

**PEMODELAN DAN ANALISA STRUKTUR BAWAH PERMUKAAN
DAERAH PROSPEK PANASBUMI KEPAHIANG
BERDASARKAN METODE GAYABERAT**

(Skripsi)

Oleh

**ROY BRYANSON SIHOMBING
1015051010**



**KEMENTERIAN RISET TEKNOLOGI DAN PENDIDIKAN TINGGI
UNIVERSITAS LAMPUNG
FAKULTAS TEKNIK
JURUSAN TEKNIK GEOFISIKA
2017**

ABSTRACT

MODELING AND ANALYSIS OF STRUCTURE SUB-SURFACE OF THE REGIONS GEOTHERMAL PROSPECT KEPAHANG BASED ON GRAVITY METHOD

By

ROY BRYANSON SIHOMBING

Research has been conducted in Kepahiang area using gravity data with the aim of identify faults based on analysis of the *Second Vertical Derivative* (SVD) and interpreting structure sub-surface of the based on 3D inverse modelling from Bouguer anomaly and residual anomaly. The research area have an Bouguer anomaly between 38 mGal - 74 mGal, where the high Bouguer anomaly value has a value range of 63,2 mGal - 74 mGal located in the southwest direction of the research area. Whereas the low Bouguer anomaly value has a range of values 38 mGal - 47 mGal located in the north of the research area. To know the existence of fault structure in research area, conducted filtering *Second Vertical Derivative* (SVD) on the map Bouguer anomaly, regional and residual. The structure faulting is shown with contour of zero and between the contours of high and low. From the analysis of SVD complete anomaly Bouguer and SVD residual anomaly there are 8 (eight) faulting, while from SVD regional anomaly there are 4 (four) fault. 3D inversion modeling of the residual anomaly was done to prove the existence of the fault analyzed based on filtering *Second Vertical Derivative* (SVD). Based on the results of inversion 3D residual anomaly been gained one (1) reservoir in a northern direction research area and two (2) in the direction of west the research area by a contrast the density of $-0,0719356 \text{ gr/ cm}^3$ until $-0,236053 \text{ gr/ cm}^3$ with a depth of 0 meters up to 4.705 meters.

Keywords: 3D inverse modelling, geothermal, gravity, Kepahiang, SVD.

ABSTRAK

PEMODELAN DAN ANALISA STRUKTUR BAWAH PERMUKAAN DAERAH PROSPEK PANASBUMI KEPAHIANG BERDASARKAN METODE GAYABERAT

Oleh

ROY BRYANSON SIHOMBING

Telah dilakukan penelitian di daerah Kepahiang menggunakan data gayaberat dengan tujuan mengidentifikasi patahan berdasarkan analisis *Second Vertical Derivative* (SVD) dan menafsirkan struktur bawah permukaan berdasarkan model inversi 3D dari anomali Bouguer dan anomali residual. Daerah penelitian memiliki anomali Bouguer antara 38 mGal – 74 mGal, dimana nilai anomali Bouguer tinggi memiliki rentang nilai 63,2 mGal – 74 mGal yang berada di arah barat daya daerah penelitian. Sedangkan nilai anomali Bouguer rendah memiliki rentang nilai 38 mGal – 47 mGal yang berada di arah utara daerah penelitian. Untuk mengetahui keberadaan struktur patahan di daerah penelitian, dilakukan filtering *Second Vertical Derivative* (SVD) pada peta anomali Bouguer, Regional dan Residual. Pola struktur patahan ditunjukkan dengan kontur bernilai nol dan diapit kontur tinggi dan rendah. Dari hasil analisis SVD anomali Bouguer lengkap dan SVD anomali residual terdapat 8 (delapan) patahan, sedangkan dari SVD anomali regional terdapat 4 (empat) patahan. Pemodelan inversi 3D anomali residual dilakukan untuk membuktikan keberadaan patahan yang dianalisis berdasarkan filtering *Second Vertical Derivative* (SVD). Berdasarkan hasil inversi 3D anomali residual didapatkan satu (1) reservoir di arah utara daerah penelitian dan dua (2) di arah barat daerah penelitian dengan kontras densitas dari $-0,0719356 \text{ gr/cm}^3$ sampai $-0,236053 \text{ gr/cm}^3$ dengan kedalaman dari 0 meter sampai 4.705 meter.

Kata Kunci: gayaberat, Kepahiang, model inversi 3D, panasbumi, SVD.

**PEMODELAN DAN ANALISA STRUKTUR BAWAH PERMUKAAN
DAERAH PROSPEK PANASBUMI KEPAHIANG
BERDASARKAN METODE GAYABERAT**

Oleh

ROY BRYANSON SIHOMBING

Skripsi
Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNIK

Pada

Jurusan Teknik Geofisika
Fakultas Teknik Universitas Lampung



**KEMENTERIAN RISET TEKNOLOGI DAN PENDIDIKAN TINGGI
UNIVERSITAS LAMPUNG
FAKULTAS TEKNIK
JURUSAN TEKNIK GEOFISIKA
2017**

**Judul Skripsi : PEMODELAN DAN ANALISA STRUKTUR
BAWAH PERMUKAAN DAERAH PROSPEK
PANASBUMI KEPAHIANG BERDASARKAN
METODE GAYABERAT**

Nama Mahasiswa : Roy Bryanson Sihombing

Nomor Pokok Mahasiswa : 1015051010

Jurusan : Teknik Geofisika

Fakultas : Teknik

MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing

Pembimbing I

Pembimbing II

Dr. Muh. Sarkowi, S.Si., M.Si.

NIP 19711210 199702 1 001

Rustadi, S.Si., M.T.

NIP 19720511 199703 1 002

2. Ketua Jurusan Teknik Geofisika

Dr. Ahmad Zaenudin, S.Si., M.T.

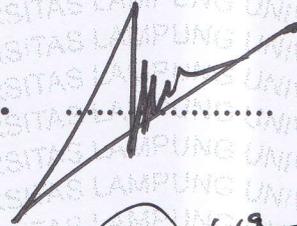
NIP 19720928 199903 1 001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua

: Dr. Muh. Sarkowi, S.Si., M.Si.



Sekretaris

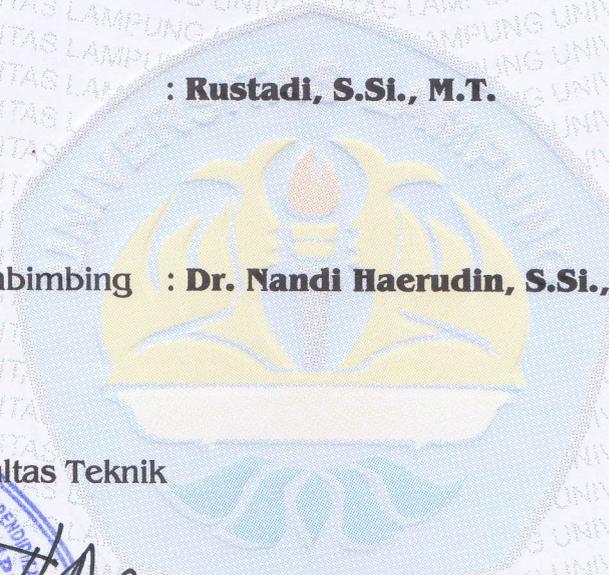
: Rustadi, S.Si., M.T.



Penguji

Bukan Pembimbing

: Dr. Nandi Haerudin, S.Si., M.Si.



2. Dekan Fakultas Teknik



Prof. Drs. Suharno, S.Si., M.Sc., Ph.D.

NIP 19620717 198703 1 002



Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 31 Oktober 2017

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah dilakukan orang lain, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini sebagaimana disebutkan dalam daftar pustaka, selain itu saya menyatakan juga bahwa skripsi ini dibuat oleh saya sendiri.

Apabila pernyataan saya ini tidak benar maka saya bersedia dikenai sanksi sesuai dengan hukum yang berlaku.

Bandarlampung, 31 Oktober 2017

Penulis,



Roy Bryanson Sihombing

RIWAYAT HIDUP



Nama lengkap penulis adalah Roy Bryanson Sihombing. Penulis dilahirkan di H. A. Genting, pada tanggal 03 Mei 1992, sebagai anak ketiga dari tiga bersaudara, dari Bapak J. Sihombing dan Ibu M. Simamora.

Penulis memulai pendidikan di Sekolah Dasar Swasta Santa Maria Doloksanggul dan lulus pada tahun 2004 setelah itu melanjutkan pendidikan ke Sekolah Menengah Pertama Negeri 02 Doloksanggul dan lulus pada tahun 2007. Pada tahun 2010 lulus dari Sekolah Menengah Atas Negeri 01 Doloksanggul dan melanjutkan kuliah di Teknik Geofisika Universitas Lampung. Pada tahun 2017 penulis telah menyelesaikan skripsi dengan judul **”PEMODELAN DAN ANALISA STRUKTUR BAWAH PERMUKAAN DAERAH PROSPEK PANASBUMI KEPAHANG BERDASARKAN METODE GAYABERAT”** dan telah dinyatakan lulus pada tahun tersebut.

Selama menjadi mahasiswa penulis mengikuti organisasi baik internal maupun eksternal kampus antara lain, Unit Kegiatan Mahasiswa Kristen (UKM-K) Universitas Lampung sebagai anggota pada tahun 2010. Forum Komunikasi Mahasiswa Kristen Fakultas Teknik (FKMK-FT) sebagai anggota pada tahun 2010. Gerakan Mahasiswa Kristen Indonesia (GMKI) sebagai anggota pada tahun 2011. Himpunan Mahasiswa Geofisika Indonesia (HMGI) sebagai anggota

pada tahun 2011. HIMA TG BHUWANA sebagai anggota di bidang SBM pada periode tahun 2011-2012. Komisariat Pertanian - Teknik di biro Penelitian dan Pengembangan Gerakan Mahasiswa Kristen Indonesia (GMKI) Cabang Bandarlampung sebagai pengurus periode tahun 2011-2012. HIMA TG BHUWANA sebagai anggota di bidang Kaderisasi pada periode tahun 2012-2013. Penulis juga pernah melaksanakan kerja praktek pada Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi (PVMBG), Kementrian ESDM pada tahun 2014.

*Dengan memanjatkan puji syukur
kepada Tuhan yang Maha Esa*

*Kupersembahkan karya pertamaku ini
untuk keluarga besar yang selalu
mendukung dan menyayangiku*



*Sahabat-sahabat yang selalu setia
menemani dalam suka maupun duka*

MOTTO

"Sai marhaposan tu JAHOWA ma ho jala ulahon na denggan;
inganhon ma tano i jala radoti haburjuon."
(Psalmen 37:3)

"MATA GURU, ROHA SISEAN"

Ai JAHOWA do na marbasabasahon hapistaran,
sian pamanganna do ro parbinotoan dohot habisuhon.
(Poda 2:6)

SANWACANA

Penulis mengucapkan puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa atas berkat dan kasih karunia-Nya sehingga penulisan skripsi berjudul “**Pemodelan dan Analisa Struktur Bawah Permukaan Daerah Prospek Panasbumi Kepahiang Berdasarkan Metode Gayaberat**” ini dapat terselesaikan. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Jurusan Teknik Geofisika Universitas Lampung.

Dalam penulisan skripsi ini penulis menyadari bahwa skripsi ini dapat berjalan dan selesai berkat bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, mulai dari awal perkuliahan sampai penyusunan skripsi. Oleh karena itu pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan banyak terimakasih kepada:

1. Kedua orangtua penulis J. Sihombing dan M. Simamora yang selalu mendoakan dan memberikan semangat kepada penulis selama masa perkuliahan sampai penyusunan skripsi ini.
2. Abang Marco Michelson Sihombing dan Hendri Danielson Sihombing yang selalu mendukung penulis dalam menyelesaikan perkuliahan dan penyusunan skripsi ini.
3. Kakak Pintauli Simanjuntak yang selalu mendukung penulis dalam menyelesaikan perkuliahan dan penyusunan skripsi ini.

4. Bapak Prof. Dr. Suharno, M.S., M.Sc., Ph.D., selaku dekan Fakultas Teknik yang mengajarkan banyak ilmu pengetahuan dan pembaharuan dalam Fakultas Teknik.
5. Bapak Dr. Ahmad Zaenudin, S.T., M.T., selaku ketua Jurusan Teknik Geofisika, dosen pembimbing kerja praktek yang telah membantu membimbing dalam perkuliahan dan juga dalam kerja praktek.
6. Bapak Dr. Muh. Sarkowi, S.Si., M.Si., selaku pembimbing I yang telah memberikan pengarahan dan koreksi sehingga saya dapat menyelesaikan skripsi ini.
7. Bapak Rustadi, S.Si., M.T., selaku pembimbing akademis, dosen pembimbing II yang telah membantu membimbing dalam perkuliahan dan dengan sabar mengoreksi serta memberikan bimbingan pada skripsi saya.
8. Bapak Nandi Haerudin, S.Si, M.Si, selaku dosen penguji yang telah banyak memberikan masukan untuk skripsi saya.
9. Seluruh dosen dan staf Jurusan Teknik Geofisik Unila yang tidak bisa saya sebutkan satu persatu, terimakasih untuk semua ilmu, jasa dan kesabarannya yang telah diberikan.
10. Bang Ryan Tanjung Priseptian dan Ryan Hidayat yang telah membantu dan membagi ilmunya untuk skripsi ini.
11. Teman-teman Teknik Geofisika Universitas Lampung angkatan 2010 (TG Mania'10) yang telah menjadi teman dalam perkuliahan, saya sangat bersyukur atas kesempatan untuk mengenal kalian semua dan terimakasih telah memberikan banyak kenangan.

12. Kakak angkatan 2007, 2008, dan 2009 yang telah membagikan ilmu dan pengalamannya selama masa perkuliahan.
13. Adik angkatan 2011, 2012, 2013, 2014, 2015 dan 2016 yang telah memberikan partisipasi dan bantuannya untuk menyelesaikan skripsi ini.
14. Semua pihak yang tidak dapat penulis ucapkan satu persatu yang memberikan dukungan dan motivasi kepada penulis.

Semoga Tuhan Yang Maha Esa membalas semua bantuan dari semua pihak tersebut di atas dengan sebaik-baiknya. Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan dalam penulisan skripsi ini. Oleh karena itu penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun demi perbaikan mendatang. Penulis juga berharap laporan skripsi ini membawa manfaat positif bagi kita semua.

Bandar Lampung, Oktober 2017
Penulis

Roy Bryanson Sihombing

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRACT	i
ABSTRAK	ii
LEMBAR PERSETUJUAN	iv
LEMBAR PENGESAHAN	v
PERNYATAAN	vi
RIWAYAT HIDUP	vii
PERSEMBAHAN	ix
MOTTO	x
SANWACANA	xi
DAFTAR ISI	xiv
DAFTAR TABEL	xvii
DAFTAR GAMBAR	xviii
I. PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Tujuan Penelitian	3
1.3. Batasan Masalah	3
1.4. Manfaat Penelitian	4
II. TINJAUAN PUSTAKA	
2.1. Lokasi Daerah Penelitian	5
2.2. Geologi Regional	6
2.3. Statigrafi	9
2.3.1. Statigrafi tersier	10

2.3.2. Stratigrafi kuartar	11
2.4. Geomorfologi	12
2.5. Manifestasi Panasbumi	12

III. TEORI DASAR

3.1. Metode Gayaberat	14
3.2. Konsep Dasar Metode Gayaberat	14
3.2.1. Gaya gravitasi (hukum Newton I)	14
3.2.2. Percepatan gravitasi	15
3.2.3. Potensial gravitasi	17
3.3. Sistem Informasi Geografis (SIG)	19
3.3.1. Proyeksi peta	19
3.3.2. Data spasial	20
3.3.3. Digitasi	24
3.4. <i>Complete Bouguer Anomali</i>	24
3.5. Analisis Spektrum	26
3.6. Metode <i>Moving Average</i>	29
3.7. Analisis Derivative	31
3.7.1. Metode <i>horizontal gradient</i>	31
3.7.2. <i>Second vertical derivative (SVD)</i>	32
3.8. Pemodelan Inversi 3D	36
3.9. Sistem Panasbumi	37
3.9.1. Sumber panas (<i>heat source</i>)	40
3.9.2. Fluida panasbumi (<i>geothermal fluid</i>)	41
3.9.3. Reservoir panasbumi (<i>geothermal reservoir</i>)	42
3.9.4. Batuan penudung (<i>cap rock</i>)	42
3.10. Aplikasi Metode Gayaberat pada Eksplorasi Panasbumi	45

IV. METODOLOGI PENELITIAN

4.1. Tempat dan Waktu Penelitian	46
4.2. Alat dan Bahan	47
4.3. Prosedur Penelitian	47
4.3.1. Pengolahan data	47
4.3.2. Filtering data anomali	47
4.3.3. Analisis <i>second vertical derivatif (SVD)</i>	48
4.3.4. Pemodelan bawah permukaan	49
4.4. Diagram Alir	49

V. HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1. Topografi	51
5.2. Anomali Bouguer	52

5.3. Analisis Spektrum	53
5.4. Moving Average	58
5.4.1. Anomali regional	58
5.4.2. Anomali residual	59
5.5. <i>Second Vertical Derivatif</i> (SVD)	60
5.6. Pemodelan Inversi 3D Anomali Bouguer	66
5.7. Analisis Struktur Patahan Berdasarkan Model 3D dan Peta SVD	67
5.8. Analisis Sistem Panasbumi	73

VI. KESIMPULAN DAN SARAN

6.1. Kesimpulan	78
6.2. Saran	79

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
Tabel 1. Macam-macam koefisien filter SVD	34
Tabel 2. Perbedaan karakteristik antara prospek panasbumi di Jawa-Bali dan Sumatera	39
Tabel 3. Jadwal kegiatan	46
Tabel 4. Hasil perhitungan analisis spektrum masing-masing <i>line</i>	58

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
Gambar 1. Peta lokasi daerah penelitian	6
Gambar 2. Peta geologi daerah panasbumi Kepahiang	9
Gambar 3. Gaya tarik menarik antara dua benda	15
Gambar 4. Potensial massa pada 3D	18
Gambar 5. Prinsip proyeksi dari bidang lengkung muka bumi ke bidang datar kertas	20
Gambar 6. Data raster	22
Gambar 7. Data vektor	22
Gambar 8. Kurva Ln A terhadap K	29
Gambar 9. Ilustrasi <i>moving average</i> 2-D jendela 5x5	30
Gambar 10. Nilai gradien horizontal pada model tabular	32
Gambar 11. Respon analisa SVD pada struktur geologi	36
Gambar 12. Sistem panasbumi daerah vulkanik	38
Gambar 13. Peta sebaran volkanik aktif di Indonesia dan zona tumbukan lempeng benua Eurasia dan Indo-Australia	39
Gambar 14. Model tentatif panasbumi Kepahiang	44
Gambar 15. Diagram alir	50
Gambar 16. Peta topografi daerah penelitian	51
Gambar 17. Peta anomali Bouguer daerah penelitian	52
Gambar 18. Peta lintasan analisis spektrum anomali Bouguer	54
Gambar 19. Grafik analisis spektrum A-A'	55
Gambar 20. Grafik analisis spektrum B-B'	56
Gambar 21. Grafik analisis spektrum C-C'	56
Gambar 22. Grafik analisis spektrum D-D'	57
Gambar 23. Peta anomali regional daerah penelitian	59
Gambar 24. Peta anomali residual daerah penelitian	60
Gambar 25. Peta SVD anomali Bouguer lengkap dan yang <i>dioverlay</i> terhadap peta geologi	63
Gambar 26. Peta SVD anomali regional dan yang <i>dioverlay</i> terhadap peta geologi	64
Gambar 27. Peta SVD anomali residual dan yang <i>dioverlay</i> terhadap peta geologi	65
Gambar 28. Model 3D dari anomali Bouguer lengkap tampak arah (a) Barat, (b) Timur, (c) Selatan dan (d) Utara	66
Gambar 29. Struktur patahan yang terletak di arah barat dan barat daya pada peta SVD anomali Residual dan model 3D anomali residual	69
Gambar 30. Struktur patahan yang terletak di arah barat dan bagian tengah pada peta SVD anomali Residual dan model 3D anomali	

residual	70
Gambar 31. Struktur patahan yang terletak di arah utara pada peta SVD anomali residual dan model 3D anomali residual	71
Gambar 32. Struktur patahan yang terletak di arah timur laut pada peta SVD anomali residual dan model 3D anomali residual	72
Gambar 33. Model 3D dari anomali Bouguer lengkap tampak arah (a) Barat, (b) Timur, (c) Selatan, (d) Utara dan (e) Diagonal	74
Gambar 34. Model 3D distribusi densitas hasil inversi anomali residual daerah penelitian yang diduga sebagai reservoir	75
Gambar 35. Model tentatif sistem panasbumi daerah penelitian	77

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Kebutuhan dunia yang meningkat akan energi sekarang ini serta ditambah dengan terbatasnya jumlah minyak dan gas bumi yang tersedia merupakan permasalahan yang harus dicari solusinya. Salah satu cara untuk menyelesaikan permasalahan ini adalah dengan menggunakan energi alternatif yaitu energi panasbumi sebagai pengganti minyak dan gas bumi. Berbeda dengan minyak dan gas bumi, panasbumi merupakan sumber energi yang relatif bersih dan dapat diperbaharui.

Panasbumi (*geothermal*) adalah sumber daya alam berupa air panas atau uap yang terbentuk di dalam reservoir bumi melalui pemanasan air bawah permukaan oleh batuan panas. Sekitar 40% cadangan energi panasbumi (*geothermal*) dunia terletak di bawah tanah Indonesia, maka negara ini diperkirakan memiliki cadangan-cadangan energi geotermal terbesar di dunia dan karena itu memiliki potensi tinggi untuk sumber energi terbarukan.

Energi panasbumi telah dimanfaatkan untuk pembangkit listrik di Italy sejak tahun 1913 dan di New Zealand sejak tahun 1958. Saat ini energi panasbumi telah dimanfaatkan untuk pembangkit listrik di 24 negara, termasuk Indonesia. Di Indonesia usaha pencarian sumber energi panasbumi pertama kali dilakukan di

daerah kawah Kamojang pada tahun 1918. Dari tahun 1926 hingga tahun 1929, lima sumur eksplorasi berhasil dibuat, sampai saat ini salah satu dari sumur tersebut, yaitu sumur KMJ-3 masih memproduksi uap panas kering atau *dry steam*.

Di Indonesia terdapat 217 prospek panasbumi, yaitu di sepanjang jalur vulkanik mulai dari bagian barat Sumatera, terus ke Pulau Jawa, Bali, Nusatenggara dan kemudian membelok ke arah utara melalui Maluku dan Sulawesi. beberapa daerah prospek baru sehingga jumlahnya meningkat menjadi 256 prospek, yaitu 84 prospek di Sumatera, 76 prospek di Jawa, 51 prospek di Sulawesi, 21 prospek di Nusatenggara, 3 prospek di Irian, 15 prospek di Maluku dan 5 prospek di Kalimantan. Sistem panasbumi di Indonesia umumnya merupakan sistem hidrothermal yang mempunyai temperatur tinggi ($> 225^{\circ}\text{C}$), hanya beberapa diantaranya yang mempunyai temperatur sedang ($150 - 225^{\circ}\text{C}$).

Dalam pencarian dan eksplorasi sumber energi panasbumi, metode geofisika memiliki peranan yang sangat penting. Metode geofisika dimanfaatkan dalam menentukan konfigurasi struktur geologi dan komposisi bawah permukaan dengan menggunakan parameter fisika. Salah satu metode yang sering digunakan adalah metode gayaberat. Metode gayaberat digunakan untuk mengetahui kondisi bawah permukaan bumi dengan cara mengukur variasi medan gayaberat bumi. Adanya suatu sumber yang berupa suatu massa di bawah permukaan akan menyebabkan terjadinya gangguan medan gayaberat, gangguan medan gayaberat ini disebut sebagai anomali gayaberat (Suhadiyatno, 2008).

Penelitian ini menggunakan metode gayaberat yang dilakukan di daerah panasbumi Kepahiang, Provinsi Bengkulu. Dimana daerah panasbumi Kepahiang

secara tektonik berada pada busur magmatik yang terletak di sebelah barat Pulau Sumatera. Dalam eksplorasi panasbumi, metode gayaberat dapat mendeteksi perbedaan densitas batuan di bawah permukaan yang membentuk suatu sistem panasbumi. Pada penelitian ini dilakukan pemodelan inversi 3D anomali Bouguer dan melakukan filter *Second Vertical Derivative* (SVD) anomali Bouguer, anomali Bouguer residual untuk mengetahui struktur patahan dan model 3D sistem panasbumi beserta karakteristik sistem panasbumi daerah Kepahiang.

1.2. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengidentifikasi patahan di daerah penelitian berdasarkan analisis *Second Vertical Derivative* (SVD).
2. Menafsirkan struktur bawah permukaan berdasarkan model inversi 3D anomali Bouguer dan residual.

1.3. Batasan Masalah

Dalam penelitian terdapat beberapa batasan masalah yaitu:

1. Data yang digunakan merupakan data sekunder gayaberat yakni anomali Bouguer.
2. Identifikasi struktur patahan pada *Second Vertical Derivatif* (SVD).
3. Analisis struktur bawah permukaan secara 3D berdasarkan hasil dari pemodelan inversi gayaberat 3D di daerah Kepahiang.

1.4. Manfaat Penelitian

Penelitian ini memberikan informasi struktur bawah permukaan daerah Kepahiang yang dapat digunakan sebagai referensi penelitian lanjutan dan sebagai data pendukung dalam pengembangan daerah panasbumi Kepahiang.

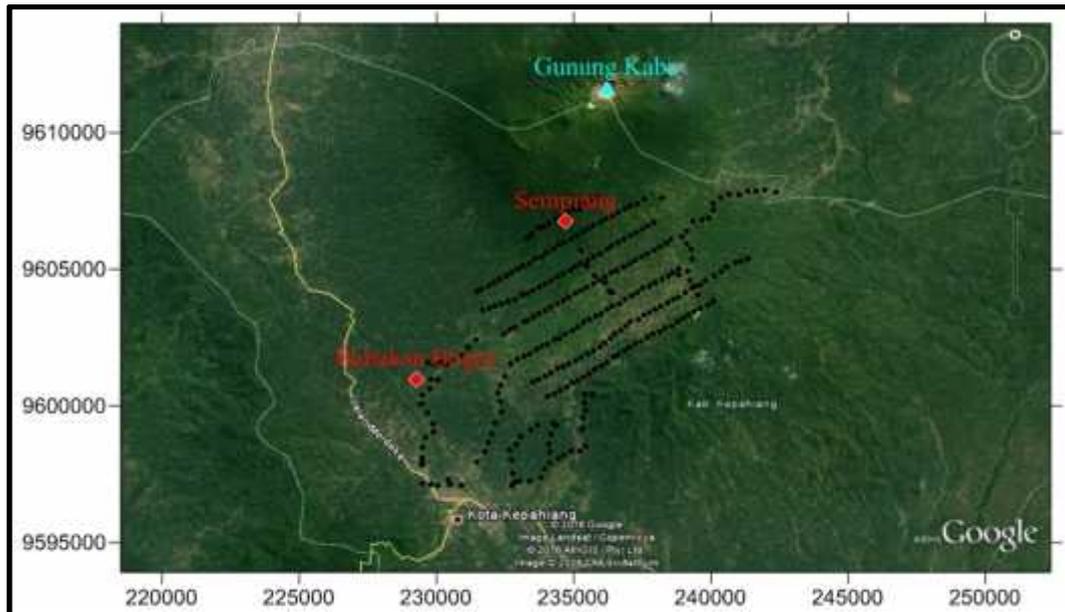
II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Lokasi Daerah Penelitian

Kabupaten Kepahiang memiliki luas wilayah \pm 66.500 Ha, yang terletak pada posisi $101^{\circ} 55' 19''$ - $103^{\circ} 01' 29$ Bujur Timur dan $02^{\circ} 43'07''$ - $03^{\circ} 46' 48''$ Lintang Selatan. Kabupaten Kepahiang memiliki batas wilayah sebagai berikut:

- Sebelah Utara berbatasan dengan Kecamatan Curup, Kecamatan Sindang Kelingi dan Kecamatan Padang Ulak Tanding Kabupaten Rejang Lebong
- Sebelah Timur berbatasan dengan Kecamatan Ulu Musi Empat Lawang, Provinsi Sumatera Selatan
- Sebelah Selatan berbatasan dengan Kecamatan Taba Penanjung, Kabupaten Bengkulu Tengah
- Sebelah Barat berbatasan dengan Kecamatan Pagar Jati, Kabupaten Bengkulu Tengah dan Kecamatan Bermani Ulu, Kabupaten Rejang Lebong.

Gambar 1. menunjukkan daerah penelitian yang berada di Kabupaten Kepahiang, Provinsi Bengkulu.



Gambar 1. Peta lokasi daerah penelitian.

2.2. Geologi Regional

Lokasi Gunung Kaba berada pada busur magmatik jalur Sumatera sejajar dengan arah sesar Sumatera. Berdasarkan data regional daerah penyelidikan diapit oleh dua cekungan, yaitu cekungan Sumatera Selatan dan cekungan Bengkulu yang didominasi oleh batuan sedimen berumur Tersier. Mengacu pada data tersebut maka diperkirakan batuan dasar di daerah penyelidikan merupakan batuan sedimen.

Secara garis besar Komplek Gunungapi Kaba terbagi menjadi 2 bagian, yaitu produk erupsi Kaba Tua dan produk erupsi Kaba Muda yang dikelilingi oleh produk gunungapi lain, seperti Bukit Lumut di barat laut, Taba Penanjung di barat daya dan Bukit Malintang di tenggaranya. Catatan sejarah menyatakan bahwa umur dari masing – masing produk vulkanik adalah Kuartar Awal, sampai saat ini Gunung Kaba masih menunjukkan aktivitas vulkanik dan kegempaan.

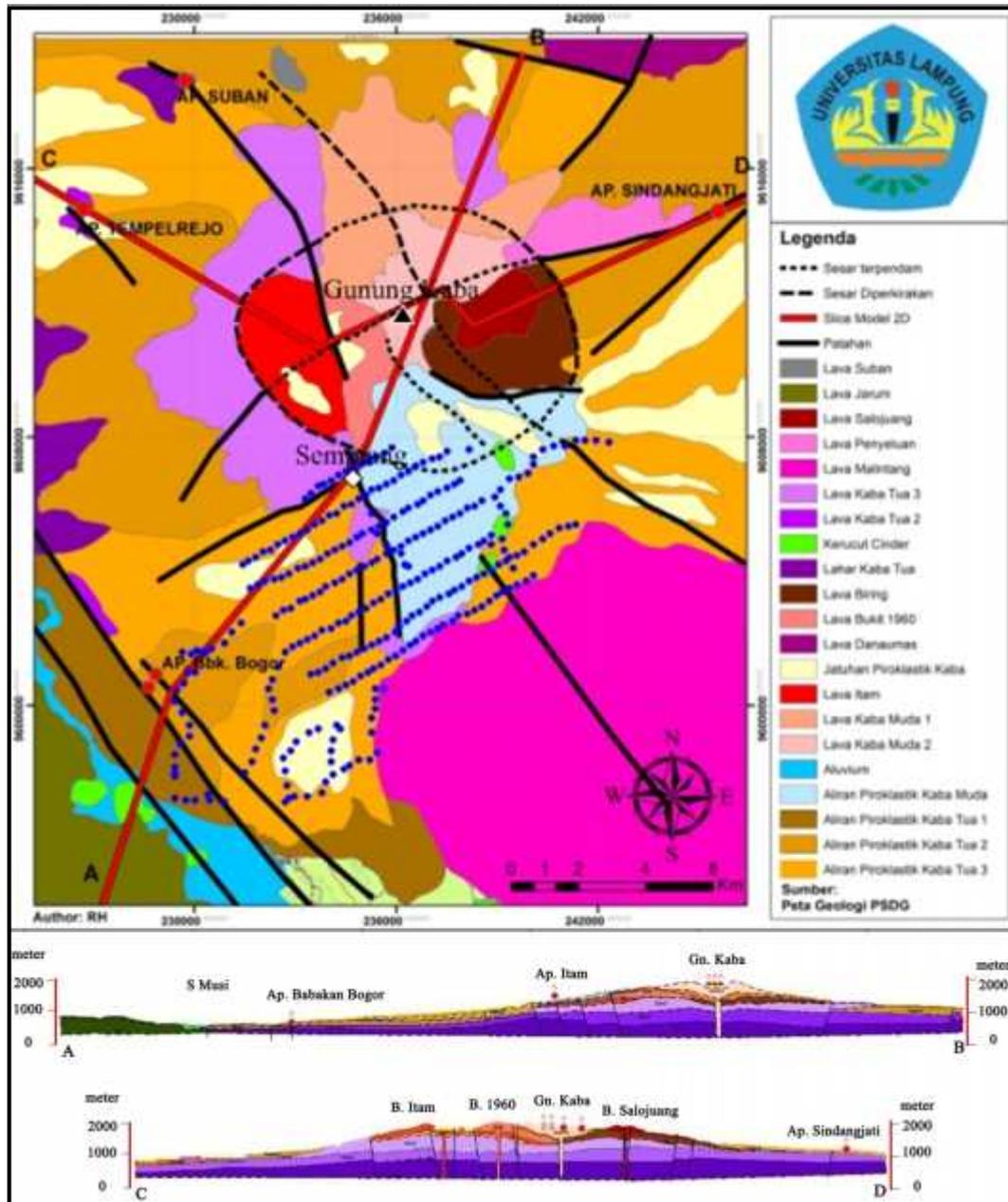
Gunung Kaba memiliki ketinggian hingga 1952 mdpl dengan bentuk kerucut terpancung dengan struktur stratovulkano yang ditandai oleh perselingan antara lava dan piroklastik yang cukup tebal. Status saat ini diklasifikasikan sebagai gunungapi aktif tipe A.

Sejarah pembentukan Gunung Kaba diawali pada Kuartar Awal, berupa erupsi yang bersifat eksplosif yang menghasilkan produk lava Kaba Tua I hingga III dan produk piroklastik aliran maupun jatuhan. Seiring dengan aktivitas tektonik yang berkembang di daerah Sumatera pada Kala tersebut, di daerah Gunung Kaba mengalami letusan hebat yang membentuk rim kaldera seperti yang ditunjukkan pada peta di bagian barat dan timur Komplek Kaba. Data tersebut didukung dengan ditemukannya pumis dan skorea berukuran bom hingga lapili di daerah Kampung Bogor dan sekitarnya. Pelamparan skoria dalam jumlah yang luas juga mendukung akan terbentuknya letusan kuat dengan volume piroklastik yang cukup besar.

Setelah terjadi letusan besar yang membentuk pola rim kaldera terjadi kekosongan dan rekahan yang cukup intensif. Sesar – sesar yang berarah barat laut – tenggara seperti sesar Kaba dan sesar Sempiang memfasilitasi terjadinya erupsi magmatik berikutnya dari mulai produk Bukit Itam, Bukit 1960, Biring, Salojuang dan Gunung Kaba yang berarah hampir barat – timur (63°) sesuai dengan arah sesar Itam. Masing masing produk tersebut berada di dalam rim kaldera Komplek Kaba sedangkan sesar Bandung Baru yang berkembang pada tubuh Kaba bagian selatan memfasilitasi munculnya kerucut – kerucut sinder seperti yang dijumpai di daerah Kepahiang Indah.

Catatan erupsi terakhir yang diperoleh dari data Direktorat Vulkanologi menyatakan bahwa pada tahun 1951 terjadi letusan yang menghasilkan kawah Volgesang di sisi timur Komplek Kaba. Tahun 2002 terjadi letusan abu dan hidrotermal erupsi di Kawah Kaba Besar. Sampai saat ini tidak ditemukan adanya pembentukan lava baru sebagai ciri dari aktivitas magmatik, tapi masih terjadi letusan – letusan hidrotermal kecil di Kawah Kaba Besar. Hal tersebut mencerminkan telah terbentuknya sistem hidrotermal di kawasan tersebut.

Data geologi daerah panasbumi Kepahiang menunjukkan adanya batuan yang memiliki sifat *impermeable* dengan kandungan mineral lempung jenis montmorilonit, kaolinit yang cukup tinggi pada daerah alterasi di sekitar manifestasi Air Sempiang. Batuan alterasi yang terbentuk merupakan tipe argilik hingga argilik lanjut. Alterasi tersebut muncul pada aliran piroklastik dan lava produk Gunung Kaba. Batuan penudung ini berada pada zona struktur sesar Sempiang yang berarah hampir utara selatan. Selain data alterasi, kemungkinan lainnya yang dapat diinterpretasikan sebagai batuan penudung adalah lava muda produk Kaba yang masif dan belum terkekarkan secara kuat. Data geologi daerah panasbumi Kepahiang ditunjukkan pada **Gambar 2**.



Gambar 2. Peta geologi daerah panasbumi Kepahiang (Sugianto, 2011).

2.3. Stratigrafi

Stratigrafi daerah penyelidikan disusun oleh hasil kegiatan 4 pusat sumber erupsi yang terdiri dari: G. Taba Penanjung, G. Malintang, G. Danau Mas dan G. Kaba.

Komplek G. Kaba sedikitnya mempunyai 8 pusat letusan (titik erupsi) dari tua ke muda terdiri dari:

- G. Kaba Tua
- Kerucut-kerucut sinder
- G. Biring
- G. Bukit Itam
- G. Bukit 1960
- G. Salojuang
- G. Penyeluan
- G. Kaba Muda

Berdasarkan pembagian mandala geologi Tersier Pulau Sumatera, daerah Kepahiang terletak di dalam busur magmatik dan nama lajur yang digunakan adalah Lajur Barisan. Stratigrafi Daerah Kepahiang dapat dibagi menjadi dua tahap, yaitu urutan Tersier dan kuarter.

2.3.1. Stratigrafi Tersier

- A. Satuan tertua adalah Formasi Seblat (Toms), berumur Oligosen Tengah - Miosen Akhir. Bagian bawah terdiri dari batu pasir yang sebagian karbonan, batu pasir tufan kayu terkarsikan dan lensa-lensa konglomerat. Bagian tengah terdiri atas selingan batu gamping dan batu lempung. Bagian atas terdiri dari serpih dengan sisipan batu lempung tufan, napal dan konglomerat. Formasi Seblat diendapkan di lingkungan laut dengan kondisi turbidit
- B. Formasi Hulu Simapang (Tomh) berumur Oligosen Akhir – Miosen Tengah. Formasi ini ditemukan setempat di bagian selatan Kepahiang. Formasi Hulu

Simpang terdiri dari lava, breksi gunungapi dan tuf, khas terkloritkan dan terpropiltkan dengan mineralisasi sulfida dan urat-urat kuarsa. Lava andesit basal fenokris plagioklas sebagian berubah menjadi serisit di dalam masa dasar yang mengandung hornblenda. Breksi gunungapi terpilah buruk, komponen menyudut bersusun andesit-basal. Tuf umumnya berlapis baik, berubah kuat, epidotsi dan kloritasi dengan pirit. Setempat berupa tuf padu. Diendapkan di lingkungan peralihan, darat-laut dangkal.

- C. Formasi Gumai (Tmg), berumur Miosen Tengah. Formasi Gumai bagian bawah terdiri atas perselingan serpih, napal dan batu lempung dengan bintil batu lanu dan batu gamping: bagian tengah terdiri atas serpih dan batu lempung dengan sisipan batu lanu dan batu pasir tufan: bagian atas terdiri atas serpih dengan sisipan batu lempung gampingan. Formasi Gumai diendapkan di lingkungan neritik.
- D. Batuan Terobosan Miosin Diorit (TmdI), batuan ini menerobos Formasi Hulu Simpang dan ditindih oleh batuan gunungapi Plistosen. Batuan ini ditafsirkan berumur Miosen Tengah dan merupakan bagian dari jalur pluton regional bersusun diorit yang menerobos sepanjang lereng barat Pegunungan Barisan. Di daerah Kepahiang batuan terobosan Diorit ditemukan setempat dibagian utarabarat.

2.3.2. Stratigrafi Kuarter

Satuan batuan yang ada dalam runtunan. Stratigrafi Kuarter adalah sebagai berikut:

1. Batuan Breksi Gunungapi (Qhv) berumur holosen, terdiri dari breksi gunungapi, tuf bersusun andesit-basal. Daerah Kepahiang sebagian besar didominasi oleh Batuan Breksi Gunungapi.
2. Satuan Batuan Gunungapi (Qv) berumur Plistosen –Holosen, terdiri dari lava bersusun andeist sampai basal, tuf dan breksi lahar.

2.4. Geomorfologi

Geomorfologi daerah penyelidikan dikelompokkan menjadi empat satuan geomorfologi, terdiri dari:

1. Satuan geomorfologi Puncak Kaba
2. Satuan geomorfologi Tubuh (Taba Penanjung, Malintang dan Kaba)
3. Satuan geomorfologi Kaki Kaba
4. Satuan geomorfologi Pedataran.

2.5. Manifestasi Panasbumi

Manifestasi panas bumi daerah Kepahiang terdiri dari fumarol, mata air panas, batuan ubahan dan solfatara. Terdapat dua kelompok manifestasi yaitu:

- Kelompok Sempiang terdapat di hulu sungai airputih daerah Bukit Itam berada pada koordinat UTM zona 48 belahan bumi selatan dengan X : 234.715 mT dan Y : 9.606.757 mS dengan ketinggian 1.286 m dpl. Terdiri dari pemunculan mata air panas, fumarol, dan batuan ubahan. Pada fumarol Sempiang tercium bau H₂S yang sangat kuat, terdapat sublimasi belerang, temperatur tertinggi 94,1°C. Di sekitar fumarol ini terdapat mata air panas

dengan temperatur 94.1°C, temperatur udara 30,1°C, pH = 4,20 dengan debit 30 l/ detik.

- Kelompok Babakan Bogor dijumpai di kampung Babakan Bogor pada koordinat UTM zona 48 belahan bumi selatan dengan **X**: 229.261 mT dan **Y**: 9.600.988 mS pada ketinggian 573 - 604 mdpl. Manifestasi berupa pemunculan 2 mata air panas dengan temperatur 41,3°C, temperatur udara 24,4°C - 27,0°C dengan pH = 5,52 - 6,5 dan debit 2-20 l/ detik. Selain itu di Babakan Bogor, terdapat mata air dingin, muncul pada elevasi 619 m dpl, temperatur 30,1°C, pada temperatur udara 25,0°C dengan pH = 6,22 dan debit 20 l/ detik.

III. TEORI DASAR

3.1. Metode Gayaberat

Metode gayaberat adalah salah satu metode geofisika yang didasarkan pada pengukuran medan gravitasi. Pengukuran ini dapat dilakukan di permukaan bumi, di kapal maupun di udara. Dalam metode ini yang dipelajari adalah variasi medan gravitasi akibat variasi rapat massa batuan di bawah permukaan sehingga dalam pelaksanaannya yang diselidiki adalah perbedaan medan gravitasi dari suatu titik observasi terhadap titik observasi lainnya. Metode gayaberat umumnya digunakan dalam eksplorasi jebakan minyak (*oil trap*). Disamping itu metode ini juga banyak dipakai dalam eksplorasi mineral dan lainnya (Kearey, 2002).

3.2. Konsep Dasar Metode Gayaberat

3.2.1. Gaya Gravitasi (Hukum Newton I)

Teori yang mendukung ilmu gravitasi terapan adalah hukum Newton (1687) yang menyatakan bahwa gaya tarik-menarik antara dua partikel bergantung dari jarak dan massa masing-masing partikel tersebut, yang dinyatakan sebagai berikut:

$$\vec{F}(r) = -G \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

dimana,

$\vec{F}(r)$: Gaya Tarik Menarik (N)

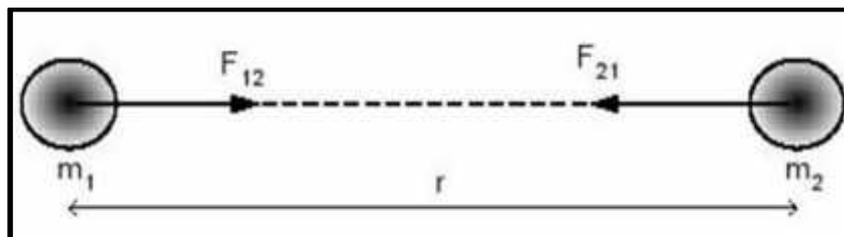
m_1, m_2 : Massa benda 1 dan massa benda 2 (kg)

r : Jarak antara dua buah benda (m)

G : Konstanta Gravitasi Universal ($6,67 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-2}$)

Tanda minus muncul karena gaya yang timbul selalu gaya tarik dan gaya aksi-reaksi.

Gambar 3. menunjukkan adanya gaya tarik-menarik antara dua partikel pada jarak dan massa masing-masing partikel



Gambar 3. Gaya tarik menarik antara dua benda (Octonovrilna, 2009).

Gaya yang dikerahkan pada m_2 (oleh m_1), F_2 diarahkan berlawanan dengan pergeseran m_2 dari m_1 yakni r_1 . Gaya yang dikerahkan pada m_1 (oleh m_2), F_1 diarahkan berlawanan pada pergeseran m_1 dari m_2 , yakni r_2 . Sehingga $F_2 = -F_1$, yakni gaya-gaya tersebut adalah suatu pasangan aksi-reaksi. Nilai G adalah $6,67 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-2}$ yang sama dengan besarnya gaya dalam Newton antara dua bola *uniform*.

3.2.2. Percepatan Gravitasi

Newton juga mendefinisikan hubungan antara gaya dan percepatan. Hukum Newton II tentang gerak menyatakan gaya sebanding dengan perkalian massa benda dengan percepatan yang dialami benda tersebut.

$$F = m \cdot g$$

Percepatan sebuah benda bermassa m_2 yang disebabkan oleh tarikan benda bermassa M pada jarak r secara sederhana dapat dinyatakan dengan:

$$g = \frac{F}{m} \quad 3$$

Bila ditetapkan pada percepatan gaya tarik bumi persamaan di atas menjadi:

$$g = \frac{F}{m} = G \frac{M \cdot m}{m \cdot r^2} = G \frac{M}{r^2} \quad 4$$

dimana,

g : Percepatan gaya tarik bumi

M : Massa bumi

m : Massa benda

F : Gaya berat

r : Jari-jari bumi

Pengukuran percepatan gravitasi pertama kali dilakukan oleh Galileo, sehingga untuk menghormati Galileo, kemudian didefinisikan:

$$1 \text{ G} = 1 \text{ c} / \text{s}^2 = 1 \text{ }^{-2} \text{ m/s}^2 \text{ (dalam c.g.s)}$$

Satuan anomali gaya berat dalam kegiatan eksplorasi diberikan dalam orde miligal (mGal):

$$1 \text{ m} \quad l = 1 \text{ }^{-3} \text{ G}$$

$$1 \mu = 1 \text{ }^{-3} \text{ m} = 1 \text{ }^{-6} \text{ G} = 1 \text{ }^{-8} \text{ m/s}^2$$

Dalam satuan m.k.s, gravitasi diukur dalam g.u.(gravity unit) atau $\mu\text{m/s}^2$:

$$1 \text{ m} = 1 \text{ g.u.} = 1 \text{ }^{-5} \text{ m/s}^2 \text{ (Octonovrilna, 2009)}$$

3.2.3. Potensial Gravitasi

A. Potensial 2D atau Logaritmik

Apabila suatu massa sangat panjang dalam arah y dan memiliki *cross section* seragam, bentuknya berubah-ubah pada bidang x . Gaya tarik gravitasi diperoleh dari sebuah potensial logaritmik (Telford, 1990). Dimana persamaan:

$$U = 2G \int_x \int_z \rho \frac{1}{r'} d d \quad 5$$

Dimana $r' = x^2 + z^2$. Pengaruh gravitasi untuk bentuk 2D adalah:

$$g = -\left(\frac{\partial}{\partial}\right) \quad 6$$

$$g = 2G \iint_x \rho \left(\frac{z}{r'^2}\right) d d \quad 7$$

dimana,

$$\iint d d = \iint r' d d = \int r d \int d = \int r'^2 d \quad 8$$

$$g = 2G \iint \rho \left(\frac{z}{r'^2}\right) r'^2 d d \quad 9$$

$$g = 2G \int \rho \left(\frac{z}{r'^2}\right) r'^2 d \quad 10$$

$$g = 2G \oint z d \quad 11$$

B. Potensial 3D atau Newtonian

Medan gaya tarik bumi (gravitasi) bersifat konservatif artinya usaha yang dilakukan sebuah massa dalam suatu medan gravitasi tidak bergantung pada lintasan yang ditempuhnya, namun hanya bergantung pada titik akhirnya saja. Jika suatu benda yang pada akhirnya kembali pada posisi awalnya, energi yang dikeluarkannya adalah nol. Bentuk gaya gravitasi adalah vektor yang mengarah sepanjang garis yang menghubungkan dua pusat massa. Medan konservatif

kemungkinan berasal dari sebuah fungsi potensial skalar $U(x,y,z)$ disebut dengan Newtonian atau potensial 3D (Telford, 1990).

$$\nabla U(x, y, z) = -\frac{F(x,y,z)}{m_2} \quad 12$$

$$\nabla U(x, y, z) = -g(x, y, z) \quad 13$$

Dalam koordinat *spherical* menjadi :

$$\nabla U(r, \theta, \varphi) = -\frac{F(r,\theta,\varphi)}{m_2} \quad 14$$

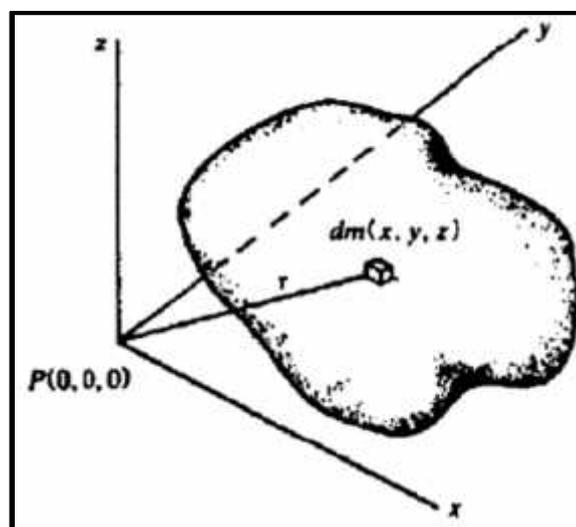
$$\nabla U(r, \theta, \varphi) = -g(r, \theta, \varphi) \quad 15$$

Alternatif lainnya kita dapat memecahkan potensial gravitasi dalam bentuk:

$$U(r, \theta, \varphi) = \int_{\infty}^r (\nabla U) d$$

$$U(r, \theta, \varphi) = - \int_{\infty}^r g \cdot d \quad 16$$

Mengingat sebuah massa 3D yang bentuknya berubah ubah seperti **Gambar 4**.



Gambar 4. Potensial massa pada 3D (Telford, 1990).

Potensial dan percepatan gravitasi pada sebuah titik yang paling luar dapat diperoleh dengan membagi massa kedalam elemen kecil (d) dan

menjumlahkannya untuk mendapatkan pengaruh totalnya. Potensial untuk elemen massa dm di titik (x,y,z) dengan jarak r dari $P(0,0,0)$ adalah:

$$dU = G \frac{dm}{r} = G \rho dV \frac{1}{r} \quad 17$$

Dimana $\rho(x,y,z)$ adalah rapat massa, dan $r^2 = x^2 + y^2 + z^2$. Maka massa m potensial totalnya adalah:

$$U = G \int_x \int_y \int_z \left(\frac{\rho}{r^2} \right) dV \quad 18$$

Karena g adalah percepatan gravitasi dalam arah z , dan menganggap konstan,

$$g = -\left(\frac{\partial U}{\partial z} \right) \quad 19$$

$$g = G \int_x \int_y \int_z \left(\frac{z}{r^3} \right) dV \quad 20$$

3.3. Sistem Informasi Geografis (SIG)

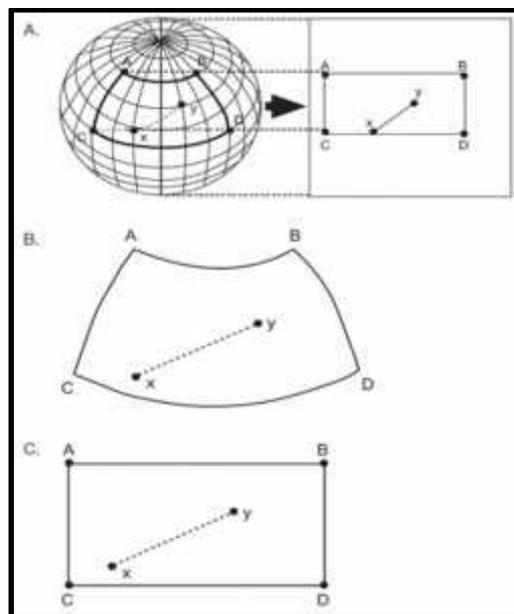
Secara umum sistem informasi geografis merupakan suatu komponen yang terdiri dari perangkat keras, perangkat lunak, data geografis dan sumberdaya manusia yang bekerja sama secara efektif untuk memasukkan, menyimpan, memperbaiki, memperbaharui, mengelola, memanipulasi, mengintegrasikan, menganalisa dan menampilkan data dalam suatu informasi berbasis geografis.

3.3.1. Proyeksi Peta

Proyeksi peta adalah teknik-teknik yang digunakan untuk menggambarkan sebagian atau keseluruhan permukaan tiga dimensi yang secara kekasaran berbentuk bola ke permukaan datar dua dimensi dengan distorsi sesedikit mungkin. Untuk dapat memproyeksikan bumi yang berbentuk ellipsoid (bentuk

bumi bukanlah bola tetapi lebih menyerupai ellips 3 dimensi) diperlukan bidang proyeksi tertentu.

Sistem proyeksi peta menentukan bagaimana objek-objek di permukaan bumi (yang sebenarnya tidak datar) dipindahkan atau diproyeksikan pada permukaan peta yang berupa bidang datar **Gambar 5**. Penggunaan sistem proyeksi peta yang berbeda untuk sebuah daerah yang sama karena memberikan kenampakan yang berbeda.



Gambar 5. Prinsip proyeksi dari bidang lengkung muka bumi ke bidang datar kertas (Hartoyo, 2010).

3.3.2. Data Spasial

Sebagian besar data yang akan ditangani dalam SIG merupakan data spasial yaitu sebuah data yang berorientasi geografis, memiliki sistem koordinat tertentu sebagai dasar referensinya dan mempunyai dua bagian penting yang membuatnya berbeda dari data yang lain, yaitu informasi lokal (spasial) dan informasi deskriptif (attribute) yang dijelaskan sebagai berikut:

- Informasi lokal (spasial), yang berkaitan dengan suatu koordinat baik koordinat geografi (lintang dan bujur) dan koordinat XYZ, termasuk diantaranya informasi datum dan proyeksi.
- Informasi deskriptif (attribute) atau informasi non spasial, suatu lokasi yang memiliki beberapa keterangan yang berkaitan dengannya. Contoh: jenis vegetasi, populasi, luasan, kode pos dan sebagainya.

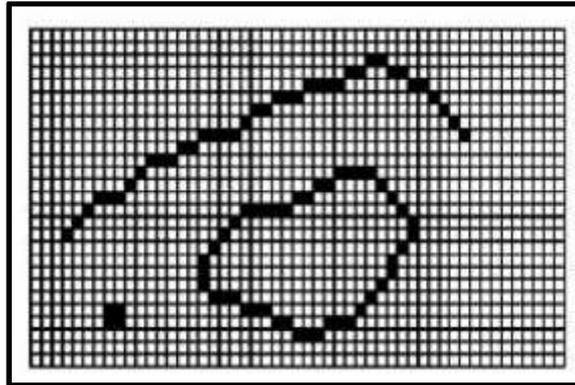
A. Format Data Spasial

Secara sederhana format dalam bahasa komputer berarti bentuk dan kode penyimpanan data yang berbeda antara file yang satu dengan yang lainnya. Dalam SIG, data spasial dapat dipresentasikan dalam dua format, yaitu:

- Data Raster

Data raster atau sel grid adalah data yang dihasilkan dari sistem penginderaan jauh. Pada data raster, objek geografis dipresentasikan sebagai struktur sel grid yang disebut dengan pixel (*picture element*).

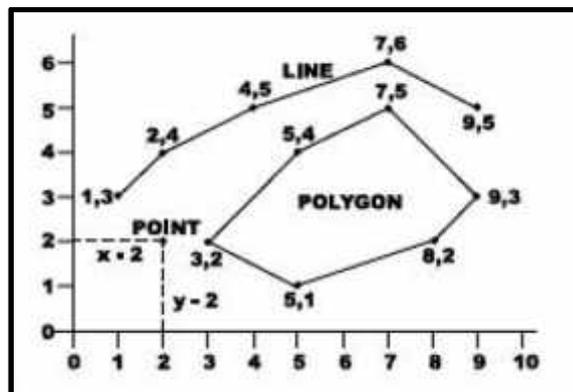
Pada data raster, resolusi (definisi visual) tergantung pada ukuran pixel-pixelnya ditunjukkan pada **Gambar 6**. Dengan kata lain, resolusi pixel menggambarkan ukuran sebenarnya di permukaan bumi yang diwakili oleh setiap pixel pada citra. Semakin kecil ukuran permukaan bumi yang dipresentasikan oleh suatu sel, semakin tinggi resolusinya. Data raster sangat baik untuk mempresentasikan batas-batas yang berubah secara gradual, seperti tanah, kelembabam tanah, vegetasi suhu tanah dan sebagainya. Keterbatasan utama dari data raster adalah ukuran file, semakin tinggi resolusi grid-nya semakin besar pula ukuran filenya dan sangat tergantung pada kapasitas perangkat keras yang tersedia.



Gambar 6. Data raster (Hartoyo, 2010).

- Data Vektor

Data vektor merupakan bentuk bumi yang direpresentasikan ke dalam kumpulan garis, area (daerah yang dibatasi oleh garis yang berawal dan berakhir pada titik yang sama), titik dan nodes (merupakan titik perpotongan antara dua buah garis) **Gambar 7.**



Gambar 7. Data vektor (Hartoyo, 2010).

Keuntungan utama dari format data vektor adalah ketepatan dalam merepresentasikan fitur titik, batasan dan garis lurus. Hal ini sangat berguna untuk analisa yang membutuhkan ketepatan posisi, misalnya pada basis data batas-batas kadaster. Contoh penggunaan lainnya adalah untuk mendefinisikan hubungan spasial dari beberapa fitur. Kelemahan data vektor yang utama adalah ketidakmampuannya dalam mengakomodasi perubahan gradual.

B. Sumber Data Spasial

Salah satu syarat SIG adalah data spasial, yang dapat diperoleh dari beberapa sumber, antara lain:

- Peta Analog

Peta analog (antara lain: peta topografi, peta tanah dan sebagainya) yaitu peta dalam bentuk cetak. Pada umumnya peta analog dibuat dengan teknik kartografi, kemungkinan besar memiliki referensi spasial seperti spasial koordinat, skala, arah mata angin dan sebagainya.

Dalam tahapan SIG sebagai keperluan sumber data, peta analog dikonversi menjadi peta digital dengan cara format raster diubah menjadi format vektor melalui proses digitasi sehingga dapat menunjukkan koordinat sebenarnya di permukaan.

- Peta Sistem Penginderaan Jarak Jauh

Data penginderaan jarak jauh (antara lain: citra satelit, foto udara dan sebagainya), merupakan sumber data yang terpenting bagi SIG karena ketersediaannya secara berkala dan mencakup area tertentu. Dengan adanya bermacam-macam satelit di ruang angkasa kita bisa memperoleh berbagai jenis citra satelit untuk beragam tujuan pemakaian. Data ini biasanya dipresentasikan dalam format raster.

- Data Hasil Pengukuran Lapangan

Data pengukuran lapangan yang dihasilkan berdasarkan teknik perhitungan tersendiri, pada umumnya data ini merupakan sumber data atribut. Contohnya: batas administrasi, batas kepemilikan lahan, batas persil, batas hak perusahaan hutan dan lain-lain.

- Data GPS (*Global Positioning System*)

Teknologi GPS memberikan terobosan penting dalam menyediakan data bagi SIG. Keakuratan pengukuran GPS semakin tinggi dengan berkembangnya teknologi satelit navigasi. Pengolahan data yang bersumber dari GPS biasanya dilakukan dalam format vektor.

3.3.3. Digitasi

Digitasi secara umum dapat didefinisikan sebagai proses konversi data analog ke dalam format digital. Objek-objek tertentu seperti jalan, rumah, sawah dan lain-lain yang sebelumnya dalam format raster pada sebuah citra satelit resolusi tinggi dapat diubah ke dalam format digital melalui digitasi.

Proses digitasi secara umum dibagi dalam dua metode, yaitu:

- Digitasi menggunakan *digitizer*

Dalam proses digitasi ini memerlukan sebuah meja digitasi atau digitizer.

- Digitasi *onscreen* di layar monitor

Digitasi *onscreen* paling sering dilakukan karena lebih mudah, tidak memerlukan tambahan peralatan lain dan lebih mudah untuk dikoreksi bila terjadi kesalahan (Hartoyo, 2010).

3.4. *Complete Bouguer Anomali*

Complete Bouguer Anomali (CBA) merupakan selisih antara nilai gayaberat pengamatan dengan gayaberat teoritik yang didefinisikan pada titik pengamatan bukan pada bidang referensi, baik elipsoid maupun muka laut rata-rata. *Complete Bouguer Anomali (CBA)* diberikan dalam persamaan (Robinson, 1988):

$$C = g_o - g_{\zeta} + F - B + T \quad 21$$

$$C = g_0 - g_{\zeta} + 0,3086h - 0,04192 \rho h + T \quad 22$$

dimana,

CBA : *Complete Bouguer Anomali*.

g_0 : Gayaberat observasi.

g_{ζ} : Gayaberat normal/ teoritis pada lintang.

FAC : Koreksi udara bebas terhadap ketinggian dari muka laut.

BC : Koreksi Bouguer

TC : Koreksi medan

... : Rapat massa.

h : Tinggi (meter)

Anomali Bouguer dapat bernilai positif ataupun negatif. Nilai Anomali positif mengindikasikan adanya kontras rapat massa yang besar pada lapisan bawah permukaan biasanya ditemukan pada survey di dasar samudera. Anomali negatif menggambarkan perbedaan rapat massa yang kecil dan pada umumnya didapat pada saat survey gravitasi di darat.

Anomali Bouguer terdiri dari komponen anomali residual akibat pengaruh benda-benda sumber anomali dangkal dan anomali regional akibat keberadaan benda-benda sumber anomali dalam (Permata, 2012).

Anomali residual yang mengandung informasi geologi permukaan daerah penelitian diindikasikan sebagai anomali yang berfrekwensi tinggi dan digunakan untuk mendapatkan informasi geologi bawah permukaan yang relatif dangkal/ lebih dekat ke permukaan bumi. Anomali regional yang mencerminkan informasi geologi batuan dasar (*basement*). Dicitrakan sebagai anomali yang berfrekuensi

rendah dan biasanya digunakan untuk mendapatkan informasi geologi bawah permukaan yang sangat dalam (Susanti, 2011).

3.5. Analisis Spektrum

Analisa spektrum dilakukan untuk mengestimasi lebar jendela dan mengestimasi kedalaman dari anomali gayaberat. Selain itu analisa spektrum juga dapat digunakan untuk membandingkan respon spektrum dari berbagai metode filtering. Analisa spektrum dilakukan dengan mentransformasi Fourier lintasan-lintasan yang telah ditentukan.

Secara umum, suatu transformasi Fourier adalah menyusun kembali/mengurai suatu bentuk gelombang sembarang ke dalam gelombang sinus dengan frekuensi bervariasi dimana hasil penjumlahan gelombang-gelombang sinus tersebut adalah bentuk gelombang aslinya.

Untuk analisis lebih lanjut, amplitudo gelombang-gelombang sinus tersebut didisplay sebagai fungsi dari frekuensinya. Secara matematis hubungan antara gelombang $s(t)$ yang akan diidentifikasi gelombang sinusnya (*input*) dan $S(f)$ sebagai hasil transformasi Fourier diberikan oleh persamaan berikut:

$$S(f) = \int_{-\infty}^{\infty} s(t)e^{-j2\pi ft} dt \quad 23$$

dimana,

$$j = \sqrt{-1} \quad 24$$

Spektrum diturunkan dari potensial gayaberat yang teramati pada suatu bidang horizontal dimana transformasi *fouriernya* sebagai berikut (Blakely, 1995):

$$F(U) = \gamma \left(\frac{1}{r} \right) \quad \text{dan} \quad F \left(\frac{1}{r} \right) = 2\pi \frac{e^{|\kappa|(z_0 - z)}}{|\kappa|} \quad 25$$

dimana,

U : Potensial gayaberat

γ : Konstanta gayaberat

μ : Anomali gayaberat

r : Jarak

Sehingga persamaannya menjadi sebagai berikut

$$F(U) = 2\pi\gamma\mu \frac{e^{|\kappa|(z_0 - z)}}{|\kappa|} \quad 26$$

Berdasarkan persamaan (41), transformasi *Fourier* anomali gayaberat yang diamati pada bidang horizontal diberikan oleh:

$$F(g_z) = \gamma\mu F \left(\frac{\partial 1}{\partial z} \right) \quad 27$$

$$F(g_z) = \gamma\mu \frac{\partial}{\partial z} F \left(\frac{1}{r} \right) \quad 28$$

$$F(g_z) = 2\pi\gamma\mu e^{|\kappa|(z_0 - z)} \quad 29$$

dimana,

g_z : Anomali gaya berat

k : Bilangan gelombang

z_0 : Ketinggian titik amat

z : Kedalaman benda anomali

Jika distribusi rapat massa bersifat random dan tidak ada korelasi antara masing-masing nilai gayaberat, maka $\rho = 1$, sehingga hasil transformasi Fourier anomali gayaberat menjadi:

$$A = C e^{|\kappa|(z_0 - z)} \quad 30$$

dimana,

A : Amplitudo

C : Konstanta

Estimasi lebar jendela dilakukan untuk menentukan lebar jendela yang akan digunakan untuk memisahkan data regional dan residual. Untuk mendapatkan estimasi lebar jendela yang optimal dilakukan dengan cara menghitung logaritma spektrum amplitudo yang dihasilkan dari transformasi Fourier pada persamaan (23) sehingga memberikan hasil persamaan garis lurus. Komponen k menjadi berbanding lurus dengan spektrum amplitudo.

$$L A = (z_0 - z')|k| \quad 31$$

Dari persamaan garis lurus di atas, melalui regresi linier diperoleh batas antara orde satu (regional) dengan orde dua (residual), sehingga nilai k pada batas tersebut digunakan sebagai penentu lebar jendela. Hubungan panjang gelombang (λ) dengan k diperoleh dari persamaan (Blakely, 1995):

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} \quad 32$$

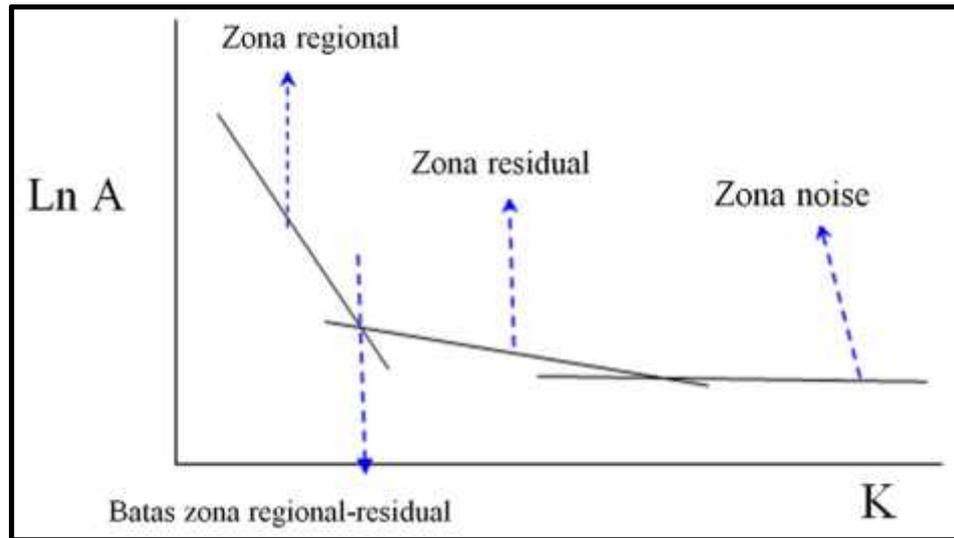
$$\lambda = n \Delta x \quad 33$$

dimana,

N : Lebar jendela

Maka didapatkan estimasi nilai lebar jendela.

Gambar 8. merupakan grafik hubungan spektrum amplitudo dengan komponen nilai k yang digunakan untuk menentukan batas zona regional, zona residual dan batas noise.



Gambar 8. Kurva $\ln A$ terhadap K (Blakely, 1995).

3.6. Metode *Moving Average*

Moving average merupakan perata-rataan dari data anomali gayaberat. Hasil dari metode ini adalah nilai anomali regional, dan untuk anomali residual diperoleh dari selisih antara anomali Bouguer dengan nilai anomali regionalnya (Diyanti, 2014).

Secara sistematis persamaan *moving average* untuk kasus 1-D adalah sebagai berikut:

$$\Delta g_r = \frac{\Delta g(i-n) + \dots + \Delta g(i) + \dots + \Delta g(i+n)}{N} \quad 34$$

dimana,

i : Nomor stasiun

N : Lebar jendela

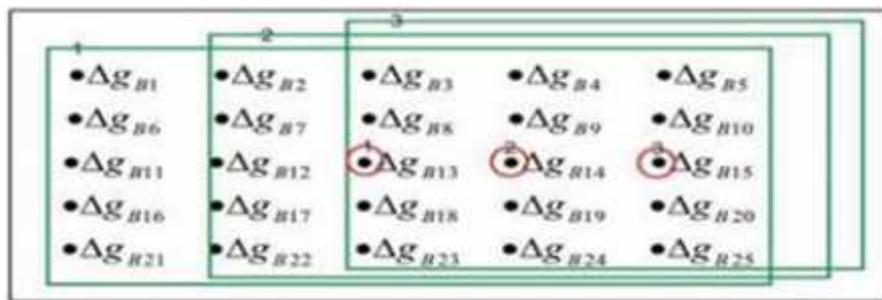
n : $\frac{N-1}{2}$

Δg_r : Anomali regional

Sedangkan penerapan *moving average* pada peta 2 (dua) dimensi, harga Δg_R pada suatu titik dapat dihitung dengan merata-ratakan semua nilai Δg_E di dalam sebuah kotak persegi dengan titik pusat adalah titik yang akan dihitung harga Δg_R .

Gambar 9. merupakan contoh aplikasi perata-rataan bergerak dalam jendela 5x5 pada data 2 (dua) dimensi diberikan persamaan:

$$\Delta g_R = \frac{1}{25} [(\Delta g_{(E1)} + \Delta g_{(E2)} + \dots + \Delta g_{(E25)})] \quad 35$$



Gambar 9. Ilustrasi *moving average* 2-D jendela 5x5 (Robinson, 1988).

Hal penting pada proses *moving average* adalah penentuan lebar jendela yang tepat. Bilangan gelombang *cutoff* yang diperoleh dari hasil analisis spektral digunakan sebagai masukan dalam perhitungan menentukan lebar jendela (Setiadi, 2010).

$$N = \frac{2\pi}{k_c \Delta x} \quad 36$$

dimana,

K : Bilangan gelombang *cut off*

N : Lebar jendela

Δx : Spasi pengukuran

Lebar jendela yang telah dihitung pada proses analisis spektral sebagai data masukan pada *moving average*. Semakin lebar jendela yang digunakan untuk proses *moving average*, maka daerah yang dapat diteliti akan semakin kecil. Hal

ini disebabkan data yang berada ditepi akan hilang, sehingga penentuan lebar jendela harus optimal (Diyanti, 2014).

3.7. Analisa Derivative

Analisa Derivative digunakan untuk menentukan batas dan mengetahui jenis patahan. Untuk mendapatkan hal tersebut maka dilakukan *First Horizontal Derivative* (FHD) dan *Second Vertical Derivative* (SVD) dari lintasan yang dibuat dalam peta anomali Bouguer atau peta anomali regional ataupun peta anomali residual yang selanjutnya dibuat penampangnya.

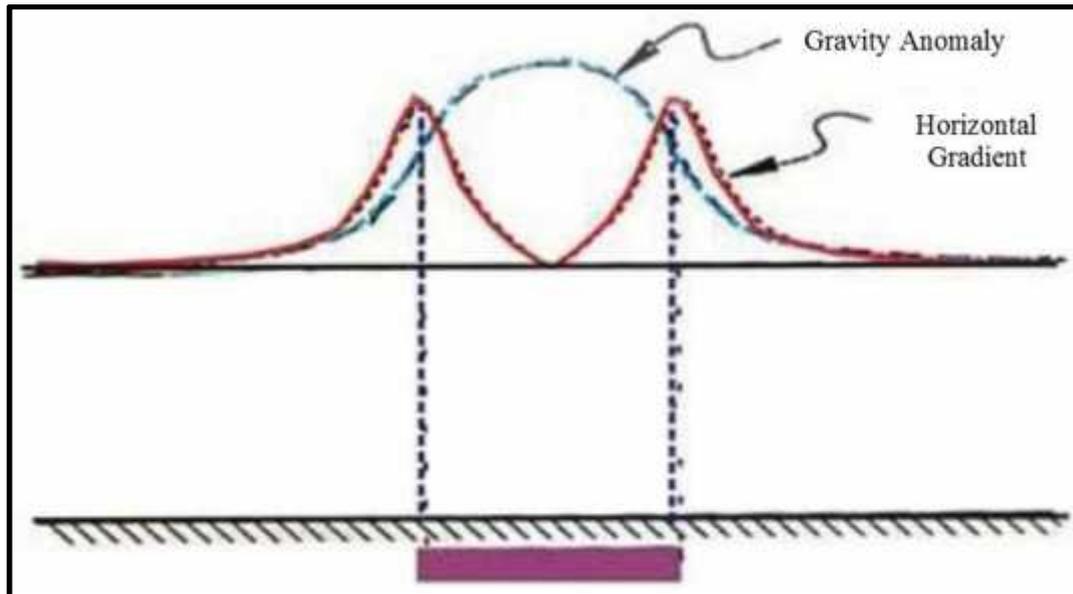
3.7.1. Metode *Horizontal Gradient*

First Horizontal Derivative (FHD) atau turunan pertama mempunyai nama lain yaitu *Horizontal Gradient* (HG). *Horizontal gradient* dari anomali gayabarat yang disebabkan oleh suatu *body* cenderung untuk menunjukkan tepian dari *body*-nya tersebut. Jadi metode *horizontal gradient* dapat digunakan untuk menentukan lokasi batas kontak densitas horizontal dari data gayabarat (Cordell, 1979).

Kelebihan dari metode *horizontal gradient* adalah metode ini tidak rentan terhadap *noise* karena hanya memerlukan perhitungan turunan horizontal pertama yang dikuadratkan dari data. Metode ini dapat digunakan untuk menggambarkan struktur bawah permukaan yang dangkal maupun dalam.

Setelah didapatkan kurva respon anomali gayabarat dari model sintetik, kemudian dihitung *First Horizontal Derivative* (FHD) dan *Second Horizontal Derivative* (SHD) menggunakan rumus sebagai berikut:

$$F = \sqrt{\left(\frac{\partial}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial}{\partial y}\right)^2} \quad 37$$



Gambar 10. Nilai gradien horizontal pada model tabular (Blakely, 1995)

Karena model sintetik dalam bentuk penampang hanya dalam arah x , sehingga rumus FHD menjadi lebih praktis, yaitu:

$$F = \sqrt{\left(\frac{\partial}{\partial x}\right)^2} \quad 38$$

dan SHD

$$S = \left(\frac{\partial^2 g}{\partial^2 x}\right) \quad 39$$

dimana,

$$\frac{\partial^2 g}{\partial^2 x} : \text{Turunan horizontal gayaberat pada arah } x$$

3.7.2. *Second Vertical Derivative (SVD)*

Second Vertical Derivative (SVD) bersifat sebagai *High Pass Filter* sehingga dapat menggambarkan anomali residual yang berasosiasi dengan struktur dangkal yang dapat digunakan untuk mengidentifikasi jenis patahan turun, patahan naik atau patahan mendatar.

Secara teoritis teknik *second vertical derivative* (SVD) diturunkan dari persamaan Laplace's untuk anomali gayaberat di permukaan yang diberikan sebagai berikut:

$$\nabla^2 \Delta g = 0 \quad 40$$

$$\nabla^2 \Delta g = \frac{\partial^2 (\Delta g)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 (\Delta g)}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 (\Delta g)}{\partial z^2} \quad 41$$

Sehingga,

$$\frac{\partial^2 (\Delta g)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 (\Delta g)}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 (\Delta g)}{\partial z^2} = 0 \quad 42$$

$$\frac{\partial^2 (\Delta g)}{\partial x^2} = - \left[\frac{\partial^2 (\Delta g)}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 (\Delta g)}{\partial z^2} \right] \quad 43$$

Untuk data penampang, dimana y mempunyai nilai yang tetap maka persamaannya adalah:

$$\frac{\partial^2 (\Delta g)}{\partial x^2} = - \left[\frac{\partial^2 (\Delta g)}{\partial z^2} \right] \quad 44$$

Dari persamaan diatas dapat diketahui bahwa *second vertical derivative* dari suatu anomali gayaberat adalah sama dengan negatif dari *derivative* orde 2 horizontalnya, artinya bahwa anomali SVD dapat melalui *derivative* orde 2 maka:

$$\Delta'' g = \frac{\frac{g_{i-1} - g_{i-1} - g_{i+1} - g_i}{\Delta x}}{\Delta x} \quad 45$$

Sehingga,

$$\Delta'' g = \frac{g_{i+1} - 2g_i + g_{i-1}}{\Delta x^2} \quad 46$$

Karena *second vertical derivative* merupakan negatif dari derivative orde ke 2 horizontalnya maka:

$$\Delta'' g = \frac{g_{i+1} - 2g_i + g_{i-1}}{\Delta x^2} \quad 47$$

Arah kemiringan kurva *SVD* dapat menunjukkan jenis sesar, diketahui dari perbandingan antara harga mutlak *SVD* maksimum dan minimum yang diberikan oleh:

- a. Untuk patahan naik

$$\left(\frac{\partial^2(\Delta y)}{\partial z^2}\right)_m < \left|\left(\frac{\partial^2(\Delta y)}{\partial z^2}\right)\right|_m \quad 48$$

- b. Untuk patahan turun

$$\left(\frac{\partial^2(\Delta y)}{\partial z^2}\right)_m > \left|\left(\frac{\partial^2(\Delta y)}{\partial z^2}\right)\right|_m \quad 49$$

- c. Untuk patahan mendatar

$$\left(\frac{\partial^2(\Delta g)}{\partial z^2}\right)_m = \left|\left(\frac{\partial^2(\Delta g)}{\partial z^2}\right)\right|_m \quad 50$$

Terdapat beberapa operator filter *SVD*, yang dihitung oleh Henderson dan Zeits (1949), Elkins (1951) dan Rosenbach (1952). Dalam penelitian ini digunakan filter *SVD* hasil Elkins. Pada **Tabel 1.** dapat kita lihat nilai koefisien dari ketiga filter *SVD*.

Tabel 1. Macam-macam koefisien filter *SVD* (Sarkowi, 2010)

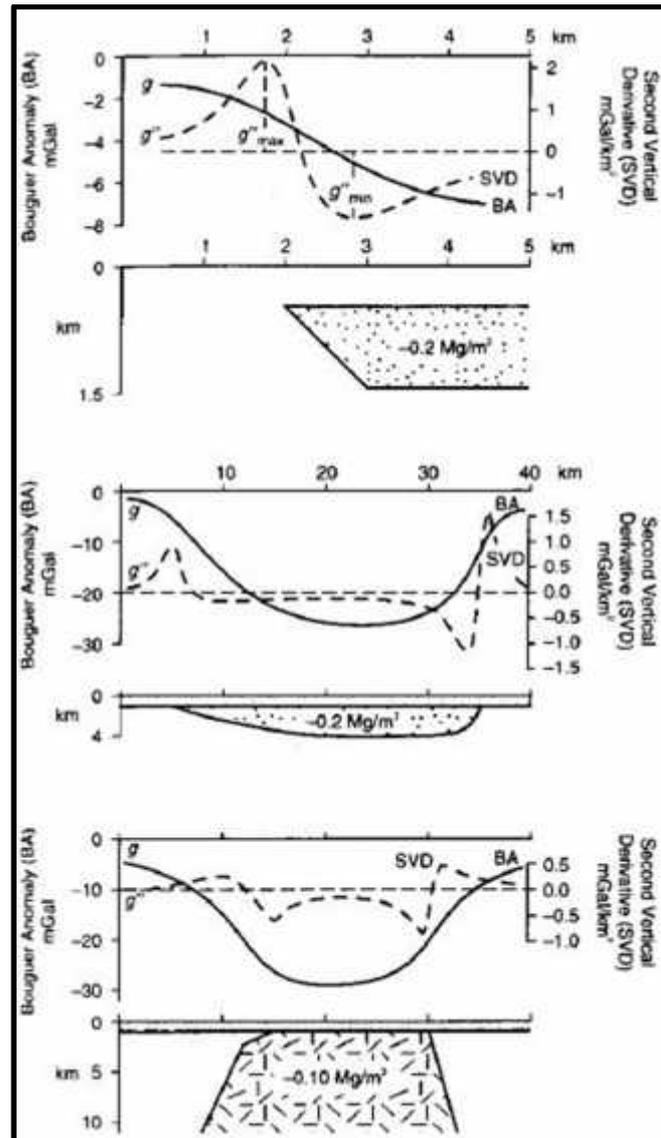
Henderson dan Zietz (1949)				
0.0000	0.0000	-0.0838	0.0000	0.0000
0.0000	+1.0000	-2.6667	+1.0000	0.0000
-0.0838	-2.6667	17.0000	-2.6667	-0.0838
0.0000	+1.0000	-2.6667	+1.0000	0.0000
0.0000	0.0000	-0.0838	0.0000	0.0000
Elkins (1951)				
0.0000	-0.0833	0.0000	-0.0833	0.0000
-0.0833	-0.0667	-0.0334	-0.0667	-0.0833
0.0000	-0.0334	+1.0668	-0.0334	0.0000
-0.0833	-0.0667	-0.0334	-0.0667	-0.0833
0.0000	-0.0833	-0.0000	-0.0833	0.0000

Rosenbach (1953)				
0.0000	+0.0416	0.0000	+0.0416	0.0000
+0.0416	-0.3332	-0.7500	-0.3332	+0.0416
0.0000	-0.7500	+4.0000	-0.7500	0.0000
+0.0416	-0.3332	-0.7500	-0.3332	+0.0416
0.0000	+0.0416	0.0000	+0.0416	0.0000

Second Vertical Derivative (SVD) dari suatu anomali gayaberat permukaan adalah sama dengan negatif dari *Second Horizontal Derivative* (SHD).

$$S = -S = \left(\frac{\partial^2 g}{\partial^2 x} \right) \quad 51$$

Anomali yang disebabkan oleh struktur cekungan mempunyai nilai harga mutlak minimal SVD selalu lebih besar daripada harga mutlak maksimalnya. Sedangkan anomali yang disebabkan struktur intrusi berlaku sebaliknya, harga mutlak minimalnya lebih kecil daripada harga mutlak maksimalnya sehingga analisa struktur pada SVD dapat dilihat pada **Gambar 11**.



Gambar 11. Respon analisa SVD pada struktur geologi (Reynolds, 1997)

3.8. Pemodelan Inversi 3D

Proses inversi adalah suatu proses pengolahan data lapangan yang melibatkan teknik penyelesaian matematika dan statistik untuk mendapatkan informasi yang berguna mengenai distribusi sifat fisis bawah permukaan. Di dalam proses inversi, kita melakukan analisis terhadap data lapangan dengan cara melakukan *curve fitting* (pencocokan kurva) antara model matematika dan data lapangan. Tujuan dari proses inversi adalah untuk mengestimasi parameter fisis

batuan yang tidak diketahui sebelumnya (*unknown parameter*) (Supriyatno, 2007).

Secara matematis untuk menghitung respon gayaberat digunakan metode perumusan sebagai berikut (Plouff, 1976):

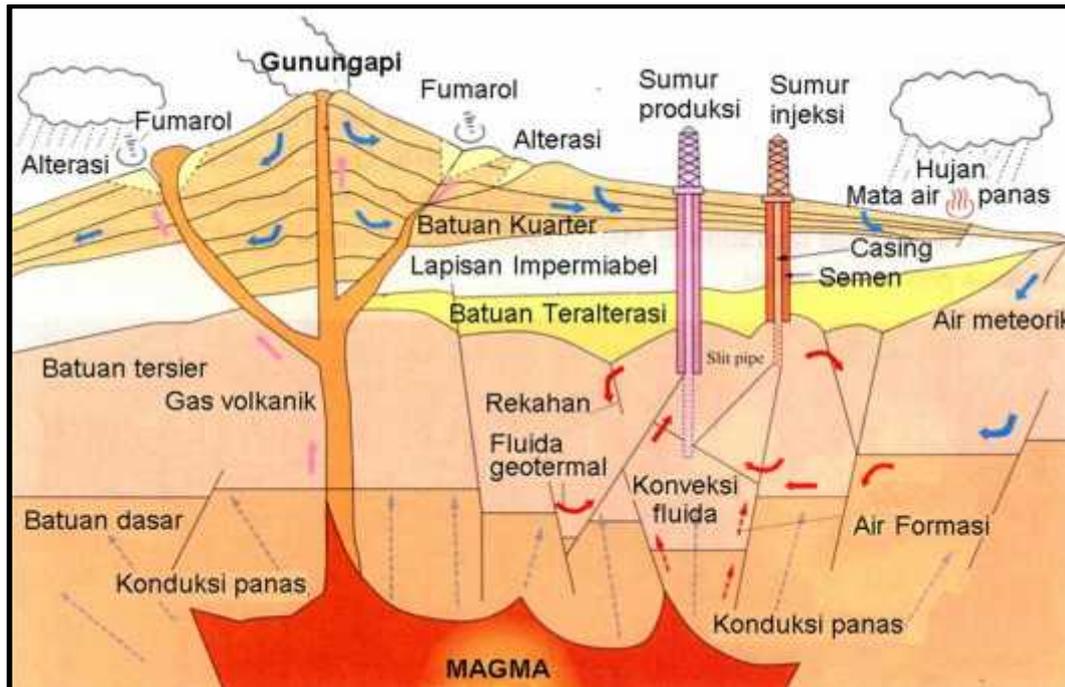
$$g = G\Delta\rho \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^2 \sum_{k=1}^2 M_{ijk} \left[z_{ijk} \alpha - \frac{x_i y_i}{z_{ijk} R_{ijk}} - x_i t_i (R_{ijk} + y_i) - y_i t_i (R_{ijk} + x_i) \right] \quad 52$$

3.9. Sistem Panasbumi (*Geothermal System*)

Secara umum panasbumi merupakan suatu bentuk energi panas yang tersimpan dalam batuan di bawah permukaan bumi dan fluida yang terkandung di dalamnya. Sementara sistem panasbumi adalah suatu sistem yang memungkinkan terjadinya fluida dari daerah *meteoric recharge* ke dalam reservoir yang berada di atas sumber panas (*heat source*), (Torkis, 2012).

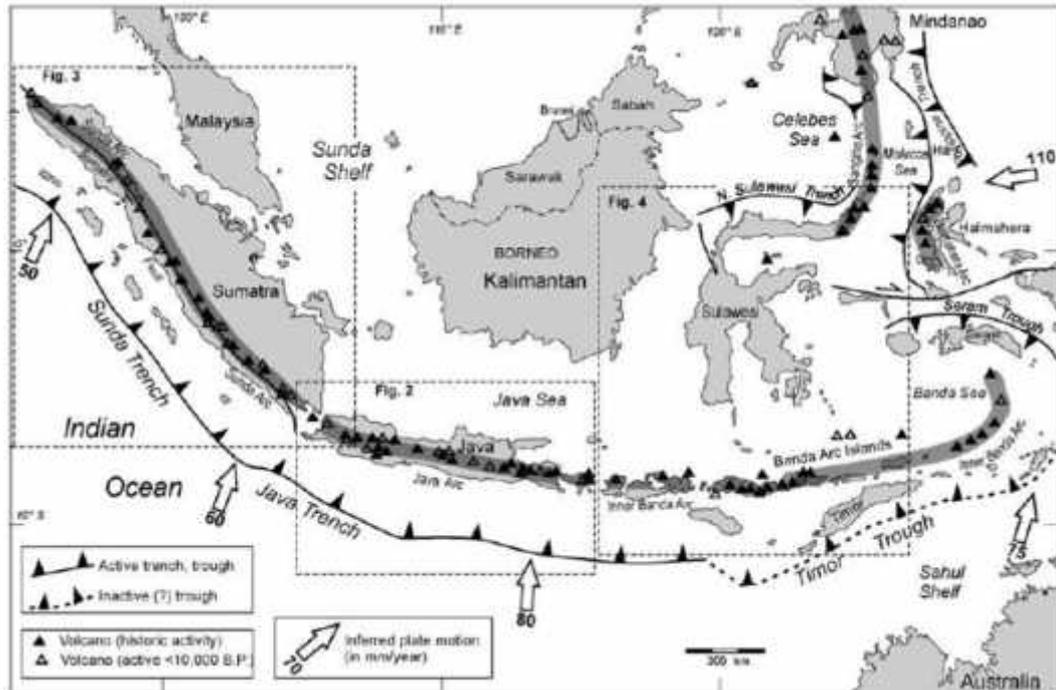
Gambar 12 menunjukkan sistem panasbumi, struktur seperti rekahan maupun patahan yang terdapat di permukaan membuat air dapat masuk ke dalam pori-pori batuan. Air ini lalu menembus ke bawah maupun ke samping selama ada celah untuk air dapat mengalir. Ketika air sampai ke sumber panas (*heat source*) maka temperatur air akan meningkat. Jika temperatur yang diterima oleh air tinggi, sebagian air akan menguap sedangkan sebagiannya lagi akan tetap menjadi air. Perpindahan panas secara konveksi pada dasarnya terjadi karena gaya apung. Air karena gaya gravitasi selalu mempunyai kecenderungan untuk bergerak ke bawah, akan tetapi apabila air tersebut kontak dengan suatu sumber panas maka akan terjadi perpindahan panas sehingga temperatur air menjadi lebih tinggi dan air menjadi lebih ringan. Jika temperatur terus meningkat maka akan mengakibatkan bertambahnya volume dan juga tekanan. Fluida panas akan

menekan batuan di sekitarnya untuk mencari celah atau jalan ke luar dan melepaskan tekanan. Karena tekanan di permukaan lebih rendah daripada tekanan di bawah permukaan maka keadaan ini menyebabkan air yang lebih panas bergerak ke atas dan air yang lebih dingin bergerak turun ke bawah, sehingga terjadi sirkulasi air atau arus konveksi.



Gambar 12. Sistem panasbumi daerah vulkanik (Putrohari, 2009).

Kepulauan Indonesia yang terletak pada pertemuan tiga lempeng besar (Eurasia, Hindia-Australia, Pasifik) menjadikannya memiliki tatanan tektonik yang kompleks. Subduksi antar lempeng benua dan samudera menghasilkan suatu proses peleburan magma dalam bentuk partial melting batuan mantel dan magma mengalami diferensiasi pada saat perjalanan permukaan proses tersebut membentuk kantong-kantong magma (*silicic/ basaltic*) yang berperan dalam pembentukan jalur gunungapi yang dikenal sebagai lingkaran api (*ring of fire*), terlihat pada **Gambar 13**.



Gambar 13. Peta sebaran vulkanik aktif di Indonesia dan zona tumbukan lempeng benua Eurasia dan Indo-Australia (Hochstein and Sudarman, 2008).

Sistem panasbumi di Pulau Sumatera umumnya berkaitan dengan kegiatan gunungapi andesitis-riolititis yang disebabkan sumber magma yang bersifat lebih asam dan lebih kental, sedangkan di Pulau Jawa, Nusatenggara dan Sulawesi umumnya berasosiasi dengan kegiatan vulkanik bersifat andesit-basaltis dengan sumber magma yang lebih cair.

Tabel 2. Perbedaan karakteristik antara prospek panasbumi di Jawa-Bali dan Sumatera

Kriteria	Jawa-Bali	Sumatera
Geologi Umum		
-Litologi	Andesitik-Basaltik	Riolitik-Andesitik
- Ketebalan batuan vulkanik	Tebal (2500 m)	Tipis (± 1200 m)
- Asosiasi struktur	Patahan lokal Kaldera depresi	Patahan regional Sumatera dan patahan sekundernya
Manifestasi Permukaan	Fumarol suhu tinggi, solfatar, mud pool, air	Fumarol suhu tinggi dengan steam jet, solfatar,

	panas mendidih, batuan alterasi intensif dan kurang tersebar luas	mata air panas mendidih, batuan alterasi sangat intensif dan tersebar luas
--	---	--

Suatu daerah dikatakan memiliki sistem panasbumi jika memenuhi syarat-syarat berikut ini:

3.9.1. Sumber Panas (*Heat Source*)

Sumber panas pada sistem panasbumi dapat terdiri dari intrusi batuan, dapur magma (*magma chambers*) atau gradien temperatur dimana semakin ke dalam temperatur semakin meningkat. Sistem panas bumi dengan sumber panas yang berasal dari intrusi batuan atau magma biasa ditemukan pada daerah gunungapi (*volcanic*). Sementara sistem panasbumi dengan sumber panas yang berasal dari gradien temperatur biasa ditemukan pada daerah lempeng tektonik aktif dan cekungan sedimen (*sedimentary basins*).

Magma sebagai sumber panas yang umum pada sistem panasbumi terjadi karena proses pelelehan pada mantel atau penurunan temperatur sebagai akibat masuknya air dari permukaan bumi selama proses subduksi (Sigurdsson, 2000).

Sementara dapur magma (*magma chambers*) secara umum dibagi menjadi tiga (Marsh, 2000), yaitu:

1. *Sills dan Dikes*

Merupakan batuan lokal dengan bentuk paralel. Dikes berperan sebagai jalur transport magma dan sills sebagai tempat menyimpan magma. Ketebalan sills dan dikes dapat mencapai beberapa centimeter sampai lebih dari satu kilometer.

2. *Necks, Plugs dan Stocks*

Merupakan batuan intrusi yang memiliki bentuk silinder vertikal.

Diameter batuan dapat mencapai 100 m sampai 1,5 km.

3. *Plutons*

Merupakan batuan dengan bentuk seperti bola yang berada di daerah vulkanik yang terhubung dengan subduksi lempeng (*plate subduction*). Memiliki diameter sekitar 2-10 km.

Sumber panas mengalirkan panas melalui tiga proses yaitu: konduksi, konveksi dan radiasi (Gupta and Roy, 2007). Pada sistem panasbumi, perpindahan panas biasa terjadi melalui proses konduksi dan konveksi. Konduksi merupakan proses transfer energi kinetik dari molekul atau atom suatu benda yang panas kepada benda yang lebih dingin. Proses perpindahan panas secara konduksi terjadi pada bagian bumi yang padat yaitu litosfer. Sementara konveksi merupakan proses transfer panas dengan melibatkan perpindahan massa molekul-molekul dari satu tempat ke tempat lainnya. Transfer panas secara konveksi terjadi pada bagian bumi yang cair (*viscous*) yaitu astenosfer.

3.9.2. Fluida Panasbumi (*Geothermal Fluid*)

Tipe-tipe fluida panasbumi (Moehadi, 2009), yaitu:

1. *Juvenile water*

Merupakan air baru yang berasal dari magma primer yang kemudian menjadi bagian dari hidrosfera.

2. *Magmatic water*

Merupakan air yang berasal dari magma, sejak magma bersatu dengan air meteorik atau air dari material sedimen.

3. *Meteoric water*

Merupakan yang berada di lingkungan atmosfera.

4. *Connate water*

Merupakan fosil air yang berhubungan dengan atmosfera selama periode geologi yang panjang. Air ini tertutup oleh formasi batuan yang tebal dimana di dalam cekungan sedimentasi. Connate water merupakan air yang umumnya dihasilkan dari laut, tetapi telah mengalami perubahan oleh proses fisika dan kimia.

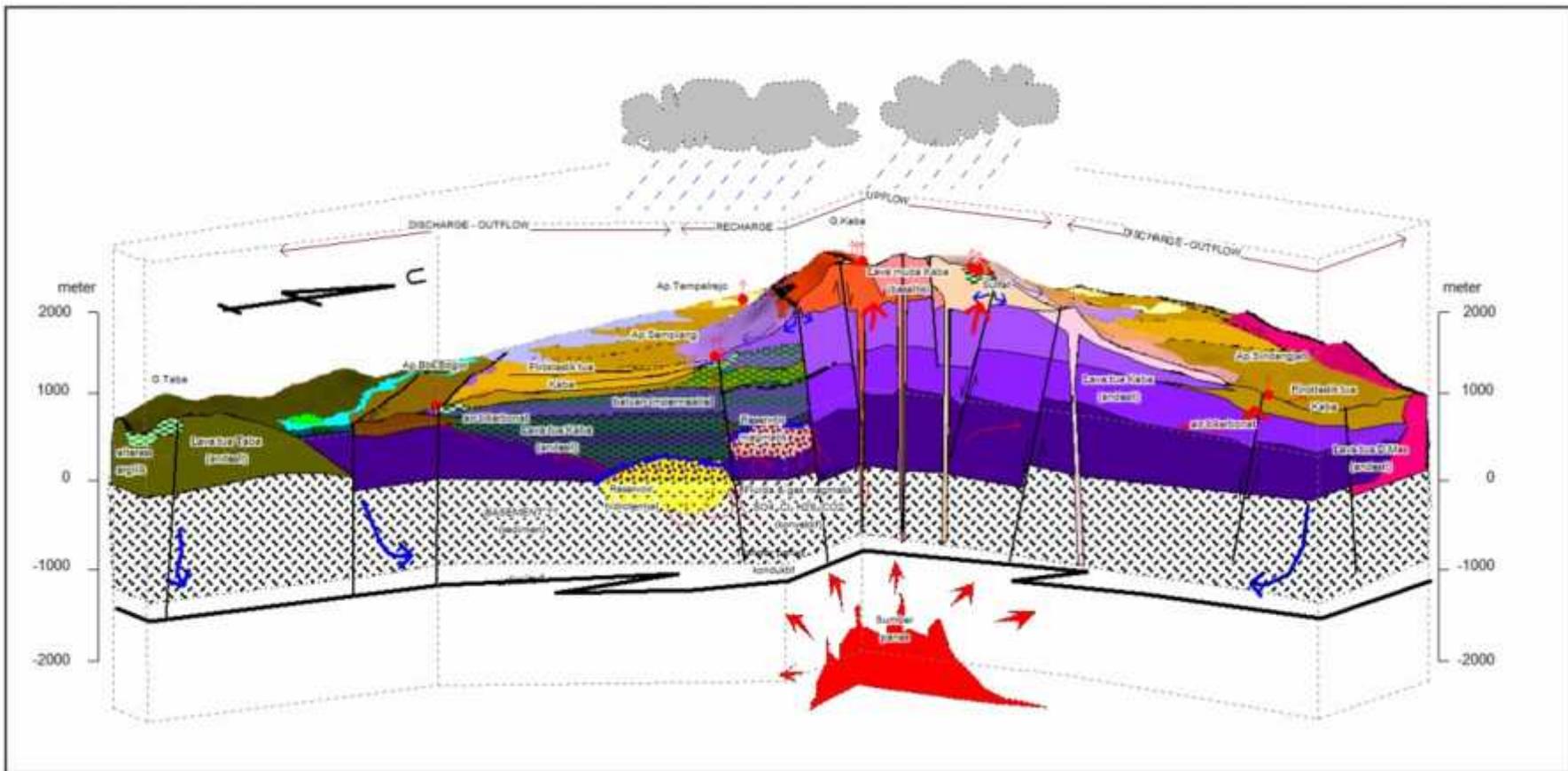
3.9.3. Reservoir Panasbumi (*Geothermal Reservoir*)

Reservoir panasbumi merupakan batuan yang memiliki porositas dan permeabilitas yang baik sehingga fluida dapat terakumulasi untuk dipanaskan oleh sumber panas. Selain memiliki porositas dan permeabilitas yang baik, reservoir panasbumi dikatakan produktif dengan syarat memiliki volume yang besar, suhu yang tinggi dan jumlah fluida yang banyak. Panas dari fluida pada batuan reservoir akan diekstrak untuk digunakan sebagai sumber energi panasbumi (Torkis, 2012).

3.9.4. Batuan Penudung (*Cap Rock*)

Batuan penudung atau *cap rock* pada sistem panasbumi berguna untuk menjaga agar panas yang berasal dari reservoir tidak keluar ke permukaan. Batuan penudung memiliki karakteristik yaitu permeabilitas yang rendah, tebal, dan berada di atas reservoir. Pada batuan penudung

sering terjadi proses alterasi yang disebabkan oleh interaksi fluida saat melewati batuan sehingga dapat menjadi indikator adanya sistem panasbumi pada suatu daerah (Torkis, 2012).



Gambar 14. Model tentatif panasbumi Kepahiang (PSDG, 2011).

3.10. Aplikasi Metode Gayaberat Dalam Eksplorasi Panasbumi

Survei geofisika merupakan satu-satunya cara untuk memetakan struktur bawah permukaan selain melakukan pemboran. Kelebihan geofisika dibandingkan pemboran adalah dapat melakukan survei pada area yang besar dalam waktu singkat dan biaya yang lebih terjangkau. Dalam eksplorasi panasbumi survei geofisika digunakan untuk memetakan sumber panas, luas area reservoir, zona pergerakan fluida dan potensi energi panasbumi yang tersedia. Anomali geofisika pada suatu daerah prospek panasbumi biasa disebabkan kontras sifat fisika dari batuan atau fluida di reservoir dengan daerah sekitarnya. Sifat fisika yang umumnya menjadi target eksplorasi geofisika adalah densitas, resistivitas dan lain-lain. Salah satu metode geofisika yang digunakan dalam eksplorasi panasbumi adalah metode gayaberat (*gravity*). Metode gayaberat digunakan untuk memetakan struktur pada sistem panasbumi yaitu graben, basins, faults dan intrusi batuan.

IV. METODOLOGI PENELITIAN

4.1. Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan di:

Lokasi Penelitian : Kabupaten Kepahiang, Provinsi Bengkulu

Tempat Processing : Laboratorium Jurusan Teknik Geofisika Fakultas Teknik
Universitas Lampung

Alamat : Jalan Dr. Soemantri Brojonegoro No.1 Bandar Lampung

Tabel 3. Jadwal Kegiatan

Jadwal Kegiatan																				
Nama Kegiatan	Bulan 1				Bulan 2				Bulan 3				Bulan 4				Bulan 5			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Studi Literatur	■	■	■	■																
Pengolahan Data					■	■	■	■												
Pemodelan Inversi 3D									■	■	■									
Penyusunan Laporan	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Seminar Proposal											■									
Perbaikan													■	■	■					
Seminar Hasil															■					
Perbaikan																	■	■	■	■
Seminar Komprehensif																				■

4.2. Alat dan Bahan

Adapun alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Peta anomali Bouguer Kepahiang
2. Peta geologi Kepahiang
3. Peta topografi Kepahiang
4. Software yang digunakan dalam penelitian ini antara lain *Global Mapper 12*, *Surfer12*, *Microsoft Office Excel*, *Numeri*, *Google Map* dan *Grav3D*.

4.3. Prosedur Penelitian

Adapun prosedur pelaksanaan penelitian ini, yaitu:

4.3.1. Pengolahan Data

Data gayaberat yang diolah adalah data gayaberat sekunder dalam bentuk peta kontur anomali Bouguer dengan format raster. Pada proses ini dilakukan digitalisasi ulang dari peta kontur anomali Bouguer untuk mendapatkan nilai anomali sehingga didapatkan peta kontur anomali Bouguer yang baru.

4.3.2. Filtering Data Anomali

A. Analisis Spektrum

Analisis spektrum dilakukan untuk mengestimasi lebar jendela serta estimasi kedalaman anomali. Analisis spektrum dilakukan dengan cara mentransformasi Fourier lintasan yang telah ditentukan pada peta kontur.

Pada proses ini peta anomali Bouguer daerah penelitian yang telah didapat kemudian dilakukan slice dengan 4 lintasan lalu ditransformasi *fourier* dengan menggunakan software *Numeri* untuk digunakan sebagai analisis spektrum untuk

menentukan nilai lebar jendela, dimana nilai lebar jendela yang diperoleh yaitu 19×19 .

B. Pemisahan Anomali Regional – Residual

Pada proses ini anomali gayaberat difilter dengan menggunakan metode *moving average* dengan menggunakan filter Elkins, frekuensi yang kemudian diubah menjadi lebar jendela.

Peta penyebaran anomali regional merupakan tampilan hasil pengolahan atau hasil penyaringan dari data anomali Bouguer. Penyaringan ini dilakukan untuk menunjukkan efek atau respon anomali dalam. Peta penyebaran anomali residual merupakan tampilan data hasil pengurangan data anomali Bouguer terhadap anomali regional. Dimana data anomali residual mempunyai respon anomali dangkal.

4.3.3. Analisis *Second Vertical Derivatif* (SVD)

Second Vertical Derivative (SVD) atau turunan kedua secara vertikal digunakan untuk menentukan batas-batas struktur yang ada di daerah penelitian. Analisis *second vertical derivatif* (SVD) dilakukan pada peta anomali Bouguer, peta anomali regional dan peta anomali residualnya sehingga didapatkan nilai anomali nol yang diindikasikan sebagai patahan.

Dimana pada anomali residual, peta SVD akan menunjukkan patahan yang relatif dangkal sedangkan pada anomali regional dapat menunjukkan patahan yang relatif lebih dalam.

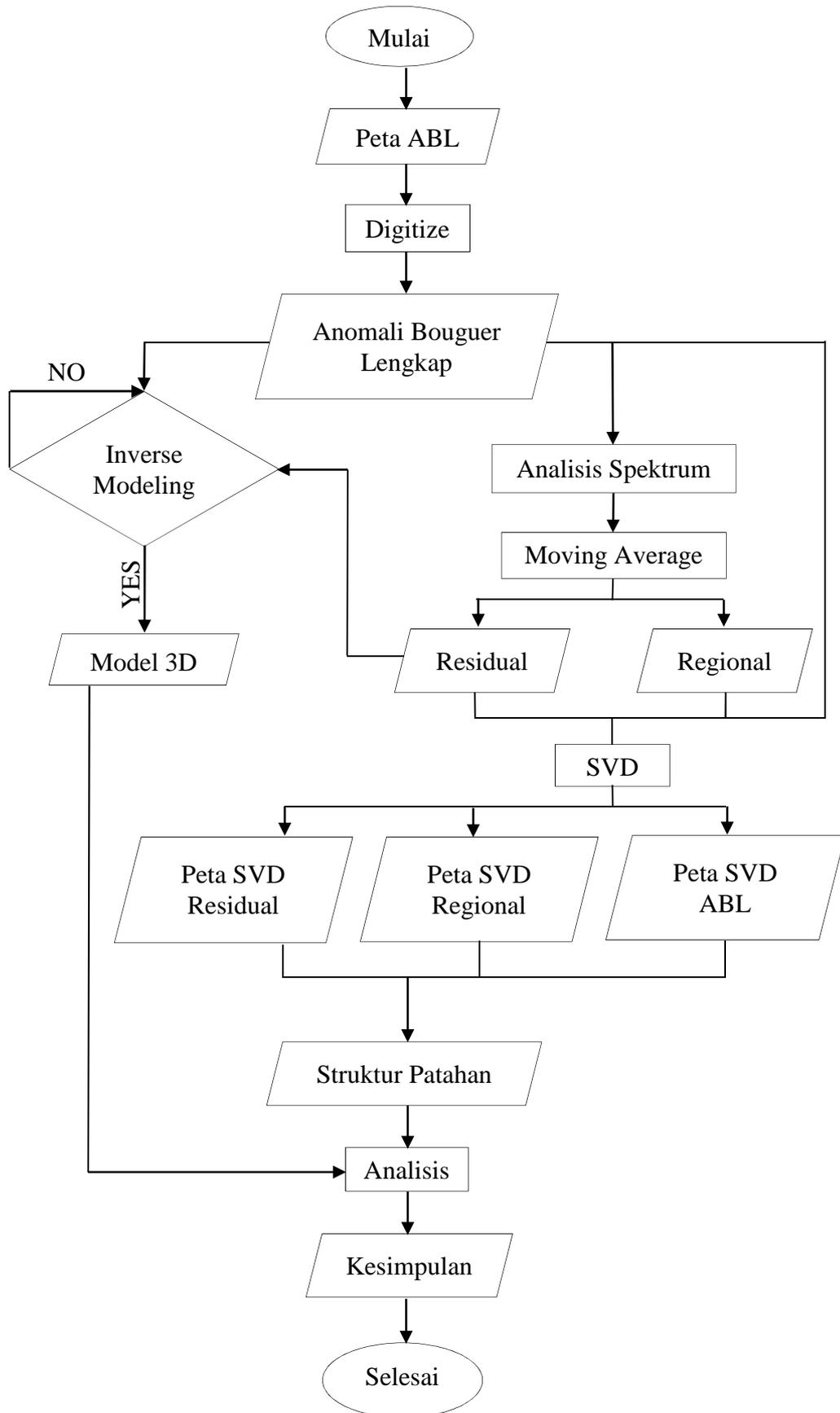
4.3.4. Pemodelan Bawah Permukaan

Dari peta anomali Bouguer dan peta anomali residual dilakukan permodelan 3 dimensi dengan metode *inverse modelling* untuk melihat lebih jelas struktur bawah permukaan daerah penelitian berupa sebaran densitasnya.

Pemodelan inversi pada penelitian ini dilakukan menggunakan software Grav3D. Dengan input data anomali Bouguer (*.grv), anomali residual (*.grv), topografi (*.dat) dan mesh (*.dat), sehingga didapatkan output data berupa model 3D daerah penelitian yang mendekati keadaan yang sebenarnya. Hasil penelitian kemudian diinterpretasikan dengan membandingkannya dengan data geologi yang ada.

4.4. Diagram Alir

Adapun diagram alir dari penelitian dipaparkan pada **Gambar 15** yakni:



Gambar 15. Diagram alir.

VI. KESIMPULAN DAN SARAN

6.1. Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Anomali Bouguer daerah penelitian mempunyai nilai dari 38 mGal sampai 74 mGal dengan nilai anomali tinggi sekitar 63,2 mGal sampai 74 mGal yang berada di arah barat daya daerah penelitian, sedangkan nilai anomali rendah sekitar 38 mGal sampai 47 mGal yang berada di arah utara daerah penelitian.
2. Dari analisis spektrum didapatkan batas anomali regional berada pada kedalaman 3.000 meter.
3. Dari hasil analisis SVD anomali Bouguer lengkap dan SVD anomali Residual memiliki gambaran yang hampir sama sehingga memiliki jumlah patahan yang sama yaitu 8 (delapan) patahan, sedangkan pada SVD anomali Regional menunjukkan patahan yang lebih dalam yaitu memiliki 4 (empat) patahan.
4. Zona yang diduga sebagai reservoir memiliki kontras densitas dari $-0,072 \text{ gr/cm}^3$ sampai $-0,236 \text{ gr/cm}^3$ dengan kedalaman 0 meter sampai 4.705 meter.

6.2. Saran

Agar dalam penelitian selanjutnya dapat lebih baik, maka penulis memberikan saran yaitu perlu dilakukannya survey lanjutan pada arah utara dan barat daerah penelitian guna menunjang kelengkapan data dan analisa reservoir lebih lanjut.

DAFTAR PUSTAKA

- Blakely, R. J. 1995. *Potential Theory in Gravity & Magnetic Application*. Cambridge University Press.
- Cordell, L., 1979. Gravimetric Expression of Graben in Santa Fe Country and Espanola Basin, New Mexico. New Mexico. Geol. Soc. Guidebook, 30th Field Conf, 59-64.
- Diyanti. 2014. *Interpretasi Struktur Geologi Bawah Permukaan Daerah Leuwidamar Berdasarkan Analisis Spektral Data*. Skripsi. Universitas Pendidikan Indonesia. Bandung.
- Elkins, T.A. 1951. *The Second Derivative Methode of Gravity Interpretation Geophysics*. Geological Survey Buletin 981.
- Gupta, H., and Roy, S. 2007. *Geothermal Energy: An Alternative Resource For 21ST Century*. Elsevier. Oxford.
- Hartoyo, Y. Nugroho, A. Bhirowo, B. Khalil. 2010. *Modul Pelatihan Sistem Informasi Geografis (SIG) Tingkat Dasar*. Tropenbos International Indonesia Programme. Bogor.
- Hochstein, Manfred P., and Sudarman S. 2008. *History of Geothermal Exploration in Indonesia From 1970 To 2000*. Geothermics 37, 2008, 220-266 pp.
- Kearey, P. 2002. *An Introduction to Geophysical Exploration 3rd Edition*. Blackwell ltd. London.
- Marsh, B.D. 2000. *Magma Chambers*. Academic Press. Maryland.
- Moehadi, M. 2009. *Geologi Dasar*. Universitas Indonesia. Depok.
- Octonovrilna, L. dan I.P. Pudja. 2009. *Analisa Perbandingan Anomaly Gravitasi dengan Persebaran Intrusi Air Asin*. Jurnal Meteorologi dan Geofisika.

- Permata, S.I. 2012. *Studi Komparasi Metode Filtering untuk Pemisahan Anomali Residual dan Regional dari Data Anomali Bouger*. Skripsi. Universitas Indonesia. Depok.
- Plouff, D. 1976. *Gravity and Magnetic Field of Polygonal prims and application to Magnetic Terrain Corrections*. Menlo Park. California.
- Putrohari, D.R., 2009. Limbah Panasbumi Mengandung Emas. <http://rovicky.wordpress.com/2009/12/30/limbah-panas-bumi-mengandung-emas/>. Diakses tanggal 02 November 2017.
- Reynolds, J.M., 1997. *An Introduction to Applied and Environmental Geophysics*. John Wiley and Sons Inc., England.
- Robinson, E., and Caruh, C. 1988. *Basic Exploration Geophysics*. Wiley and Sons.
- Sarkowi, M. 2010. *Identifikasi Struktur Daerah Panasbumi Ulubelu Berdasarkan Analisa Data SVD Anomali Bouguer*. Universitas Lampung. MIPA. Lampung.
- Sarkowi, M., 2014. *Eksplorasi Gayaberat*. Lembaga Penelitian Universitas Lampung, Indonesia.
- Setiadi, I., Setyanta, B., Widijono, B.S. 2010. *Delinasi Cekungan Sedimen Sumatera Selatan Beralaskan Analisa Data Gayaberat*. Jurnal Sumber Daya Geo/og/Vol. 20 No. 2:93-106.
- Sigurdsson, H. 2000. *History of Volcanology*. Rhode Island. Academic Press.
- Suhadiyatno. 2008. *Pemodelan Metode 3D dengan menggunakan Matlab*. Skripsi Sarjana Jurusan Fisika Universitas Indonesia.
- Sugianto, A., dan Mochamad, N.H. 2011. *Survei Terpadu Daerah Panasbumi Kepahiang Kabupaten Kepahiang, Bengkulu*. Bandung. Pusat Sumber Daya Geologi.
- Supriyanto. 2007. *Analisis Data Geofisika: Memahami Teori Inversi*. Departemen Fisika-FMIPA UI. Depok.
- Susanti, N. 2011. *Pemodelan Sistem Panas Bumi Pincara Kabupaten Luwu Utara Sulawesi Selatan Berdasarkan Data Geofisika*. Tesis. Universitas Indonesia. Jakarta.
- Telford, W.M., Goldrat, L.P., dan Sheriff, R.P. 1990. *Applied Geophysics 2nd ed*. Cambridge University Pres. Cambridge.

Torkis, R. 2012. *Analisa dan Pemodelan Struktur Bawah Permukaan Berdasarkan Metode Gayaberat di Daerah Prospek Panas Bumi Gunung Lawu*. Skripsi. Universitas Indonesia. Depok.