

**PEMODELAN KONFIGURASI BATUAN DASAR
DAN STRUKTUR GEOLOGI BAWAH PERMUKAAN
MENGUNAKAN DATA ANOMALI GRAVITASI
DI DAERAH PACITAN – ARJOSARI – TEGALOMBO
DAN SEKITARNYA**

SKRIPSI

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

Oleh :

YESIKA WAHYU INDRIANTI

0910933024-93



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

MALANG

2014

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

**PEMODELAN KONFIGURASI BATUAN DASAR
DAN STRUKTUR GEOLOGI BAWAH PERMUKAAN
MENGUNAKAN DATA ANOMALI GRAVITASI
DI DAERAH PACITAN-ARJOSARI-TEGALOMBO DAN
SEKITARNYA**

Oleh :

YESIKA WAHYU INDRIANTI

0910933024

Setelah dipertahankan di depan Majelis Penguji
pada tanggal

Dan dinyatakan memenuhi syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana Sains dalam bidang Fisika

Pembimbing I

Pembimbing II

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

Hikmadhan G., ST.

Mengetahui,
Ketua Jurusan Fisika
Fakultas MIPA Universitas Brawijaya

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

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



LEMBAR PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Yesika Wahyu Indrianti

NIM : 0910933024

Bidang Minat : Geofisika

Jurusan : Fisika

Penulis skripsi berjudul :

**PEMODELAN KONFIGURASI BATUAN DASAR
DAN STRUKTUR GEOLOGI BAWAH PERMUKAAN
MENGUNAKAN DATA ANOMALI GRAVITASI
DI DAERAH PACITAN – ARJOSARI – TEGALOMBO
DAN SEKITARNYA**

Dengan ini menyatakan bahwa :

1. Skripsi ini adalah benar-benar karya saya sendiri dan bukan hasil plagiat dari karya orang lain. Karya-karya yang tercantum dalam daftar pustaka skripsi ini semata-mata digunakan sebagai acuan/referensi.
2. Apabila dikemudian hari diketahui bahwa isi skripsi saya merupakan hasil plagiat, maka saya bersedia menanggung akibat hukum dari keadaan tersebut.

Demikian pernyataan ini dibuat dengan segala kesadaran .

Malang

Yang menyatakan

(Yesika Wahyu Indrianti)

NIM. 0910933024

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



PEMODELAN KONFIGURASI BATUAN DASAR DAN STRUKTUR GEOLOGI BAWAH PERMUKAAN MENGUNAKAN DATA ANOMALI GRAVITASI DI DAERAH PACITAN – ARJOSARI – TEGALOMBO DAN SEKITARNYA

ABSTRAK

Penelitian geofisika telah dilakukan dengan metode gravitasi yang meliputi wilayah Kabupaten Pacitan, kecamatan Arjosari dan Tegalombo. Data anomali gravitasi yang digunakan adalah data sekunder hasil digitasi peta Anomali Bouguer lembar Pacitan, Jawa yang disusun oleh Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Bandung. Dalam penelitian ini akan ditunjukkan secara lebih jelas mengenai kondisi geologi bawah permukaan dan konfigurasi batuan dasarnya.

Data anomali hasil digitasi digabungkan dengan data topografi. Data topografi diperoleh dari <http://topex.ucsd.edu> yang telah tergrid setiap 1 menit. Ukuran dan spasi *grid* data anomali Bouguer dan topografi dibuat sama dengan ukuran *grid* 64 x 100 serta spasi *grid* 555 meter untuk dibawa ke dalam proses reduksi bidang datar dengan menggunakan metode sumber ekuivalen titik massa. Pemisahan anomali regional dan residual dilakukan dengan menggunakan metode *moving average* dengan lebar window yang digunakan 21x21. Pemodelan bawah permukaan diperoleh dari membuat lintasan sebanyak 13 lintasan. Hasil pemodelan menunjukkan terdapat 2 orientasi sesar yang mengarah dari timur laut-barat daya dan barat laut-tenggara. Gambaran mengenai sesar Grindulu yaitu sesar yang tampak di permukaan dan melewati daerah penelitian (Pacitan, Arjosari dan Tegalombo) sampai di permukaan batuan dasar dengan arah orientasi barat daya-timur laut. Densitas lapisan batuan dasar sebesar $2,81 \text{ gr/cm}^3$ yang diperoleh dari nilai kontras batuan pada pemodelan. Pada penelitian ini permukaan batuan dasar mencapai kedalaman 2 km hingga 3,7 km.

Kata kunci : anomali gravitasi, pemodelan, *basement*, Pacitan

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



THE MODELLING OF BASEMENT CONFIGURATION AND SUBSURFACE GEOLOGY STRUCTUR BY BOUGUER ANOMALY IN AROUND PACITAN – ARJOSARI AND TEGALOMBO

ABSTRACT

Geophysical studies have been conducted by using gravity method which covers Pacitan area, Arjosari and Tegalombo sub district. Gravity anomaly data that were used was the secondary data as a result of Bouguer anomaly of Pacitan Java map digitizing which was composed by Geological Research and Development Centre, Bandung. This research will show more clearer condition of geological subsurface and basement configuration.

The anomaly data as a result digitazion will be combined with topography data. Topography data were obtained from <http://topex.ucsd.edu> which has been put to grid in every minute. The size and grid space of the Bouguer anomaly data topography is equally made with the grid size of 64 x 100 along with the grid space of 555 meter to be brought into the flat field reduction process using a point source of equivalent mass. Separation of regional and residual anomalies were calculated using moving average method with window width of 21x21. Modelling of subsurface obtained from creating the track as much as 13 trajectories. Modelling results indicate that there are two fault orientations that leads from northeast to southwest and northwest to southeast. Description regarding Grindulu fault, is a fault which passes through the study area (Pacitan, Arjosari and Tegalombo) reached basement with the direction of northeast to southwest. Density for the basement with the value of 2.81 gr/cm^3 that obtained from the rock contrast values on modelling. In this study the basement reaches a depth of 2 km to 3.7 km .

Keywords : *gravity anomalies , modeling , basement , Pacitan*

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



KATA PENGANTAR

Alhamdulillahirabbil' alamin

Puji syukur kehadiran Allah SWT, dengan segala kekuasaannya menjadikan kita sebagai makhluk yang paling sempurna dibandingkan makhluk-Nya yang lain. Shalawat serta salam senantiasa tetap tercurah kepada baginda kita Nabi Muhammad SAW, kepada keluarganya, sahabat dan seluruh umatnya yang insya Allah kita termasuk salah satu di dalamnya.

Laporan yang berjudul “Pemodelan Konfigurasi Batuan Dasar dan Struktur Geologi Bawah Permukaan Berdasarkan Data Anomali Gravitasi di Daerah Pacitan-Arjosari-Tegalombo dan Sekitarnya” ini dapat diselesaikan berkat bimbingan semua pihak. Maka dari itu Penulis mengucapkan banyak terima kasih atas bimbingan yang selama ini telah ia dapatkan kepada orang-orang yang telah mendukungnya. Tidak lupa Penulis juga mengucapkan banyak terima kasih kepada:

1. Bapak Adi Susilo, Ph.D selaku Ketua Jurusan Fisika Fakultas MIPA Universitas Brawijaya sekaligus Dosen Pembimbing I atas segala saran dan telah meluangkan waktunya untuk memberikan materi serta arahan selama pelaksanaan Tugas Akhir ini.
2. Bapak Hikhmadhan Gultaf dari PT. ETTI (PT. Exploration Think Tank Indonesia) selaku Pembimbing II yang tak bosan dan henti-hentinya telah mengajarkan ilmu yang beliau punya untuk dipelajari, memberikan arahan beserta saran dan waktu luangnya sehingga Penulis dapat memperoleh ilmu baru serta pengalaman yang berharga selama mengerjakan Tugas Akhir.
3. Dosen-dosen Fisika Fakultas MIPA Universitas Brawijaya atas ilmu yang diberikan dan diajarkan kepada Penulis, meski ilmu yang diajarkan sering kali lupa. Tapi tanpa beliau-beliau semua, Penulis tidak akan memperoleh ilmu yang baru serta dapat menerapkannya hingga saat ini dalam kehidupan sehari-hari.
4. Staf dan karyawan Jurusan Fisika atas pelayanan akademis yang diberikan selama ini kepada Penulis.
5. Kedua orang tua dan adik Penulis yang telah memberikan kasih sayang dan dukungan penuh selama kuliah serta

selama mengerjakan penelitian dan menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini.

6. Seluruh keluarga Penulis yang telah mendukung selama kuliah berlangsung dan memberikan semangat serta bantuan do'anya hingga saat ini.
7. Terkhusus untuk Kevin Aulia Sandi Pratama atas kasih sayang yang tulus, selalu memberikan semangat, motivasi, bantuan dan dukungannya, "*Thanks for your love & everything*".
8. Mami Sasmita, Papi Muslih, Bang Ibnu, Kak Ratih, Iin (Idola), Nella Plis, Fera, Miar, Chum, Yunita, Mbah Ali, Robby, Ella, Silvi, Vio, Cemot, Mbak Dev, Pak Atok, Pakde Shofyan, Bang Kruger, Andre, Dyah, Tika, Zarnuji, Indri dan temen-temen Fisika 2009 yang tak bisa disebutin satu-persatu. Kalian keluarga yang kocak, selalu kompak kemanapun dan tak kan pernah terlupakan, "*I love you all*".
9. Teman-teman "labkomers" : Ciputi, Adwi, Mas Banana, dan Fikri atas kebersamaan dan telah memberikan tempat yang nyaman dalam mengerjakan Tugas Akhir ini. Serta Mas Aul atas segala saran dan ide yang diberikan selama penulisan Tugas Akhir ini.
10. Semua teman-teman Fisika Universitas Brawijaya yang pernah Penulis kenal, mulai angkatan 2005 hingga angkatan 2012 serta alumni-alumni Fisika Universitas Brawijaya.

Penulis menyadari bahwa dalam laporan ini tidak luput dari berbagai kesalahan dan kekurangan, untuk itu saran dan kritik yang bersifat konstruktif sangat diharapkan untuk perbaikan dalam penelitian-penelitian yang akan datang. Akhir kata penulis mengharapakan sebuah karya ini dapat bermanfaat bagi pembaca dan kita semua.

Malang, Januari 2014

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI	iii
LEMBAR PERNYATAAN	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	ix
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR TABEL	xxi
DAFTAR LAMPIRAN	xxiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Prinsip Gayaberat	5
2.1.1 Teori Gayaberat Newton	5
2.1.2 Konsep Dasar Metode Gayaberat.....	6
2.1.3 Rapatmassa.....	7
2.1.4 Pengukuran Gravitasi	8
2.1.5 Reduksi Data Gayaberat.....	8
2.1.6 Perhitungan Anomali Gravitasi	13

2.1.7 Anomali Bouguer	14
2.2 Reduksi Bidang Datar	15
2.3 Pemisahan Anomali Regional dan Residual	17
2.4 Pemodelan Bawah Permukaan	18
2.5 Pengertian Sesar	21
2.5.1 Sesar dan Jenisnya	22
2.6 Tinjauan Pustaka Daerah Penelitian	23
2.6.1 Litologi Daerah Penelitian	24
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	27
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian	27
3.2 Data dan Peralatan Penelitian	28
3.3 Alur Penelitian	29
3.4 Prosedur Penelitian	30
3.4.1 Data Gravitasi	30
3.4.2 Reduksi Bidang Datar	32
3.4.3 Pemisahan Anomali Regional dan Anomali Residual	33
3.4.4 Pemodelan Batuan Dasar Bawah Permukaan	35
3.5 Interpretasi	35
3.5.1 Interpretasi Kualitatif	35
3.5.2 Interpretasi Kuantitatif	36
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	37
4.1 Peta Kontur Anomali Hasil Digitasi	37
4.2 Hasil Reduksi Bidang datar	38
4.3 Pemisahan Anomal Regional dan Residual	39
4.3.1 Anomali Regional	39
4.3.2 Anomali Residual	40
4.4 Pemodelan Konfigurasi Batuan Dasar Bawah Permukaan	42

4.4.1 Model 2,5 Dimensi Struktur Dangkal	42
4.4.2 Model 3 Dimensi Permukaan Batuan Dasar	47
BAB V PENUTUP	51
5.1 Kesimpulan.....	51
5.2 Saran.....	51
DAFTAR PUSTAKA	53
LAMPIRAN	57



UNIVERSITAS BRAWIJAYA



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Massa m dan m_0 mengalami gaya gravitasi yang sama sebanding m , m_0 , dan r^{-2}	6
Gambar 2. 2 Koreksi Apung.....	9
Gambar 2. 3 Pengaruh gravitasi bulan di titik P.....	10
Gambar 2. 4 Koreksi <i>free-air</i>	11
Gambar 2. 5 Diagram Hammer	12
Gambar 2. 6 Perbedaan ketinggian antara titik amat A dan B	13
Gambar 2. 7 Geometri dari benda 2,5D sumbu z ke bawah, sumbu y arah <i>strike</i> dan kelurusan lintasan pada arah x	19
Gambar 2. 8 Efek gravitasi poligon menurut Talwani	20
Gambar 2. 9 <i>Hanging wall</i> dan <i>foot wall</i>	22
Gambar 2. 10 Peta daerah penelitian.....	23
Gambar 2. 11 Stratigrafi regional geologi lembar Pacitan	26
Gambar 3. 1 Lokasi penelitian berada di Kabupaten Pacitan, kecamatan Arjosari dan Tegalombo.	27
Gambar 3. 2 Diagram Alir Penelitian.....	30
Gambar 3. 3 Peta Anomali Bouguer Pacitan hasil digitasi	31
Gambar 3. 4 Peta Topografi daerah penelitian	32
Gambar 3. 5 Peta anomali Bouguer regional daerah penelitian	34
Gambar 3. 6 Peta anomali Bouguer residual daerah penelitian.....	34
Gambar 4. 1 Peta anomali Bouguer Pacitan yang telah didigitasi....	37
Gambar 4. 2 Hasil <i>overlay</i> anomali Bouguer hasil digitasi dengan peta geologi Pacitan	38
Gambar 4. 3 Peta anomali Bouguer hasil reduksi bidang datar.....	39
Gambar 4. 4 Peta anomali Bouguer regional daerah penelitian	40
Gambar 4. 5 Peta anomali Bouguer residual daerah penelitian.....	40
Gambar 4. 6 Interpretasi sesar Grindulu pada peta kontur anomali residual.....	41
Gambar 4. 7 Peta kontur anomali medan gravitasi residual dengan lintasan 1-8 pada garis lintang dan lintasan A-E pada garis bujur	43
Gambar 4. 8 Model 2,5D bawah permukaan pada lintasan 3.....	44

Gambar 4. 9 Model 2,5D bawah permukaan pada lintasan 4	44
Gambar 4. 10 Model 2,5D bawah permukaan pada lintasan 6	45
Gambar 4. 11 Model 2,5D bawah permukaan pada lintasan B	45
Gambar 4. 12 Model 2,5,5D bawah permukaan pada lintasan C	46
Gambar 4. 13 Model 2D bawah permukaan pada lintasan D	46
Gambar 4. 14 Kontur 2 Dimensi dari kedalaman batuan dasar	47
Gambar 4. 15 <i>Overlay</i> kedalaman batuan dasar dengan kontur anomali residual	48
Gambar 4. 16 Model 3D kedalaman batuan dasar daerah penelitian	49
Gambar 4. 17 Gundukan pada sesar Grindulu ; ditunjukkan pada lingkaran yang berwarna merah	50
Gambar L. 1 Prinsip kerja metode sumber ekuivalen titik massa ...	61
Gambar L. 2 Model 2,5D bawah permukaan lintasan 1	62
Gambar L. 3 Model 2,5D bawah permukaan lintasan 2	63
Gambar L. 4 Model 2,5D bawah permukaan lintasan 3	64
Gambar L. 5 Model 2,5D bawah permukaan lintasan 4	65
Gambar L. 6 Model 2,5D bawah permukaan lintasan 5	66
Gambar L. 7 Model 2,5D bawah permukaan lintasan 6	67
Gambar L. 8 Model 2,5D bawah permukaan lintasan 7	68
Gambar L. 9 Model 2,5D bawah permukaan lintasan 8	69
Gambar L. 10 Model 2,5D bawah permukaan lintasan A	70
Gambar L. 11 Model 2,5D bawah permukaan lintasan B	71
Gambar L. 12 Model 2,5D bawah permukaan lintasan C	72
Gambar L. 13 Model 2,5D bawah permukaan lintasan D	73
Gambar L. 14 Model 2,5D bawah permukaan lintasan E	74
Gambar L. 15 Grafik hubungan nilai bilangan gelombang dan amplitudo pada lintasan 1	76
Gambar L. 16 Grafik hubungan nilai bilangan gelombang dan amplitudo pada lintasan 2	76
Gambar L. 17 Grafik hubungan nilai bilangan gelombang dan amplitudo pada lintasan 3	77
Gambar L. 18 Grafik hubungan nilai bilangan gelombang dan amplitudo pada lintasan 4	77

Gambar L. 19 Grafik hubungan nilai bilangan gelombang dan amplitudo pada lintasan 5 78

Gambar L. 20 Grafik hubungan nilai bilangan gelombang dan amplitudo pada lintasan 6 78

Gambar L. 21 Grafik hubungan nilai bilangan gelombang dan amplitudo pada lintasan 7 79

Gambar L. 22 Grafik hubungan nilai bilangan gelombang dan amplitudo pada lintasan 8 79

Gambar L. 23 Grafik hubungan nilai bilangan gelombang dan amplitudo pada lintasan 9 80

Gambar L. 24 Grafik hubungan nilai bilangan gelombang dan amplitudo pada lintasan 10 80



UNIVERSITAS BRAWIJAYA



DAFTAR TABEL

Tabel L. 1 Tabel sampel data yang diperoleh dari proses digitasi ...	57
Tabel L. 2 Tabel densitas batuan sesuai dengan formasi batuan daerah penelitian	59
Tabel L. 3 Tabel Perhitungan lebar <i>window</i>	81

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



UNIVERSITAS BRAWIJAYA



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Data sampel digitasi Peta Anomali Bouguer lembar Pacitan	57
Lampiran 2 Nilai densitas batuan	59
Lampiran 3 Sumber ekuivalen titik massa	61
Lampiran 4 Model 2,5D bawah permukaan semua lintasan	62
Lampiran 5 Scrib Program Matlab untuk Reduksi Bidang Datar	75
Lampiran 6 Grafik hubungan antara amplitudo dan bilangan gelombang yang digunakan dalam mengestimasi kedalaman sumber anomali	76
Lampiran 7 Perhitungan lebar window pada metode <i>moving average</i>	81



UNIVERSITAS BRAWIJAYA



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kerangka tektonik pulau Jawa tidak dapat dipisahkan dari sejarah tektonik global, yaitu konsep pergerakan dan pecahnya kontinen Gondwana serta interaksinya antara Lempeng Eurasia dengan Hindia-Australia dan Lempeng Pasifik. Mengingat letaknya, diharapkan geologi pulau Jawa dapat memberikan gambaran dari proses tersebut juga gambaran interaksi dari 2 proses yang berlangsung di Indonesia bagian barat dan Indonesia bagian timur. Daerah Pacitan dan sekitarnya secara regional merupakan zona peralihan antara jalur subduksi Zaman Kapur dengan Zaman Tersier. Hasil dari citra satelit dan data pengukuran di lapangan, didapatkan bahwa daerah penelitian struktur geologinya sangat kompleks (Purwanto, 1997).

Daerah Pacitan dan sekitarnya atau daerah penelitian ini secara geografis terletak pada $08^{\circ} 00'$ - $08^{\circ} 20'$ Lintang Selatan dan $111^{\circ} 00'$ - $111^{\circ} 30'$ Bujur Timur, termasuk Kecamatan Arjosari, Tegalombo dan Kabupaten Pacitan sendiri. Daerah ini memiliki garis pantai yang berhadapan langsung dengan Samudra Hindia, yang secara geologis merupakan daerah tepian benua aktif yang dicirikan dengan aktivitas kegempaan yang intensif dan sebagian berpotensi menimbulkan tsunami (Yudhicara, 2011).

Salah satu sesar yang terletak di Pacitan adalah sesar Grindulu. Sesar Grindulu merupakan jalur patahan lempeng benua yang membentuk Pulau Jawa, yang membentang di lima kecamatan, yakni Kecamatan Bandar, Nawangan, Punung, Arjosari, serta Donorojo dengan panjang 28,374 km. Efek gempa dari sesar Grindulu dengan skala lebih besar bisa terjadi dengan efek getaran yang meluas akibat aktivitas pada salah satu patahan besar di Pulau Jawa ini. Efek dari gempa tersebut diakibatkan sebagai pergerakan retakan pada sisi lempeng bumi yang berada di selatan Pulau Jawa (Bagus, 2011).

Hasil-hasil penelitian gravitasi yang telah dilakukan dari pesisir Selatan sampai pantai Utara Pulau Jawa yaitu adanya nilai anomali Bouguer positif yang besar di sepanjang pantai Selatan Jawa yang menunjukkan struktur sembul yang menunjukkan suatu kenaikan terus-menerus dan anomali negatif di tengah-tengah Jawa

bagian timur yang dapat ditafsirkan sebagai penurunan sisa lempeng yang membentuk suatu cekungan geosinklin yang terisi sedimen (Untung dan Sato, 1978).

Metode gayaberat adalah metode geofisika yang banyak digunakan dalam kegiatan eksplorasi untuk mengidentifikasi struktur geologi bawah permukaan. Struktur bawah permukaan ini diturunkan dari anomali gayaberat Bouguer yang diamati di permukaan (Kadir, 1999). Pemetaan gayaberat daerah Pacitan telah dilakukan pada tahun 1991 oleh Marzuki dan R. Otong untuk membuat peta anomali Bouguer lembar Pacitan (Jawa), sehingga dalam penelitian ini penulis bermaksud menunjukkan secara lebih jelas mengenai kondisi bawah permukaan daerah penelitian dan konfigurasi batuan dasarnya serta menginterpretasikan model geologi bawah permukaannya agar dapat dijadikan sumber informasi lebih lanjut.

1.2 Rumusan Masalah

Masalah yang dapat diangkat dari penelitian ini antara lain :

1. Bagaimana menganalisis data anomali medan gravitasi untuk memodelkan kondisi bawah permukaan di wilayah Pacitan, Arjosari dan Tegalombo?
2. Bagaimana model struktur geologi konfigurasi batuan dasar bawah permukaan wilayah Pacitan, Arjosari dan Tegalombo?

1.3 Batasan Masalah

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pemodelan struktur bawah permukaan pada daerah Pacitan, maka batasan masalah dari penelitian ini adalah :

1. Wilayah yang diteliti berada di Kabupaten Pacitan Kecamatan Arjosari, dan Tegalombo, propinsi Jawa Timur yang terletak pada koordinat $08^{\circ} 00'$ - $08^{\circ} 20'$ Lintang Selatan dan $111^{\circ} 00'$ - $111^{\circ} 30'$ Bujur Timur.
2. Data anomali gravitasi yang digunakan pada penelitian ini adalah data sekunder berupa data anomali gravitasi hasil digitasi peta anomali Bouguer lembar Pacitan oleh Marzuki dan R. Otong (1991).
3. Data topografi diperoleh dari sumber <http://topex.ucsd.edu>.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini antara lain yaitu :

1. Menganalisis data anomali gravitasi wilayah Pacitan, Arjosari dan Tegalombo untuk mengetahui kondisi batuan dasar daerah penelitian.
2. Menentukan model struktur batuan bawah permukaan wilayah Pacitan, Arjosari dan Tegalombo.

1.5 Manfaat Penelitian

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

1. Dapat memberikan informasi mengenai konfigurasi batuan dasar bawah permukaan sesuai dengan penafsiran daerah penelitian.
2. Dapat menerapkan salah satu metode geofisika dalam memahami tentang memodelkan struktur bawah permukaan daerah Pacitan.
3. Hasil interpretasi terhadap pengolahan data anomali Bouguer diharapkan dapat memberikan informasi keadaan bawah permukaan serta potensi yang dimiliki guna dilakukan proses lebih lanjut dalam kegiatan eksplorasi dan eksploitasi.

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

Halaman ini sengaja dikosongkan



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Prinsip Gayaberat

2.1.1 Teori Gayaberat Newton

Teori dasar dalam penelitian gravitasi didasarkan pada hukum Newton tentang gravitasi yang dipublikasikan oleh Newton pada tahun 1687 yang menyatakan besarnya gaya gravitasi di antara dua massa sebanding dengan setiap massa dan berbanding terbalik dengan jarak di antara keduanya. Gaya yang sama di antara partikel dengan massa m yang berpusat pada titik $Q(x', y', z')$ dan partikel yang bermassa m_0 pada titik $P(x, y, z)$ yang ditunjukkan pada koordinat *cartesian*, diberikan oleh

$$F = G \frac{mm_0}{r^2} \quad (2.1)$$

dimana :

$$r = [(x - x')^2 + (y - y')^2 + (z - z')^2]^{\frac{1}{2}} \quad (2.2)$$

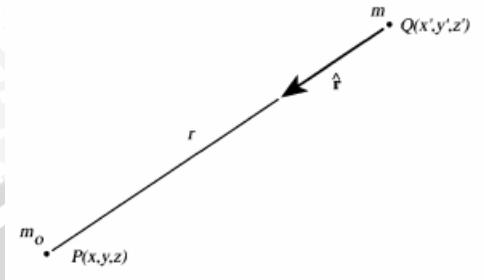
dengan F adalah gaya gravitasi Newton, G adalah konstanta gravitasi Newton ($6,672 \times 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2$), m dan m_0 adalah massa tiap partikel dan r^2 adalah jarak antar titik partikel.

Massa m_0 dapat diperkirakan menjadi partikel uji dengan besaran unit, kemudian membagi gaya gravitasi m_0 dengan memberikan daya tarik gravitasi yang dihasilkan oleh massa m pada daerah uji partikel tersebut, maka didapatkan

$$g(P) = -G \frac{m}{r^2} \hat{r} \quad (2.3)$$

dimana \hat{r} adalah vektor unit yang diarahkan dari massa m ke titik P , dalam hal ini pada koordinat *cartesian*.

$$r = \frac{1}{r} [(x - x')\hat{i} + (y - y')\hat{j} + (z - z')\hat{k}] \quad (2.4)$$



Gambar 2. 1 Massa m dan m_0 mengalami gaya gravitasi yang sama sebanding m , m_0 , dan r^{-2} (Blakely, 1996).

Vektor unit \hat{r} diarahkan dari sumber gravitasi ke titik pengamatan berdasarkan ketentuan dengan lokasi yang tepat pada uji massa m_0 . Tanda minus dalam persamaan di atas menunjukkan bahwa \hat{r} diarahkan dari sumber ke titik pengamatan, berlawanan dalam arti daya tarik gravitasi. g adalah gaya yang dibagi dengan massa, memiliki unit percepatan yang biasanya disebut sebagai percepatan gravitasi (Blakely, 1996).

2.1.2 Konsep Dasar Metode Gayaberat

Istilah *gravity* dalam bahasa Indonesia diartikan sebagai pengukuran percepatan gayaberat memiliki nilai dalam Sistem Internasional (SI) sebesar :

$$g = |g|ms^{-2}$$

Medan gayaberat yang diperoleh terdapat penyimpangan-penyimpangan, yang kemudian dapat diukur dengan satuan sebagai berikut :

$$1 \text{ mGal} = 10^{-5}ms^{-2}$$

$$1 \text{ Gal} = 10^{-8}ms^{-2} = 1 \text{ cm s}^{-2}$$

$$1 \mu ms^{-2} = 0,1 \text{ mGal}$$

Percepatan gayaberat bumi rata-rata menurut perhitungan adalah $9,8 \text{ ms}^{-2}$ atau 980.000 mGal. Percepatan gayaberat yang diamati pada permukaan bumi mengandung keterangan tentang lokasi dan distribusi massa di bagian dalam bumi (Untung, 2001).

Metode gayaberat merupakan metode penyelidikan dalam geofisika yang didasarkan pada variasi medan gayaberat di permukaan bumi. Metode yang dipelajari berupa variasi medan gayaberat yang diakibatkan oleh variasi rapatmassa batuan di bawah permukaan, sehingga dalam pelaksanaannya yang diselidiki adalah perbedaan gayaberat dari suatu titik pengamatan terhadap titik pengamatan lainnya (Kirbani 2001 dalam Septiyana, 2009).

Metode gayaberat diukur terhadap nilai komponen vertikal dari percepatan gayaberat di suatu tempat. Bumi memiliki bentuk yang tidak bulat sehingga terdapat variasi nilai percepatan gayaberat untuk masing-masing tempat. Hal-hal yang dapat mempengaruhi nilai percepatan gayaberat adalah perbedaan derajat garis lintang, perbedaan ketinggian (topografi), kedudukan bumi dalam tata surya, variasi rapatmassa batuan di bawah permukaan bumi, perbedaan elevasi tempat pengukuran dan hal lain yang dapat memberikan kontribusi terhadap nilai gayaberat, misalnya bangunan dan lain-lain (Septiyana, 2009).

2.1.3 Rapatmassa

Rapatmassa (ρ) merupakan perbandingan massa terhadap volume suatu benda. Suatu batuan dengan pori-pori yang terisi oleh fluida (air, minyak atau gas) dapat dinyatakan sebagai rapatmassa dengan n komponen. Fraksi dan rapatmassa fraksi masing-masing V_i dan ρ_i dapat dinyatakan dengan persamaan :

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

Fraksi dapat disederhanakan menjadi tiga bagian yaitu fraksi matriks padat, fraksi *liquid* dan fraksi gas, sehingga persamaan di atas menjadi :

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

dimana ρ_m , ρ_f , ρ_g masing-masing adalah rapatmassa material matriks, rapatmassa fluida dan rapatmassa gas. Persamaan di atas menjelaskan bahwa rapatmassa dipengaruhi oleh perubahan saturasi fluida atau perubahan massa komponen-komponennya. Rapatmassa komponen pembentukannya akan tetap, apabila porositas batuan tidak berubah. Anomali gayaberat

berhubungan langsung dengan adanya perubahan rapatmassa sebagai akibat adanya perubahan material yang mengisi volume pori sumber anomali (Kadir, 1999 dalam Septyyana, 2009).

2.1.4 Pengukuran Gravitasi

Pengukuran gravitasi dilakukan untuk mengetahui harga gravitasi suatu titik pengamatan, yang relatif terhadap suatu titik acuan tertentu. Apabila suatu survei gravitasi dilakukan, harga gravitasi titik-titik pengamatan di daerah survei dapat diperoleh dengan mengukur titik-titik pengamatan tersebut dengan menggunakan titik acuan sebagai pengukuran.

Harga gravitasi pengamatan yang didapatkan di titik-titik pengukuran, perlu dilakukan koreksi pembacaan, yang melibatkan beberapa faktor, antara lain koreksi pembacaan alat, koreksi tidal (pasang surut), dan koreksi *drift* (koreksi apungan). Koreksi-koreksi ini diperoleh dari harga gravitasi pembacaan terkoreksi, atau harga gravitasi pengamatan titik-titik tersebut (Hadipandoyo, 2004).

2.1.5 Reduksi Data Gayabarat

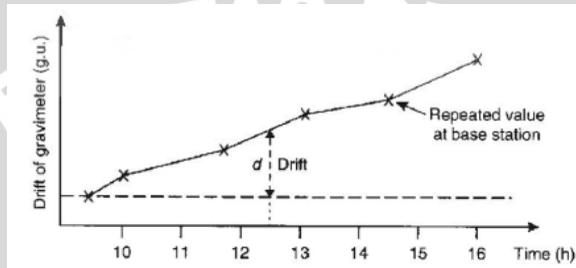
Penelitian ini tidak dilakukan proses dari koreksi gayabarat. Data yang diperoleh merupakan data sekunder yang telah dikoreksi terhadap pengaruh apungan alat dan pasang surut bumi. Data tersebut juga telah dikoreksi lintang berdasarkan sistem acuan Himpunan Geodesi, IAG 1967. Koreksi medan (*Terrain correction*) dilakukan berdasarkan cara Hammer (1938), yang perhitungannya dilakukan sampai zona K, sehingga data yang digunakan merupakan anomali Bouguer lengkap yang telah dilakukan semua koreksi-koreksi gaya berat. Berikut merupakan proses dari reduksi data dari gayabarat.

a) Konversi Pembacaan Alat

Pemrosesan data gayabarat dilakukan terhadap nilai pembacaan gravitimeter untuk mendapatkan nilai anomali Bouguer. Nilai anomali Bouguer yang diperoleh dari setiap titik amat dilakukan konversi pembacaan gravitimeter menjadi nilai gayabarat dalam satuan miligal untuk proses konversi dari gravitimeter tersebut. Setiap gravitimeter dilengkapi dengan tabel konversi (Hadipandoyo, 2004).

b) Koreksi Apung (*Drift Correction*)

Koreksi Apung dilakukan untuk menghilangkan efek terjadinya perbedaan anomali gayaberat yang terbaca di titik yang sama pada waktu yang berbeda, ditunjukkan pada Gambar 2.2. Perbedaan nilai anomali gayaberat ini disebabkan adanya perubahan harga pegas dari gravitimeter yang mungkin terjadi selama proses pengukuran.



Gambar 2. 2 Koreksi Apung (Reynolds, 1997)

Praktik di lapangan, perlu dilakukan koreksi dengan cara membuat desain lintasan tertutup (*looping*) sehingga besarnya penyimpangan dapat diketahui. Perubahan hasil pengukuran dalam suatu lintasan tertutup dianggap linier terhadap waktu dan dirumuskan :

$$D_n = \frac{g_{akhir} - g_0}{t_{akhir} - t_0} (t_n - t_0) \quad (2.7)$$

dimana:

D_n : Koreksi drift pada titik n

g_{akhir} : pembacaan gravitimeter pada akhir *looping*

g_0 : pembacaan gravitimeter pada awal *looping*

t_{akhir} : waktu pembacaan pada akhir *looping*

t_0 : waktu pembacaan pada awal *looping*

t_n : waktu pembacaan pada stasiun n (Blakely,1996).

c) Koreksi Pasang Surut (*Tide correction*)

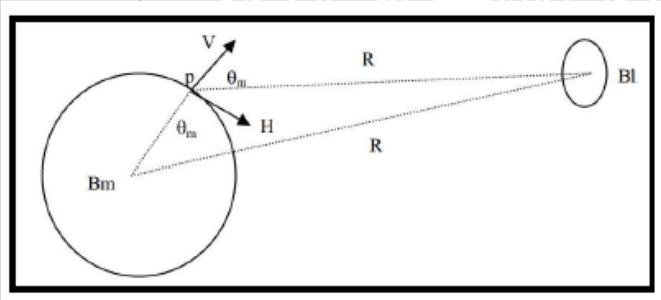
Pasang-surut air laut terjadi karena tarikan gravitasi benda di luar bumi seperti bulan dan matahari. Gravitasi bulan menarik air di samudera ke arah bulan, gravitasi tersebut menyebabkan terbentuknya tonjolan air pada sisi bumi yang paling dekat ke bulan dan pada sisi bumi yang berlawanan. Tonjolan air tersebut mengikuti bulan yang berputar mengelilingi bumi dan

menyebabkan terjadinya pasang. Akibatnya terjadi perbedaan gayaberat terukur ketika terjadi pasang dan terjadi surut. Koreksi ini dilakukan untuk menarik gayaberat g ke muka laut rata-rata atau *mean sea level* yang disebabkan oleh pasang-surut air laut tersebut (Hadipandoyo, 2004).

Menurut Longman (1959) pengaruh gravitasi bulan di titik P pada permukaan bumi yang terlihat pada gambar 2.3 dapat diselesaikan melalui persamaan :

$$U_m = G(r) \left(\frac{c}{R}\right)^3 \left[3 \left(\frac{1}{3} - \sin^2 \delta\right) \left(\frac{1}{3} - \sin^2 \phi\right) - \sin 2\phi \sin 2\delta \cos t + \cos 2\phi \cos 2\delta \cos 2t \right] \quad (2.8)$$

dengan, ϕ : sudut lintang
 δ : sudut deklinasi
 t : *moon hour angle*
 c : jarak rata-rata ke bulan



Gambar 2. 3 Pengaruh gravitasi bulan di titik P (Kadir, 2000)

d) Koreksi Udara Bebas (*Free Air Correction*)

Secara teoritik, untuk mengoreksi pengaruh gayaberat dari permukaan ke geoid dibutuhkan vertikal gayaberat, $\partial g / \partial H$. Jika g adalah nilai gayaberat pada permukaan bumi, maka nilai g_0 pada geoid didapatkan dengan ekspansi Taylor (Hofmann dan Moritz, 2006)

$$g_0 = g - \frac{\partial g}{\partial H} H \quad (2.9)$$

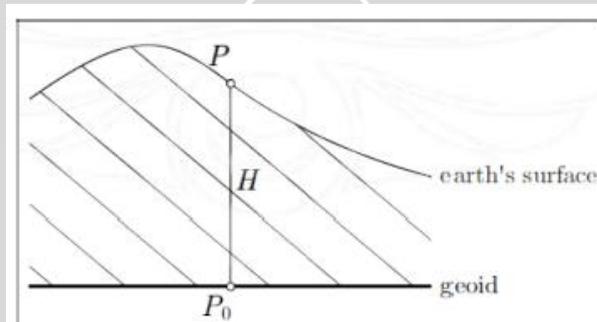
dengan H adalah tinggi antara P, titik gayaberat di permukaan dan P₀, titik gayaberat pada geoid. Asumsinya tidak ada massa di atas geoid dan mengabaikan semua komponen kecuali komponen linier ekspansi Taylor, sehingga didapatkan

$$g_0 = g + F \quad (2.10)$$

dengan

$$F = -\frac{\partial g}{\partial H} H \quad (2.11)$$

dimana F adalah koreksi *free-air* ke geoid. Koreksi ini berasumsi tidak ada massa di atas geoid, artinya massa tersebut tidak diperhitungkan secara matematis seolah pengukuran dilakukan di udara bebas.



Gambar 2. 4 Koreksi *free-air* (Wellenhof and Moritz, 2005)

Penggunaan praktis biasanya lebih sering digunakan gradien normal gayaberat (yang lebih berasosiasi dengan tinggi elipsoid h) $\partial\gamma/\partial h$, daripada $\partial g/\partial H$, sehingga

$$F \equiv -\frac{\partial\gamma}{\partial h} H \equiv +0.3086 H [mGal] \quad (2.12)$$

dengan H dalam meter.

Aplikasi dalam bidang geodesi, koreksi *free-air* tidak hanya berarti koreksi yang dilakukan karena efek topografi. Terdapat beberapa konsep mengenai koreksi *free-air* tersebut.

1. Nilai F adalah salah satu koreksi dari setiap reduksi gayaberat dan bukan merupakan reduksi gayaberat seluruhnya.
2. Anomali *free-air* dapat dianggap sebagai perkiraan nilai batas bidang geoid (untuk digunakan dalam persamaan Stokes).

- Secara kasar, anomali *free-air* merupakan hasil “perpindahan massa” dari reduksi gayaberat di atas bidang geoid ke bawah bidang geoid. Karena bentuknya sangat ekuivalen dengan bentuk gayaberat hasil observasi jika semua massa topografi “dimasukkan” ke geoid (Blakely,1996).

e) Koreksi Medan (*Terrain Correction*)

Koreksi medan (*terrain correction*) diakibatkan oleh adanya efek dari massa di sekitar titik pengukuran. Keberadaan bukit, lembah, gunung, dan sebagainya berpengaruh terhadap berkurangnya nilai medan gayaberat di sekitar titik pengukuran. Salah satu contoh adalah massa dari suatu bukit yang akan mengakibatkan adanya komponen gaya ke atas yang berlawanan arah dengan komponen gayaberat, hal itu akan mengakibatkan berkurangnya nilai medan gayaberat sebenarnya di titik tersebut (Kirbani, 2001).

Koreksi medan dapat dihitung menggunakan *Hammer Chart* yang menggambarkan pembagian wilayah (daerah) berupa lingkaran-lingkaran pada kertas transparan sehingga mempermudah dalam menentukan ketinggian rata-rata tiap segmen wilayah yang tergambar pada diagram tersebut. Diagram Hammer dalam penggunaannya, perlu diperhatikan skala peta topografi yang digunakan sebagai acuan/ dasar penentuan ketinggian segmen-segmen wilayah di sekitar titik ukur. Peta topografi dengan skala besar sebaiknya digunakan, sehingga dapat menyajikan data topografi secara rinci dan ukuran (Dobrin, 1988).

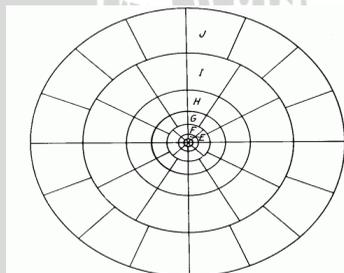
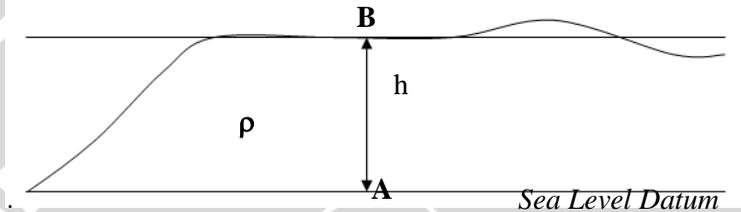


FIGURE 13-8
Terrain correction-zone chart designed by Hammer,²⁴ used in conjunction with Table 12-1 for zones through J. Scale is 1/250,000. (Gulf Research & Development Co.) [From Dobrin & Savitt]

Gambar 2. 5 Diagram Hammer

f) Koreksi Bouguer (*Bouguer Correction*)

Koreksi Bouguer memperhitungkan adanya tarikan gravitasi yang diakibatkan massa yang mengisi antara titik amat *B* dengan ketinggian *h* terhadap titik referensi *A* (datum) (gambar 2.6). Koreksi Bouguer dilakukan dengan pendekatan massa sebagai *slab* tak terbatas dengan ketebalan *h* yang merupakan ketinggian elevasi pengukuran.



Gambar 2. 6 Perbedaan ketinggian antara titik amat *A* dan titik amat *B*, (Lilie, 1999)

Besarnya tarikan gravitasi yang diakibatkan *slab* massa tersebut adalah

$$BC = 2\pi\rho Gh \quad (2.13)$$

dengan *BC* adalah koreksi Bouguer, ρ adalah densitas *slab* massa, *G* adalah konstanta gravitasi universal ($6,67 \times 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2$), *h* adalah ketebalan *slab* massa (ketinggian stasiun pengukuran). Apabila nilai dari *G* dan 2π disubstitusikan akan menghasilkan

$$BC = 0,04193 \rho h \text{ mGal} \quad (2.14)$$

dengan nilai ρ dalam gr/cm^3 , *h* dalam meter (Lilie, 1999 dalam Hasan, 2008).

2.1.6 Perhitungan Anomali Gravitasi

Hasil pengukuran gravitasi di suatu titik pengamatan disebut sebagai harga gravitasi pengamatan, yang merupakan hasil gaya gravitasi di titik pengamatan terhadap bumi. Nilai yang didapatkan dihitung dari permukaan sampai ke dalam pusat bumi. Harga gravitasi pengamatan ini, secara teoritis dapat dihitung dari posisi lintang titik pengamatan yang disebut sebagai harga gravitasi teoritis. Kedua harga ini apabila dibandingkan akan didapatkan selisih harga yang disebut harga anomali gravitasi.

Harga gravitasi teoritis memiliki nilai yang bervariasi dari satu titik ke titik yang lain, karena ada beberapa faktor lain, di samping faktor posisi lintang, juga mempengaruhi harga pengamatan tersebut. Faktor-faktor tersebut adalah faktor ketinggian (elevasi) titik pengamatan, massa batuan (rapatmassa) di bawah permukaan titik pengamatan, kondisi lapang di sekitar titik pengamatan (*terrain*). Oleh karena itu, dalam pengolahan data harga gravitasi, faktor-faktor yang mempengaruhi harus diperhitungkan sebagai koreksi terhadap harga pengamatan (Hadipandoyo,2004).

Anomali Bouguer (absolut) adalah selisih antara gravitasi pengamatan atau titik gravitasi stasiun dengan gravitasi teoritis yang seharusnya teramati di suatu titik. Distribusi harga Bouguer secara horizontal dapat digambarkan melalui kontur isoanomali yang memberikan gambaran distribusi atau kontras rapatmassa lateral bahwa permukaan yang pada akhirnya dapat diinterpretasi sebagai suatu kondisi atau struktur geologi tertentu (Untoro, 2005).

2.1.7 Anomali Bouguer

Anomali Bouguer merupakan selisih dari harga percepatan gravitasi observasi dengan harga normalnya. Gravitasi observasi merupakan nilai gravitasi yang terbaca pada gravitimeter setelah mengalami beberapa koreksi, antara lain koreksi terhadap apungan pegas alat (*drift correction*), dan koreksi akibat adanya pasang surut bumi (*tide correction*). Gravitasi normal merupakan gabungan dari beberapa koreksi-koreksi gravitasi antara lain koreksi lintang, koreksi udara bebas (*free air*), koreksi topografi (medan), dan koreksi Bouguer. Persamaan untuk mendapatkan nilai anomali Bouguer (g_{AB}) adalah

$$g_{obs} = g_{read} - g_{tidal} - g_{drift}$$

$$g_{AB} = g_{obs} - (g(\emptyset) + g_{FA} + g_{BC}) + TC \quad (2.15)$$

dimana g_{obs} adalah nilai gravitasi hasil observasi, g_{read} adalah nilai pembacaan gravitasi di lapangan, g_{tidal} adalah koreksi pasang surut, g_{drift} adalah koreksi apungan, $g(\emptyset)$ adalah koreksi lintang, g_{FA} adalah koreksi udara bebas, g_{BC} adalah koreksi Bouguer, dan TC adalah koreksi medan.

Nilai anomali Bouguer di atas sering disebut sebagai *Complete Bouguer Anomaly* (CBA), sedangkan anomali Bouguer yang didapatkan tanpa memasukkan koreksi medan ke dalam perhitungan disebut *Simple Bouguer Anomaly* (SBA). Sementara nilai lain yang biasa digunakan untuk survei daerah laut adalah *Free-Air Anomaly* (FA Anomaly). FA anomaly adalah nilai anomali Bouguer yang tidak memperhitungkan efek massa batuan sehingga tidak memasukkan koreksi Bouguer ke dalam perhitungan (Torkis, 2012).

2.2 Reduksi Bidang Datar

Data anomali medan gravitasi hasil observasi masih terpapar pada permukaan topografi dengan ketinggian yang bervariasi dan grid yang tidak teratur. Proses interpretasi lebih lanjut diperlukan data anomali medan gravitasi yang berada pada bidang datar dan grid yang teratur. Metode yang digunakan adalah metode sumber ekuivalen titik massa (Dampney, 1969).

Metode sumber ekuivalen titik massa dilakukan dengan proses menentukan sumber kedalaman titik massa diskrit pada suatu kedalaman tertentu di bawah permukaan dengan memanfaatkan data anomali gravitasi pada topografi. Kemudian dihitung medan gravitasi teoritis yang diakibatkan oleh sumber ekuivalen tersebut pada regular *surface* sembarang seperti yang dikehendaki.

Persamaan dasar yang digunakan adalah (Dampney, 1969):

$$\Delta g(x, y, z) = G \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{\rho(\alpha, \beta, h)(h-z) d\alpha d\beta}{\{(x-\alpha)^2 + (y-\beta)^2 + (z-h)^2\}^{3/2}} \quad (2.16)$$

dengan $\Delta g(x, y, z)$ adalah anomali medan gravitasi, $\rho(\alpha, \beta, h)$ adalah distribusi kontras densitas permukaan pada bidang $z = h$, z adalah sumbu vertikal dengan arah positif ke bawah, h adalah kedalaman sumber ekuivalen titik massa dari *reference spheroid*, G adalah konstanta gravitasi.

Anomali medan gravitasi $\Delta g(x, y, z)$ dapat diperoleh dari suatu distribusi kontras densitas kontinu $\rho(\alpha, \beta, h)$ pada bidang $z = h$ (persamaan 2.16). Pendekatan distribusi kontinu menjadi sebuah deret massa-massa diskrit merupakan teknik dasar dari sumber ekuivalen titik massa.

Jika terdapat N titik data, maka besarnya N data titik massa pada suatu kedalaman tertentu dapat dihitung dengan menggunakan prinsip superposisi persamaan berikut:

$$\Delta g_1 = a_{11}m_1 + a_{12}m_2 + \dots + a_{1k}m_k + \dots + a_{1N}m_N$$

$$\Delta g_2 = a_{21}m_1 + a_{22}m_2 + \dots + a_{2k}m_k + \dots + a_{2N}m_N$$

$$\dots$$

$$\Delta g_i = a_{i1}m_1 + a_{i2}m_2 + \dots + a_{ik}m_k + \dots + a_{iN}m_N \quad (2.17)$$

$$\dots$$

$$\Delta g_N = a_{N1}m_1 + a_{N2}m_2 + \dots + a_{Nk}m_k + \dots + a_{NN}m_N$$

dengan

$$a_{ik} = \frac{G(h - z_i)}{\{(x_i - \alpha_k)^2 + (y_i - \beta_k)^2 + (z_i - h)^2\}^{3/2}} \quad (2.18)$$

dimana $z = h$ adalah bidang horisontal yang berisi titik-titik massa m_k pada (α_k, β_k, h) Posisi Δg_i adalah (x_i, y_i, z_i) . Persamaan (2.18) dapat ditulis dalam bentuk matriks

$$[g] = [A][m] \quad (2.19)$$

Persamaan (2.19) merupakan N persamaan simultan dalam N data titik massa diskrit yang tidak diketahui namun bisa dipecahkan.

Massa-massa dari diskrit m_k pada (α_k, β_k, h) , anomali medan gravitasi $\Delta g_z(x, y, z_0)$ pada ketinggian z_0 tertentu dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan berikut (Dampney, 1969):

$$\Delta g_z = G \sum_{k=1}^N \frac{m_k (h - z)}{\{(x - \alpha_k)^2 + (y - \beta_k)^2 + (z - h)^2\}^{3/2}} \quad (2.20)$$

Posisi kedalaman sumber ekuivalen titik massa yang terbaik dapat ditentukan batas-batas dari posisi kedalaman titik-titik massa, yaitu batas atas maupun batas bawah. Uji coba untuk mencari posisi sumber ekuivalen titik massa telah dilakukan oleh Dampney yang dapat disimpulkan bahwa nilai-nilai $(h - z_i)$ harus memenuhi:

$$2,5\Delta x < (h - z_i) < 6\Delta x \quad (2.21)$$

dengan Δx adalah rata – rata jarak antar stasiun pengukuran (Dampney, 1969 dalam Hasan, 2008).

2.3 Pemisahan Anomali Regional dan Residual

Tujuan dari proses pemisahan ini adalah untuk memisahkan anomali Bouguer lengkap menjadi efek gayaberat dangkal (*shallow*) dan dalam (*deep*). Efek dangkal diperlihatkan oleh anomali residual sedangkan efek dalam diperlihatkan oleh anomali regional.

Teknik pemisahan anomali regional dan residual pada penelitian ini dilakukan dengan metode *moving average window filter* yang merupakan suatu metode atau teknik pemisahan yang apabila dianalisis dari spektrumnya akan menyerupai *low-pass filter*, sehingga output dari proses ini adalah frekuensi rendah dari anomali Bouguer yang akan mempresentasikan kedalaman yang lebih dalam (regional). Penyebabnya bahwa frekuensi rendah ini dapat berprenetasi lebih dalam. Selanjutnya, anomali residual didapatkan dengan cara mengurangkan antara anomali Bouguer lengkap dengan anomali regionalnya.

Persamaan *moving average* untuk lebar window NxN adalah :

$$\Delta g_{regional} \left(\frac{N+1}{2}, \frac{N+1}{2} \right) = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \frac{\Delta g(i,j)}{N^2} \quad (2.22)$$

Anomali residualnya adalah :

$$\Delta g_{residual}(i,j) = \Delta g(i,j) - \Delta g_{regional}(i,j) \quad (2.23)$$

Estimasi lebar *window*-nya didapatkan dari :

$$n = \frac{2\pi}{\Delta S \cdot k_c} \quad (2.24)$$

dimana : ΔS = spasi antar grid (*grid-spacing*)

k_c = frekuensi cut-off dari anomali regional-residual (*reg-res cut-off frequency*)

Berdasarkan karakter spektrum dari filter tersebut, lebar *window* NxN berbanding langsung dengan *low-cut* dari panjang gelombang atau *high-cut* frekuensi spasial dari *low-pass filter*, sehingga dengan bertambahnya lebar *window* akan menyebabkan

bertambahnya panjang gelombang regional *output*. Lebar *window* terkecil menyebabkan harga regionalnya mendekati anomali Bouguernya.

Setelah didapatkan estimasi kedalaman anomali regional-residual dan lebar jendela yang bisa digunakan untuk memisahkan kedua anomali ini maka akan didapatkan peta anomali regional dan peta anomali residual yang pengkonturannya dapat dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak surfer 11 (Walidah, 2011).

2.4 Pemodelan Bawah Permukaan

Metode yang digunakan dalam pemodelan umumnya dibedakan dalam 2 cara, yaitu pemodelan ke depan (*forward modelling*) dan inversi (*inverse modelling*). Prinsip umum kedua pemodelan ini adalah meminimumkan selisih anomali perhitungan dengan anomali pengamatan. Menurut Talwani dkk.,(1959), pemodelan ke depan untuk menghitung efek gravitasi model benda 2 dimensi di bawah permukaan dengan penampang berbentuk sembarang yang dapat diwakili oleh suatu *poligon* bersisi-*n* dinyatakan sebagai integral garis sepanjang sisi - sisi *poligon*:

$$g = 2G\rho \oint z d\theta \quad (2.25)$$

(Hasan, 2008).

Pemodelan Talwani 2,5D adalah pemodelan anomali gravitasi dengan menggunakan bentuk anomali 2,5D yaitu model 2D dengan penampang berhingga yang sama pada arah tegak lurus dengan bidang 2D-nya, maka besarnya medan gravitasi parsial karena suatu volume dijabarkan sebagai :

$$F_x = -2G\rho \frac{\partial U}{\partial x} \quad (2.26)$$

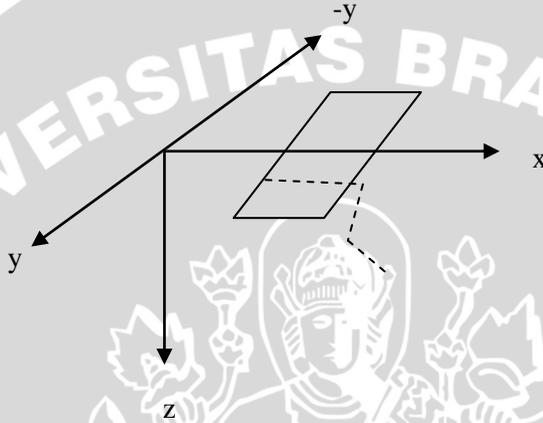
$$F_y = -2G\rho \frac{\partial U}{\partial y} \quad (2.27)$$

$$F_z = -2G\rho \frac{\partial U}{\partial z} \quad (2.28)$$

Apabila diasumsikan ρ bernilai tetap maka medan gravitasi pada arah vertikal (*z*) menjadi :

$$F_z = -G\rho \iiint \frac{\partial}{\partial z} (x^2 + y^2 + z^2)^{-1/2} dx dy dz \quad (2.29)$$

Untuk model benda anomali gravitasi 2,5D (gambar 2.7) ditambahkan panjang strike benda baik ke kiri maupun ke kanan dari polygon pada bidang xz dan didefinisikan sebagai Y_1 yang bernilai positif pada arah $+Y$ dan Y_2 yang bernilai positif pada arah $-Y$. sehingga dengan mengintegiralkan persamaan (2.29) pada arah y dari $-Y_2$ hingga 0 dan 0 hingga Y_1 diperoleh :



Gambar 2. 7 Geometri dari benda 2,5D sumbu z ke bawah, sumbu y arah strike dan kelurusan lintasan pada arah x (Hidayat, 2011)

$$F_z = -G\rho \frac{\partial}{\partial z} \iiint [-\ln(x^2 + z^2) + \ln(Y_1 + R_1) + \ln(Y_2 + R_2)] dx dy \quad (2.31)$$

dengan

$$R_1 = \sqrt{x^2 + Y_1^2 + z^2} \text{ dan } R_2 = \sqrt{x^2 + Y_2^2 + z^2}$$

Penyelesaian integral persamaan (2.31) pada arah z adalah :

$$F_z = -G\rho \int_{x_1}^{x_2} [-\ln(x^2 + z^2) + \ln(Y_1 + R_1) + \ln(Y_2 + R_2)]_{z_1}^{z_2} dx \quad (2.32)$$

Integral luasan poligon pada persamaan (2.32) dapat dirubah dalam bentuk integral garis dari sekeliling poligon dengan merubah fungsi z ke dalam fungsi x dari setiap sisi di poligon tersebut (Hidayat, 2011). Geometri gambar 2.8 yang ditunjukkan terdapat hubungan-hubungan sebagai berikut:

$$z = x \tan \theta = (x - a_i) \tan \phi_i \quad \text{atau}$$

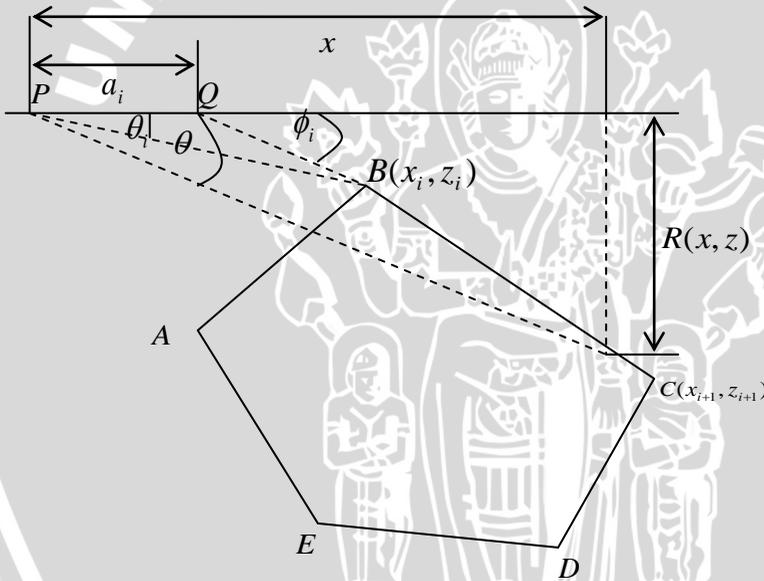
$$z = (a_i \tan \theta \tan \phi_i) / (\tan \phi_i - \tan \theta) \quad (2.33)$$

Integral garis untuk sisi BC adalah:

$$\int_{BC} z d\theta = \int_B^C \frac{a_i \tan \theta \tan \phi_i}{\tan \phi_i - \tan \theta} d\theta = Z_i \quad (2.34)$$

sehingga,

$$g = 2G\rho \sum_{i=1}^n Z_i \quad (2.35)$$



Gambar 2. 8 Efek gravitasi poligon menurut Talwani (Telford, 1976)

nilai Z_i adalah:

$$Z_i = a_i \sin \phi_i \cos \phi_i \left[(\theta_i - \theta_{i+1}) + \tan \phi_i \cdot \log \left\{ \frac{\cos \theta_i (\tan \theta_i - \tan \phi_i)}{\cos \theta_{i+1} (\tan \theta_{i+1} - \tan \phi_i)} \right\} \right] \quad (2.36)$$

dengan

$$\theta_i = \tan^{-1}\left(\frac{z_i}{x_i}\right), \phi_i = \tan^{-1}\left(\frac{z_{i+1} - z_i}{x_{i+1} - x_i}\right),$$

$$a_i = x_{i+1} - z_{i+1} \cot \phi_i = x_{i+1} + z_{i+1} \left(\frac{x_{i+1} - x_i}{z_i - z_{i+1}}\right).$$

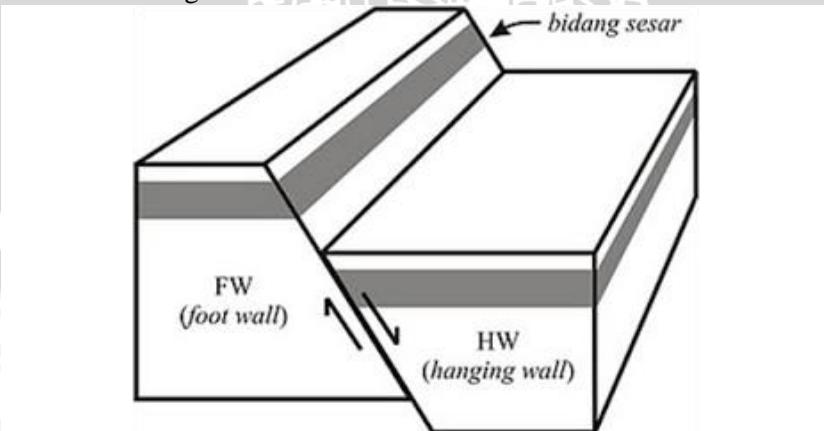
(2.37)

(Hasan, 2008).

2.5 Pengertian Sesar

Sesar atau *fault* adalah rekahan yang mengalami pergeseran yang jelas. Pergeseran dapat berkisar dari beberapa milimeter sampai ratusan meter dan panjangnya dapat mencapai beberapa desimeter hingga ribuan meter. Sesar dapat terjadi pada segala jenis batuan. Akibat terjadinya pergeseran itu, sesar akan mengubah perkembangan topografi, mengontrol air permukaan dan bawah permukaan, merusak stratigrafi batuan dan sebagainya (<http://id.wikipedia.org/wiki/Sesar>).

Penjelasan sesar menggunakan istilah *hanging wall* dan *foot wall* sebagai penunjuk bagian blok badan sesar. *Hanging wall* merupakan bagian tubuh batuan yang relatif berada di atas bidang sesar. *Foot wall* merupakan bagian batuan yang relatif berada di bawah bidang sesar.



Gambar 2. 9 *Hanging wall* dan *foot wall* (Hertanto, 2009).

2.5.1 Sesar dan Jenisnya

Menurut pembagiannya sesar dibagi menjadi 3 jenis sesar yaitu sesar mendatar, sesar normal dan sesar naik.

- Sesar Mendatar (*Strike-Slip Fault*)

Sesar Mendatar (*Stike-slip fault*), yaitu sesar dengan blok bergerak relatif mendatar/ horizontal satu sama lainnya. Sesar mendatar ini dibagi menjadi 3, yaitu :

- 1) Sesar mendatar menganan atau *right-lateral fault* atau *dextral fault*. Cara sederhana untuk menentukan pergerakan menganan ini adalah dengan cara membayangkan apabila kita berdiri pada blok yang satu, maka blok yang lain telah bergerak relatif ke arah kanan
- 2) Sesar mendatar mengiri atau *left-lateral fault* atau *sinistral fault*. Cara sederhana untuk menentukan pergerakan mengiri ini adalah dengan cara membayangkan apabila kita berdiri pada blok yang satu, maka blok yang lain telah bergerak relatif ke arah kiri.
- 3) Sesar *oblique* merupakan kombinasi dari sesar mendatar menganan dan sesar mendatar mengiri.

- Sesar Normal (sesar turun)

Sesar turun disebabkan oleh gaya tegangan yang mengakibatkan tertariknya kekar bumi ke arah yang berlawanan. Sesar ini biasa terjadi karena adanya pengaruh gaya gravitasi. Secara umum, sesar normal terjadi sebagai akibat dari hilangnya pengaruh gaya sehingga batuan menuju ke posisi (isostasi). Sesar normal juga dapat terjadi dari kekar tension, *release* maupun kekar gerus. Daerah yang mengalami sesar turun biasa ditandai oleh adanya lembah dan lereng yang curam (Pertiwi, 2003).

- Sesar Naik

Sesar naik (*reverse fault*) untuk sesar naik ini bagian *hanging wall*-nya relatif bergerak naik terhadap bagian *foot wall*. Salah satu ciri sesar naik adalah sudut kemiringan dari sesar itu termasuk kecil, berbeda dengan sesar

turun yang punya sudut kemiringan bisa mendekati vertikal. Nampak lapisan batuan yang berwarna lebih merah pada *hanging wall* berada pada posisi yang lebih atas dari lapisan batuan yang sama pada *foot wall*, hal ini menandakan lapisan yang ada di *hanging wall* telah bergerak relatif naik terhadap *foot wall*-nya (Hertanto, 2009).

2.6 Tinjauan Pustaka Daerah Penelitian

Pacitan merupakan salah satu dari 38 Kabupaten di Propinsi Jawa Timur yang terletak di bagian Selatan barat daya. Kabupaten Pacitan dan sekitarnya terletak di antara $08^{\circ} 00'$ - $08^{\circ} 20'$ Lintang Selatan dan $111^{\circ} 00'$ - $111^{\circ} 30'$ Bujur Timur . Luasnya sebagian besar berupa perbukitan yaitu kurang lebih 85 %, gunung-gunung kecil lebih kurang 300 buah menyebar di seluruh wilayah Kabupaten Pacitan dan jurang terjal yang termasuk dalam deretan Pegunungan Seribu yang membujur sepanjang selatan Pulau Jawa, sedang selebihnya merupakan dataran rendah.



Gambar 2. 10 Peta daerah penelitian (Kurniawan, 2012)

Daerah Pacitan merupakan daerah pegunungan yang terletak pada ujung timur Pegunungan Seribu, juga berada pada bagian selatan Pulau Jawa dengan rentangan sekitar 80 km dan lebar 25 km. Tanah Pegunungan Seribu memiliki ciri khas yang tanahnya didominasi oleh endapan gamping bercampur koral dari kala Miosen (dimulai sekitar 21 juta – 10 juta tahun silam). Endapan itu kemudian mengalami pengangkatan pada kala Holosen, yaitu lapisan geologi yang paling muda dan paling singkat (sekitar 500.000 tahun silam – sekarang) (Kurniawan, 2012).

Secara teori, kemungkinan terjadinya gempa besar bisa saja terjadi di daerah Pacitan. Aktivitas pada salah satu patahan besar Pulau Jawa itu jika benar-benar terjadi, efek gempa dengan skala lebih besar bisa terjadi dengan efek getaran yang meluas. Efek gempa tersebut sebagai akibat pergerakan retakan pada sisi lempeng bumi yang berada di selatan Pulau Jawa sebagaimana pernah terjadi pada aktivitas sesar Opak, yang menyebabkan gempa berskala besar di kawasan pesisir selatan Yogyakarta akhir 2004.

Kabupaten Pacitan termasuk salah satu kawasan paling rawan gempa tektonik di Jawa Timur. Semua daerah di kawasan pesisir selatan Jawa sebenarnya sama-sama rawan jika terjadi gempa tektonik. Akan tetapi, Pacitan masuk kategori risiko tinggi karena berada di jalur Sesar Grindulu. Sesar Grindulu merupakan jalur patahan lempeng benua yang membentuk Pulau Jawa, yang membentang di lima kecamatan, yakni Kecamatan Bandar, Nawangan, Punung, Arjosari, serta Donorojo dengan panjang 28,374 km.

Secara kasat mata, salah satu jalur sesar utama di Pulau Jawa itu searah dengan jalur Sungai Grindulu, yang memanjang dari Pantai Selatan hingga daerah hulu di Kecamatan Bandar. Jalur sesar ini menjadi sangat rawan karena menjadi area rambatan gempa apabila terjadi tumbukan antara lempeng benua di Pulau Jawa dengan lempeng samudera di Laut Selatan (Bagus, 2011).

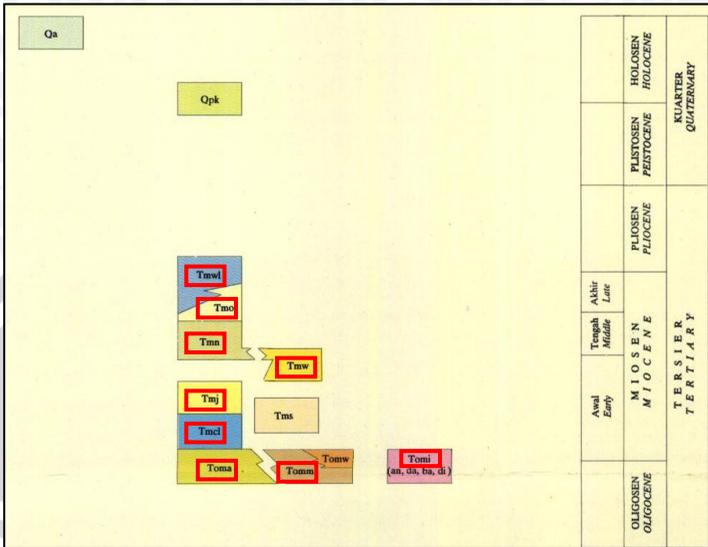
2.6.1 Litologi Daerah Penelitian

Stratigrafi dan deskripsi litologi peta geologi lembar Pacitan yang termasuk ke dalam daerah penelitian bagian selatan. Deskripsi litologi mulai dari yang tertua hingga termuda (Gambar 2.10), adalah sebagai berikut:

- a. **Batuan terobosan (Tomi)** berumur Oligosen Akhir-awal Miosen Awal dan disusun oleh batu andesit (an), dasit (da), basal (ba), serta diorite (di).
- b. **Formasi Mandalika (Tomm)** berumur Oligosen Akhir dan disusun oleh perselingan batu breksi gunungapi, lava, tuff; bersisipan batupasir tufan, batulanau serta batulempung.
- c. **Formasi Watupatok (Tomw)** berumur Oligosen Akhir-Miosen Awal dan disusun oleh batu lava, sisipan batupasir, batulempung serta rijang.

- d. **Formasi Arjosari (Toma)** berumur Oligosen Akhir-awal Miosen Awal dan disusun oleh batu konglomerat aneka warna bahan, batupasir, batulanau, batugamping, batulempung, napal pasiran, batupasir berbatuapung, bersisipan breksi gunungapi, lava serta tuf.
- e. **Formasi Semilir (Tms)** berumur Miosen Awal dan disusun oleh batu tuf, breksi batuapung, batupasir tufan serta batulempung.
- f. **Formasi Campurdarat (Tmcl)** berumur Miosen Awal dan disusun oleh batugamping hablur serta sisipan batulempung tufan.
- g. **Formasi Jaten (Tmj)** berumur Miosen Awal dan disusun oleh batu konglomerat, batupasir konglomeratan, batupasir tufan, batulumpur, batulanau, lignit, serpih karbonan serta tuf; setempat belerang.
- h. **Wuni (Tmw)** berumur Miosen Awal-Miosen Akhir dan disusun oleh batu breksi gunungapi, tuf, batupasir tufan, batupasir sela dan batu batulanau, bersisipan lignit serta batugamping, setempat mengandung kayu terkarsikkan.
- i. **Formasi Nampol (Tmn)** berumur Miosen Awal dan disusun oleh batupasir tufan, batulanau, batugamping tufan, batulempung dan lignit, bersisipan konglomerat serta breksi.
- j. **Formasi Oyo (Tmo)** berumur Miosen Akhir dan disusun oleh batupasir gampingan, batupasir tufan, batulanau gampingan, batugamping tufan, napal pasiran serta napal tufan.
- k. **Formasi Wonosari (Tmwl)** berumur Miosen Akhir dan Pliosen Awal dan disusun oleh batugamping terumbu, batugamping berlapis, batugamping berkepingan, batugamping pasiran serta napal.
- l. **Aluvium (Qa)** berumur Holosen dan disusun oleh batu kerakal, kerikil, pasir, lanau, lempung dan lumpur.

Keterangan mengenai kotak berwarna merah pada Gambar 2.10 menunjukkan formasi batuan yang ada pada peta geologi lembar Pacitan (daerah penelitian).

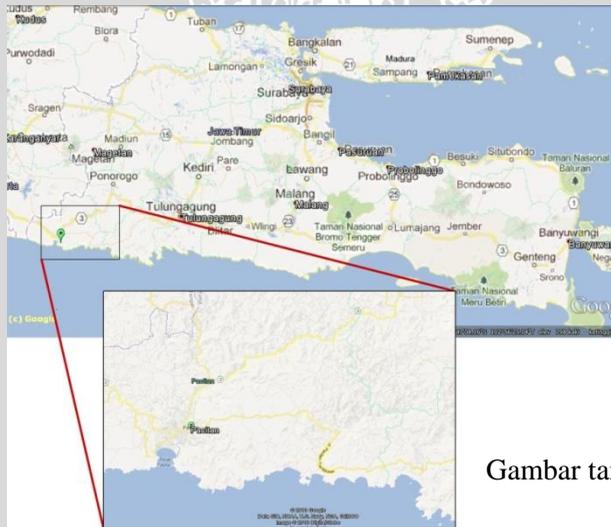


Gambar 2. 11 Stratigrafi regional geologi lembar Pacitan (P3G, 1992).

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Data yang digunakan dalam penelitian tugas akhir ini adalah data sekunder yang diperoleh dari peta Anomali Bouguer lembar Pacitan yang disusun oleh Marzuki dan R. Otong (1991). Pengolahan dan interpretasi data dilakukan pada tanggal 10 Juni – 10 Desember 2013 di laboratorium Geofisika FMIPA Universitas Brawijaya. Secara administratif, lokasi penelitian berada pada koordinat $08^{\circ} 00' - 08^{\circ} 20'$ Lintang Selatan dan $111^{\circ} 00' - 111^{\circ} 30'$ Bujur Timur yang terletak di kabupaten Pacitan, kecamatan Arjosari dan Tegalombo, propinsi Jawa Timur.



Gambar tanpa skala

Gambar 3. 1 Lokasi penelitian berada di Kabupaten Pacitan, kecamatan Arjosari dan Tegalombo.

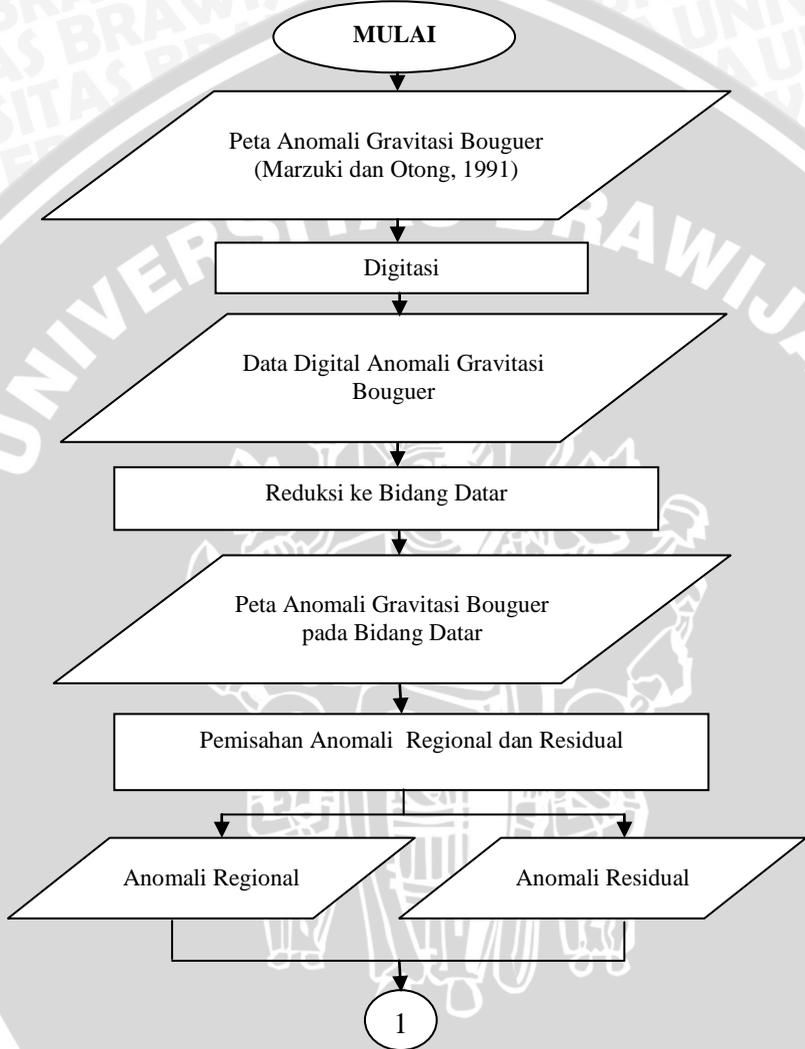
3.2 Data dan Peralatan Penelitian

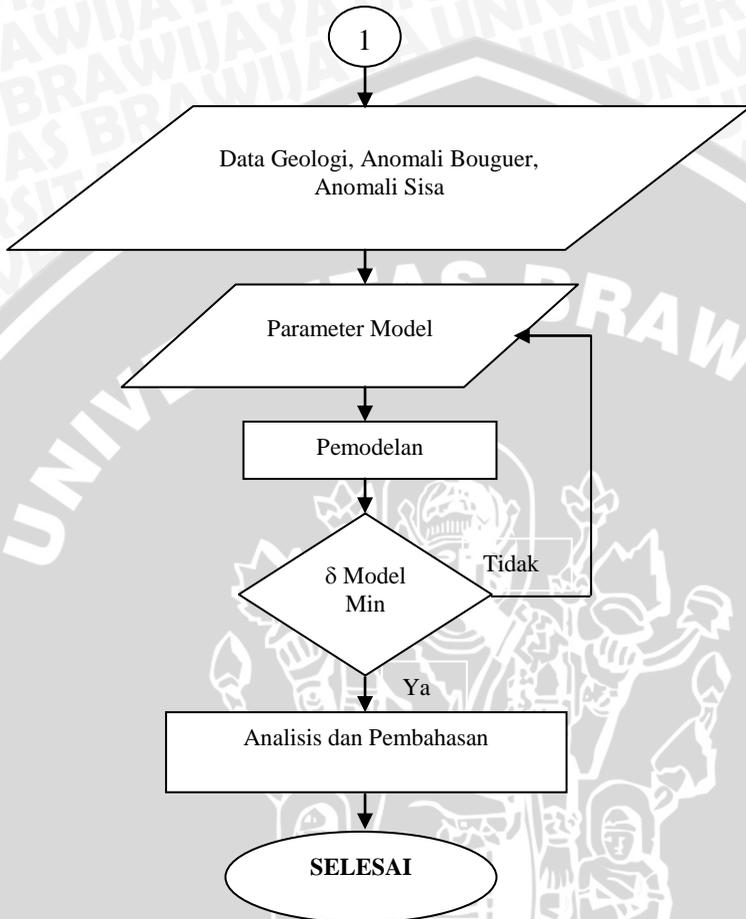
Data dan peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah

- 1) Data anomali gravitasi hasil digitasi Peta Anomali Bouguer lembar Pacitan (Marzuki dan Ootong, 1991)
- 2) Data topografi daerah penelitian yang diperoleh dari <http://topex.ucsd.edu> dengan memasukkan koordinat daerah penelitian.
- 3) Unit komputer yang dilengkapi dengan perangkat lunak Microsoft Office, MapInfo Profesional, Matlab, Global Mapper, Surfer 11, Magpick dan Grav2dc.



3.3 Alur Penelitian





Gambar 3. 2 Diagram Alir Penelitian

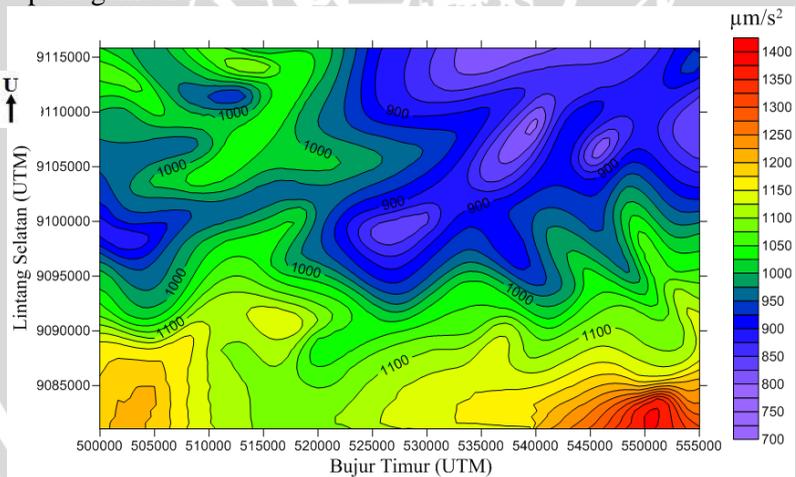
3.4 Prosedur Penelitian

3.4.1 Data Gravitasi

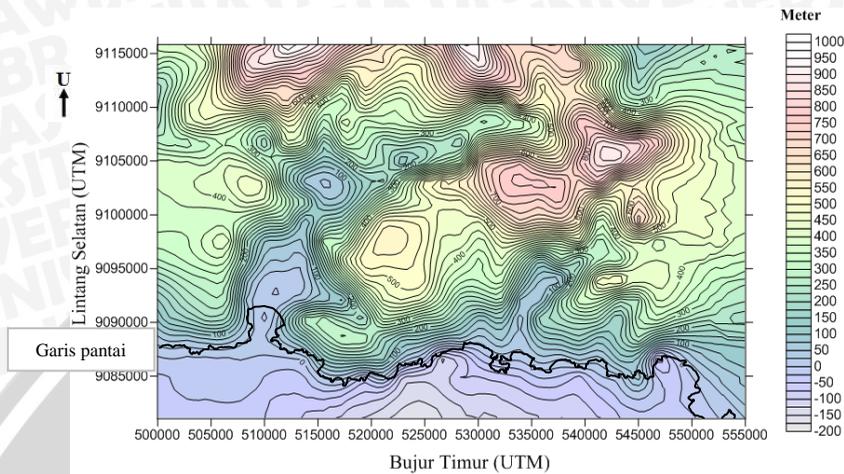
Data gravitasi yang digunakan pada penelitian ini adalah data sekunder yang merupakan peta anomali medan gravitasi (Marzuki dan Otong, 1991). Data gravitasi tersebut telah dikoreksi terhadap pengaruh apungan alat dan pasang surut bumi. Nilai tersebut selanjutnya disusutkan menjadi anomali Bouguer dan dinyatakan dalam μms^{-2} . Rapatmassa untuk perhitungan diambil $2,67 \text{ gr/cm}^3$. Data tersebut juga telah dikoreksi lintang berdasarkan sistem acuan Himpunan Geodesi, IAG 1967. Koreksi

medan (*terrain*) dilakukan berdasarkan cara Hammer (1938), yang perhitungannya dilakukan sampai zona K.

Anomali Bouguer lembar Pacitan selanjutnya diregister ke dalam perangkat lunak MapInfo Profesional 11. Kemudian dengan bantuan *digitizer* peta tersebut didigitasi. Data hasil digitasi yang diperoleh berupa data koordinat posisi xy dan data anomali Bouguer. Koordinat posisi xy tersebut dapat ditampilkan dalam derajat ataupun meter (UTM). Data yang diperoleh berupa koordinat posisi xy dan nilai anomali Bouguer ini kemudian data diolah dengan menggunakan program Surfer 11 untuk mendapatkan kontur anomali Bouguer seperti yang dihasilkan dari peta anomali Bouguer lembar Pacitan oleh Marzuki dan R. Otong (1991). Selain itu data anomali hasil digitasi tersebut juga akan digabungkan dengan data topografi. Data topografi diperoleh dari <http://topex.ucsd.edu> dengan memasukkan letak koordinat daerah penelitian yang telah tergrid setiap 1 menit. Ukuran dan spasi *grid* data anomali Bouguer dan topografi dibuat sama dengan ukuran *grid* 64 x 100 serta spasi *grid* 555 meter untuk dilakukan proses dari reduksi bidang datar. Gambar dari anomali Bouguer hasil digitasi dan peta topografi ditampilkan pada gambar 3.3 dan 3.4.



Gambar 3. 3 Peta Anomali Bouguer Pacitan hasil digitasi



Gambar 3. 4 Peta Topografi daerah penelitian
(sumber data <http://topex.ucsd.edu>)

Kontur anomali dibuat dari data gayaberat yang telah terkoreksi serta dibuat penampang melintang untuk mengetahui sebaran rapatmassa secara vertikal. Proses interpretasi dilakukan secara kualitatif maupun kuantitatif. Secara umum tahapan penelitian dapat dilihat pada subbab sebelumnya. Hasil yang diperoleh kemudian dibandingkan dengan peta geologi daerah Pacitan dan selanjutnya dilakukan pemodelan untuk mengetahui struktur geologi bawah permukaan dengan menggunakan program *Grav2dc for windows* untuk hasil 2,5D dan menggunakan program *Surfer 11* untuk membuat model 3D dari data kedalaman.

3.4.2 Reduksi Bidang Datar

Pengolahan selanjutnya adalah reduksi bidang datar. Langkah ini dilakukan karena data anomali Bouguer lengkap masih berada pada permukaan topografi dengan ketinggian yang bervariasi sedangkan dalam analisa lanjut diperlukan data anomali medan gayaberat 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.

Nilai medan gravitasi hasil transformasi dihitung menggunakan densitas sumber ekuivalennya. Hasil pengujian

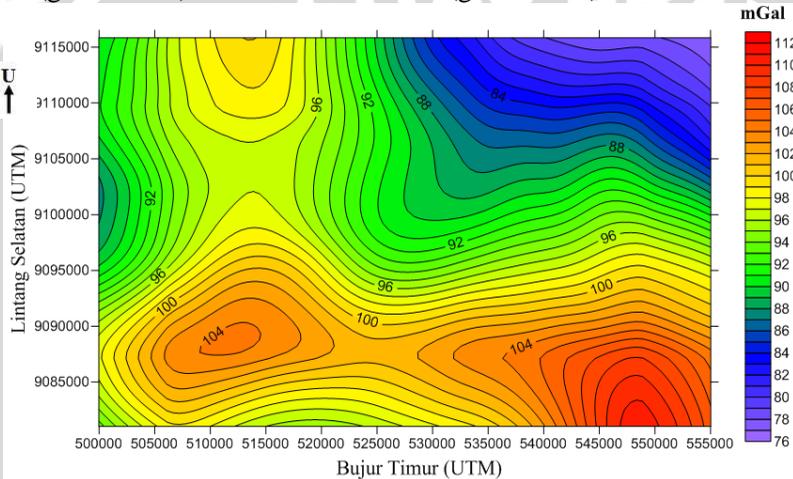
dengan data teoritik menunjukkan bahwa metode ini cukup teliti untuk digunakan pada transformasi data medan gravitasi. Ketidaksimetrian topografi tidak berpengaruh pada ketelitian metode. Kedalaman sumber ekuivalen dipengaruhi oleh interval sumber ekuivalen. Bentuk dan penyebaran anomali secara lateral tidak berpengaruh pada ketelitian metode ini. Hasil perbandingan dengan metode Dampney menunjukkan bahwa tingkat kesalahan relatif yang dihasilkan lebih kecil walaupun dengan waktu komputasi yang lebih lama. Metode Dampney tersebut dapat digunakan sebagai salah satu alternatif pada proses transformasi data gravitasi ke bidang datar.

3.4.3 Pemisahan Anomali Regional dan Anomali Residual

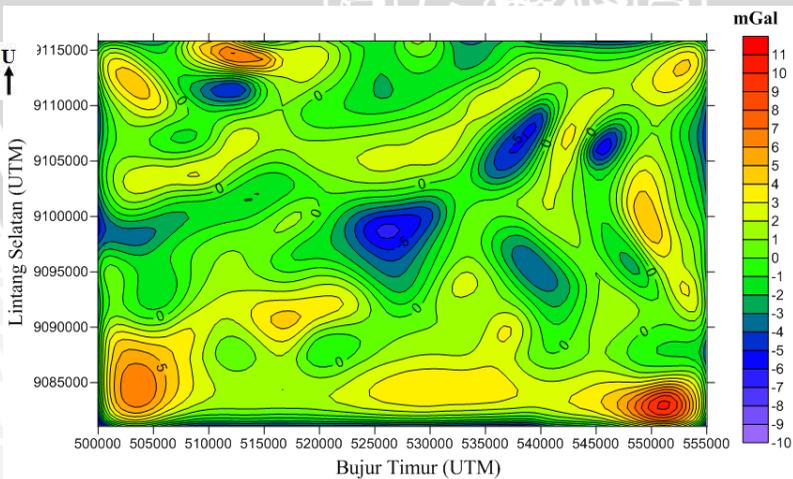
Anomali Bouguer pada metode gayaberat disebabkan oleh benda anomali baik yang berada dekat dengan permukaan maupun yang jauh dari permukaan bumi. Tujuan eksplorasi geofisika pada umumnya untuk mempelajari struktur yang dekat permukaan (cekungan hidrokarbon, reservoir panasbumi, sumber daya alam, struktur geologi), maka berbagai usaha telah dilakukan untuk memisahkan efek residual dari efek regional. Pemisahan anomali Bouguer regional dan anomali Bouguer residual pada penelitian ini menggunakan metode *moving average* (Sarkowi, 2010).

Peta anomali yang telah terproyeksi ke bidang datar dibuat beberapa lintasan (*slice*) untuk mendapatkan profil dari anomalnya. Data dari masing-masing penampang ini dilakukan transformasi Fourier untuk mendapatkan nilai bilangan gelombang dan amplitudo yang akan dibuat grafik hubungan antara keduanya. Grafik dari hubungan nilai gelombang dan amplitudo tersebut didapatkan 2 kemiringan (*gradien*) yang mencerminkan 2 kedalaman (lihat di lampiran 6). Grafik dengan frekuensi rendah menggambarkan kedalaman yang lebih dalam (regional) sedangkan grafik dengan frekuensi tinggi menggambarkan kedalaman yang lebih dangkal. Hasil dari analisis spektral dengan melihat grafik hubungan antara bilangan gelombang dan amplitudo menghasilkan nilai yaitu nilai rata-rata (lampiran 7) yang digunakan untuk menentukan lebar *window* dari *moving average*.

Proses dari *moving average* diawali dengan membuka perangkat lunak *Surfer 11*. Pilih *grid* kemudian *filter* dan pilih *moving average*. Kolom dan baris kemudian diisi dengan nilai yang didapat dari proses analisa spektrum yaitu 21x21, diperoleh hasil anomali regional. Anomali residual diperoleh dari pengurangan nilai anomali Bouguer lengkap dengan anomali regionalnya. Hasil *filtering* dengan menggunakan metode *moving average* dengan lebar *window* (21x21) diperoleh anomali regional (gambar 3.5) dan anomali residual (gambar 3.6).



Gambar 3. 5 Peta anomali Bouguer regional daerah penelitian



Gambar 3. 6 Peta anomali Bouguer residual daerah penelitian

3.4.4 Pemodelan Batuan Dasar Bawah Permukaan

Pemodelan konfigurasi batuan dasar bawah permukaan dilakukan dengan cara pemodelan ke depan (*forward modelling*). Pemodelan ke depan adalah suatu proses perhitungan data yang secara teoritis akan teramati di permukaan bumi jika diketahui harga parameter model bawah permukaan tertentu (Grandis, 2009). Pemodelan dalam penelitian ini bertujuan untuk melihat kondisi bawah permukaan dan batuan dasar yang ada pada daerah penelitian. Pemodelannya dilakukan dengan menggunakan 13 lintasan dimana 8 lintasan pada garis bujur dan 5 lintasan pada garis lintang.

Pemodelan 2,5D ini dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak *Grav2dc for windows*. Masukan dari program *Grav2dc* ini berupa data jarak antar stasiun dan nilai anomali residual tiap stasiun. Data tersebut diperoleh dari proses *slice* pada kontur anomali residual yang berjumlah 13 lintasan. Setelah memasukkan kedua data tersebut ke dalam program *Grav2dc*, maka dilakukan pembuatan model dengan suatu bentuk (*body*) menggunakan nilai kontras densitas tertentu sehingga menghasilkan respon yang cocok dengan data lapangan. Informasi tambahan berupa peta dan data geologi daerah penelitian dapat membantu dalam membuat pemodelan ini.

Proses pemodelan 3D dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak *Surfer 11*. Masukan yang digunakan berupa data dari posisi lintang, bujur serta data kedalaman yang diperoleh dari program *Grav2dc for windows*.

3.5 Interpretasi

3.5.1 Interpretasi Kualitatif

Data gravitasi berupa anomali Bouguer sangat dibutuhkan ketika kita menginterpretasi secara kualitatif karena data gravitasi yang diamati adalah berupa anomali Bouguer. Anomali Bouguer itu sendiri terdiri dari anomali regional dan residual. Lewat interpretasi ini, kita dapat melihat penyebaran anomali atau nilai anomali yang dihasilkan. Hasil interpretasi dapat menafsirkan informasi di bawah permukaan berdasarkan gambaran peta kontur anomali gayabernatnya. Peta kontur anomali gayabernat dihubungkan dengan peta geologi daerah penelitian, kemudian

dilakukan analisis terhadapnya guna mendapatkan gambaran secara kasar tentang kondisi bawah permukaan.

3.5.2 Interpretasi Kuantitatif

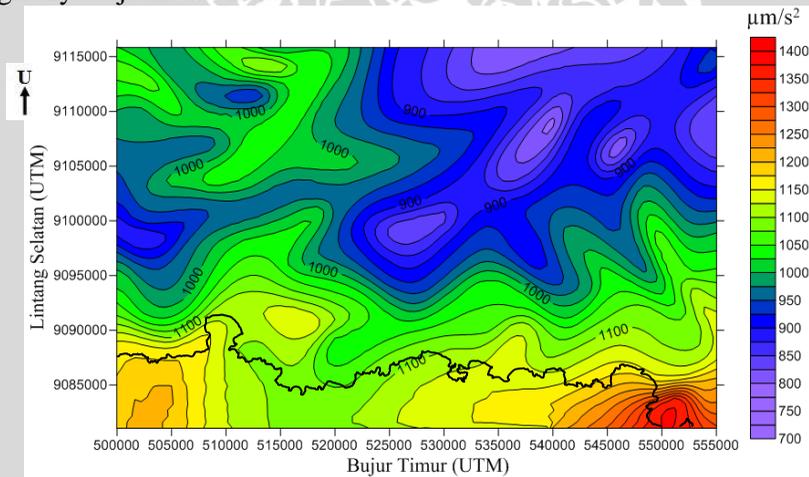
Menurut Nettleton, anomali gayaberat berasal dari variasi rapatmassa ke arah lateral. Lapisan batuan dengan rapatmassa sama tidak akan menimbulkan anomali, namun beberapa lapisan dengan berbagai rapatmassa berbeda dapat menimbulkan anomali. Oleh karena itu perlu dilakukan analisis secara vertikal terhadap kontur anomali gayaberat. Analisis secara vertikal biasanya dibuat penampang pengukuran yang tegak lurus kepada arah struktur geologinya. Analisis secara vertikal ini akan diketahui nilai rapatmassa batuan bawah permukaan. Interpretasi nilai rapatmassa ini merupakan interpretasi secara kuantitatif. Interpretasi kuantitatif pada penelitian ini adalah analisis model bawah permukaan dari suatu penampang anomali Bouguer dengan menggunakan metoda poligon yang diciptakan oleh Talwani. Metode tersebut telah dibuat pada perangkat lunak *Grav2dc for windows* (Untung, 2001).



BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

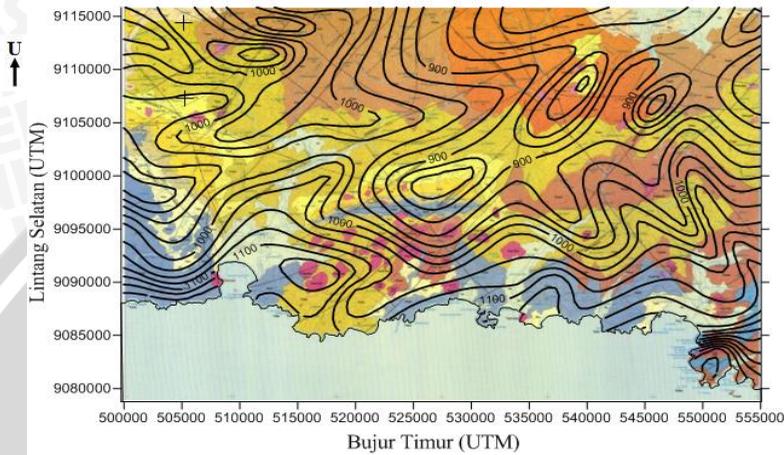
4.1 Peta Kontur Anomali Hasil Digitasi

Tahap awal dalam penelitian ini adalah membawa peta anomali Bouguer lembar Pacitan (lampiran 1) ke dalam perangkat lunak *MapInfo Professional 10* untuk dilakukan proses digitasi peta anomali Bouguer. Proses digitasi tersebut dilakukan dengan selang kontur setiap $100 \mu\text{m/s}^2$ dan diperoleh nilai lintang dan bujur (xy) dalam derajat dan UTM (*Unit Transvers Mecator*). Hasil digitasi yang diperoleh digambarkan kembali kontur anomali gravitasinya dengan menggunakan perangkat lunak *Surfer 11*. Proses digitasi tersebut dilakukan beberapa kali iterasi untuk mendapatkan data digital anomali Bouguer lengkap yang memiliki pola kontur yang sama dengan peta asli anomali Bouguer lengkap lembar Pacitan. Data yang diperoleh berukuran grid 64×100 dengan spasi antar gridnya sejauh 555 meter.



Gambar 4. 1 Peta anomali Bouguer Pacitan yang telah didigitasi (grid 64×100)

Gambar 4.2 merupakan tampilan anomali Bouguer yang telah *overlay* dengan peta geologi daerah Pacitan.



Gambar 4. 2 Hasil *overlay* anomali Bouguer hasil digitasi dengan peta geologi Pacitan

Hasil *overlay* tersebut dapat memberikan gambaran tentang geologi daerah penelitian dengan melihat pola kontur anomali gravitasi dan formasi batuan yang dijadikan sebagai acuan untuk membuat pemodelan konfigurasi batuan dasar tahap selanjutnya.

4.2 Hasil Reduksi Bidang datar

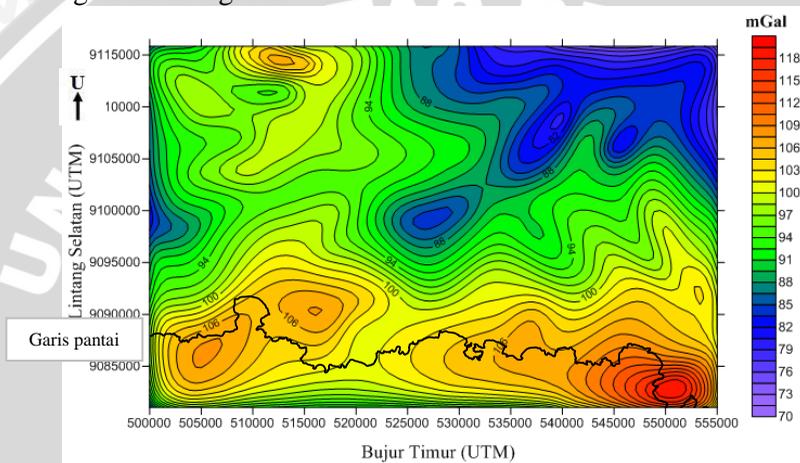
Peta daerah penelitian yang telah didigitasi menjadi anomali Bouguer kemudian dibawa ke bidang datar dengan menggunakan metode sumber ekuivalen titik massa (Dampney, 1969) dimana tujuan dari proyeksi dari bidang datar ini adalah membawa grid yang tidak teratur menjadi teratur dan agar bisa digunakan untuk pemodelan tahap selanjutnya yaitu pemodelan 2D serta 3D. Kedalaman dari sumber ekuivalen titik massa yang digunakan berdasarkan syarat batas yang telah ditentukan oleh Dampney adalah

$$2,5\Delta x < (h - z_i) < 6\Delta x$$

nilai dari Δx tersebut merupakan spasi pengukuran yang digunakan. Kedalaman sumber ekuivalen yang digunakan sebesar antara 1387 hingga 3330 meter dengan spasi grid sebesar 555 meter.

Metode Dampney ini juga telah dilakukan perhitungan dengan berbagai spasi mulai spasi 555 hingga 1000 meter dan mendapatkan

data yang sangat bervariasi pula. Spasi tersebut dipilih yang menghasilkan pola anomali mendekati hasil anomali Bouguer hasil digitasinya. Hasil yang diperoleh dari spasi 555 menunjukkan hasil yang lebih rapi dan menunjukkan hasil yang mirip (mendekati pola kontur hasil digitasi) dengan hasil digitasi anomali Bouguer, sedangkan pada spasi 600, 700 hingga 1000 meter menunjukkan anomali yang tidak sesuai (belum mendekati) dengan peta anomali Bouguer hasil digitasi.



Gambar 4. 3 Peta anomali Bouguer hasil reduksi bidang datar

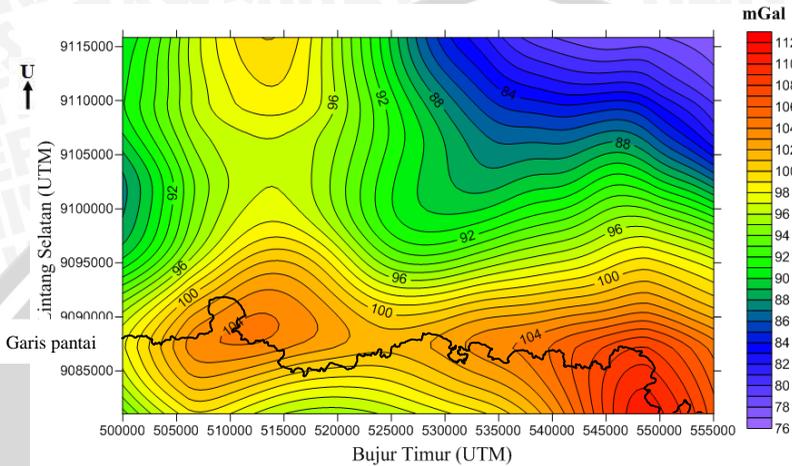
4.3 Pemisahan Anomali Regional dan Residual

Tahap selanjutnya setelah dilakukan proses reduksi ke dalam bidang datar dan memperoleh grid yang teratur adalah memisahkan antara anomali regional dan residual. Metode yang digunakan dalam pemisahan anomali dengan menggunakan *moving average*. Hasil *filtering* dengan menggunakan metode *moving average* dengan lebar window (21 x 21) diperoleh anomali regional dan anomali residual.

4.3.1 Anomali Regional

Anomali gravitasi regional menggambarkan batuan secara umum di permukaan. Anomali regional ini bersifat *smooth* (halus) dan biasanya disebabkan oleh batuan-batuan yang dalam. Kontur anomali regional pada Gambar 4.4, menunjukkan nilai anomali sangat tinggi di daerah penelitian dengan nilai sekitar 76 mGal – 112 mGal. Nilai tersebut disebabkan oleh batuan yang dalam dari permukaan. Anomali regional ini belum bisa dipakai untuk

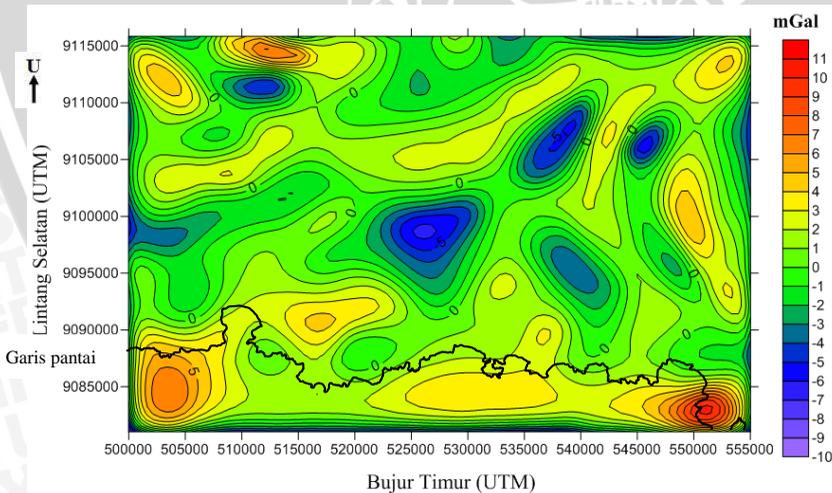
interpretasi, karena struktur geologi yang ditunjukkan masih bersifat lokal.



Gambar 4. 4 Peta anomali Bouguer regional daerah penelitian

4.3.2 Anomali Residual

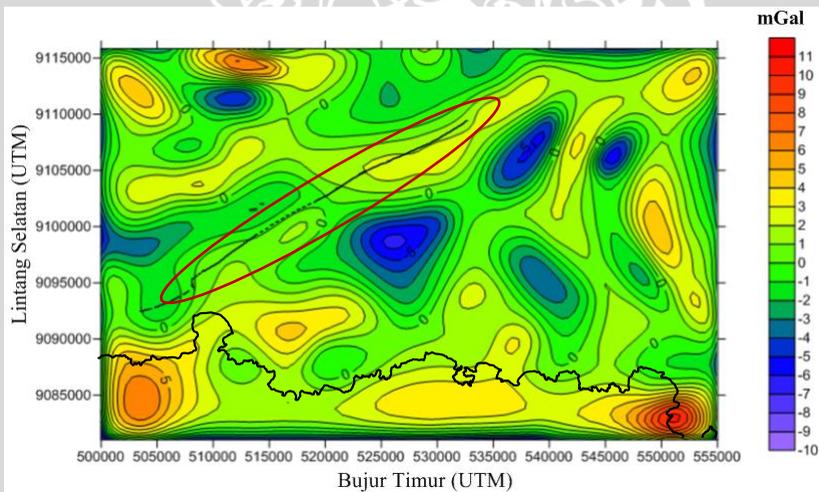
Anomali residual (sisa) diperoleh dari pengurangan antara anomali Bouguer lengkap dengan anomali regionalnya. Gambar 4.5 merupakan hasil pemisahan peta kontur anomali residual dari anomali regional daerah penelitian.



Gambar 4. 5 Peta anomali Bouguer residual daerah penelitian

Anomali residual ini bersifat kasar dan disebabkan oleh batuan-batuan yang dangkal, misalnya adanya struktur sesar. Sehingga gambaran kondisi geologi, utamanya dalam hal ini adalah struktur geologi di bawah permukaan lebih jelas terlihat dan mudah untuk diinterpretasi. Berdasarkan peta residual, terlihat adanya anomali dengan nilai positif dan negatif. Menurut Rosid (2005), anomali dengan nilai positif dan negatif tersebut disebabkan oleh tiga hal yaitu densitas batuan, posisi dan besar *body* batuan yang menghasilkan anomali (Torkis, 2012).

Hasil interpretasi anomali residual pada Gambar 4.6 menunjukkan bahwa terdapat anomali rendah pada bagian tengah daerah penelitian, dengan arah timur laut ke arah barat daya ditunjukkan oleh warna biru tua hingga ungu dan memiliki nilai berkisar -10 mGal hingga -4 mGal yang membentuk pola tertentu. Pola penyebaran yang terbentuk diduga merupakan sebuah cekungan sedimen besar pada bawah permukaan yang terdapat pada daerah penelitian.



Gambar 4. 6 Interpretasi sesar Grindulu pada peta kontur anomali residual

Peta kontur anomali residual tersebut menunjukkan adanya sesar dengan nilai positif dan negatif yang dibatasi oleh kontur yang rapat, karena semakin rapat jarak antar kontur menunjukkan semakin curam daerah tersebut. Sesar Grindulu yang merupakan sesar geser ini digambarkan dengan kontur yang berbentuk oval dan memanjang searah dengan orientasi arah sesar Grindulu yaitu

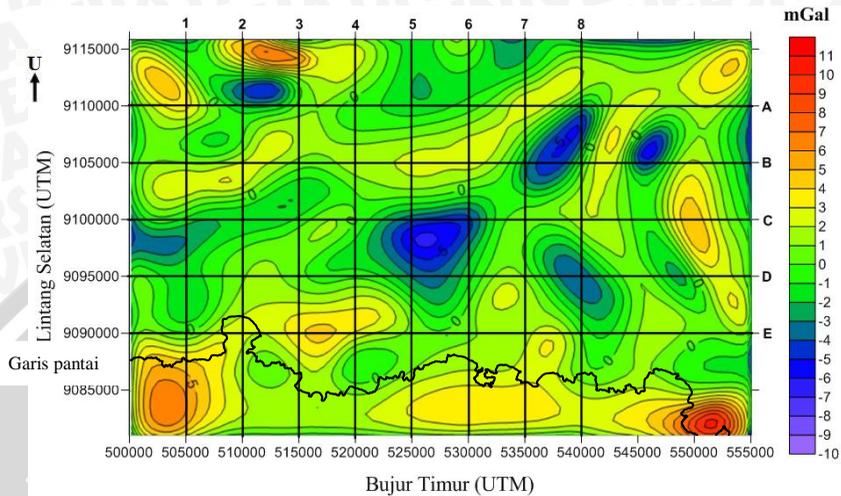
dengan arah barat daya ke arah timur laut. Sementara anomali yang lebih tinggi dibandingkan pada daerah yang diduga cekungan sedimen dengan arah orientasi yang sama dari arah timur laut ke barat daya, berkisar -3 mGal hingga 3 mGal dengan warna biru muda hingga kuning diasumsikan berasal dari struktur batuan yang naik akibat sesar yang terdapat pada daerah penelitian. Batuan pada daerah tersebut diduga memiliki densitas yang tinggi dibandingkan dengan batuan di sekitarnya.

4.4 Pemodelan Konfigurasi Batuan Dasar Bawah Permukaan

Pemodelan 2D bertujuan untuk mengidentifikasi sebaran variasi rapat batuan yang menyusun anomali di bawah permukaan dari penampang anomali lintasan penelitian (*cross section*) yang dapat digunakan untuk memperlihatkan bentuk struktur geologi disertai kedalamannya. Penelitian ini menggunakan pemodelan struktur 2,5D Talwani yang mana pembuatannya didukung oleh data geologi di permukaan (peta geologi, tatanan stratigrafi, struktur geologi), serta data rapatmassa (*density rock*). Menurut Bullard dalam Bugyo (2010), pemodelan 2,5D Talwani adalah pemodelan anomali gravitasi dengan menggunakan bentuk anomali 2,5D yakni model 2D dengan penampang berhingga yang sama pada arah tegak lurus dengan bidang 2D-nya. Pemodelan 3D pada lapisan batuan dasar dibuat dari data kedalaman bentukan (*body*) ketiga dari model 2,5D.

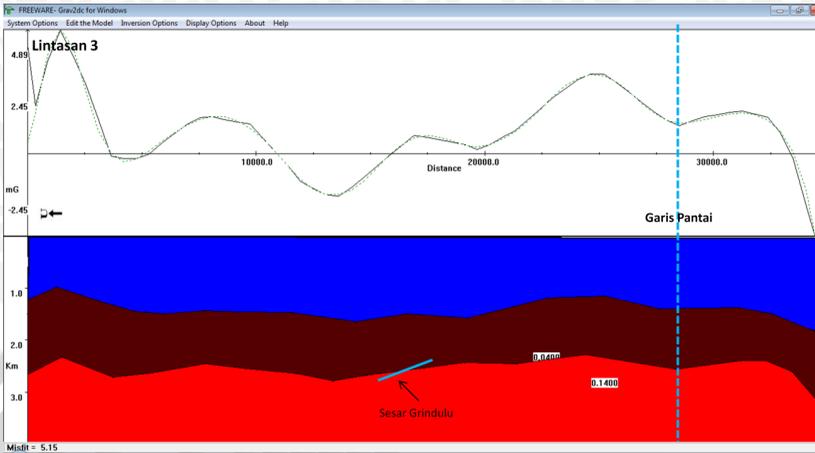
4.4.1 Model 2,5 Dimensi Struktur Dangkal

Pemodelan struktur dangkal dilakukan berdasarkan analisis anomali residual dengan menggunakan 8 lintasan pada garis lintang serta 5 lintasan pada garis bujur (Gambar 4.7). Lintasan ini dibuat berdasarkan lokasi penelitian yang terletak pada wilayah Pacitan, Arjosari hingga Tegalombo yaitu sepanjang sesar Grindulu.

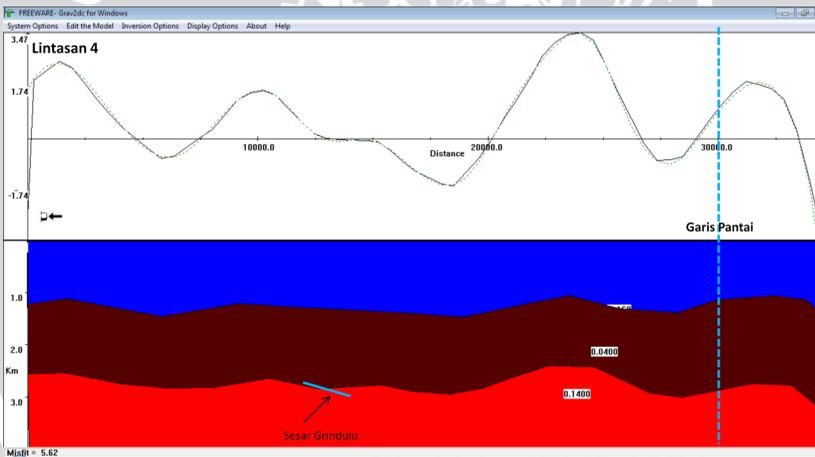


Gambar 4. 7 Peta kontur anomali medan gravitasi residual dengan lintasan 1-8 pada garis lintang dan lintasan A-E pada garis bujur

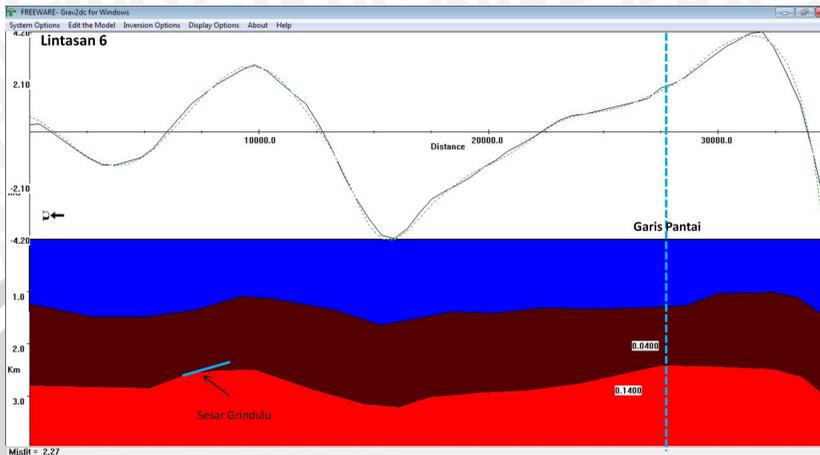
Pembuatan model diasumsikan bahwa struktur lapisan bawah permukaan terdiri dari 3 lapisan. Hasil pemodelan pada Gambar 4.8 – 4.13 diperoleh 3 lapisan batuan yaitu lapisan paling atas merupakan lapisan sedimen *Tersier* dengan densitas sebesar $2,51 \text{ gr/cm}^3$, lapisan di bawahnya merupakan lapisan sedimen *Pratersier* dengan densitas sebesar $2,63 \text{ gr/cm}^3$ dan lapisan paling bawah merupakan lapisan batuan dasar yang terdiri dari batuan lava, basalt, granit dan andesit dengan densitas sebesar $2,81 \text{ gr/cm}^3$. Apabila menggunakan nilai densitas $2,67 \text{ gr/cm}^3$ sebagai nilai densitas rata-rata batuan (densitas regional batuan) untuk membuat pemodelan, maka digunakan nilai kontras densitas lapisan sedimen *Tersier* sebesar $-0,16 \text{ gr/cm}^3$, lapisan tengah sedimen *Pratersier* $0,04 \text{ gr/cm}^3$ dan lapisan batuan dasar $0,14 \text{ gr/cm}^3$. Hasil dari pemodelan tersebut diketahui bahwa kedalaman yang dicapai untuk konfigurasi permukaan batuan dasar berkisar antara 2 km hingga 3,7 km. Kedalaman 2 km merupakan lapisan terdangkal dari permukaan batuan dasar dan 3,7 km merupakan lapisan paling dalam dari permukaan batuan dasar.



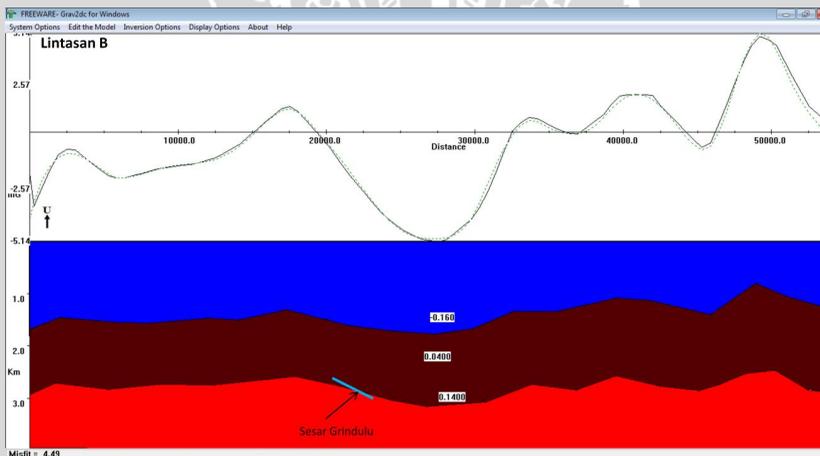
Gambar 4. 8 Model 2,5D bawah permukaan pada lintasan 3



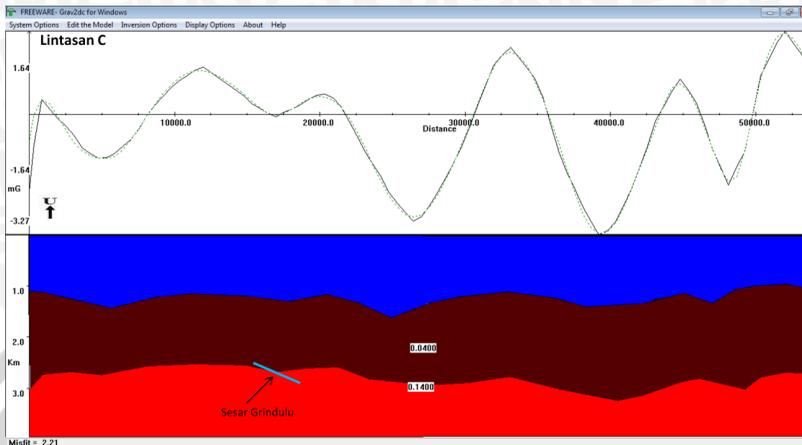
Gambar 4. 9 Model 2,5D bawah permukaan pada lintasan 4



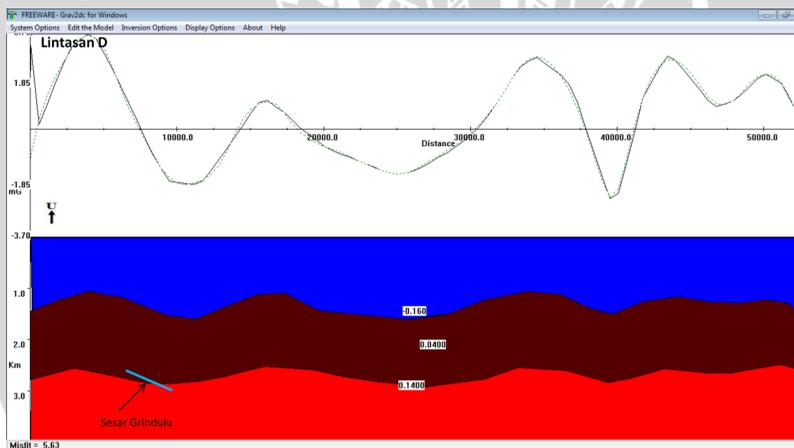
Gambar 4. 10 Model 2,5D bawah permukaan pada lintasan 6



Gambar 4. 11 Model 2,5D bawah permukaan pada lintasan B



Gambar 4. 12 Model 2,5D bawah permukaan pada lintasan C



Gambar 4. 13 Model 2D bawah permukaan pada lintasan D

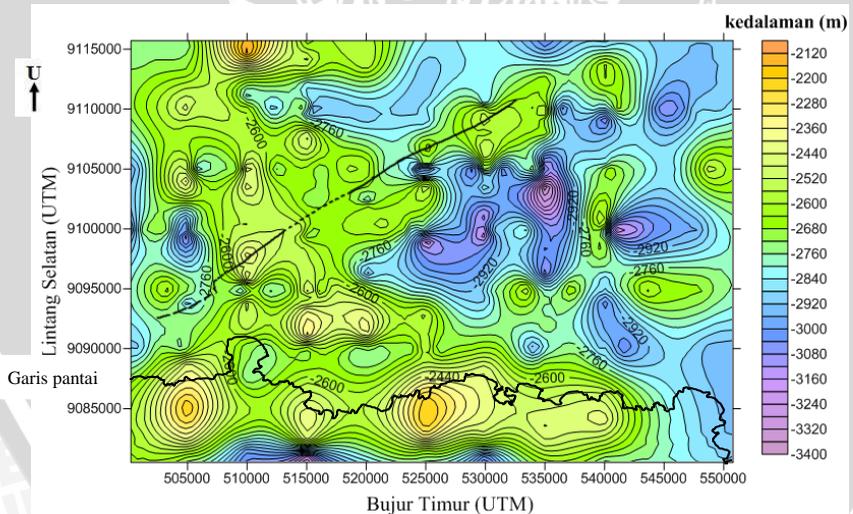
Model yang teramati pada daerah penelitian ini menunjukkan struktur geologinya sangat kompleks. Struktur geologi yang kompleks ini dapat dilihat dari tinggi-rendahnya suatu lapisan yang sangat bervariasi sehingga lapisan yang ditunjukkan pada model juga berpengaruh pada kedalaman yang mana permukaan batuan dasar menjadi sasaran dalam pembuatan model 3D tahap selanjutnya. Lintasan 3,4,6 serta lintasan B, C, dan D pada

Gambar 4.8 - 4.13 menunjukkan model yang teramati diduga bahwa sesar yang terlihat di permukaan daerah penelitian sampai di permukaan batuan dasar .

4.4.2 Model 3 Dimensi Permukaan Batuan Dasar

Gambaran mengenai konfigurasi dari batuan dasar bawah permukaan dapat diperjelas dengan membuat model 3 dimensi. Struktur yang digambarkan dalam model 3 dimensi ini adalah permukaan batuan dasar. Permukaan batuan dasar yang dicapai adalah 2 km hingga 3,7 km. Densitas lapisan batuan dasar sebesar $2,81 \text{ gr/cm}^3$ yang terdiri dari batuan lava, andesit, granitik dan basaltik. Nilai densitas tersebut didapatkan dari nilai densitas regional batuan (nilai densitas rata-rata batuan) sebesar $2,67 \text{ gr/cm}^3$ ditambahkan dengan nilai kontras densitas batuan pada model sebesar $0,14 \text{ gr/cm}^3$.

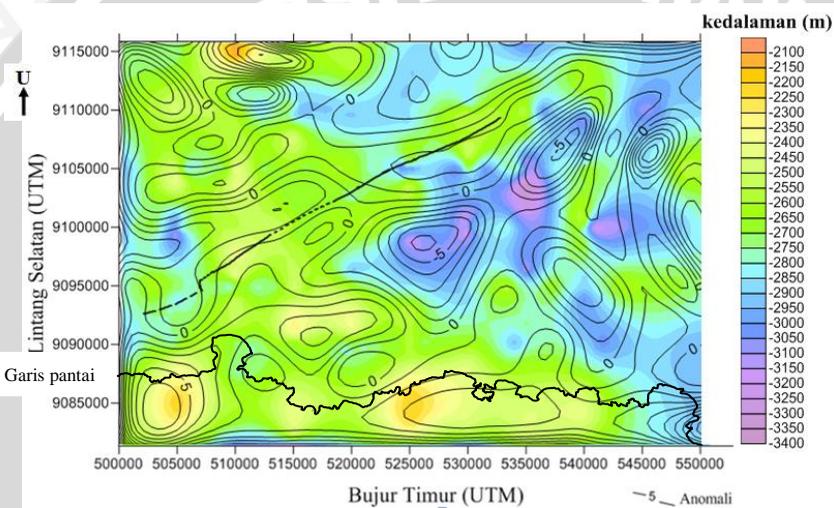
Penyebaran kedalaman batuan dasar dapat diperjelas dengan membuat peta kontur kedalaman batuan dasar yang diperoleh dari model 2,5D. Sesar Grindulu yang merupakan sesar yang terletak di daerah penelitian ditunjukkan dengan garis lurus mengarah dari timur laut ke barat daya pada Gambar 4.14.



Gambar 4. 14 Kontur 2 Dimensi dari kedalaman batuan dasar

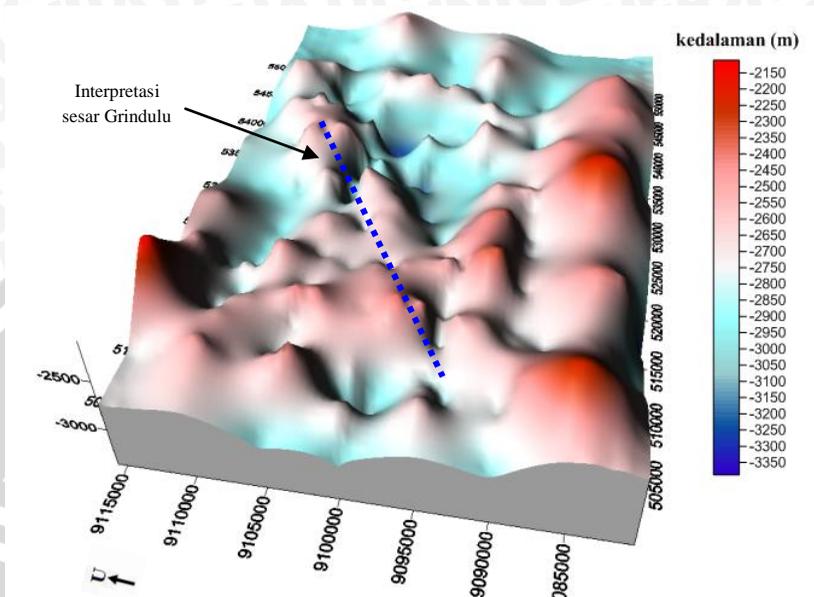
Anomali kedalaman batuan dasar ini didapatkan dari nilai kedalaman lapisan batuan dasar bentukan (*body*) ketiga dari

konfigurasi lapisan batuan 2,5D yang telah dibuat. Hubungan antara kontur anomali gravitasi dengan kedalaman batuan dasar dapat ditunjukkan dengan membuat peta kontur anomali gravitasi residual daerah penelitian yang dioverlay-kan dengan peta kontur kedalaman lapisan batuan dasar daerah penelitian. Hasil yang ditunjukkan pada Gambar 4.15 bahwa semakin negatif suatu anomali gravitasi maka semakin dalam lapisan batuan dasarnya, sebaliknya semakin positif nilai anomali gravitasi maka semakin dangkal lapisan batuan dasar .



Gambar 4. 15 Overlay kedalaman batuan dasar dengan kontur anomali residual

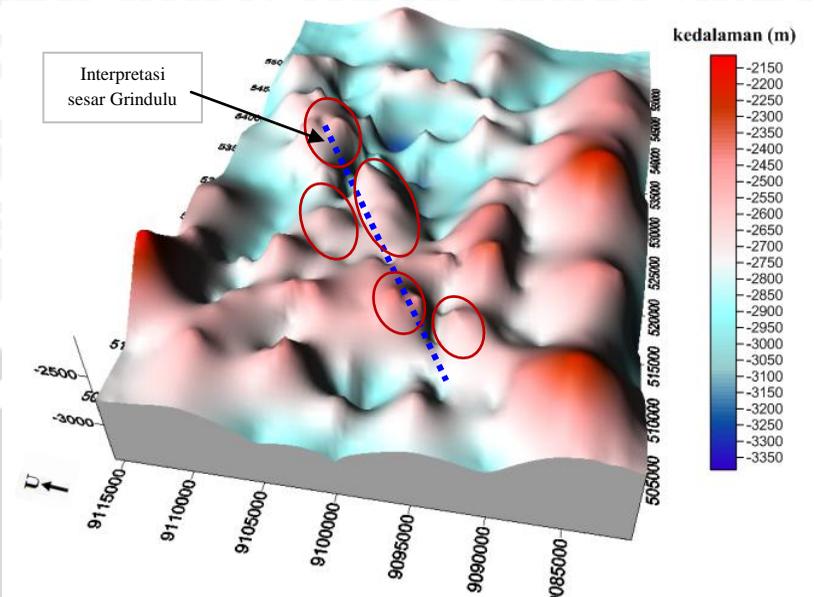
Model 3 dimensi pada Gambar 4.16 menunjukkan struktur geologi bawah permukaan daerah penelitian sangatlah kompleks, hal ini dapat dilihat dari ketinggian dari batuan dasar yang muncul pada model 3D yang bervariasi. Area penelitian ditemukan adanya 2 orientasi sesar yang mengarah dari timur laut ke arah barat daya dan dari arah barat laut ke arah tenggara. Menurut Purwanto (1997), Pacitan hingga kecamatan Arjosari serta Tegalombo ditemukan adanya pola struktur sistematis yang dominan adalah barat laut-tenggara (sesar geser dan normal), serta sesar geser dengan arah timur laut-barat daya, utara-selatan, dan beberapa sesar geser dan sesar normal dengan arah timur-barat.



Gambar 4. 16 Model 3D kedalaman batuan dasar daerah penelitian

Interpretasi mengenai sesar Grindulu pada daerah penelitian yaitu sesar yang tampak di permukaan dan melewati daerah penelitian (Pacitan, Arjosari dan Tegalombo) sampai di permukaan batuan dasar dengan arah orientasi barat daya-timur laut dengan kedalaman mencapai kurang dari 3 km. Menurut Samodra dan Tjokrosapoetro (1992) pada peta geologi lembar Pacitan, sesar Grindulu merupakan sesar geser, sedangkan pada model 3 dimensi yang ditunjukkan sesar Grindulu terlihat seperti sesar naik.

Sesar Grindulu merupakan sesar geser dengan blok yang naik oleh pergerakan relatif mendatar, disebut juga sebagai struktur bunga positif (*Positive Flower Structure*). Hasil interpretasi model 3 dimensi kedalaman batuan dasar ini ditunjukkan Gambar 4.17. Lingkaran berwarna merah menunjukkan adanya gundukan pada sesar Grindulu yang diduga sebagai efek dari struktur bunga positif dan garis putus-putus warna biru merupakan interpretasi dari letak sesar Grindulu.



Gambar 4. 17 Gundukan pada sesar Grindulu ; ditunjukkan pada lingkaran yang berwarna merah

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Hasil penelitian yang didapat dan dari analisis pembahasan, dapat disimpulkan bahwa dari hasil pemodelan yang dibuat diketahui bahwa terdapat 2 arah orientasi sesar yang mengarah dari timur laut-barat daya dan barat laut-tenggara. Gambaran mengenai sesar Grindulu yaitu sesar yang tampak di permukaan dan melewati daerah penelitian (Pacitan, Arjosari dan Tegalombo) sampai di permukaan batuan dasar dengan arah timur laut-barat daya. Sesar tersebut kedalamannya mencapai permukaan batuan dasar yang tampak pada pemodelan yang telah dibuat. Densitas permukaan batuan dasar sebesar $2,81 \text{ gr/cm}^3$ diperoleh dari nilai kontras batuan pada pemodelan yang mencapai kedalaman 2 km (paling dangkal) hingga 3,7 km.

5.2 Saran

Diharapkan peneliti selanjutnya dapat membandingkan dengan menggunakan metode lain dalam mengidentifikasi struktur bawah permukaan. Disarankan juga agar lebih teliti dalam membuat pemodelan, yaitu dalam memilih serta menggunakan kontras densitas yang tepat sesuai dengan kondisi geologi daerah penelitian, sehingga hasil yang didapatkan sesuai dengan kondisi geologi regional.

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

Halaman ini sengaja dikosongkan



DAFTAR PUSTAKA

- Bagus. 2011. *Sesar Grindulu Pacitan dalam Status Waspada*. <http://jurnalberita.com/2011/02/sesar-grindulu-pacitan-dalam-status-waspada/> diakses pada tanggal 9 Januari 2014 pukul 20.41 WIB.
- Blakely, R. J., 1996. *Potential Theory in Gravity & Magnetic Applications*, 1st edition. New York, USA : Cambridge University States.
- Charter, Denny. 2007. *Register Peta MapInfo Professional*. Komunitas eLearning IlmuKomputer.Com
- Dampney, C.N.G., 1969, *The Equivalent Source Technique*, Geophysics. V.34, No.1, p.39-53.
- Dobrin, M. 1988. *Introduction to Geophysical Prospecting*. New York : Mc. Graw Hill.
- Grandis, H. 2009. *Pengantar Pemodelan Inversi Geofisika*. Jakarta : HAGI.
- Hadipandoyo, Sasongko. 2004. *In – House Training Gravity*. Cepu, Blora : Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral Pusdiklat Migas.
- Hasan, Muhammad Adib. 2008. *Pemodelan Zona Subduksi Dan Struktur Bawah Permukaan Jawa Timur Berdasarkan Kajian Anomali Gravitasi: Skripsi*. Semarang : Universitas Diponegoro.
- Hertanto, Bobby. 2009. *Struktur Geologi Sesar*. <http://geoenviron.blogspot.com/2012/10/struktur-geologi-sesar.html> diakses pada tanggal 6 Januari 2014 pukul 18.33 WIB.
- Hidayat, Fathoni Sukma. 2011. *Penyelidikan Gayaberat untuk Pemetaan Struktur Bawah Permukaan di Daerah Karanganyar Bagian Barat : Skripsi*. Surakarta : Universitas Sebelas Maret.
- Hofmann-Wellenhof, B. And Moritz, H. 2006. *Physical Geodesy, 2nd edn*. Vienna : Springer.

- Kadir, W. G. A., 1999. *The 4-D Gravity Survey and it's Subsurface Dynamics: a Theoretical Approach, Proceeding of 24 HAGI Annual Meeting*. Surabaya
- Kadir, W.G. 2000. *Eksplorasi Gayaberat dan Magnetik*. Bandung : Departemen Teknik Geofisika, ITB.
- Kirbani, SB. 2001. *Panduan Workshop Eksplorasi Geofisika (Teori dan Aplikasi)*. Jogjakarta : Laboratorium Geofisika Fakultas MIPA UGM.
- Kurniati, Asih. 2008. *Anomali Bouguer dan Residual Sebagai Acuan dalam Penentuan Struktur Geologi Bawah Permukaan dan Potensi Geothermal di Daerah Serang dan Sekitarnya : Skripsi*. Malang : Universitas Brawijaya.
- Kurniawan, Nandi. 2012. *Profil Kabupaten Pacitan*. <http://georegionalindonesia.blogspot.com/2011/09/profil-kabupaten-pacitan.html> diakses pada tanggal 4 juli 2013 pukul 13.41 WIB
- Lilie, J. R. 1999. *Whole Earth Geophysics : An Introductory textbook for geologists and geophysicist*. New Jersey : Prentice – Hall.
- Longman, I.M., 1959. *Formulas for Computing the Tidal Acceleration due to the Moon and the sun*. Journal of Geophysical research 64: 2351-2355.
- Pertiwi, Raisya Nur. 2013. *Sesar Turun*. <https://www.docstoc.com/pass?docId=25491890&download=1> diakses pada tanggal 6 Januari 2014 pukul 18.58 WIB.
- Purwanto, Heru Sigit. 1997. *Analisis dan Genesa Pembentukan Struktur Geologi pada Batuan Berumur Oligosen-Miosen, di Daerah Pacitan dan Sekitarnya Kabupaten Pacitan, Jawa Timur : Thesis*. Bandung : ITB.
- Reynolds, J. M., 1997. *An Introduction to Applied and Environmental Geophysics*. England : John Willey & Sons.
- Samodra, S. Gafoer dan Tjokrosapoetro. 1992. *Peta Geologi Lembar Pacitan, Jawa*. Bandung : Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.

- Sarkowi, Muh. 2010. *Interpretasi Struktur Bawah Permukaan Daerah Gunung Merbabu – Merapi Berdasarkan Pemodelan 3D Anomali Bouguer Vol 13. , No.2, Edisi khusus April 2010, hal D11-D18.*
- Septiyana, Aim Matul Insani. 2009. *Studi Struktur Geologi Volcanic-Geothermal daerah Sampuraga, Kabupaten Mandailing Natal, Sumatera Utara berdasarkan Survei Gayaberat : Skripsi.* Malang : Universitas Brawijaya.
- Sirait, Chrisnawaty. 2008. *Pengolahan dan Interpretasi Metode Gravitasi.* Jakarta : UI.
- Talwani, M., 1998. *Short Note. Errors in the Total Bouguer Reduction, Geophysics, V.63,4, pp. 1125-1130*
- Torkis, Rahman. 2012. *Analisa dan Pemodelan Struktur Bawah Permukaan Berdasarkan Metode Gayaberat di Daerah Prospek Panasbumi Gunung Lawu : Skripsi.* Depok : Universitas Indonesia.
- Untoro, Yudistira T. 2005. *Petunjuk Praktikum Gravitasi dan Magnet.* Bandung : Laboratorium Geofisika Terapan ITB.
- Untung, Mohammad. 2001. *Dasar-dasar Magnet dan Gayaberat Serta Beberapa Penerapannya.* Jakarta : HAGI
- Walidah, Indah Fitriana. 2011. *Penentuan Struktur Bawah Permukaan Berdasarkan Analisa dan Pemodelan data Gayaberat untuk Melihat Potensi Hidrokarbon pada daerah "FW 1807" Cekungan Jawa Timur Utara : Skripsi.* Jakarta : UI.
- Yudhicara. 2011. *Prediksi Landaan Tsunami Untuk Wilayah Pantai Di Kabupaten Pacitan, Jawa Timur.* http://www.bgl.esdm.go.id/publication/index.php/dir/article_detail/574 diakses pada tanggal 23 September 2013 pukul 09.18
- Wikipedia. 2013. *Sesar.* <http://id.wikipedia.org/wiki/Sesar> diakses pada tanggal 16 Januari 2014 pukul 16.00 WIB.

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



LAMPIRAN

Lampiran 1 Data sampel digitasi Peta Anomali Bouguer Lembar Pacitan

Tabel L. 1 Tabel sampel data yang diperoleh dari proses digitasi

Longitude X	Latitude Y	Anomali Bouguer Pacitan
503255.9	9114992.84	1000
501733.58	9114992.56	1025
506846.99	9114993.52	1000
508349.79	9114974.21	1025
509657.42	9114974.46	1050
511804.26	9115014.04	1075
513404.65	9114975.16	1075
514634.2	9114994.98	1050
519669.55	9114995.92	1025
521250.41	9114976.63	1000
522245.77	9114996.41	975
504993.2	9112819.28	1000
504993.3	9112075.07	1025
505013.15	9109666.17	1025
506027.98	9109979.72	1025
504330.02	9109998.99	1025
502905.29	9109998.72	1000
508994.54	9110019.44	1000
510028.97	9109784.62	1000
510028.89	9110293.83	975
510028.78	9111096.79	950
510028.69	9111684.32	950
510028.6	9112389.37	975
510028.52	9112918.15	1000
510008.88	9113819.04	1025
510028.27	9114680.76	1050

513776.16	9110020.34	1000
514615.39	9110000.92	1025
515025.19	9110392.69	1025
515024.86	9112703.66	1025
515005.28	9113114.93	1050
515024.74	9113584.97	1075
515024.55	9114877.54	1050
520001.66	9112606.67	1000
518304.07	9110001.61	1000
517503.88	9109981.87	1025
530658.92	9105000.06	925
528238.83	9104999.61	950
533898.72	9105000.67	875
534796.49	9105000.84	850
538602.27	9105001.56	850
539461.01	9105001.72	875
540475.89	9105001.91	900
540027.33	9102651.68	925
539988.57	9100732.38	950
539695.91	9100007.7	950
537802.78	9100007.35	925
537373.31	9100751.48	925
534992.13	9101651.93	900
541335.39	9099557.56	975
542877.53	9097325.22	1000
540008.51	9097677.2	950
539267.17	9095542.34	925
534992.91	9096070.32	975
534992.77	9097088.72	950
533762.85	9099634.49	925
545004.79	9097893.57	975

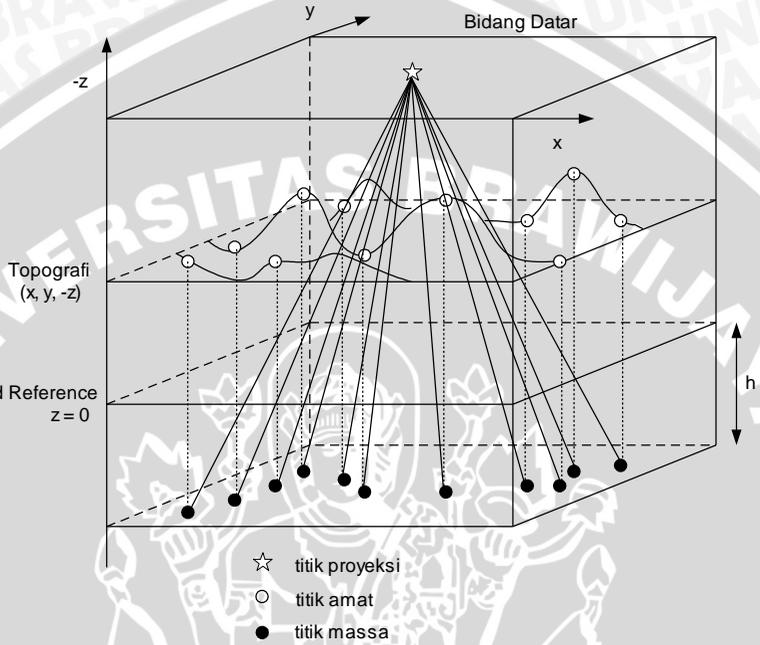
Lampiran 2 Nilai densitas batuan

Tabel L. 2 Tabel densitas batuan sesuai dengan formasi batuan daerah penelitian (Telford, 1990 dan Jacobi, 2009)

No	Nama Formasi	Jenis Batuan (B.ind)	Nilai Densitas g/cm ³	
			buku Telford (1990)	buku Jacobi (2009)
1	Alvium (Qa)	Kerakal		conglomerate 2,48
		Kerikil		conglomerate 2,48
		Pasir	1,7-2,4 ~2,0	sand wet 2,0±0,05
		Lanau		silt wet 1,93
		Lempung	1,63-2,6 ~2,21	clay wet 2,21
		Lumpur		
2	formasi kalipucang (Qpk)	Konglomerat		2,48
		Lempung	1,63-2,6 ~2,21	clay wet 2,21
3	formasi wonosari (Tmw1)	batu gamping terumbu	1,93-2,9 ~2,5	1,93-2,9 ~2,5
		batu gamping berlapis	1,93-2,9 ~2,5	1,93-2,9 ~2,5
		batu gamping berkeping	1,93-2,9 ~2,5	1,93-2,9 ~2,5
		batu gamping pasiran	1,93-2,9 ~2,5	1,93-2,9 ~2,5
		Napal		2400±100
4	Formasi Oyo (Tmo)	batu pasir gampingan	2,0-2,55	2,0-2,55 ~2,1
		batu pasir tufan		1,3-2,0 ~1,9
		batu lanau gampingan		1,93-2,55 ~2,1
		batu gamping tufan		1,3-2,55 ~2,4
		napal pasiran		2,0-2,4 ~2,3
		napal tufan		1,3-2,4 ~2,2
		batu pasir tufan		1,3-2,0 ~1,9
5	Formasi Nampol (Tmn)	batu lanau		1,93
		batu gamping tufan		1,3-2,55 ~2,4
		batu lempung dan lignit	1,19-2,21	1,19-2,21
		bersisipan konglomerat		2,48
		Breksi		
6	Formasi Wuni (Tmw)	Breksi gunung api		
		Tuff		1,3
		batu pasir tufan		1,3-2,0 ~1,9
		batu pasir sela		sand wet 2,0±0,05
		batu lanau		silt wet 1,93
		bersisipan lignit	1,1-1,5 ~1,19	1,19±0,08
		batu gamping	1,93-2,9 ~2,55	Limestone wet 2,55
kayu berkersikkan		~gambut 1,4		
7	Formasi Jaten (Tmj)	Konglomerat		2,48
		batu pasir konglomeratan		2,0-2,48 ~2,15
		batu pasir tufan		1,3-2,0 ~1,9
		batu lumpur		
		batu lanau		1,93
		Lignit	1,1-1,5 ~1,19	1,19±0,08
		serpilh karbonat		2,42-2,8 ~2,6
		Tuff		1,3
Belerang		2,0±0,08		
8	Formasi campur darat (Tmcl)	batu gamping hablur sisipan batu lempung tufan		1,3-2,2 ~2,05
9	Formasi Semilir	Tuff		1,3

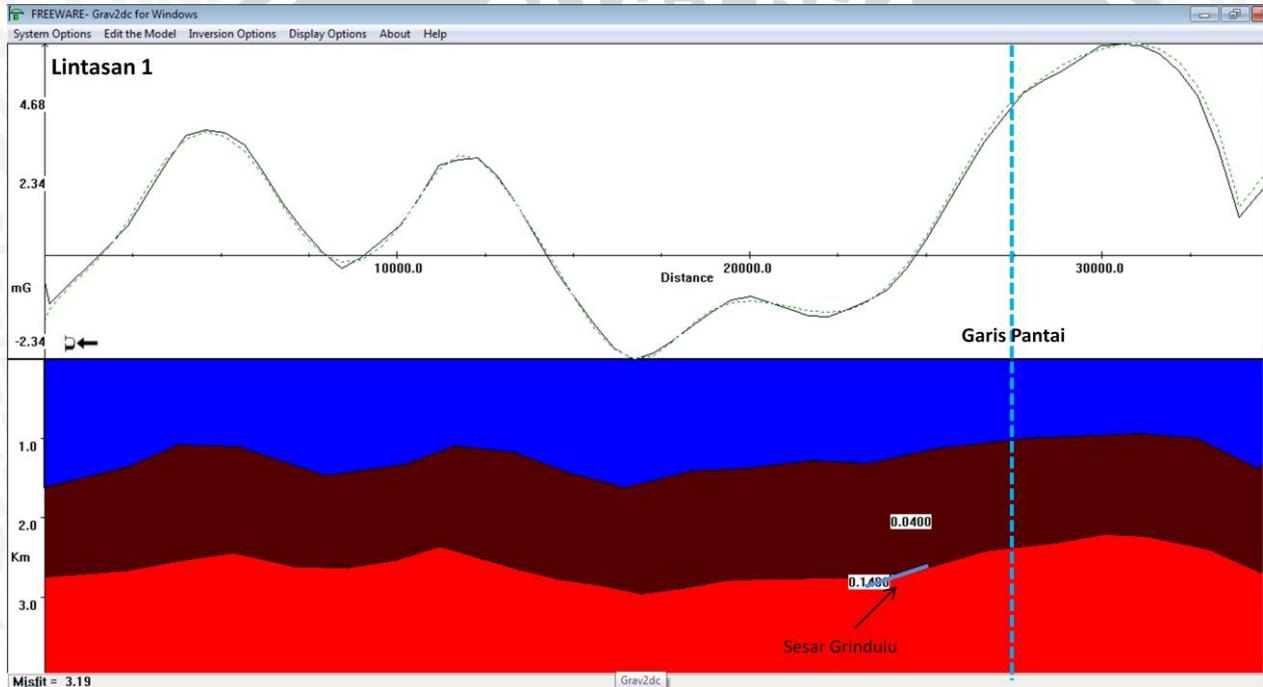
	(Tms)	breksi batuapung		
		batu pasir tufan		1,3-2,0 ~-1,9
		batu lempung	1,63-2,6 ~-2,21	clay wet 2,21
10	Formasi Arjosari (Toma)	konglomerat aneka bahan		2,48
		batu pasir	1,7-2,4 ~-2,0	sand wet 2,0±0,05
		batu lanau		1,93
		batu gamping	1,93-2,9 ~-2,55	Limestone wet 2,55
		batu lempung	1,63-2,6 ~-2,21	clay wet 2,21
		napal pasiran		2,0-2,4 ~-2,3
		batu pasir berbatu apung		
		Breksi gunung api		
		lava	2,8-3,0 ~-2,9	
		tuff		1,3
		11	Formasi Watupatok (Tomw)	Lava
sisipan batu pasir	1,7-2,3 ~-2,0			sand wet 2,0±0,05
batu lempung	1,63-2,6 ~-2,21			clay wet 2,21
rinjang				2,7±0,04
12	Formasi Mandalika (Tomm)	Perselingan Breksi gunung api		
		lava	2,8-3,0 ~-2,9	
		tuff		1,3
		berisikan batu pasir tufan		1,3-2,0 ~-1,9
		batu lanau		1,93
		batu lempung	1,63-2,6 ~-2,21	clay wet 2,21
13	Batuan trobosan (an da ba di)	andesit	2,4-2,8 ~-2,61	2,61±0,2
		dasit basal		2,58±0,23
		basal	2,7-3,3 ~-2,99	2,704-2,915
		diorit	2,72-2,99 ~-2,850	2,85±0,14

Lampiran 3 Sumber ekuivalen titik massa

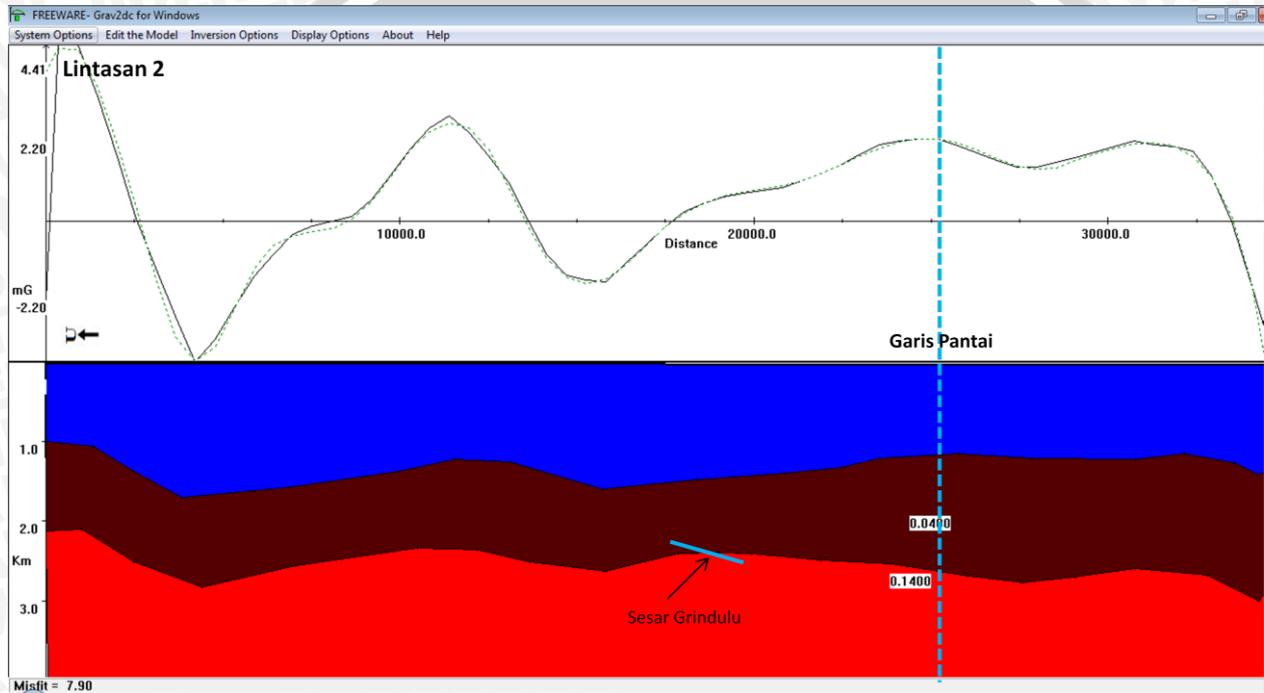


Gambar L. 1 Prinsip kerja metode sumber ekuivalen titik massa

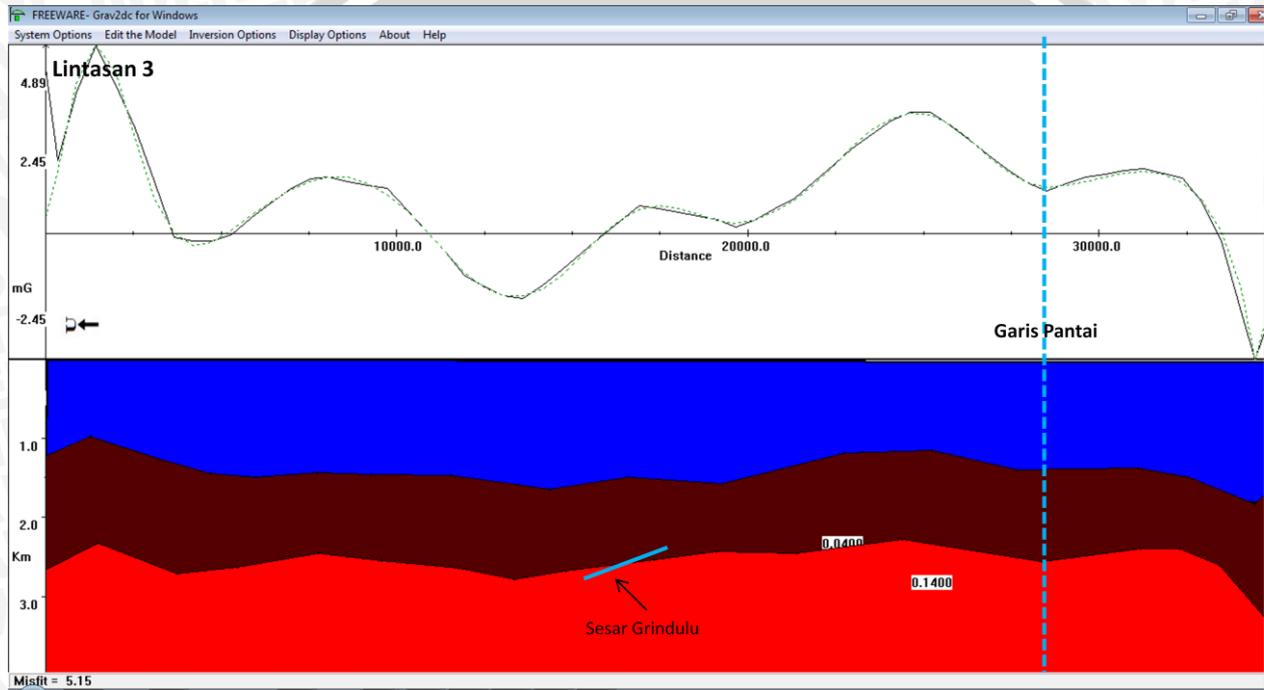
Lampiran 4 Model 2,5D bawah permukaan semua lintasan (8 lintasan garis X dan 5 lintasan garis Y)



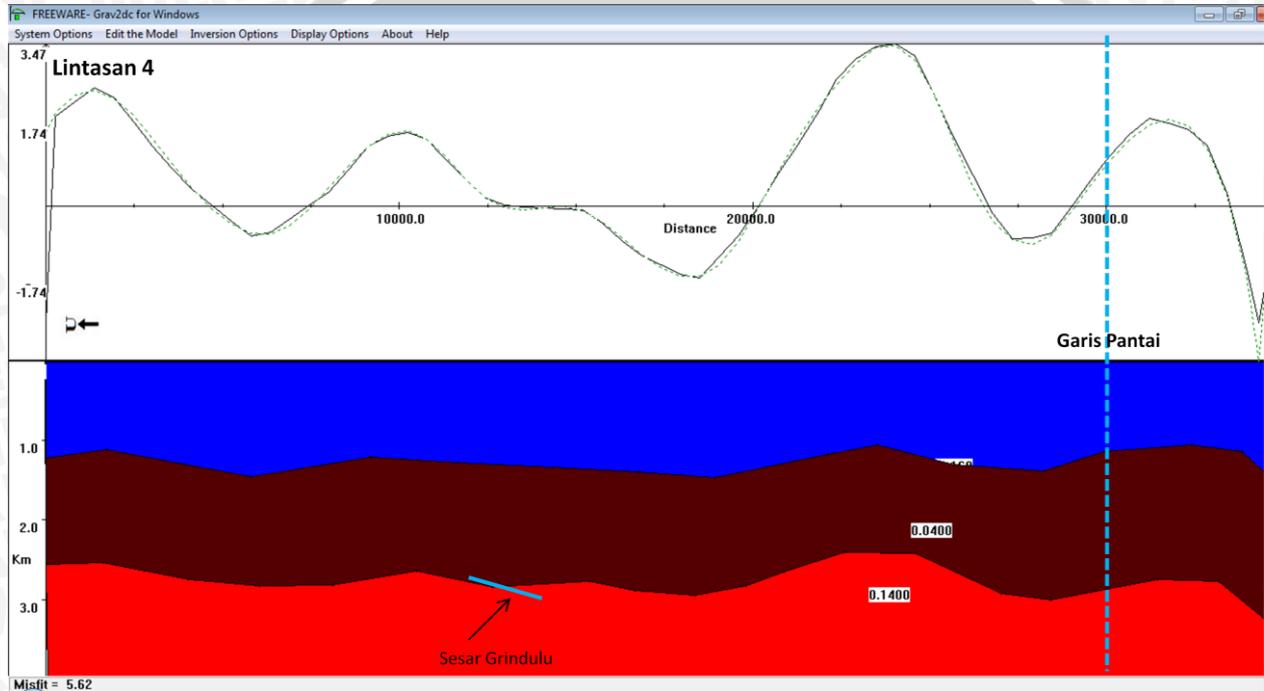
Gambar L. 2 Model 2,5D bawah permukaan lintasan 1



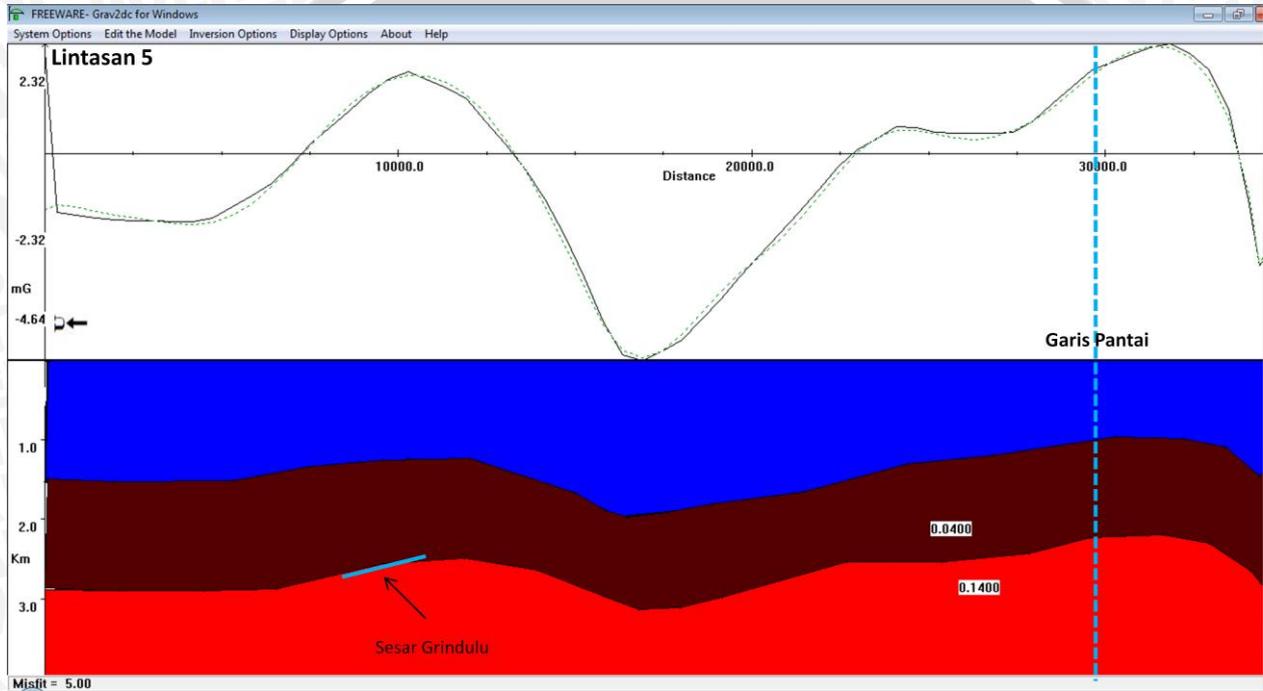
Gambar L. 3 Model 2,5D bawah permukaan lintasan 2



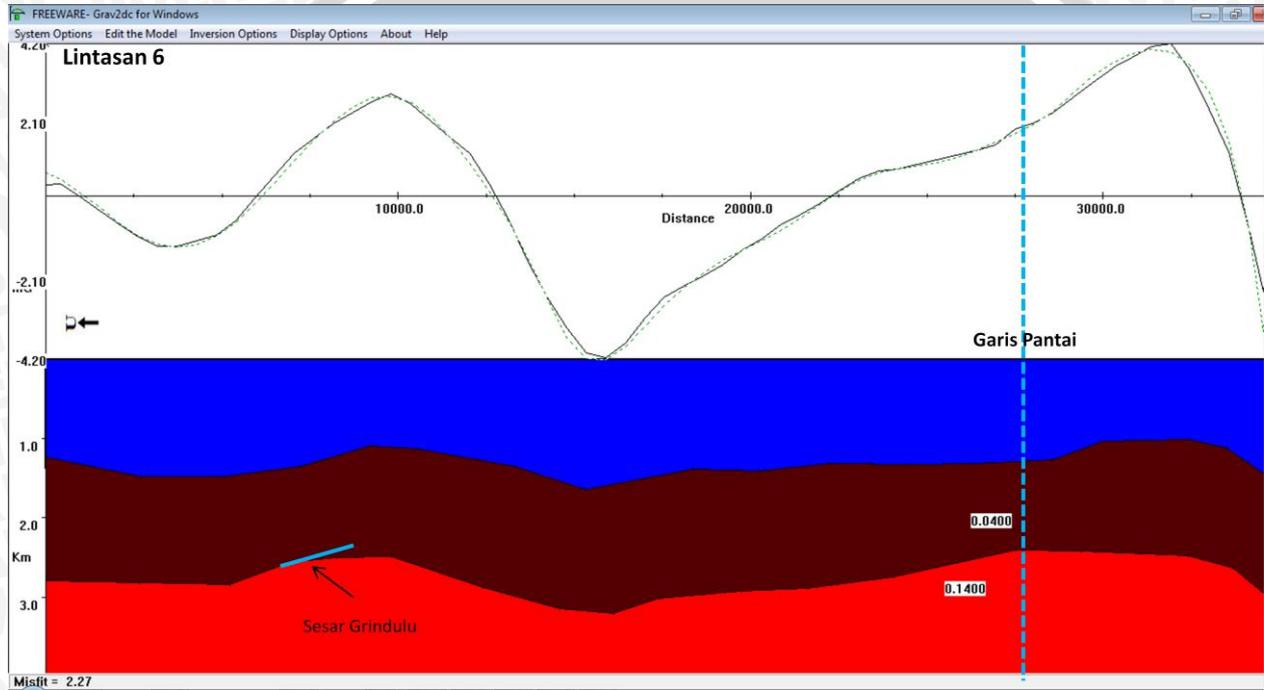
Gambar L. 4 Model 2,5D bawah permukaan lintasan 3



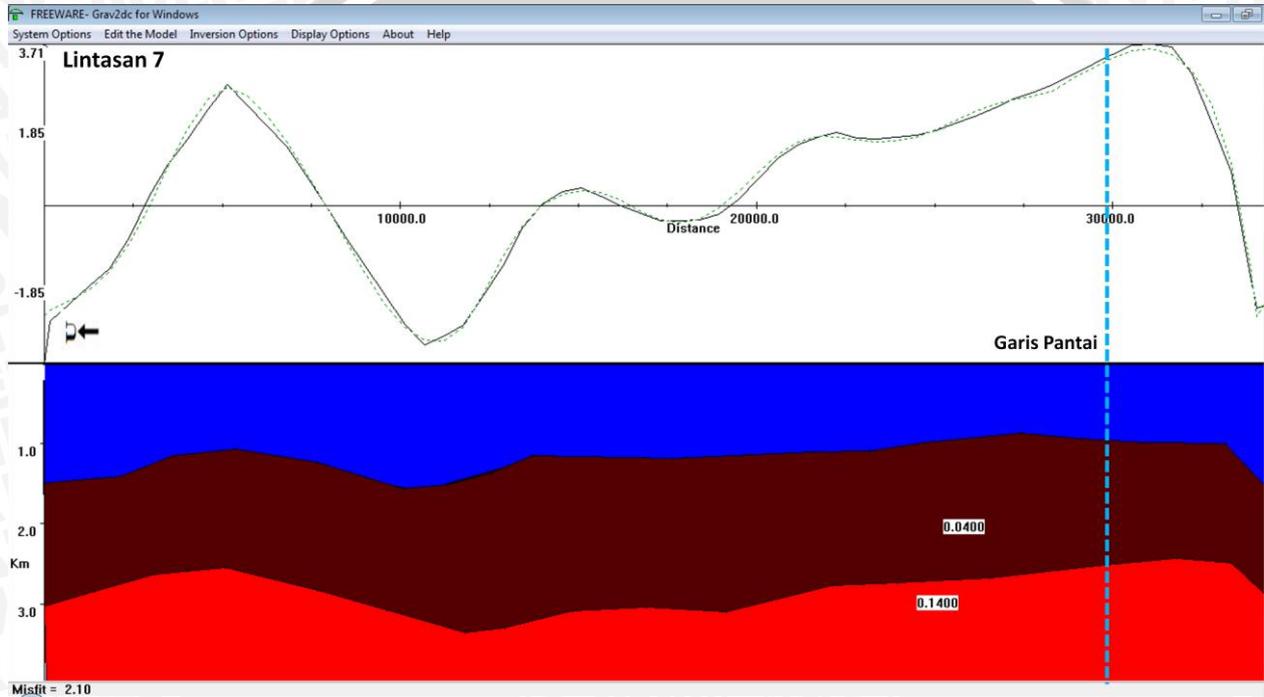
Gambar L. 5 Model 2,5D bawah permukaan lintasan 4



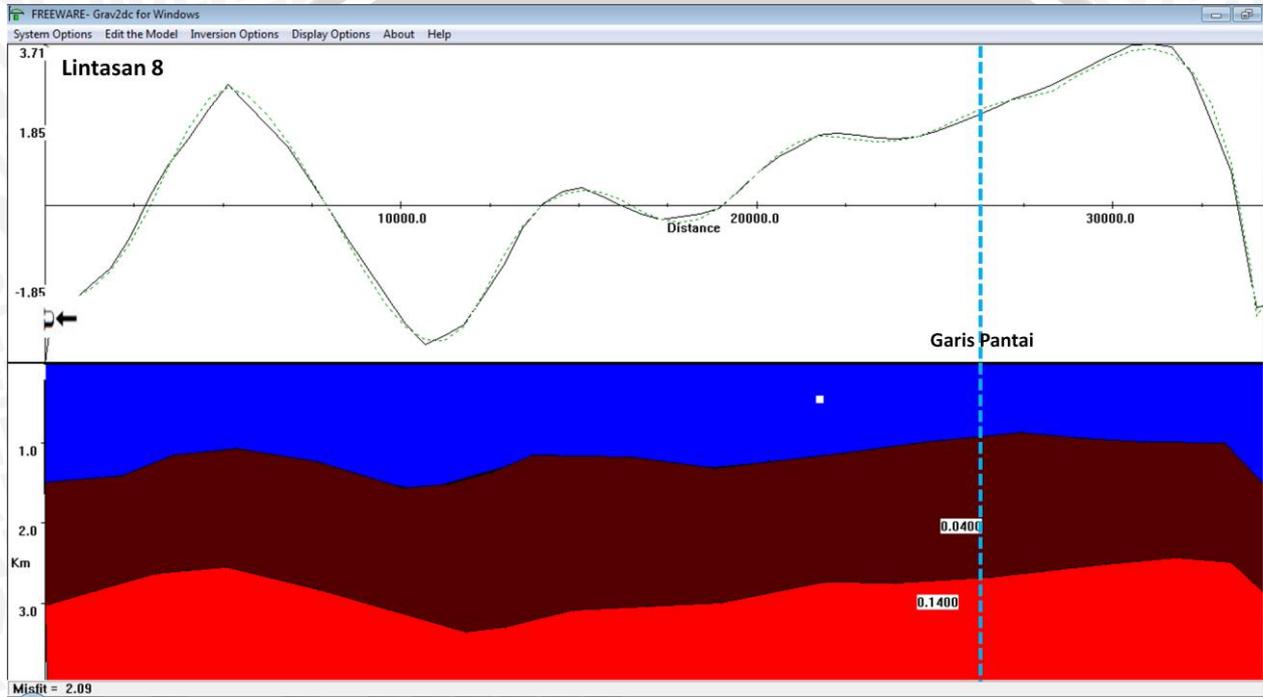
Gambar L. 6 Model 2,5D bawah permukaan lintasan 5



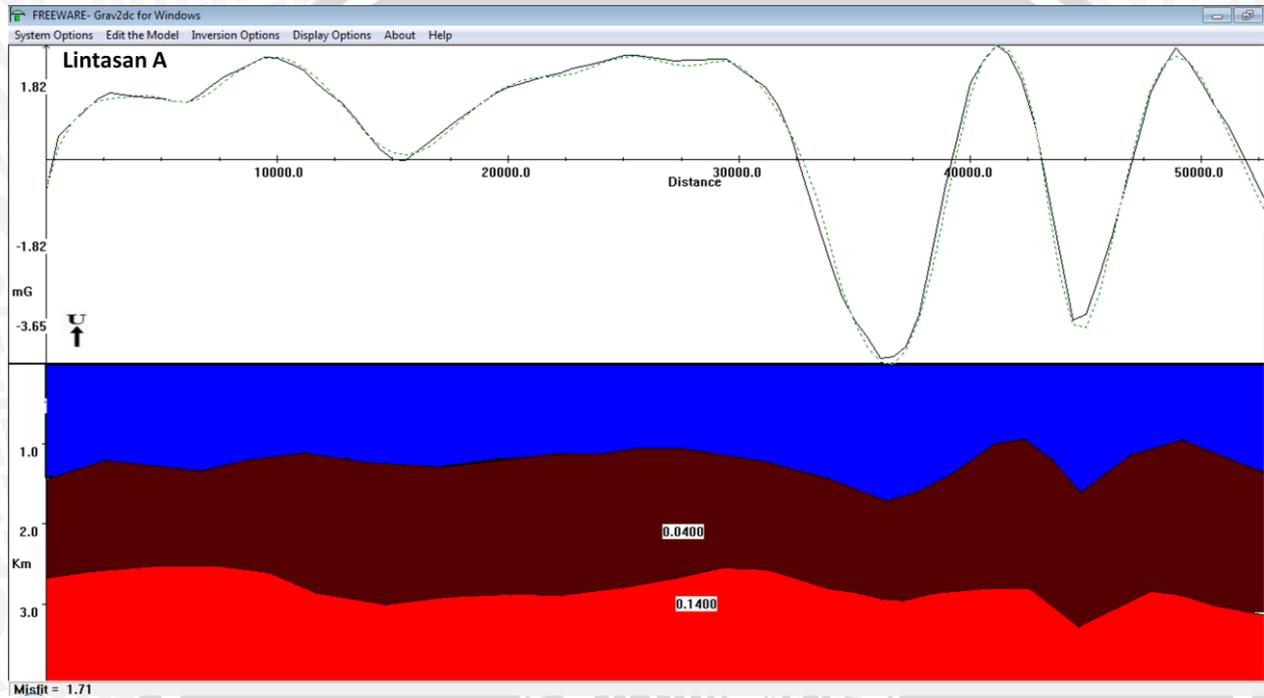
Gambar L. 7 Model 2,5D bawah permukaan lintasan 6



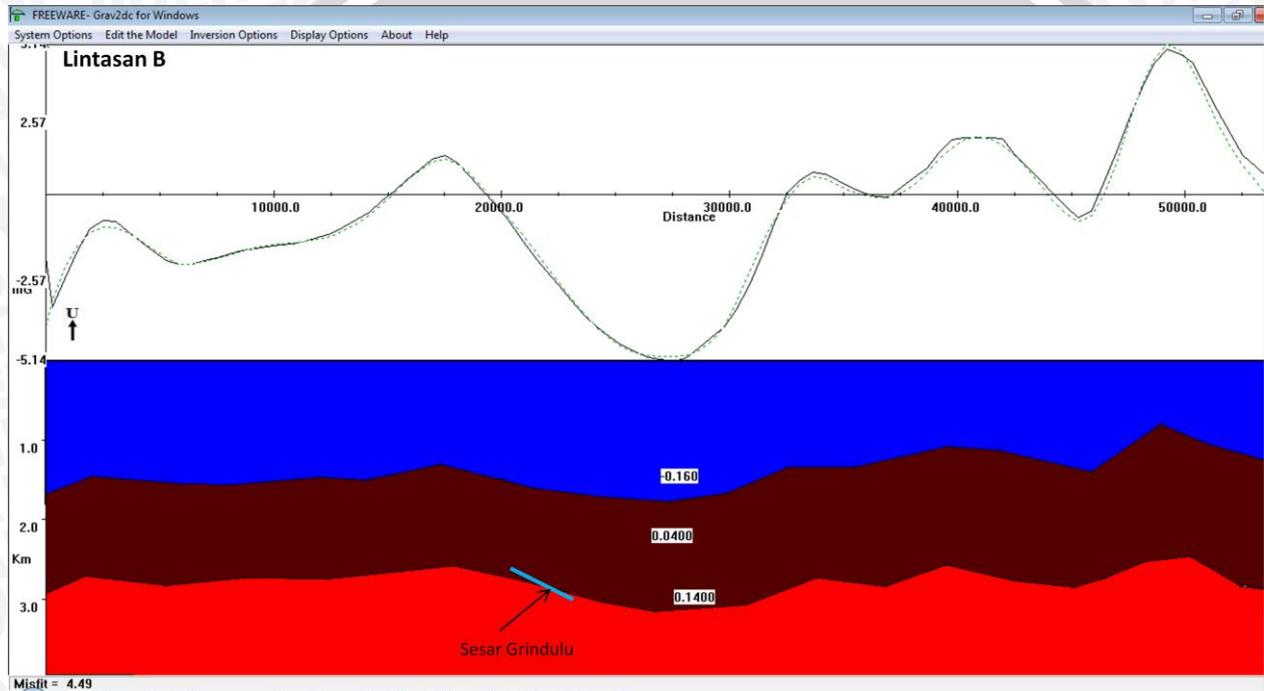
Gambar L. 8 Model 2,5D bawah permukaan lintasan 7



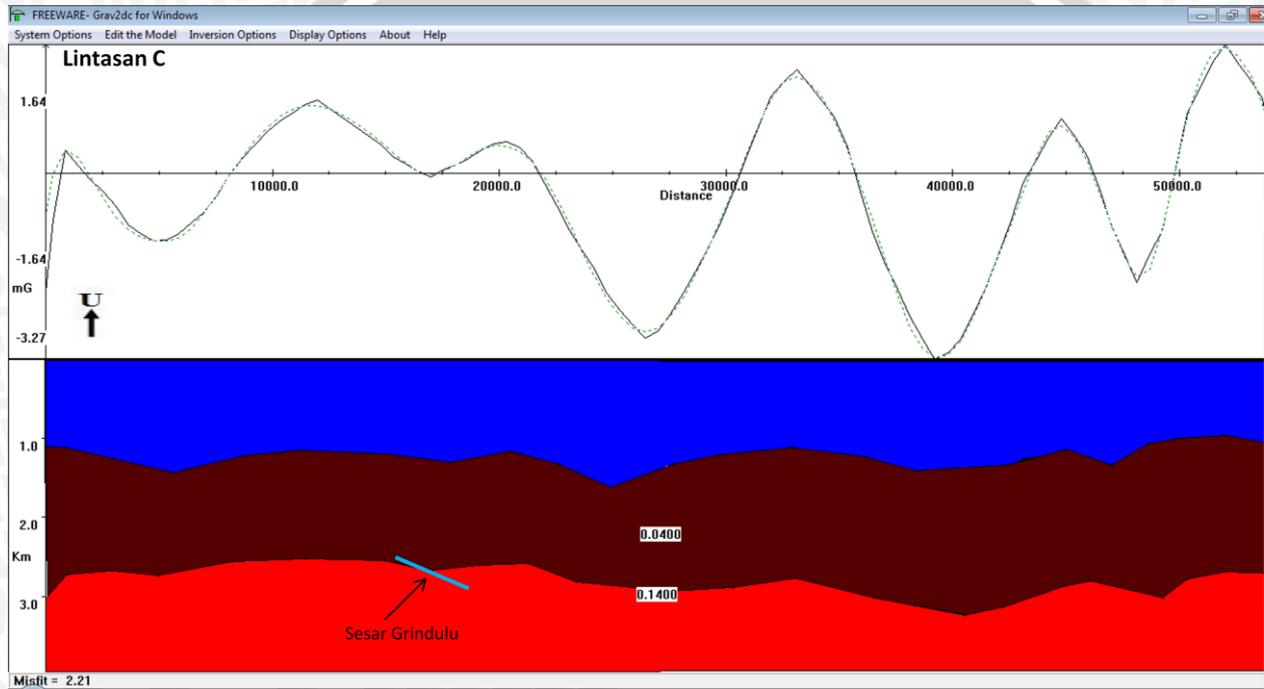
Gambar L. 9 Model 2,5D bawah permukaan lintasan 8



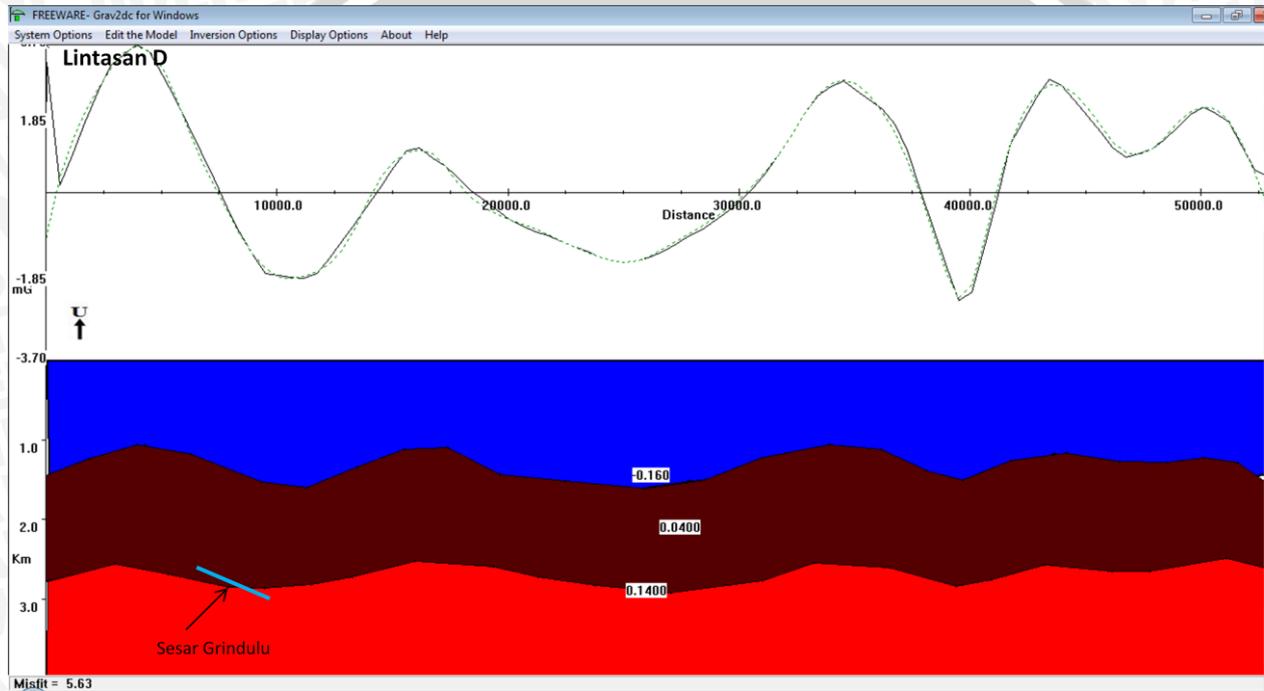
Gambar L. 10 Model 2,5D bawah permukaan lintasan A



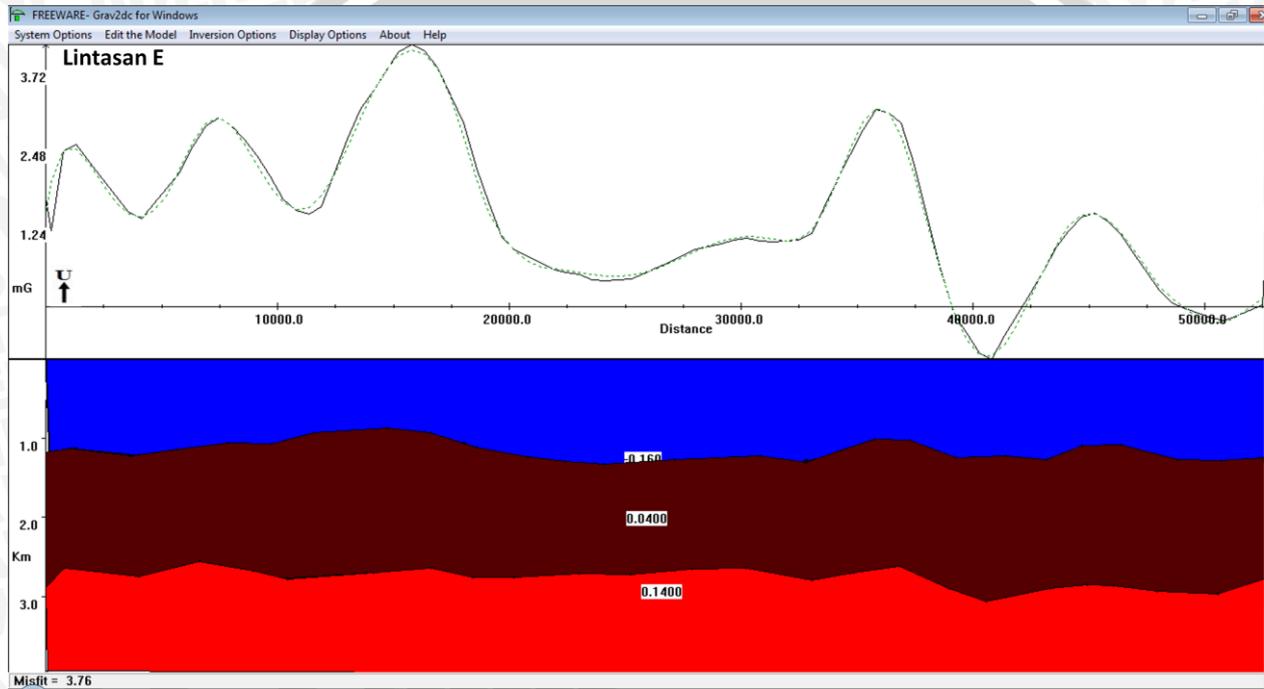
Gambar L. 11 Model 2,5D bawah permukaan lintasan B



Gambar L. 12 Model 2,5D bawah permukaan lintasan C



Gambar L. 13 Model 2,5D bawah permukaan lintasan D

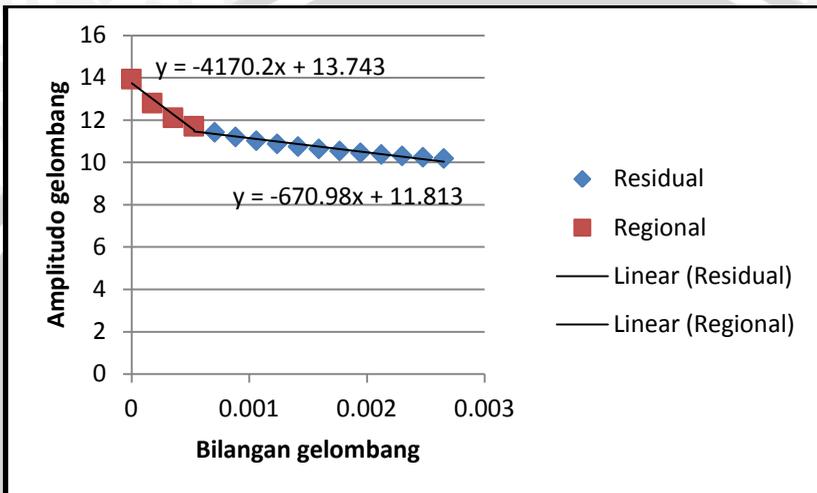


Gambar L. 14 Model 2,5D bawah permukaan lintasan E

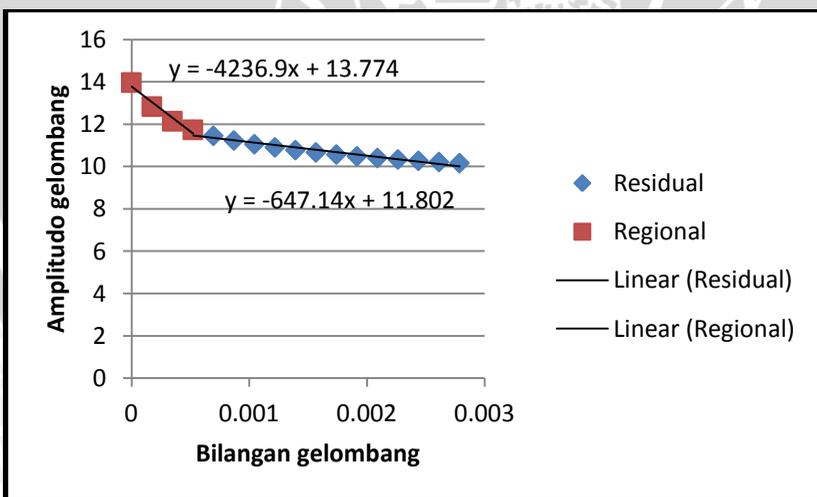
Lampiran 5 Scrib Program Matlab untuk Reduksi Bidang Datar (Laboratorium Geofisika Universitas Brawijaya)

```
load('xyzg555.txt');
x=xyzg555(:,1);
y=xyzg555(:,2);
z=-xyzg555(:,3);
g=xyzg555(:,4);
dx=input('interval grid : ');
G=6.6732e-11;
h=input('kedalaman bidang ekuivalen : ');
p=input('ketinggian p : ');
upw=-p;
xa=xyzg555(:,1);
ya=xyzg555(:,2);
alfa=xa;
beta=ya;
N=length(x);
Y=length(xa);
tol=input('toleransi kesalahan : ');
maxit= ('iterasi maksimum : ');
for i=1:N;
    for j=1:N;
        Ma1=i;
        a(i,j)=G*(h-z(i))/((x(i)-alfa(j))^2+(y(i)-
beta(j))^2+(z(i)-h)^2)^1.5;
        end;
    end;
meq=inv(a)*g;
gp=a*meq;
eror=sum(abs(gp-g))/N;
for i=1:Y;
    for j=1:N;
        Ma2=i;
        b(i,j)=G*(h-upw)/((xa(i)-x(j))^2+(ya(i)-
y(j))^2+(upw-h)^2)^1.5;
        end;
    end;
gupw=b*meq;
gbidtar=[x y gupw];
save 555ekil387.txt gbidtar -ascii;
```

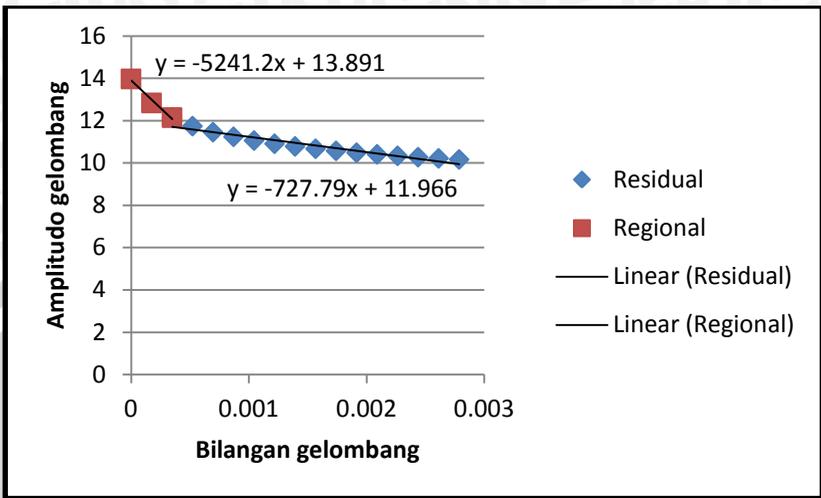
Lampiran 6 Grafik hubungan antara amplitudo dan bilangan gelombang yang digunakan dalam mengestimasi kedalaman sumber anomali



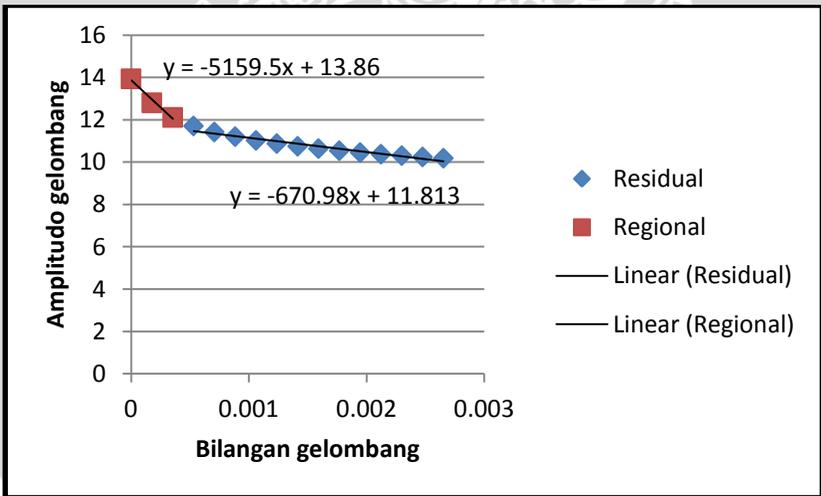
Gambar L. 15 Grafik hubungan nilai bilangan gelombang dan amplitudo pada lintasan 1



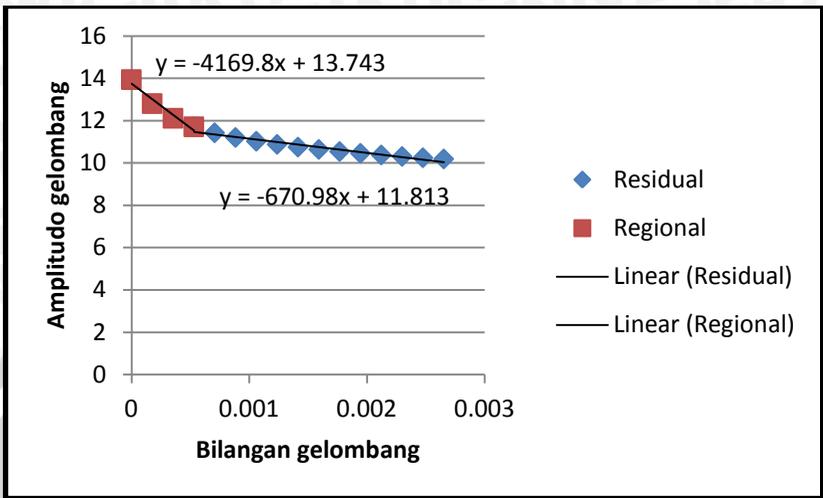
Gambar L. 16 Grafik hubungan nilai bilangan gelombang dan amplitudo pada lintasan 2



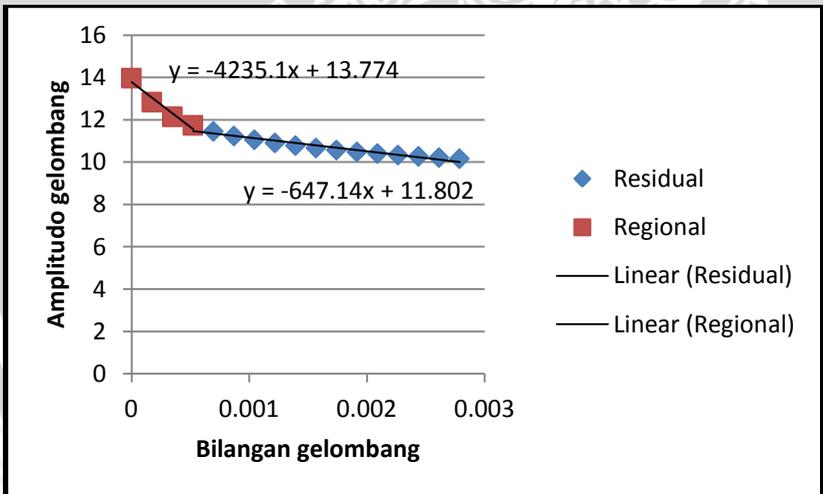
Gambar L. 17 Grafik hubungan nilai bilangan gelombang dan amplitudo pada lintasan 3



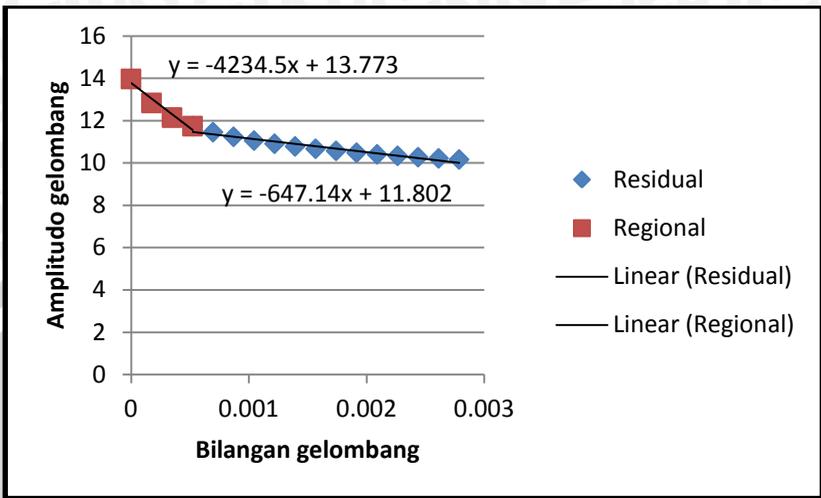
Gambar L. 18 Grafik hubungan nilai bilangan gelombang dan amplitudo pada lintasan 4



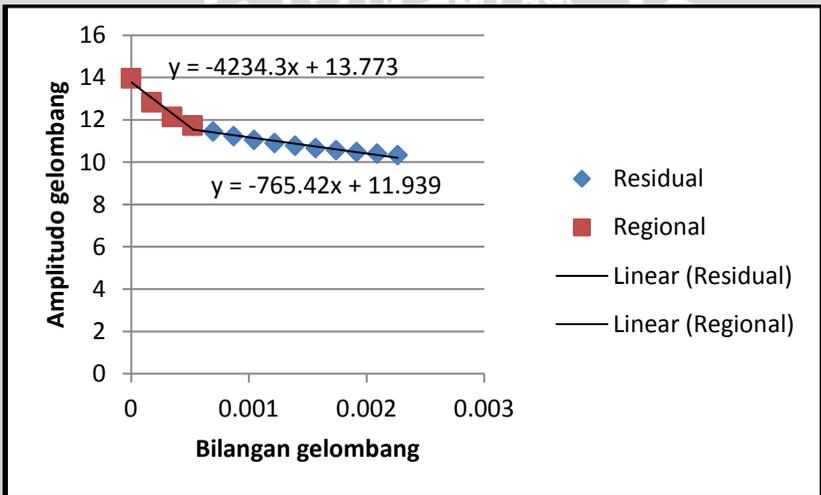
Gambar L. 19 Grafik hubungan nilai bilangan gelombang dan amplitudo pada lintasan 5



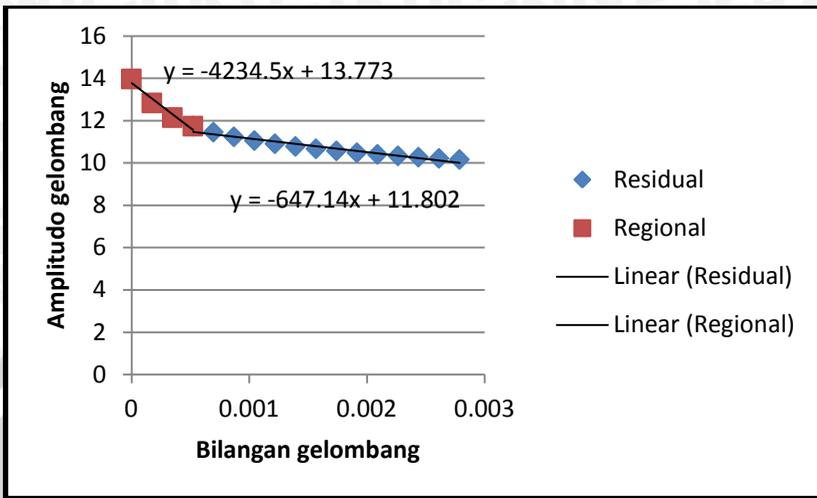
Gambar L. 20 Grafik hubungan nilai bilangan gelombang dan amplitudo pada lintasan 6



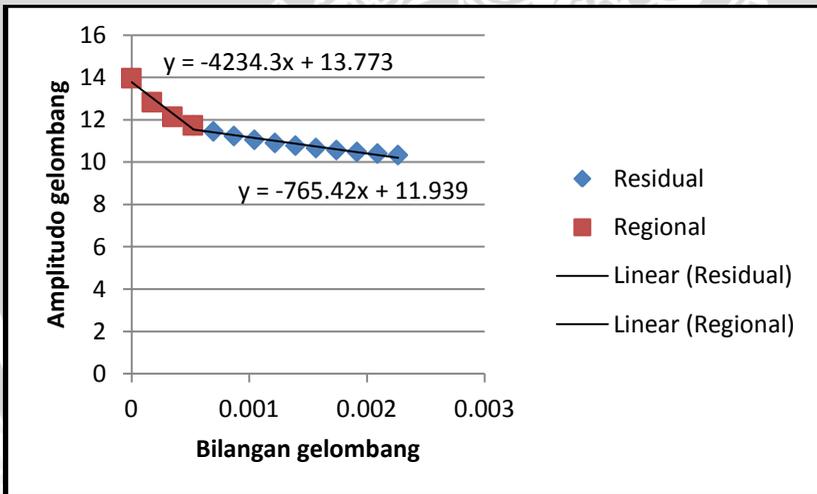
Gambar L. 21 Grafik hubungan nilai bilangan gelombang dan amplitudo pada lintasan 7



Gambar L. 22 Grafik hubungan nilai bilangan gelombang dan amplitudo pada lintasan 8



Gambar L. 23 Grafik hubungan nilai bilangan gelombang dan amplitudo pada lintasan 9



Gambar L. 24 Grafik hubungan nilai bilangan gelombang dan amplitudo pada lintasan 10

Lampiran 7 Perhitungan lebar window pada metode moving average

Tabel L. 3 Tabel Perhitungan lebar *window*

Lintasan	Gradien		Konstanta		$m_1 - m_2$	$c_2 - c_1$	titik cut off (c)	Lebar jendela	
	m_1	m_2	c_1	c_2				w	w_{bulat}
slice 10	-2939.7	-603.68	13.494	11.728	-2336.02	-1.766	0.00075599	14.98123	15
slice 9	-4234.1	-647.14	13.773	11.802	-3586.96	-1.971	0.00054949	20.61112	21
slice 8	-4234.34	-765.42	13.773	11.939	-3468.92	-1.834	0.00052869	21.42183	21
slice 7	-4234.5	-647.14	13.773	11.802	-3587.36	-1.971	0.00054943	20.61342	21
slice 6	-4235.1	-647.14	13.774	11.802	-3587.96	-1.972	0.00054962	20.60641	21
slice 5	-4169.8	-670.98	13.743	11.813	-3498.82	-1.93	0.00055161	20.53175	21
slice 4	-5159.5	-670.98	13.86	11.813	-4488.52	-2.047	0.00045605	24.83402	25
slice 3	-5241.2	-727.79	13.891	11.966	-4513.41	-1.925	0.00042651	26.55435	27
slice 2	-4236.9	-647.14	13.774	11.806	-3589.76	-1.968	0.00054823	20.65865	21
slice 1	-4170.2	-670.98	13.743	11.813	-3499.22	-1.93	0.00055155	20.5341	21
Rata-rata							0.00054672	20.71568	21.4

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

