batuan yang lebih rendah dari sekitarnya.

Secara kuantitatif pada penelitian ini penulis memodelkan struktur bawah permukaan daerah penelitian dengan kedalaman sekitar 1500 m. Sehingga dengan kedalaman tersebut dapat diketahui batuan penyebab terjadinya panas bumi di daerah lombang ini. Hal ini Berdasarkan penelitian sebelumnya yang mengkaji potensi panas bumi di daerah Tirtosari yang mengindikasikan bahwa panas bumi terjadi dan berkembang pada formasi Ngerayong.

Dari hasil penelitian ini dapat diketahui bahwa sumber panas di area panas bumi Lombang ini diduga merupakan batuan gamping (batuan kapur) yang terasosiasi

dengan tatanan geologi daerah setempat mengingat secara geologi pulau Madura (termasuk daerah panas bumi desa Lombang) merupakan kelanjutan bagian utara Jawa dari pengunungan kapur yang terletak di sebelah utara dan di sebelah selatan lembah Solo. Hal ini juga didasarkan pada tinjauan geologi (data-data geologi) serta penelitian sebelumnya. Selain itu hasil penelitian ini yang pada umumnya menunjukkan lapisan batuan yang terdiri dari berbagai jenis batuan gamping seperti batu gamping, limestone, dolomit, terumbu, koral, kuarsa dan napal disamping juga karakteristik dari batuan gamping atau kapur (karbonat) yang cenderung menimbulkan panas terutama ketika bersentuhan dengan air. Sehingga keberadaan lapisan batuan gamping di bawah permukaan pada area penelitian ini dapat dimungkinkan sebagai lapisan penyimpan fluida (air) panas dengan karakteristik porositas sekunder pada batuan jenis gamping atau karbonat.

#### **4.11 Panas Bumi (*Geothermal*) dalam kajian Al Quran dan Hadist**

##### **4.11.1 Proses Pembentukan Panas Bumi**

Secara umum panas bumi (*geotermal*) dapat diartikan sebagai panas bumi yang terbentuk secara alami di bawah permukaan bumi (*subsurface*) dengan kuantitas kandungan panas yang tersimpan dalam bumi dan membentuk sistem panas bumi yang telah ada sejak bumi terbentuk. Sistem panas bumi tersebut mencakup sistem hidrotermal (*hydrothermal*) yang merupakan sistem tata air, proses pemanasan dan kondisi sistem dimana air yang terpanasi terkumpul. Pembentukan sistem panas bumi tersebut dipengaruhi oleh proses-proses geologi yang berlangsung di sepanjang jalur gunung api. Saluran atau jalur gunung api dapat berupa rekahan (*joint*) atau pori, sesar

(*fault*), retakan hidrolis (*fracture*), ketidakselarasan (*unconformity*), *fissures* atau bentuk permeabel lainnya.

Budihardi (1998) menjelaskan proses terjadinya sumber energi panas bumi di Indonesia serta karakteristiknya sebagai berikut. Ada tiga lempengan yang berinteraksi di Indonesia, yaitu lempeng Pasifik, lempeng India-Australia dan lempeng Eurasia. Tumbukan yang terjadi antara ketiga lempeng tektonik tersebut telah memberikan peranan yang sangat penting bagi terbentuknya sumber energi panas bumi. Pada dasarnya sistem panas bumi terbentuk sebagai hasil perpindahan panas dari suatu sumber panas ke sekelilingnya yang terjadi secara konduksi dan secara konveksi. Perpindahan panas secara konduksi terjadi melalui batuan, sedangkan perpindahan panas secara konveksi terjadi karena adanya kontak antara air dengan suatu sumber panas.

Perpindahan panas secara konveksi pada dasarnya terjadi karena gaya apung. Air karena gaya gravitasi selalu mempunyai kecenderungan untuk bergerak kebawah, akan tetapi apabila air tersebut kontak dengan suatu sumber panas maka akan terjadi perpindahan panas sehingga temperatur air menjadi lebih tinggi dan air menjadi lebih ringan. Keadaan ini menyebabkan air yang lebih panas bergerak ke atas dan air yang lebih dingin bergerak turun ke bawah, sehingga terjadi sirkulasi air atau arus konveksi.

Petunjuk ilmiah dalam al-Qur'an mengenai penegasan kebenaran teori lempeng tektonik ini telah terdapat dalam Q.S. ar-Ra'du [13]: 4:

وَفِي الْأَرْضِ قِطْعٌ مُتَجَبَّرَاتٌ وَجَنَّاتٌ مِّنْ أَعْنَابٍ وَزُرْعٌ وَنَخِيلٌ صِنَوَانٌ وَغَيْرُ صِنَوَانٍ  
يُسْقَى بِمَاءٍ وَاحِدٍ وَنُفِضَ لِبَعْضِهَا عَلَىٰ بَعْضٍ فِي الْأَكْلِ إِنَّ فِي ذَٰلِكَ لَآيَاتٍ لِّقَوْمٍ  
يَعْقِلُونَ ﴿١٣﴾

*“Dan di bumi ini terdapat bagian-bagian yang berdampingan, dan kebun-kebun anggur, tanaman-tanaman dan pohon korma yang bercabang dan yang tidak bercabang, disirami dengan air yang sama. Kami melebihkan sebahagian tanaman-tanaman itu atas sebahagian yang lain tentang rasanya. Sesungguhnya pada yang demikian itu terdapat tanda-tanda (kebesaran Allah) bagi kaum yang berfikir.” (Q.S. ar-Ra’du [13]: 4).*

El Naggar (2010. 94) menjelaskan Ayat al-Qur’an mengindikasikan fakta-fakta ilmiah luar biasa khususnya pada penggalan ayat “dan di bumi terdapat bagian-bagian yang berdampingan”, yaitu sebagai berikut :

1. Lapisan batu karang bumi terbentuk dari sejumlah lempengan-lempengan berdampingan yang diperkirakan berjumlah 12 lempengan besar, disamping lempengan kecil. Setiap lempengan lapisan batu karang bumi memiliki asal-usul tersendiri serta memiliki perbedaan dalam komposisi kimia dan mineral dalam kepadatan dan ketebalan materinya.
2. Setiap lempengan lapisan batu karang bumi terbentuk dari 3 jenis terpenting batu karang, yaitu batu karang api, endapan batu karang dan batu karang berubah dengan berbagai pecahannya.
3. Perbedaan konkrit jenis tanah yang dihasilkan oleh peleburan setiap jenis batu karang ini (akibat berbagai proses erosi, faktor cuaca dan abrasi) secara signifikan

sejalan dengan perbedaan sumber batu karang, komposisi kimia dan mineralnya dan juga perbedaan kondisi lingkungan.

Beberapa hal tersebut memberikan sejumlah besar keragaman bagi bumi dalam karakter alami, kimianya dan dalam kemampuan untuk menumbuhkan segala macam tanaman serta untuk kehidupan makhluk-Nya.

Mengenai proses tektonisme yang berdampak pada gejala vulkanik terdapat dalam isi kandungan Q.S. Saba' [34]: 2 berikut ini:

يَعْلَمُ مَا يَلِجُ فِي الْأَرْضِ وَمَا تَخْرُجُ مِنْهَا وَمَا يَنْزِلُ مِنَ السَّمَاءِ وَمَا يَعْرُجُ فِيهَا وَهُوَ  
الرَّحِيمُ الْغَفُورُ

*“Dia mengetahui apa yang masuk ke dalam bumi, apa yang ke luar daripadanya, apa yang turun dari langit dan apa yang naik kepadanya. dan Dia-lah yang Maha Penyayang lagi Maha Pengampun.”*(Q.S. Saba' [34]:2).

Dalam Alquran surat Saba' di atas terdapat penegasan bahwa Allah SWT “mengetahui apa yang masuk ke dalam, dan apa yang keluar daripadanya”. Tabrakan antar lempeng juga dapat berakibat pada terdorongnya lantai samudera masuk ke bawah massa kontinen (palung samudera) dan melebur secara bertahap yang membawa kepada terbentuknya kantong magma (*magma chamber*) pada lokasi pertemuan lantai samudera (*oceanic plate*) dengan massa kontinen (*continent plate*), dimana terjadi penumpukan kuantitas besar batuan sedimen, batuan beku (*igneous rocks*) dan batuan metamorf (*metamorphic rocks*) yang berlipat untuk naik ke permukaan dan terjadi pengangkatan pada tepi benua. Tabrakan ini melahirkan rangkaian pegunungan tertinggi seperti

pegunungan Himalaya dan atau terbentuknya gunung-gunung api di tengah laut atau samudera seperti pada rantetan gunung-gunung api di kepulauan Pasifik.

El-Naggar seorang ahli geologi menyatakan bahwa proses meluasnya dasar lautan atau lantai samudera terjadi pada poros tengahnya yang disertai dengan gempa bumi, letusan dan erupsi vulkanik. “Lahirnya” gunung-gunung api beserta aktivitas magmatiknya di tengah samudera ini juga telah Allah jelaskan dalam Q.S. at-Thur [52]:6.

وَالْبَحْرِ الْمَسْجُورِ ﴿٦﴾

“Dan laut yang di dalam tanahnya ada api.” (Q.S. at-Thur [52]:6).

Magma tersebut mengalir dari temperatur tinggi ke rendah melalui pematang tengah samudra dan seterusnya bergerak mendorong lempengan yang ada ke arah palung dan masuk kembali ke perut bumi. Siklus ini tersirat dalam firman Allah dalam Surah Al-Hadiid ayat 4 berikut:

هُوَ الَّذِي خَلَقَ السَّمَوَاتِ وَالْأَرْضَ فِي سِتَّةِ أَيَّامٍ ثُمَّ اسْتَوَىٰ عَلَى الْعَرْشِ ۚ يَعْلَمُ مَا يَلْجُ فِي الْأَرْضِ وَمَا يَخْرُجُ مِنْهَا وَمَا يَنْزِلُ مِنَ السَّمَاءِ وَمَا يَعْرُجُ فِيهَا ۗ وَهُوَ مَعَكُمْ أَيْنَ مَا كُنْتُمْ ۚ وَاللَّهُ بِمَا تَعْمَلُونَ بَصِيرٌ ﴿٤﴾

“Dialah yang menciptakan langit dan bumi dalam enam masa: kemudian Dia bersemayam di atas arsy. Dia mengetahui apa yang masuk ke dalam bumi dan apa yang keluar daripadanya dan apa yang turun dari langit dan apa yang naik kepadanya. dan Dia bersama kamu di mana saja kamu berada. dan Allah Maha melihat apa yang kamu kerjakan.” (Q.S al-Hadiid [57]: 4).

Pengertian makna ayat tersebut tersebut dalam dimensi sains dapat dimaknai sebagai daur hidrologi panas bumi (*geothermal*). Air hujan sebagai air meteorik yang

jatuh dari langit sebagian akan mengalir di permukaan dan sebagian meresap ke dalam tanah. Air yang masuk ke dalam tanah (*run-off*) akan membentuk aliran sungai bawah tanah atau zona akifer. Apabila melewati batuan panas (*hot rocks*) maka akan terpanasi dan berubah ke fasa uap. Uap ini akan naik ke permukaan bercampur dengan penguapan (*evaporasi*) air sungai, danau dan laut yang kemudian terkondensasi dan turun lagi menjadi hujan.

Pembentukan sistem panas bumi (*geothermal system*) pada suatu daerah panas bumi sangat dipengaruhi oleh aspek-aspek geologi yang berkenaan dengan hidrologi, struktur geologi, litologi, petrologi, tatanan tektonik dan proses-proses geologi (geokronologi) di sepanjang jalur magmatik. Proses-proses geologi yang dimaksud adalah kegiatan magmatik dan proses pengangkatan. Kegiatan magmatik khususnya kegunungapian terwujud dalam bentuk terobosan dan letusan gunung api, sedangkan proses pengangkatan akan mengakibatkan terbentuknya retakan atau sesar dan membentuk sistem pegunungan yang berfungsi sebagai daerah penangkap air hujan sekaligus merupakan wadah air meteorik selama waktu geologi.

#### **4.11.2 Teori Gravitasi Dalam Al Quran**

Gravitasi merupakan salah satu contoh bentuk gaya. Gaya sendiri adalah sebuah konsep dalam fisika yang sangat abstrak. Salah satu arti gaya adalah sebuah interaksi antara sebuah benda dengan lingkungannya. Gaya gravitasi adalah sebuah interaksi antara sebuah benda yang bermassa  $m$  dengan benda lain disekitarnya. Psehingga secara sederhana gaya terjadi di setiap benda memiliki massa dengan benda lain yang juga memiliki massa di alam ini.

Allah berfirman dalam Alquran Surat al-Insyiqaq [84] ayat 3-4 :

وَإِذَا الْأَرْضُ مُدَّتْ ۖ وَأَلْقَتْ مَا فِيهَا وَتَخَلَّتْ

“dan apabila bumi diratakan (3) dan dilemparkan apa yang ada di dalamnya dan menjadi kosong(4)” (Q.S al-Isyiqaq [84] : 3-4)

Dalam ayat ini, Allah menerangkan kepada kita bahwa apabila Bumi tidak memiliki gaya gravitasi yang menarik benda-benda dan materi-materi, maka bagian atasnya akan turun ke bawah dan sebaliknya. Dalam kajian sains, bumi memiliki gaya tarik yang lebih besar jika dibandingkan dengan gaya tarik bulan. Besar gaya tarik bulan diperkirakan seperenam gaya tarik bumi. Hal ini disebabkan bumi memiliki ukuran massa yang lebih besar dari pada bulan, sehingga bumi memiliki kekuatan untuk menarik benda dan mengang setiap benda yang beredar di atasnya, yang secara perhitungan, nilai massanya lebih kecil.

#### 4.12 Pemanfaatan Panas Bumi (*Geothermal*)

Sejak jaman dahulu manusia telah memanfaatkan air panas yang muncul kepermukaan melalui mata air panas. Mata air panas pada awalnya hanya dimanfaatkan untuk bersantai dalam air hangat, namun pada perkembangannya air tersebut dimanfaatkan secara lebih kreatif. Masyarakat Romawi menggunakan mata air panas untuk mengobati mata dan kulit serta memanaskan bangunan. Penduduk asli Amerika sejak jaman dahulu telah memanfaatkan air ini untuk kebutuhan memasak dan pengobatan. Berabad-abad suku Maori di New Zealand memasak makanan dengan memanfaatkan air panas yang dihasilkan dari mata air dan masyarakat di Perancis telah memanfaatkan air panas untuk menghangatkan rumah (Hidayat, 2011).

Manifestasi geotermal berupa mata air panas di daerah Lombang Kabupaten Sumenep dapat dimanfaatkan secara langsung seperti berikut ini:

1. Pemandian air panas

Air panas yang muncul dari mata air panas (*hot springs*) di desa Lombang ini memiliki temperatur sekitar 45 C. Air panas (*hydrothermal*) tersebut telah dimanfaatkan secara langsung oleh masyarakat sekitar untuk pemandian berupa kolam air panas serta dialirkan langsung ke rumah-rumah penduduk. Dengan adanya kandungan mineral (Sulfur, Oksida besi dll) di dalam air atau uap, manifestasi tersebut sering pula dimanfaatkan untuk menyembuhkan berbagai penyakit kulit. Selain itu, dapat juga dimanfaatkan untuk melegakan otot-otot yang kaku, melancarkan sirkulasi darah dan bahkan untuk spa kesehatan (*balneologi*).

2. Pengeringan produk pertanian

Banyaknya produk pertanian yang dihasilkan oleh para petani di sekitar daerah prospek dengan lokasi manifestasi yang terletak di tengah area persawahan memungkinkan untuk mengembangkan potensi uap alami panasbumi untuk pengolahan produk pertanian terutama paska panen berupa pengeringan sehingga dapat meningkatkan mutu dan daya simpan produk pertanian serta memungkinkan untuk membuka produksi pertanian yang baru.

Selain berbagai pemanfaatan seperti di atas, panas bumi juga dapat digunakan untuk pemanasan ruangan, pertanian (*green-house*), perkebunan, peternakan, memasak, pembuatan garam, pengembangan macam-macam hasil industri, pembangkit listrik tenaga panas bumi (PLTP) dan sebagainya.

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1 KESIMPULAN**

Setelah dilakukan penelitian dengan metode gravitasi di sekitar sumber air panas di Desa Lombang Kecamatan Batang-batang Kabupaten Sumenep ini dapat disimpulkan bahwa:

1. Berdasarkan interpretasi kualitatif dapat diketahui bahwa pola kontur anomali bouger dapat dibedakan menjadi 2 pola. Pola pertama adalah pola tinggian dengan rentang nilai anomali 76-78.5 mGal. Pola kedua adalah pola sedang dengan rentang nilai anomali 73.2-75.8 mGal. Nilai anomali tinggian tersebut diperkirakan berasal dari batuan yang memiliki densitas yang tinggi. Pola tinggian menyebar pada bagian tengah daerah penelitian dan semakin tinggi ke arah timur daerah sumber mata air panas. Pola rendah ini terdapat dan menyebar dari barat daya sampai barat laut daerah penelitian.
2. Berdasarkan interpretasi kuantitatif pada model penampang lintasan AB, didapatkan tujuh lapisan batuan, yaitu batuan lapuk, kuarsa, lempung, batu pasir, dolomite dan gamping. Pada model penampang lintasan CD juga didapatkan tujuh lapisan batuan, yaitu batuan lapuk, kuarsa, pasir, batu pasir, lempung pasiran, gamping. Sedangkan model penampang lintasan EF juga terdapat tujuh lapisan batuan, yaitu batuan laupuk, tanah (soil), batu pasir, lempung pasiran, pasir, dolomite dan gamping. Hasil penelitian ini yang pada umumnya menunjukkan lapisan batuan yang terdiri dari berbagai jenis batuan gamping seperti batu gamping, limestone, dolomit, terumbu, koral, kuarsa dan napal disamping juga karakteristik dari batuan gamping atau kapur (karbonat) yang cenderung menimbulkan panas terutama ketika bersentuhan dengan air.

## 5.2 Saran

1. Bagi peneliti yang ingin melanjutkan penelitian ini disarankan untuk memperluas daerah penelitian khususnya ke arah tenggara dan barat daerah penelitian dengan menggunakan alat yang terbaru.
2. Dibutuhkan penelitian lebih lanjut baik dari bidang geofisika, geologi maupun geokimia, agar potensi geothermal bisa terpetakan dengan lebih rinci.



## DAFTAR PUSTAKA

- Alzwar, Muzil. 1988. *Pengantar Ilmu Gunungapi*. Bandung : Penerbit Nova
- An-Najjar, Zaghul. 2006. *Pembuktian Sains dalam Sunah*. Jakarta: Amzah
- Arifin, L. 2010. *Distribusi Lapisan Batuan Sedimen yang Diduga Mengandung Gas biogenik dengan Metode Tahanan Jenis di Pantai Saronggi, Sumenep, Madura*. Jurnal Geologi Indonesia, Vol. 5 No. 2 Juni 2010
- Arifin, Samsul. 2013. *Interpretasi Geologi Bawah Permukaan Daerah Potensi Panas Bumi Lembang Sumenep Berdasarkan Pemodelan Electrical Resistivity Tomography (ERT)*. Skripsi. Tidak Diterbitkan. Malang: Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim
- Ash-Shiddiqie, Muhammad Hasbi. 2000. *Tafsir Al Qur'anul Majid An Nur*. Semarang : Pustaka Rizki Putra
- Blakely, Richard J., 1995. *Potential Theory in Gravity and Magnetic Application*. New York : Cambridge University Press
- Burger, Robert H. 1992. *Exploration Geophysics of the shallow subsurface*. New Jersey. Prentice Hall.
- Daudah, Muhammad. 2009. *Tujuh Lapisan Bumi*, <http://www.eramuslim.com/syariah/quran-sunnah/tujuh-lapisan-bumi.html>. Diakses tanggal 05 April 2014.
- Dampney, CGN. 1969. *The Equivalent Source Technique*, Geophysics vol.34, no.1
- Dobrin, Milton B. 1960. *Introduction to Geophysical Prospecting*. New York: McGraw-Hill Book Company Inc
- Dyayadi. 2008. *Alam Semesta Bertawaf*. Yogyakarta: Penerbit Lingkaran
- Hidayat, Nurul. 2012. *Analisis Anomali Gravitasi Sebagai Acuan Dalam Penentuan Struktur Geologi Bawah Permukaan dan Potensi Geothermal (Studi Kasus Daerah Songgoriti Kota Batu)* Skripsi. Tidak Diterbitkan. Malang: Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim
- Jacobs, J.A, Russel, R.D, Wilson, J. Tuzo. 1974. *Physics and Geology*. New York: Mc Graw-Hill Book Company
- Kirbani, SB. DR. 2001. *Teori dan Aplikasi Metode Gravitasi*. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada (UGM).

- Longman, I.M., 1969. *Formula for Computing the Tidal Acceleration Due to the Moon and Sun*. *Journal Geophysics Research*, Vol.64.2351-2355
- Ludman, Alan dan Coch, Nicholas K. 1982. *Physical Geology*. New York: McGraw Hill Book Company Inc
- Milsom, John. 2003. *Field Geophysics Third Edition*. London: John Wiley & Sons Ltd
- Munadi, Suprajitno. 2001. *Instrumentasi Geofisika*. Program Studi Geofisika. Jurusan Fisika FMIPA, Universitas Indonesia Depok
- Purwanto, Agus. 2013. *Nalar Ayat-ayat Semesta (Menjadikan Al-Quran sebagai Basis Konstruksi Ilmu Pengetahuan)*. Bandung: Penerbit Mizan
- Santoso, Djoko. 2002. Diktat Kuliah TG-424 Eksplorasi Energi Panas Bumi. Jurusan Teknik Geologi. Bandung: ITB
- Sharma, P.V., 1997. *Environmental and Engineering Geophysics*. Cambridge University Press, United Kingdom
- Situmorang, R.L, Agustianto, Suparman, M. 1992. *Geologi Lembar Waru-Sumenep, Jawa*. Bandung. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.
- Sudarmojo, Agus Haryo. 2008. *Menyibak Rahasia Sains Bumi dalam Al-Qur'an*. Bandung: Mizania
- Sunaryo. 1997. *Panduan Praktikum Geofisika*. Universitas Brawijaya
- Telford W.M, Geldart L.P., dan Sheriff R.E. 1982. *Applied Geophysics Second Edition*. New York : Cambridge University Press
- Wardhana, Wisnu Arya. 2004. *Al Qur'an dan Energi Nuklir*. Yogyakarta: Pustaka Pelajar



# LAMPIRAN

Lampiran 1. Tabel Konversi ke Milligal untuk Gravimeter Tipe G-1053

CALIBRATION TABLE FOR G-1053

COUNTER READING G	VALUE IN MILIGALS	FACTOR FOR INTERVAL	COUNTER READING G	VALUE IN MILIGALS	FACTOR FOR INTERVAL
0	0	1,01437			
100	101,44	1,01430	3600	3651,97	1,01554
200	202,87	1,01423	3700	3753,53	1,01561
300	304,29	1,01417	3800	3855,09	1,01568
400	405,71	1,01411	3900	3956,66	1,01574
500	507,12	1,01406	4000	4058,23	1,01580
600	608,52	1,01402	4100	4159,81	1,01586
700	709,93	1,01398	4200	4261,40	1,01591
800	811,32	1,01396	4300	4362,99	1,01596
900	912,72	1,01394	4400	4464,58	1,01600
1000	1013,11	1,01394	4500	4566,18	1,01604
1100	1115,51	1,01394	4600	4667,79	1,01606
1200	1216,90	1,01396	4700	4769,39	1,01608
1300	1318,30	1,01398	4800	4871,00	1,01610
1400	1419,70	1,01401	4900	4972,61	1,01610
1500	1521,10	1,01404	5000	5074,22	1,01609
1600	1622,50	1,01409	5100	5175,83	1,01607
1700	1723,91	1,01413	5200	5277,44	1,01604
1800	1825,32	1,01419	5300	5379,04	1,01599
1900	1929,74	1,01425	5400	5480,64	1,01594
2000	2028,17	1,01431	5500	5582,23	1,01587
2100	2129,60	1,01438	5600	5683,82	1,01578
2200	2231,04	1,01445	5700	5785,40	1,01569
2300	2332,48	1,01452	5800	5886,97	1,01558
2400	2433,93	1,01460	5900	5988,52	1,01546
2500	2535,39	1,01468	6000	6090,07	1,01533
2600	2636,86	1,01476	6100	6191,60	1,01519
2700	2738,34	1,01483	6200	6293,12	1,01505
2800	2839,82	1,01491	6300	6394,63	1,01489
2900	2941,31	1,01499	6400	6496,12	1,01474
3000	3042,81	1,01507	6500	6597,59	1,01459
3100	3144,32	1,01515	6600	6699,05	1,01445
3200	3245,83	1,01523	6700	6800,50	1,01431
3300	3347,36	1,01531	6800	6901,93	1,01420
3400	3448,89	1,01539	6900	7003,35	1,01411
3500	3550,43	1,01546	7000	7104,76	-

Reading Line : 2.80

Temperature : 56.7 C

**LAMPIRAN 2 : Data Gravity Daerah Sumber Air Panas Desa Lombang  
Kecamatan Batang-batang Kabupaten Sumenep**

- Hari Pertama, 3 Mei 2014

<b>No</b>	<b>Waktu</b>	<b>Waktu (sekon)</b>	<b>Read</b>	<b>Rd. Mgal</b>
base	9.51	34236	1743.306	1767.847117
1	10.03	36108	1742.671	1767.202863
2	10.17	36612	1741.964667	1766.486236
3	10.27	36972	1743.636333	1768.182265
4	10.45	37620	1743.676333	1768.222848
5	10.55	37980	1741.044	1765.552152
6	11.07	39852	1740.789333	1765.293774
7	11.34	40824	1743.639	1768.18497
8	11.49	41364	1743.413667	1767.956353
9	12.05	43380	1743.898333	1768.448083
10	12.24	44064	1743.529333	1768.073705
11	12.36	44496	1744.003333	1768.554613
12	12.52	45072	1743.303667	1767.84475
13	13.05	46980	1743.636667	1768.182603
14	13.13	47268	1743.080667	1767.6185
15	13.25	47700	1743.533	1768.077425
16	14.57	52452	1743.372667	1767.914756
17	15.26	54936	1743.525667	1768.069985
18	15.42	55512	1743.86	1768.409191
19	15.52	55872	1744.312	1768.867778
20	16.15	58140	1744.201333	1768.755499
21	16.27	58572	1743.711333	1768.258358
22	16.4	59040	1744.402333	1768.959428
23	16.53	59508	1744.340667	1768.896863
24	17.05	61380	1744.553	1769.11229
25	17.1	61560	1744.310333	1768.866087
26	17.23	62028	1743.532667	1768.077087
27	17.38	62568	1743.257333	1767.797741
28	17.5	63000	1743.893667	1768.443348
29	18.02	64872	1743.193	1767.732471
30	18.11	65196	1743.296	1767.836972
base	18.29	65844	1743.110667	1767.648937

<b>Lintang</b>	<b>Bujur</b>	<b>Tidal</b>	<b>G terkoreksi tidal</b>	<b>Koreksi Drift</b>	<b>G Terkoreksi</b>
-6.929569444	114.0587472	-0.009	1767.838117	0	1767.838117
-6.929772222	114.0593111	-0.001	1767.201863	-0.013336402	1767.2152
-6.927302778	114.0605694	0.008	1766.494236	-0.016926971	1766.511163
-6.924822222	114.0616528	0.015	1768.197265	-0.019491664	1768.216756
-6.923258333	114.06295	0.026	1768.248848	-0.024108111	1768.272956
-6.924158333	114.0651167	0.033	1765.585152	-0.026672803	1765.611825
-6.9249	114.0677556	0.04	1765.333774	-0.040009205	1765.373783
-6.925791667	114.0699472	0.056	1768.24097	-0.046933875	1768.287904
-6.923875	114.0707861	0.064	1768.020353	-0.050780914	1768.071134
-6.925366667	114.0728222	0.073	1768.521083	-0.065143192	1768.586226
-6.926575	114.0710361	0.081	1768.154705	-0.070016108	1768.224722
-6.9271	114.0690611	0.085	1768.639613	-0.07309374	1768.712707
-6.928725	114.0716389	0.09	1767.93475	-0.077197248	1768.011947
-6.927408333	114.0692056	0.092	1768.274603	-0.090790119	1768.365393
-6.926694444	114.051125	0.094	1767.7125	-0.092841873	1767.805342
-6.925761111	114.0644667	0.095	1768.172425	-0.095919504	1768.268345
-6.927797222	114.0631722	0.077	1767.991756	-0.129773446	1768.121529
-6.929411111	114.0656778	0.065	1768.134985	-0.147469825	1768.282455
-6.930197222	114.0678722	0.056	1768.465191	-0.151573334	1768.616764
-6.929852778	114.0695806	0.05	1768.917778	-0.154138026	1769.071916
-6.931377778	114.0701639	0.036	1768.791499	-0.17029559	1768.961794
-6.928069444	114.0726861	0.028	1768.286358	-0.173373221	1768.459731
-6.926136111	114.0738611	0.02	1768.979428	-0.176707321	1769.156135
-6.927975	114.0746944	0.013	1768.909863	-0.180041422	1769.089904
-6.929013889	114.0739667	0.006	1769.11829	-0.193377823	1769.311668
-6.931736111	114.0733972	0.003	1768.869087	-0.19466017	1769.063747
-6.9345	114.0727167	-0.005	1768.072087	-0.19799427	1768.270082
-6.934641667	114.0706472	-0.013	1767.784741	-0.201841309	1767.986583
-6.916908333	114.0680778	-0.019	1768.424348	-0.20491894	1768.629267
-6.932238889	114.0647583	-0.025	1767.707471	-0.218255342	1767.925726
-6.931122222	114.0616389	-0.029	1767.807972	-0.220563565	1768.028535
-6.929569444	114.0587472	-0.036	1767.612937	-0.225180012	1767.838117

<b>ΔG (G relatif)</b>	<b>G Obsevasi</b>	<b>G Normal</b>	<b>Ketinggian</b>
0	978181.0965	978107.066	16
-0.622917732	978180.4736	978107.071	17
-1.326954201	978179.7695	978107.018	14
0.37863909	978181.4751	978106.964	9
0.434838474	978181.5313	978106.93	8
-2.226292315	978178.8702	978106.95	8
-2.464333949	978178.6322	978106.966	7
0.44978683	978181.5463	978106.985	7
0.233016654	978181.3295	978106.944	9
0.748108859	978181.8446	978106.976	10
0.386604176	978181.4831	978107.002	8
0.874589617	978181.9711	978107.013	11
0.17382991	978181.2703	978107.048	10
0.527275736	978181.6238	978107.02	11
-0.032775342	978181.0637	978107.004	13
0.430227674	978181.5267	978106.984	16
0.283411676	978181.3799	978107.028	17
0.444337791	978181.5408	978107.063	16
0.778647019	978181.8751	978107.08	10
1.233798905	978182.3303	978107.073	15
1.123677008	978182.2202	978107.106	9
0.621613655	978181.7181	978107.034	11
1.318018001	978182.4145	978106.992	9
1.251786739	978182.3483	978107.032	9
1.473550901	978182.57	978107.054	8
1.225630093	978182.3221	978107.113	9
0.431964249	978181.5284	978107.173	13
0.148465402	978181.245	978107.176	15
0.791149931	978181.8876	978106.793	14
0.087608543	978181.1841	978107.124	17
0.190417831	978181.2869	978107.1	16
0	978181.0965	978107.066	16

<b>FAC</b>	<b>BC</b>	<b>TC</b>	<b>BA</b>
4.9376	1.79125		77.17636
5.2462	1.903203	0.001375	76.74708
4.3204	1.567343	0.013678	75.51875
2.7774	1.007578	0.011844	76.29284
2.4688	0.895625	0.011844	76.18615
2.4688	0.895625	0.007984	73.50173
2.1602	0.783672	0.00661	73.04966
2.1602	0.783672	0.00661	75.94453
2.7774	1.007578	0	76.15582
3.086	1.119531	0	76.83536
2.4688	0.895625	0.005499	76.05996
3.3946	1.231484	0.001375	77.12243
3.086	1.119531	0	76.18855
3.3946	1.231484	0.00275	76.76983
4.0118	1.45539	0.001375	76.61712
4.9376	1.79125	0.001375	77.69021
5.2462	1.903203	0.001375	77.69607
4.9376	1.79125	0.001375	77.62549
3.086	1.119531	0.001375	76.76293
4.629	1.679297	0.00275	78.21014
2.7774	1.007578	0.00275	76.88718
3.3946	1.231484	0.00661	76.85375
2.7774	1.007578	0	77.192
2.7774	1.007578	0.001375	77.08743
2.4688	0.895625	0.001375	77.09011
2.7774	1.007578	0.001375	76.98002
4.0118	1.45539	0	76.91182
4.629	1.679297	0.001375	77.01993
4.3204	1.567343	0.00275	77.85025
5.2462	1.903203	0.00275	77.40568
4.9376	1.79125	0	77.33323
4.9376	1.79125		77.17636



- Hari Kedua, 4 Mei 2014

No	Waktu	Waktu (sekon)	Read	Rd. Mgal
Base	7.13	25668	1742.968	1767.504192
1	7.44	26784	1743.415	1767.957706
2	8.11	29196	1743.967333	1768.518089
3	8.22	29592	1744.852	1769.415648
4	8.38	30168	1745.188	1769.756545
5	8.49	30564	1744.784	1769.346657
6	9.06	32616	1744.308	1768.86372
7	9.19	33084	1744.080667	1768.633074
8	9.33	33588	1743.643667	1768.189705
9	9.44	33984	1743.493667	1768.037519
10	9.58	34488	1743.64	1768.185985
11	10.13	36468	1743.153667	1767.692564
12	10.22	36792	1742.895	1767.430128
13	11.15	40140	1743.189667	1767.729089
14	11.26	40536	1743.188	1767.727398
15	11.37	40932	1743.153333	1767.692226
16	11.54	41544	1742.707	1767.239388
17	12.14	43704	1742.759	1767.292146
18	12.3	44280	1743.19	1767.729427
19	13.55	48780	1743.639333	1768.185308
20	14.15	50940	1743.638	1768.183956
21	14.28	51408	1743.825667	1768.374357
22	14.33	51588	1744.525333	1769.084221
23	14.42	51912	1744.455333	1769.0132
24	14.5	52200	1744.190667	1768.744677
25	14.59	52524	1743.859667	1768.408853
26	15.08	54288	1743.175	1767.714208
27	15.22	54792	1743.97	1768.520794
28	15.31	55116	1743.191333	1767.73078
29	15.45	55620	1742.859667	1767.394279
30	15.55	55980	1742.751	1767.284029
31	16.05	57780	1742.638	1767.169382
32	16.15	58140	1742.421067	1766.949287
33	16.25	58500	1742.182333	1766.707075
34	16.34	58824	1741.824	1766.343519
35	16.5	59400	1741.081	1765.589691
Base	16.59	59724	1742.637	1767.168368

<b>Lintang</b>	<b>Bujur</b>	<b>Tidal</b>	<b>G terkoreksi tidal</b>	<b>Koreksi Drift</b>	<b>G Terkoreksi</b>
-6.929555556	114.0584972	-0.027	1767.477192	0	1767.477192
-6.936538889	114.0751639	-0.035	1767.922706	-0.008973085	1767.931679
-6.933730556	114.0762333	-0.038	1768.480089	-0.028366526	1768.508455
-6.930347222	114.0769972	-0.038	1769.377648	-0.031550523	1769.409198
-6.928444444	114.0786972	-0.039	1769.717545	-0.036181793	1769.753726
-6.9262	114.0797417	-0.036	1769.310657	-0.039365791	1769.350023
-6.925786111	114.0809556	-0.033	1768.83072	-0.055864688	1768.886585
-6.924477778	114.0802917	-0.031	1768.602074	-0.059627595	1768.661701
-6.923580556	114.0778056	-0.027	1768.162705	-0.063679955	1768.226385
-6.922413889	114.0752806	-0.023	1768.014519	-0.066863953	1768.081383
-6.921513889	114.0726917	-0.018	1768.167985	-0.070916314	1768.238901
-6.920238889	114.0696028	-0.011	1767.681564	-0.086836303	1767.7684
-6.919313889	114.0668556	-0.007	1767.423128	-0.089441392	1767.512569
-6.921138889	114.0638667	0.018	1767.747089	-0.116360646	1767.863449
-6.922661111	114.0671083	0.023	1767.750398	-0.119544644	1767.869942
-6.923808333	114.0699389	0.029	1767.721226	-0.122728641	1767.843954
-6.925791667	114.0699472	0.038	1767.277388	-0.127649365	1767.405037
-6.929611111	114.0679778	0.048	1767.340146	-0.145016626	1767.485162
-6.931122222	114.0692056	0.055	1767.784427	-0.149647895	1767.934075
-6.937277778	114.077775	0.078	1768.263308	-0.185829688	1768.449138
-6.933661111	114.0763111	0.079	1768.262956	-0.203196949	1768.466153
-6.932863889	114.0803222	0.078	1768.452357	-0.206959855	1768.659317
-6.930813889	114.081475	0.078	1769.162221	-0.208407127	1769.370628
-6.931630556	114.0842583	0.078	1769.0912	-0.211012216	1769.302213
-6.934091667	114.0833444	0.077	1768.821677	-0.213327851	1769.035004
-6.936461111	114.0818278	0.076	1768.484853	-0.21593294	1768.700786
-6.939822222	114.0806667	0.074	1767.788208	-0.230116202	1768.018324
-6.938397222	114.0784833	0.071	1768.591794	-0.234168563	1768.825963
-6.938355556	114.0758278	0.069	1767.79978	-0.236773652	1768.036553
-6.938158333	114.0731194	0.065	1767.459279	-0.240826013	1767.700105
-6.937636111	114.0706333	0.061	1767.345029	-0.243720557	1767.58875
-6.934886111	114.06615	0.058	1767.227382	-0.258193274	1767.485576
-6.933661111	114.0633611	0.053	1767.002287	-0.261087817	1767.263375
-6.935316667	114.06295	0.049	1766.756075	-0.26398236	1767.020057
-6.934741667	114.0605694	0.046	1766.389519	-0.26658745	1766.656107
-6.933516667	114.0574278	0.039	1765.628691	-0.271218719	1765.89991
-6.929611111	114.0587917	0.035	1767.203368	-0.273823808	1767.477192

<b><math>\Delta G</math> (G relatif)</b>	<b>G Obsevasi</b>	<b>G Normal</b>	<b>Ketinggian</b>
0	978181.0965	978107.066	16
0.454487412	978181.551	978107.217	12
1.031263582	978182.1277	978107.156	13
1.932006881	978183.0285	978107.083	12
2.276534826	978183.373	978107.042	11
1.872831155	978182.9693	978106.994	10
1.409393096	978182.5059	978106.985	10
1.18450964	978182.281	978106.957	8
0.749193409	978181.8457	978106.937	8
0.604191391	978181.7007	978106.912	8
0.761709665	978181.8582	978106.893	8
0.291208771	978181.3877	978106.865	8
0.035377531	978181.1319	978106.845	8
0.386257758	978181.4827	978106.884	9
0.3927508	978181.4892	978106.917	10
0.366762919	978181.4632	978106.942	10
-0.072154302	978181.0243	978106.985	11
0.007970777	978181.1045	978107.067	12
0.456883198	978181.5534	978107.1	12
0.971946656	978182.0684	978107.233	14
0.988961152	978182.0854	978107.155	13
1.182125674	978182.2786	978107.138	12
1.893436162	978182.9899	978107.093	11
1.82502111	978182.9215	978107.111	10
1.557812975	978182.6543	978107.164	11
1.223594256	978182.3201	978107.215	11
0.541132904	978181.6376	978107.288	11
1.348771149	978182.4453	978107.257	12
0.55936172	978181.6558	978107.256	14
0.222913891	978181.3194	978107.252	13
0.11155812	978181.208	978107.241	14
0.008384039	978181.1049	978107.181	14
-0.213816216	978180.8827	978107.155	15
-0.457134171	978180.6394	978107.191	16
-0.821084564	978180.2754	978107.178	17
-1.577281359	978179.5192	978107.152	17
0	978181.0965	978107.067	16

<b>FAC</b>	<b>BC</b>	<b>TC</b>	<b>BA</b>
4.9376	1.79125		77.17666
3.7032	1.343437	0.007984	76.7016
4.0118	1.45539	0.005499	77.53326
3.7032	1.343437	0.020939	78.32591
3.3946	1.231484	0.001375	78.49534
3.086	1.119531	0.005235	77.94732
3.086	1.119531	0.00661	77.49419
2.4688	0.895625	0.001375	76.89903
2.4688	0.895625	0.01047	76.49218
2.4688	0.895625	0.00275	76.36464
2.4688	0.895625	0.00275	76.54158
2.4688	0.895625	0.005499	76.10134
2.4688	0.895625	0.004124	75.86409
2.7774	1.007578	0.001375	76.36949
3.086	1.119531	0	76.5384
3.086	1.119531	0.001375	76.48903
3.3946	1.231484	0.00275	76.20531
3.7032	1.343437	0.001375	76.39822
3.7032	1.343437	0	76.8131
4.3204	1.567343	0.00275	77.59114
4.0118	1.45539	0.00275	77.4897
3.7032	1.343437	0.020939	77.52164
3.3946	1.231484	0.009359	78.06903
3.086	1.119531	0.00275	77.77971
3.3946	1.231484	0.00275	77.65596
3.3946	1.231484	0.001375	77.26913
3.3946	1.231484	0	76.51259
3.7032	1.343437	0	77.5477
4.3204	1.567343	0	77.15249
4.0118	1.45539	0	76.62366
4.3204	1.567343	0	76.72025
4.3204	1.567343	0	76.67654
4.629	1.679297	0	76.67747
4.9376	1.79125	0	76.59501
5.2462	1.903203	0	76.44014
5.2462	1.903203	0	75.71042
4.9376	1.79125		77.17546



### **Lampiran 3 : Pengolahan *Tide correction* menggunakan program Tidelongman**

Software Tidelongman digunakan untuk mencari nilai tide correction. Inputan dari software ini adalah nilai lintang, nilai bujur, ketinggian titik pengukuran, tanggal dan selisih waktu antar titik pengukuran. Adapun langkah dalam proses koreksi PASUT ini sebagai berikut :

1. Buka software tidelongman pada windows explorer. Kemudian buka file tidelongman dengan type file 'application', dengan melakukan double klik pada mouse.
2. Pada program tidelongman Klik 'n' untuk agar tidak terhubung dengan printer, dan 'y' agar terhubung dengan printer, kemudian tekan 'enter'.
3. Masukkan nama file yang nantinya disimpan oleh program, kemudian tekan 'enter'.
4. Masukkan selanjutnya adalah selang waktu daerah penelitian terhadap waktu GMT, kemudian tekan 'enter'.
5. Kemudian masukan keempat adalah bujur dan lintang dalam bentuk derajat, kemudian tekan 'enter'.
6. Masukkan kelima adalah waktu dimulainya pengambilan data di lapangan diawali dengan tahun, bulan dan tanggal penelitian, kemudian tekan 'enter'.
7. Masukkan keenam adalah waktu berakhirnya pengambilan data di lapangan diawali dengan tahun, bulan dan tanggal penelitian, kemudian tekan 'enter'.
8. Masukkan ketujuh adalah selang waktu pengambilan data di lapangan, kemudian tekan 'enter'.

```
E:\Harapan\3JUNI~1\TIDELO~1\TIDELO~1.EXE

=====
TIDE-CORRECTION SOFTWARE ©
By : Geophysical Program & Institute of Researchs, Institute of Technology Bandung, 1993
For : PT. CALTEX PACIFIC INDONESIA
=====

Send the Results to the Printer (Y/N) : n
Text File Name : d
Local Time Difference with GMT (hrs) : +7
Longitude, latitude (in degree) : 114.0593111,-6.929777222
Starting Year, Month, Date : 2014, 05, 03
Ending Year, Month, Date : 2014, 05, 03
Time start (hrs), Time finish (hrs) : 10.15, 10.20

COMPUTING.....PLEASE WAIT
====> MAKE ANOTHER COMPUTATION (Y/N)? : _
```

9. Software ini kemudian akan menghitung dan menyimpan hasil koreksi tidal pada folder tidelongman dengan file type 'file'. Untuk membuka file tersebut, gunakan aplikasi 'notepad' atau 'wordpad'.
10. Kemudian carilah nilai koreksi tidal anda sesuai dengan waktu (jam dan menit) pada saat pengukuran data gravitasi dilakukan. Nilai yang terkoreksi merupakan nilai koreksi tidal anda yang sudah diubah dalam satuan mgal..
11. Ulangi langkah di atas dengan masukan bujur, lintang dan waktu pengambilan data untuk setiap titik pengukuran.

## Lampiran 4. Tabel Hammer Chart

Table 2.1. Terrain corrections.

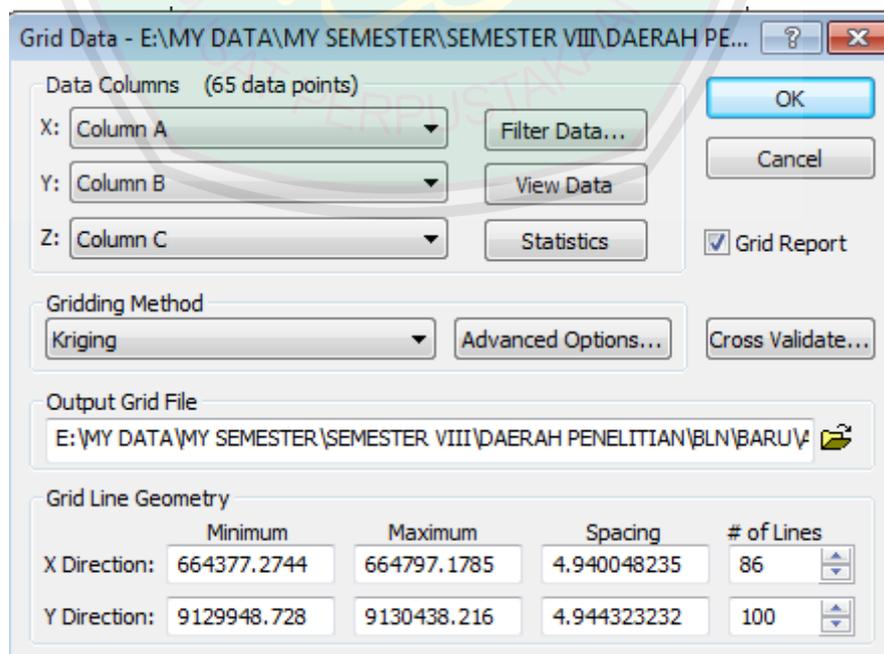
Zone B 4 sectors 6.56' - 54.6'		Zone C 6 sectors 54.6' - 175'		Zone D 6 sectors 175' - 558'		Zone E 8 sectors 558' - 1280'		Zone F 8 sectors 1280' - 2936'		Zone G 12 sectors 2936' - 5018'		Zone H 12 sectors 5018' - 8578'		Zone I 12 sectors 8578' - 14612'	
$\pm z$	$d\delta\gamma$	$\pm z$	$d\delta\gamma$	$\pm z$	$d\delta\gamma$	$\pm z$	$d\delta\gamma$	$\pm z$	$d\delta\gamma$	$\pm z$	$d\delta\gamma$	$\pm z$	$d\delta\gamma$	$\pm z$	$d\delta\gamma$
0.0-1.1	0.00000	0.0-4.3	0.00000	0.0-7.7	0.00000	0-18	0.00000	0-27	0.00000	0-58	0.00000	0-75	0.00000	0-99	0.00000
1.1-1.9	0.00133	4.3-7.5	0.00133	7.7-13.4	0.00133	18-30	0.00133	27-46	0.0133	58-100	0.00133	75-131	0.00133	99-171	0.00133
1.9-2.5	0.00267	7.5-9.7	0.00267	13.4-17.3	0.00267	30-39	0.00267	46-60	0.00267	100-129	0.00267	131-169	0.00267	171-220	0.00267
2.5-2.9	0.0040	9.7-11.5	0.0040	17.3-20.5	0.0040	39-47	0.0040	60-71	0.0040	129-153	0.0040	169-200	0.0040	220-261	0.0040
2.9-3.4	0.0053	11.5-13.1	0.0053	20.5-23.2	0.0053	47-53	0.0053	71-80	0.0053	153-173	0.0053	200-226	0.0053	261-296	0.0053
3.4-3.7	0.0067	13.1-14.5	0.0067	23.2-25.7	0.0067	53-58	0.0067	80-88	0.0067	173-191	0.0067	226-250	0.0067	296-327	0.0067
3.7-7	0.0133	14.5-24	0.0133	25.7-43	0.0133	58-97	0.0133	88-146	0.0133	191-317	0.0133	250-414	0.0133	327-540	0.0133
7-9	0.0267	24-32	0.0267	43-56	0.0267	97-126	0.0267	146-189	0.0267	317-410	0.0267	414-535	0.0267	540-698	0.0267
9-12	0.040	32-39	0.040	56-66	0.040	126-148	0.040	189-224	0.040	410-486	0.040	535-633	0.040	698-827	0.040
12-14	0.053	39-45	0.053	66-76	0.053	148-170	0.053	224-255	0.053	486-552	0.053	633-719	0.053	827-938	0.053
14-16	0.067	45-51	0.067	76-84	0.067	170-189	0.067	255-282	0.067	552-611	0.067	719-796	0.067	938-1038	0.067
16-19	0.080	51-57	0.080	84-92	0.080	189-206	0.080	282-308	0.080	611-666	0.080	796-866	0.080	1038-1129	0.080
19-21	0.0935	57-63	0.0935	92-100	0.0935	206-222	0.0935	308-331	0.0935	666-716	0.0935	866-931	0.0935		
21-24	0.107	63-68	0.107	100-107	0.107	222-238	0.107	331-353	0.107	716-764	0.107	931-992	0.107		
24-27	0.120	68-74	0.120	107-114	0.120	238-252	0.120	353-374	0.120	764-809	0.120	992-1050	0.120		
27-30	0.133	74-80	0.133	114-120	0.133	252-266	0.133	374-394	0.133	809-852	0.133	1050-1105	0.133		
		80-86	0.147	120-127	0.147	266-280	0.147	394-413	0.147	852-894	0.147				
		86-91	0.160	127-133	0.160	280-293	0.160	413-431	0.160	894-933	0.160				
		91-97	0.174	133-140	0.174	293-306	0.174	431-449	0.174	933-972	0.174				
		97-104	0.187	140-146	0.187	306-318	0.187	449-466	0.187	972-1009	0.187				
		104-110	0.200	146-152	0.200	318-331	0.200	466-483	0.200	1009-1046	0.200				

Note:  $d\delta\gamma = \theta\gamma\rho(\rho_0 - \rho + \sqrt{(\rho_0^2 + z^2)} - \sqrt{(\rho_0^2 + z^2)})$ ,  $\rho_0$  = inner, outer sector radii,  $\gamma = 6.67 \times 10^{-6}$ ,  $d\delta\gamma$  in milligals,  $z, \rho_0$  in feet, and  $z =$  average sector elevation.  
Source: From Hammer (1939), but based on average density  $\rho = 2.67 \text{ g/cm}^3$ .

## Lampiran 5. Pengolahan Data Menggunakan Surfer 10

Pada penelitian ini, Surfer 10 digunakan untuk mengkonstruksi nilai koreksi - koreksi dan data - data lainnya. Data masukan pada Surfer 10 adalah bujur, lintang, dan data (data apapun yang ingin dibuat kontur), misal pengkonstruksi anomali Bouguer, maka Langkah – langkah pengkonstruksinya sebagai berikut:

1. Buka Surfer 10, kemudian pilih New Worksheet. Pada kolom pertama masukkan data bujur, kolom kedua masukkan data lintang dan kolom ketiga masukkan data anomali Bouguer.
2. Kemudian, Save dalam extension (file type) “ BLN Golden Software Blanking”.
3. Selanjutnya, pilih menu New Plot. Pilih menu “Grid” → “Data” selanjutnya akan tampil kotak dialog yang meminta file “bln” yang tadi sudah disimpan. Klik “Open” maka akan tampil kotak dialog seperti di bawah ini.

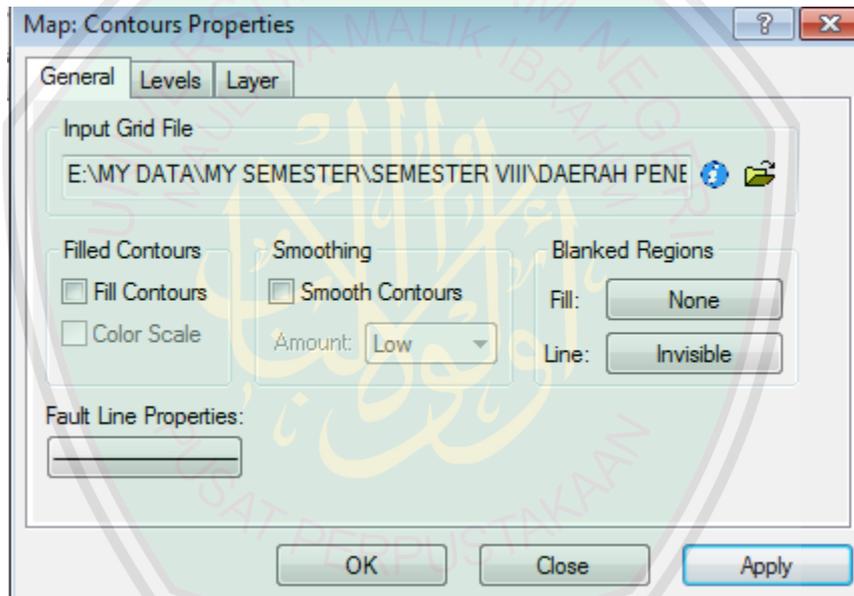


Pilih "Gridding Method" yang diinginkan kemudian tekan "OK" maka data akan langsung diproses dan akan tersimpan dengan file nama yang sama dengan nama yang tersimpan dengan type file "GRD file"..

4. Selanjutnya pilih menu "Map" → "New" → "Contour Map" maka akan tampil kotak dialog yang meminta untuk memasukkan file "GRD File" file ini merupakan hasil dari tahap 3. Selanjutnya klik "Open".

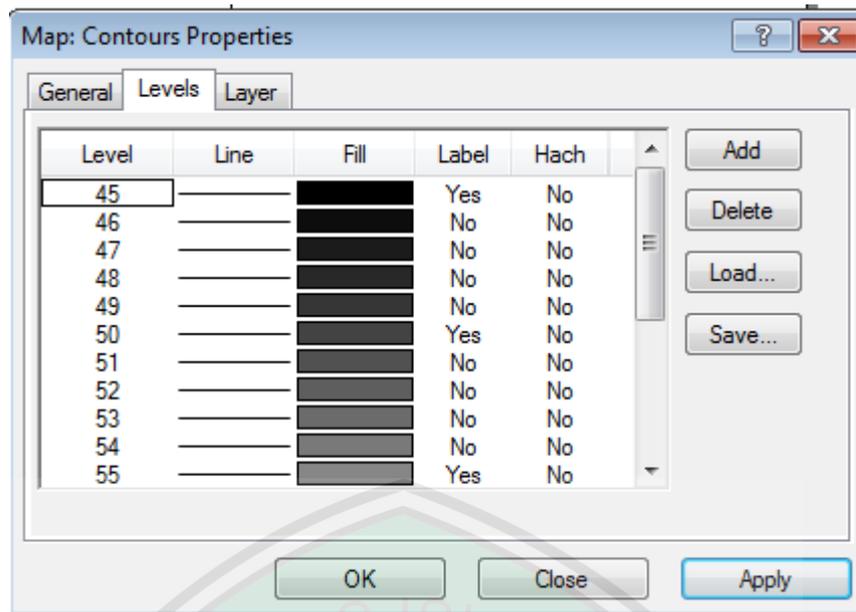
Maka akan tampil sebuah kontur dari data tersebut.

5. Selanjutnya untuk mewarnai kontur, klik kanan pada kontur pilih "Properties" maka akan tampil kotak dialog seperti di bawah ini:

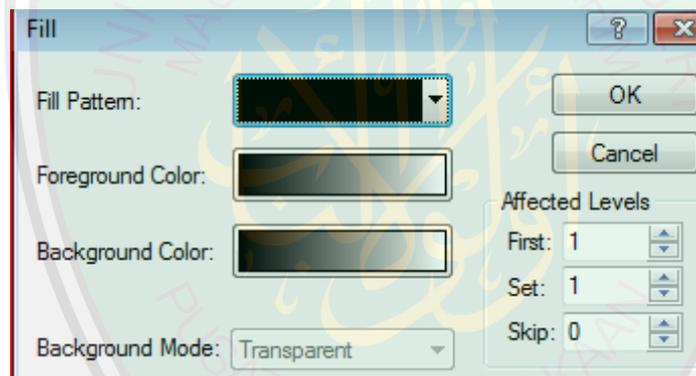


Pada menu General centang menu "Fill Contours" dan "Color Scale".

Kemudian pilih menu "Levels". Maka akan tampil kotak dialog seperti di bawah ini.



6. Selanjutnya klik menu "Fill" maka akan tampil kotak dialog seperti dibawah ini.



7. Selanjutnya klik pada kotak warna pada "Foreground Color" kemudian pilih warna yang diinginkan klik "OK" dan "Apply". Maka kontur sudah berwarna sesuai dengan yang kita inginkan.

Proses pengkonturan ini, berlaku untuk semua data yang ingin dikonturkan tinggal mengganti Kolom C pada langkah 1 dengan data yang ingin dikonturkan.. Kemudian tahap selanjutnya akan sama.

## Lampiran 6. Reduksi Bidang Datar menggunakan Matlab 2010

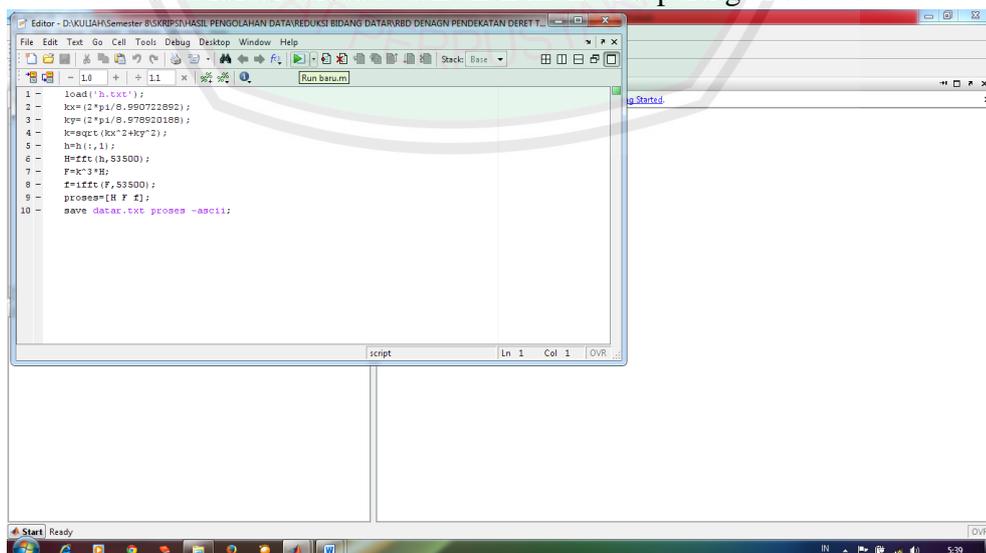
### A. Langkah-langkah Reduksi ke Bidang Datar

Pada penelitian ini proses membawa anomali gravitasi kebidang datar dilakukan dengan menggunakan metode pendekatan deret Taylor. Metode ini menggunakan derivatif dari suatu fungsi pada suatu titik untuk mengekstrapolasi fungsi disekitar titik itu. Adapun proses perhitungan tersebut dilakukan dengan menggunakan Matlab 10 sebagai berikut :

1. Dibuka software *Surfer10* kemudian *file* → *New* → *worksheet*
2. Kolom A di isi dengan Bujur (UTM), kolom B di isi dengan Lintang (UTM) dan kolom C di isi dengan nilai anomaly bouger lengkap, dengan gambar sebagai berikut :

	A	B	C
1	633325	9113653.5	-358.8
2	633325	9113656	-177.6967
3	633325	9113658.5	350.49864
4	633325	9113661	-16.68537
5	633325	9113663.5	-126.0095
6	633325	9113666	-148.4337
7	633325	9113668.5	-143.3617
8	633325	9113671	-140.4445
9	633325	9113673.5	-117.1051
10	633325	9113676	-126.4457
11	633325	9113678.5	-201.1316
12	633325	9113681	-201.9481
13	633325	9113683.5	-181.0427
14	633325	9113686	-150.7247
15	633325	9113688.5	-128.3474

3. File disimpan dalam format *.txt*
4. Gabungkan file yang disimpan dalam format *.txt* tersebut dengan *script* matlab yang sudah dibuat dalam satu *folder*.
5. Setelah itu buka *Software Matlab 7.6.0*, kemudian *open filefolder* yang dalam satu folder tersebut dan akan muncul seperti gambar dibawah:



```
1 - load('h.txt');
2 - kx=(2*pi)/8.990722862);
3 - ky=(2*pi)/8.978920189);
4 - k=sqrt(kx^2+ky^2);
5 - h=h(:,1);
6 - H=fft(h,53500);
7 - F=k^3*H;
8 - z=ifft(F,53500);
9 - proses=[z 1];
10 - save datar.txt proses -ascii;
```

Klik *Run*, tunggu sampai proses selesai.

## B. Script reduksi ke bidang datar

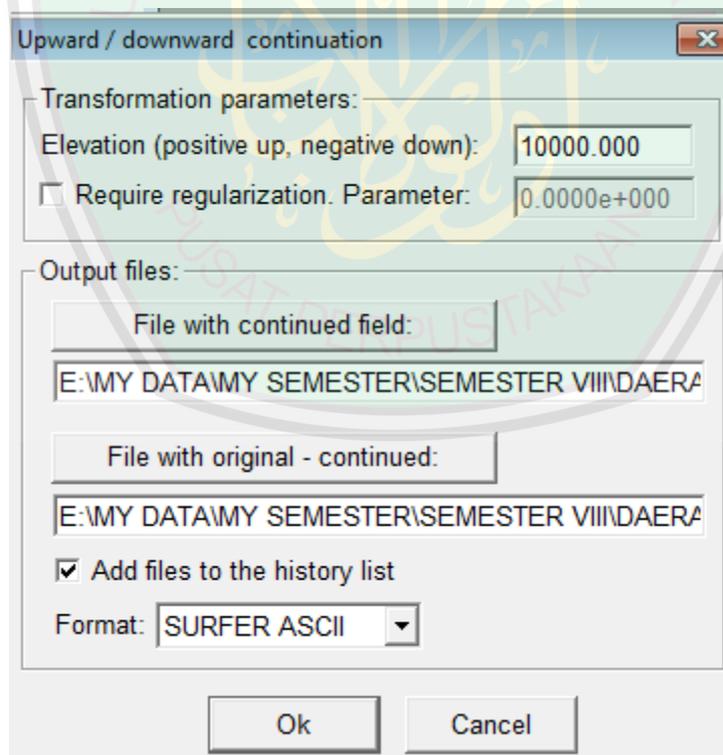
```
load('h.txt');  
kx=(2*pi/λ);  
ky=(2*pi/λ);  
k=sqrt(kx^2+ky^2);  
h=h(:,1);  
H=fft(h,banyaknya data);  
F=k^3*H;  
f=ifft(F,banyaknya data);  
proses=[H F f];  
save datar.txt proses-ascii;
```



## Lampiran 7. Kontinuasi ke Atas Menggunakan Magpick.

Metode kontinuasi ke atas digunakan untuk memisahkan anomali Bouguer lengkap menjadi anomali regional dan anomali lokal. Pada penelitian ini digunakan program Magpick untuk melakukan Kontinuasi ke Atas. Langkah – langkah menggunakan software ini sebagai berikut:

1. Buka program Magpick pilih menu “Open” maka akan keluar kotak dialog yang meminta file dengan extension “GRD File” yang didapatkan dengan menggunakan surfer 9. Dalam hal ini “GRD File” yang dimaksud adalah “GRD File” untuk anomali Bouguer lengkap. Klik open, maka akan tampil kontur dari file anomali Bouguer lengkap.
2. Selanjutnya, pilih menu “Operations” kemudian pilih “Upward Continuations” maka akan tampil kotak dialog seperti di bawah ini.



3. Kemudian pada kotak menu “elevation” masukkan ketinggian, nilai positif berarti untuk proses “Upward continuation” sedangkan nilai

negatif untuk proses “*Downward Continuation*”. Nilai ketinggian yang dimasukkan mulailah dari ketinggian rata-rata daerah penelitian.

4. Kemudian klik “file with continued field” menu ini merupakan kotak penyimpanan file untuk anomali regional tulislah nama file yang diinginkan misalnya “Regional”.
5. Kemudian klik “file with original-continued” menu ini merupakan kotak penyimpanan file untuk anomali lokal, tulislah nama file yang diinginkan misalnya “lokal”. Untuk kotak yang lain tidak usah dirubah.
6. Selanjutnya klik “OK”. Magpick akan menyimpan data “anomali lokal” dan “anomali regional” di folder yang sudah kita tentukan.
7. Untuk menampilkan hasil “anomali lokal” dan “anomali regional” dari Magpick. Kedua file yang tersimpan dibuka menggunakan Surfer 9. Langkahnya sama dengan langkah untuk pengkonturan data tetapi langsung menggunakan tahap 4.

## Lampiran 8. Pemodelan Menggunakan Grav2DC For Windows.

Pemodelan dilakukan dengan metode trial dan eror sehingga dalam pengerjaanya harus diiterasi sampai didapatkan ralat (error) terkecil. Perhitungan ralat model ini menurut (Sunaryo, 2001) menggunakan rumus:

$$R_M = R_M = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{XL_i - XM_i}{XL_i} \times 100\% \dots \dots (4.1)$$

dimana,

$R_M$  = Ralat rata-rata model terhadap data lapangan

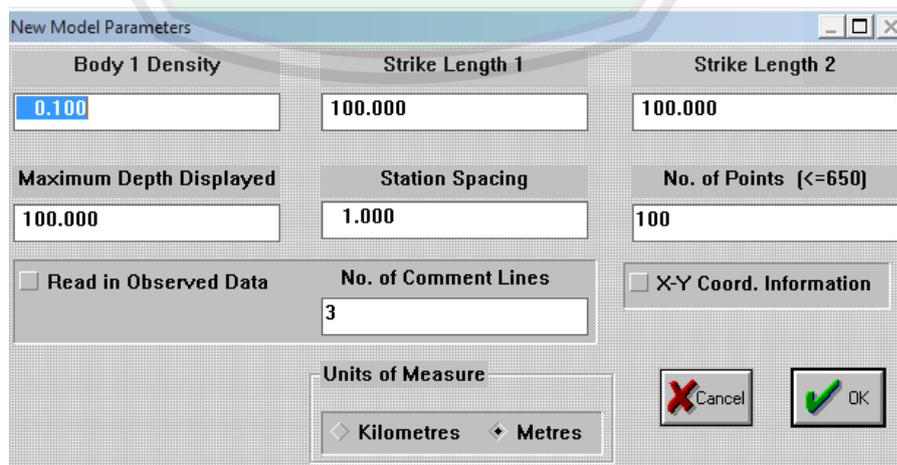
$XL_i$  = Data lapangan (terukur)

$XM_i$  = Data lapangan (terhitung)

$N$  = Jumlah data.

Masukan untuk program Grav2DC adalah nilai panjang lintasan dan nilai anomali Bouguer pada lintasan dengan file extension “dta”. Langkah - langkah menggunakan Grav2DC for windows sebagai berikut:

1. Buka program Grav2DC for windows kemudian pilih menu “System Option” kemudian pilih “Begin a new model” maka akan tampil kotak dialog seperti di bawah ini.



Body 1 Density	Strike Length 1	Strike Length 2
0.100	100.000	100.000
Maximum Depth Displayed	Station Spacing	No. of Points (<=650)
100.000	1.000	100
<input type="checkbox"/> Read in Observed Data	No. of Comment Lines	<input type="checkbox"/> X-Y Coord. Information
	3	
Units of Measure		
◊ Kilometres ◊ Metres		
		<input type="button" value="Cancel"/> <input type="button" value="OK"/>

Pada kotak "Body 1 Density" masukkan nilai densitas yang diketahui melalui tabel massa batuan, ini akan menjadi lapisan pertama dalam pemodelan.

2. Selanjutnya pada kotak "maximum depth displayed" masukkan nilai kedalaman pemodelan yang diinginkan. Pada kotak "station spacing" masukkan data spasi pengukuran. Pada kotak "Strike length 1 dan Strike length 2" masukkan nilai panjang pemodelan ke arah lateral (ke arah kanan dan kiri model penampang) yang diinginkan. Pada penelitian ini digunakan 100 m.
3. Selanjutnya pada kotak "no. of points" masukkan nilai sejumlah data yang akan dibaca oleh software. Kemudian, centang menu "Read in Observed data" untuk dapat memasukkan nilai data amatan. Pada kotak "Unit of measure" pilih satuan yang diinginkan "meter" atau "kilometer". Terakhir klik "OK" kemudian buatlah pola lapisan dengan menggunakan tombol kiri Mouse kalau sudah terbentuk pola lapisan yang diinginkan "klik kanan" pada Mouse.
4. Selanjutnya, untuk menambahkan Body atau lapisan pilih menu "Edit Model" kemudian "add a Body". Maka akan tampil kotak dialog seperti di bawah ini.

The image shows a dialog box titled "Body Parameters". It contains the following fields and controls:

- Density:** A text input field containing the value "0.100".
- Strike length 1:** A text input field containing the value "100.000".
- Strike length 2:** A text input field containing the value "100.000".
- Name:** An empty text input field.
- Body 2:** A button located to the right of the Density field.
- Cancel:** A button with a red 'X' icon.
- OK:** A button with a green checkmark icon.

Pada kotak “Density” masukkan nilai densitas yang diinginkan. Kemudian klik “OK”. Selanjutnya buat pola lapisan seperti yang diinginkan dengan cara yang sama pada langkah 3. Buatlah lapisan sesuai dengan kontrol data yang diketahui, misal penelitian sebelumnya, informasi geologi, dll.

5. Apabila sudah mendapatkan jumlah lapisan yang diinginkan maka langkah terakhir, rubahlah bentuk dan densitas pada setiap Body/lapisan (dengan catatan harus berdasarkan informasi geologi dan teori yang ada) sampai didapatkan nilai error terkecil atau sampai kurva amatan dan hitungan Match.



**Lampiran 9 : Data irisan penampang AB, CD, EF dan GH pada anomali lokal**

1. Data irisan penampang AB pada anomali lokal

No	x	y
1	0	-0.753970796
2	10.73898012	-0.731813218
3	12.74976921	-0.7274323
4	43.28491047	-0.657220561
5	75.83084082	-0.577901809
6	95.82808732	-0.528037648
7	108.3767712	-0.49550689
8	140.9227015	-0.411402686
9	173.4686319	-0.327554408
10	178.9064054	-0.313838655
11	206.0145622	-0.243780596
12	238.5604926	-0.16149743
13	261.9847235	-0.103924982
14	271.1064229	-0.08104648
15	303.6523533	-0.002388717
16	336.1982836	0.073716984
17	345.0630417	0.093516551
18	368.744214	0.147341759
19	401.2901444	0.217855519
20	428.1413598	0.272888569
21	433.8360747	0.284675771
22	466.3820051	0.347274289
23	498.9279354	0.405217309
24	511.2196779	0.425434923
25	531.4738658	0.45822474
26	564.0197961	0.50666943
27	594.297996	0.548264775
28	596.5657265	0.551268702
29	629.1116568	0.591575259
30	661.6575872	0.628856442
31	677.3763141	0.645513214
32	694.2035175	0.662735759
33	726.7494479	0.694021309
34	759.2953782	0.72528402
35	760.4546322	0.72660587

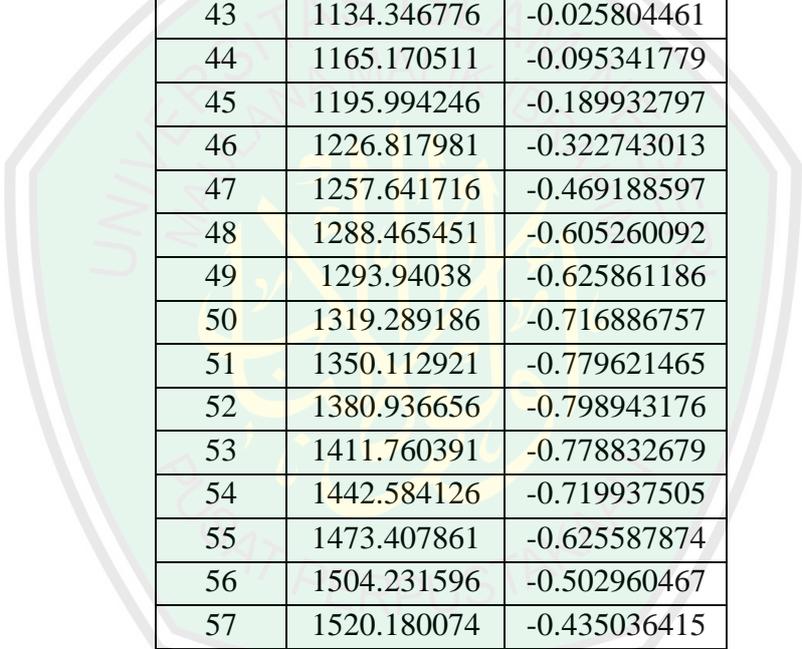
36	791.8413086	0.759451973
37	824.3872389	0.794177652
38	843.5329503	0.809665943
39	856.9331693	0.817618122
40	889.4790996	0.822015791
41	922.02503	0.802200179
42	926.6112684	0.796324795
43	954.5709603	0.757365702
44	987.1168907	0.687079831
45	1009.689587	0.624165438
46	1019.662821	0.595679385
47	1052.208751	0.48995041
48	1084.754682	0.377603878
49	1092.767905	0.351761188
50	1117.300612	0.269412377
51	1149.846542	0.18179269
52	1175.846223	0.148644509
53	1182.392473	0.139474199
54	1214.938403	0.166210603
55	1247.484334	0.2909589
56	1258.924541	0.36151979
57	1280.030264	0.500307156
58	1312.576194	0.779565984
59	1342.002859	1.096056822
60	1345.122125	1.124400968
61	1377.668055	1.266713814
62	1410.213985	1.058026142
63	1425.081177	0.950013433
64	1442.759916	0.801834156
65	1475.305846	0.553528953
66	1507.851776	0.325412546
67	1508.159495	0.323430039
68	1540.397707	0.104097411
69	1572.943637	-0.097312302
70	1591.237813	-0.188027503
71	1605.489567	-0.264796536
72	1638.035498	-0.334346106
73	1670.581428	-0.275269919
74	1674.316131	-0.26470371
75	1703.127358	-0.157619016
76	1735.673289	-0.036530238

77	1757.39445	0.031699495
78	1768.219219	0.068460439
79	1800.76515	0.145911852
80	1833.31108	0.200544534
81	1840.472768	0.210210119
82	1865.85701	0.242501829
83	1898.402941	0.274682399
84	1923.551086	0.291279469
85	1930.948871	0.297021191
86	1963.494801	0.318941586
87	1996.040732	0.370949291
88	2006.629404	0.400767139
89	2028.586662	0.464678007
90	2061.132592	0.552615549
91	2089.707722	0.621460991
92	2093.678523	0.630581781
93	2126.224453	0.700346853
94	2158.770383	0.761681135
95	2172.78604	0.785722906
96	2191.316314	0.815119653
97	2223.862244	0.861281771
98	2255.864358	0.900544715
99	2256.408174	0.901140151
100	2288.954105	0.933386222
101	2321.500035	0.959914165
102	2338.942676	0.971685059
103	2354.045966	0.980154544
104	2386.591896	0.994310401
105	2419.137826	1.004470149
106	2422.020994	1.00514778
107	2451.683757	1.00903008
108	2484.229687	1.011483778
109	2505.099313	1.013281256
110	2516.775617	1.011652267
111	2549.321548	1.003110826
112	2581.867478	0.972698948
113	2588.177631	0.955960743
114	2614.413408	0.88644512
115	2646.959339	0.78597225
116	2671.255949	0.715473133
117	2679.505269	0.692492164

118	2712.051199	0.61163655
119	2744.59713	0.552382662
120	2754.334267	0.539271853
121	2777.14306	0.510669671
122	2809.68899	0.478696793
123	2837.412585	0.456162456
124	2842.234921	0.452799427
125	2874.780851	0.431737449
126	2902.992651	0.415512997

2. Data penampang CD pada anomali lokal

No	x	y
1	0	-0.172912865
2	24.69231763	-0.160345133
3	55.51605259	-0.144252817
4	86.33978755	-0.127513922
5	117.1635225	-0.109613613
6	147.9872575	-0.089401904
7	162.7419107	-0.077075951
8	178.8109924	-0.064041551
9	209.6347274	-0.028491126
10	240.4584624	0.017385241
11	271.2821973	0.06669455
12	302.1059323	0.11504427
13	332.9296672	0.159628257
14	363.7534022	0.198198464
15	388.9816046	0.223402078
16	394.5771372	0.228953854
17	425.4008721	0.251044509
18	456.2246071	0.26285844
19	487.048342	0.263880877
20	517.872077	0.254272772
21	548.695812	0.234864024
22	579.5195469	0.207314142
23	610.3432819	0.174119421
24	615.2212985	0.168479183
25	641.1670168	0.140827679
26	671.9907518	0.112178196
27	702.8144868	0.099109567
28	733.6382217	0.171217108



29	764.4619567	0.377431485
30	795.2856916	0.620723252
31	826.1094266	0.889230408
32	841.4609925	1.01353848
33	856.9331616	1.136498681
34	887.7568965	1.131952361
35	918.5806315	0.936671796
36	949.4043664	0.739208591
37	980.2281014	0.564372899
38	1011.051836	0.412396772
39	1041.875571	0.279644127
40	1067.700686	0.181645635
41	1072.699306	0.161965866
42	1103.523041	0.05787914
43	1134.346776	-0.025804461
44	1165.170511	-0.095341779
45	1195.994246	-0.189932797
46	1226.817981	-0.322743013
47	1257.641716	-0.469188597
48	1288.465451	-0.605260092
49	1293.94038	-0.625861186
50	1319.289186	-0.716886757
51	1350.112921	-0.779621465
52	1380.936656	-0.798943176
53	1411.760391	-0.778832679
54	1442.584126	-0.719937505
55	1473.407861	-0.625587874
56	1504.231596	-0.502960467
57	1520.180074	-0.435036415
58	1535.055331	-0.380212933
59	1565.879066	-0.324323627
60	1596.702801	-0.326159094
61	1627.526536	-0.33089221
62	1658.350271	-0.331720111
63	1689.174006	-0.331638682
64	1719.99774	-0.33341586
65	1746.419768	-0.338070898
66	1750.821475	-0.338841938
67	1781.64521	-0.348626336
68	1812.468945	-0.362829265
69	1843.29268	-0.38106583

70	1874.116415	-0.402318236
71	1904.94015	-0.425028444
72	1935.763885	-0.447433538
73	1966.58762	-0.468189532
74	1972.659462	-0.471837457
75	1997.411355	-0.486991206
76	1999.386597	-0.488057261

3. Data penampang EF pada anomali lokal

No	x	y
1	0	-0.626049406
2	31.66374393	-0.569860653
3	32.4206018	-0.568159026
4	67.81263454	-0.483319392
5	88.28485473	-0.419735522
6	103.9615251	-0.367100155
7	140.1104158	-0.220442918
8	144.1491077	-0.202133422
9	176.2593064	-0.046396034
10	200.0133606	0.079918012
11	212.408197	0.148951666
12	248.5570876	0.355056747
13	255.8776135	0.396193101
14	284.7059782	0.558566763
15	311.7418664	0.69733258
16	320.8548688	0.743517775
17	357.0037594	0.888513772
18	367.6061194	0.916810394
19	393.15265	0.976161096
20	423.4703723	1.004550778
21	429.3015406	1.008042437
22	465.4504313	0.999523532
23	479.3346252	0.987122304
24	501.5993219	0.967792067
25	535.1988781	0.928289014
26	537.7482125	0.925529901
27	573.8971031	0.878316266
28	591.0631311	0.854806772
29	610.0459937	0.830473447
30	646.1948843	0.780247386



31	646.927384	0.779053152
32	682.3437749	0.719469043
33	702.7916369	0.67543965
34	718.4926655	0.638001114
35	754.6415561	0.531925788
36	758.6558899	0.518865121
37	790.7904468	0.406604233
38	814.5201428	0.316187958
39	826.9393374	0.269719066
40	863.088228	0.12801534
41	870.3843957	0.097813452
42	899.2371186	0.00740119
43	926.2486486	-0.041987074
44	935.3860092	-0.047591463
45	971.5348998	0.031354507
46	982.1129016	0.081157378
47	1007.68379	0.162809823
48	1037.977154	0.261376934
49	1043.832681	0.271675163
50	1079.981572	0.308296938
51	1093.841407	0.299882321
52	1116.130462	0.258670842
53	1149.70566	0.187896978
54	1152.279353	0.186901666
55	1188.428243	0.190393581
56	1205.569913	0.165494075
57	1224.577134	0.158453999
58	1260.726025	0.127286189
59	1261.434166	0.127101131
60	1296.874915	0.136866091
61	1317.298419	0.138385427
62	1333.023806	0.142725183
63	1369.172697	0.147475583
64	1373.162672	0.147673758
65	1405.321587	0.153311726
66	1429.026925	0.156542029
67	1441.470478	0.158958239
68	1477.619368	0.16557928
69	1484.891178	0.167122015
70	1513.768259	0.173145764
71	1540.755431	0.180045468

72	1549.91715	0.181948634
73	1586.06604	0.192194233
74	1596.619684	0.196317947
75	1622.214931	0.203753294
76	1652.483937	0.215561625
77	1658.363821	0.217134335
78	1694.512712	0.230782408
79	1708.34819	0.23724673
80	1730.661603	0.244649196
81	1764.212443	0.257698673
82	1766.810493	0.258357553
83	1802.959384	0.270187295
84	1820.076695	0.276530581
85	1839.108274	0.281007471
86	1875.257165	0.291119866
87	1875.940948	0.291368424
88	1911.406056	0.300322389
89	1931.805201	0.307203348
90	1947.554946	0.311459884
91	1983.703837	0.326815233
92	1987.669454	0.329036923
93	2019.852728	0.349678041
94	2043.533707	0.369459186
95	2056.001618	0.382269627
96	2092.150509	0.424534717
97	2099.39796	0.433215635
98	2128.299399	0.475447371
99	2155.262213	0.514504858
100	2164.44829	0.530161291
101	2200.597181	0.587184747
102	2211.126466	0.601899765
103	2236.746071	0.643151761
104	2266.990719	0.683878176
105	2272.894962	0.692883321
106	2309.043852	0.730125022
107	2322.854972	0.736331416
108	2345.192743	0.743663529
109	2378.719225	0.73629921
110	2381.341634	0.735167339
111	2417.490524	0.707238909
112	2434.583478	0.687716359

113	2453.639415	0.661730587
114	2489.788305	0.599417962
115	2490.447731	0.598163758
116	2525.937196	0.520558476
117	2546.311984	0.473575053
118	2562.086087	0.432842515
119	2598.234977	0.34072889
120	2602.176236	0.331203941
121	2634.383868	0.246874532
122	2658.040489	0.190151785
123	2670.532759	0.158337085
124	2706.681649	0.079236618
125	2713.904742	0.066240151
126	2742.83054	0.014794614
127	2769.768995	-0.020659463
128	2778.97943	-0.031280804
129	2793.459214	-0.044309912



**Lampiran 10. Gambar pengambilan data Gravitasi di lapangan**



Tim pengambilan data gravitasi di sekitar bibir pantai desa lombang



Proses pengambilan data gravitasi di sekitar sumur air panas



**KEMENTERIAN AGAMA RI**  
**UNIVERSITAS ISLAM NEGERI**  
**MAULANA MALIK IBRAHIM MALANG**  
**FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI**  
Jl. Gajayana No.50 Malang 65144. Telp (0341) 551354

### BUKTI KONSULTASI SKRIPSI

Nama : Taufiquddin  
NIM : 10640007  
Fakultas/Jurusan : Sains dan Teknologi/Fisika  
Judul Skripsi : Identifikasi struktur bawah permukaan daerah potensi panas bumi dengan metode gravity (Studi kasus di daerah sumber air panas Desa Lombang Kecamatan Batang-batang Kabupaten Sumenep)

Pembimbing : I. Irjan, M.Si  
II. Drs. Abdul Basid, M.Si

No.	Tanggal	Materi	TandaTangan Pembimbing
1	29 April '14	Konsultasi Bab 1-3	
2	30 April '14	Konsultasi kajian Al-Qur'an Bab 1-2	
3	18 Juni '14	Konsultasi Bab 1-3	
4	26 Juni '14	Konsultasi Bab 4	
5	15 Juli '14	Revisi Bab 4	
6	17 Juli '14	Konsultasi Bab 4	
7	7 Agustus '14	Revisi Bab 4	
8	20 Agustus '14	Konsultasi bab 4,5+Abstrak	
9	1 September '14	Konsultasi Bab 4	
10	15 September '14	Konsultasi Bab 1-5 + Abstrak	
11	1 Oktober '14	Konsultasi kajian Al-Qur'an Bab 1-4	
12	1 November '14	ACC Keseluruhan	

Malang, 25 November 2014  
Mengetahui,  
Ketua Jurusan Fisika

Erna Hastuti, M.Si  
NIP. 19811119 200801 2 009