

**IDENTIFIKASI STRUKTUR GEOLOGI BAWAH
PERMUKAAN DAERAH PANASBUMI SIPOHOLON
BERDASARKAN ANALISIS SVD DAN PEMODELAN
ANOMALI GAYABERAT**

(Skripsi)

Oleh

**Yovan Elzikrian
1615051006**



**KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
FAKULTAS TEKNIK
JURUSAN TEKNIK GEOFISIKA
2021**

ABSTRACT

IDENTIFICATION OF THE SUBSURFACE GEOLOGICAL STRUCTURE OF THE SIPOHOLON GEOTHERMAL REGION BASED ON SVD ANALYSIS AND GRAVITY ANOMALY MODELING

By

Yovan Elzikrian

The Sipoholon geothermal area is one of the potential geothermal areas located in North Tapanuli Regency, North Sumatra Province, and is in the Sumatran fault zone with surface manifestations in the form of hot springs, gas bubbles and solfatar. This study aims to identify the fault structure and determine the geothermal prospect zone in the study area based on SVD analysis and modeling. Based on the processing carried out, the Bouguer anomaly in the study area is -105 mGal to -35 mGal. Furthermore, to get the window width that will be used on the moving average filter, a spectrum analysis is carried out in order to obtain a residual anomaly depth of 744 m and a regional anomaly depth of 6963 m. To be able to identify the fault structure, an SVD analysis was carried out where the faults identified were dominant with a northwest-southeast trend in the middle of the study area, there was also a north-south trending fault in the south of the study area, a northeast-southwest trending fault in the north of the study area, and west-east trending fault in the west of the study area. The 3D model was obtained with the distribution of subsurface density values ranging from 2.00 – 3.00 gr/cm³. Based on the results of modeling and analysis of gravity data, there are three prospect zones that are suspected to be geothermal reservoirs located in the northwest, southwest, and southeast. Geothermal manifestations are found in the northwest, southwest, central, and southeast of the study area which relatively follow the fault and there are intrusive igneous rocks which are estimated to be a heat source which has a density value between 2.80 - 3.00 gr/cm³ located at south and east with a depth of > 1.5 km.

Keywords :Gravity, Geothermal, Second Vertical Derivative, Moving Average

ABSTRAK

IDENTIFIKASI STRUKTUR GEOLOGI BAWAH PERMUKAAN DAERAH PANASBUMI SIPOHOLON BERDASARKAN ANALISIS SVD DAN PEMODELAN ANOMALI GAYABERAT

Oleh

Yovan Elzikrian

Daerah panas bumi Sipoholon merupakan salah satu daerah berpotensi panas bumi yang terletak di Kabupaten Tapanuli Utara, Propinsi Sumatera Utara, dan berada pada zona patahan Sumatera dengan manifestasi permukaan berupa mata air panas, bualan gas dan solfatar. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi struktur patahan serta mengetahui zona prospek panasbumi di daerah penelitian berdasarkan analisis SVD dan pemodelan. Berdasarkan pengolahan yang dilakukan didapatkan anomali *Bouguer* daerah penelitian sebesar -105 mGal sampai -35 mGal. Selanjutnya untuk mendapatkan lebar jendela yang akan digunakan pada filter *moving average* dilakukan analisis spektrum agar mendapatkan kedalaman anomali residual 744 m dan kedalaman anomali regional 6963 m. Untuk dapat mengidentifikasi struktur patahan dilakukan analisis SVD dimana patahan yang teridentifikasi dominan berarah barat laut – tenggara yang berada di tengah daerah penelitian, ada juga sesar berarah utara – selatan di selatan daerah penelitian, sesar berarah timur laut – barat daya di utara daerah penelitian, dan sesar berarah barat – timur di barat daerah penelitian. Model 3D didapatkan dengan persebaran nilai densitas bawah permukaan berkisar antara 2,00 – 3,00 gr/cm³. Berdasarkan hasil pemodelan dan analisis data gayaberat terdapat tiga zona prospek yang diduga sebagai reservoir panasbumi yang berada di barat laut, barat daya, dan tenggara. Manifestasi panasbumi terdapat di barat laut, barat daya, tengah, serta sebelah tenggara daerah penelitian yang relatif mengikuti sesar dan terdapat batuan beku intrusif yang diperkirakan menjadi sumber panas yang memiliki memiliki nilai densitas antara 2,80 – 3,00 gr/cm³ yang berada di bagian selatan dan timur dengan kedalaman > 1,5 km.

Kata kunci :Gayaberat, Panasbumi, *Second Vertical Derivative*, *Moving Average*

**IDENTIFIKASI STRUKTUR GEOLOGI BAWAH
PERMUKAAN DAERAH PANASBUMI SIPOHOLON
BERDASARKAN ANALISIS SVD DAN PEMODELAN
ANOMALI GAYABERAT**

Oleh

YOVAN ELZIKRIAN

Skripsi

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar

SARJANA TEKNIK

Pada

Jurusan Teknik Geofisika

Fakultas Teknik Universitas Lampung



**KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
FAKULTAS TEKNIK
JURUSAN TEKNIK GEOFISIKA
2021**

Judul Skripsi

**: IDENTIFIKASI STRUKTUR GEOLOGI BAWAH
PERMUKAAN DAERAH PANASBUMI
SIPOHOLON BERDASARKAN ANALISIS SVD
DAN PEMODELAN ANOMALI GAYABERAT**

Nama Mahasiswa

: Yovan Elzikrian

Nomor Pokok Mahasiswa : **1615051006**

Jurusan

: Teknik Geofisika

Fakultas

: Teknik



1. Komisi Pembimbing

Dosen Pembimbing 1

Dosen Pembimbing 2

Dr. Ir. Muh Sarkowi, S.Si., M.Si.
NIP. 19711210199702 1001

Ir. Syamsudrijal Rasimeng, S.Si., M.Si.
NIP. 19730716200012 1002

2. Ketua Jurusan Teknik Geofisika

Karyanto, S.Si., M.T.

NIP. 19691230 199802 1001

MENGESAHKAN

1. Tim penguji

Ketua : **Dr. Ir. Muh Sarkowi, S.Si., M.Si.**

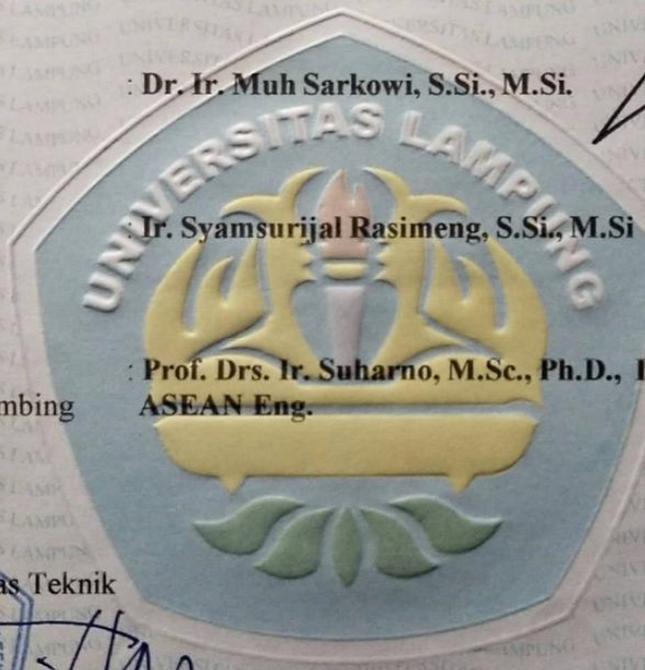
Sekretaris : **Ir. Syamsurijal Rasimeng, S.Si., M.Si**

Ketua
Bukan Pembimbing : **Prof. Drs. Ir. Suharno, M.Sc., Ph.D., IPU., ASEAN Eng.**

Dekan Fakultas Teknik

Prof. Drs. Ir. Suharno, M.Sc., Ph.D, IPU., ASEAN Eng.
NIP. 19620717198703 1002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 6 Agustus 2021



(Handwritten signatures of Dr. Ir. Muh Sarkowi, Ir. Syamsurijal Rasimeng, and Prof. Drs. Ir. Suharno)

(Handwritten signature of Prof. Drs. Ir. Suharno)

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 pula bahwa skripsi ini dibuat oleh saya sendiri.

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

Bandar Lampung, 22 Agustus 2021

Penulis



Yovan Elzikrian

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Solok, pada tanggal 7 Desember 1997, anak dari pasangan Bapak Syamsuardi dan Ibu Fatwi Elma. Penulis menyelesaikan pendidikan formal di SDN 29 Muaro Sijunjung pada tahun 2010, SMPN 7 Sijunjung pada tahun 2013, dan SMAN 2 Sijunjung pada tahun 2016.

Pada tahun 2016 penulis melanjutkan studi di perguruan tinggi dan terdaftar sebagai mahasiswa Jurusan Teknik Geofisika Fakultas Teknik Universitas Lampung melalui jalur SNMPTN. Pada tahun 2017 hingga 2018 penulis menjadi anggota Bidang Kajian dan Dakwah di Organisasi Islam Fakultas Teknik Fossi FT. Pada tahun 2018 penulis juga aktif sebagai Anggota UKM Futsal Universitas Lampung

Pada tahun 2019 penulis melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Desa Tanjung Kurung, Kecamatan Kasui, Kabupaten Way Kanan. Adapun dalam mengaplikasikan ilmu di bidang Geofisika, penulis telah melaksanakan Kerja Praktik (KP) pada bulan Juli 2019 di Pusat Survei Geologi Bandung dengan topik “Pemisahan Anomali Gayabarat Regional dan Residual Menggunakan Metode *Gaussian Regional/Residual Filter* Daerah Lasusua, Sulawesi Tenggara”. Kemudian, pada bulan Desember 2020 hingga Mei 2021, Penulis melakukan penelitian Tugas Akhir di Laboratorium Teknik Geofisika Universitas Lampung

hingga akhirnya penulis berhasil menyelesaikan pendidikan sarjana pada 6 Agustus 2021 dengan Skripsi yang berjudul “*Identifikasi Struktur Geologi Bawah Permukaan Daerah Panasbumi Sipoholon Berdasarkan Analisis SVD dan Pemodelan Anomali Gayaberat*”.

PERSEMBAHAN

Alhamdulillahirobbil 'alamin

Atas ridho-Nya, dengan penuh rasa syukur, ku persembahkan skripsi ini kepada:

Kedua Orang Tuaku & Ibu Angkatku

**Syamsuardi
Fatwi Elma
Luluk Tantri Elvandari**

Terima kasih untuk setiap pengorbanan, kesabaran, kasih sayang, serta doa yang tiada henti.

Kakakku

Novelia Prima

Adik-adikku

**Agung, Caca, Hanania, Akbar
Monil, Kia, Wawa**

Terima kasih selalu mendukung, dan mendoakan.

TEKNIK GEOFISIKA UNIVERSITAS LAMPUNG 2016

Terima kasih banyak untuk segala-galanya selama 4 tahun yang luar biasa ini

**Keluarga Besar Teknik Geofisika Universitas Lampung
Almamater Universitas Lampung**

MOTTO

“Jika kamu tidak tahan terhadap penatnya belajar, maka kamu akan menanggung perihnya kebodohan.”

(Imam Syafii)

“Barang siapa yang keluar rumah untuk mencari ilmu, maka ia berada di jalan Allah hingga ia pulang.”

(HR. Tirmidzi)

“Jangan pergi mengikuti kemana jalan akan berujung. Buat jalanmu sendiri dan tinggalkanlah jejak.”

(Penulis)

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur kepada Allah SWT yang telah melimpahkan nikmat, hidayah dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Skripsi dengan judul **“Identifikasi Struktur Geologi Bawah Permukaan Daerah Panasbumi Sipoholon Berdasarkan Analisis SVD dan Pemodelan Anomali Gayaberat”**. Skripsi ini merupakan syarat untuk menyelesaikan studi Strata-1 Teknik Geofisika, Fakultas Teknik, Universitas Lampung. Penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak yang telah membantu dalam melakukan pembuatan skripsi ini.

Penulis sangat menyadari dalam penulisan skripsi ini, jauh dari sempurna serta banyak kekurangan baik dalam penulisan maupun pembahasan materi. Penulis sangat mengharapkan saran dan kritik yang membangun agar dapat menjadi pedoman baik bagi pembaca lain. Serta penulis berharap agar kiranya skripsi ini dapat bermanfaat untuk perkembangan ilmu pengetahuan khususnya di bidang geofisika.

Demikianlah kata pengantar yang dapat disampaikan, atas perhatiannya saya ucapkan Terima Kasih.

Penulis

Yovan Elzikrian

SANWACANA

Puji syukur kepada Allah SWT atas ridho-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul **“Identifikasi Struktur Geologi Bawah Permukaan Daerah Panasbumi Sipoholon Berdasarkan Analisis SVD dan Pemodelan Anomali Gayaberat”**. Banyak pihak yang terlibat dalam memberikan kontribusi ilmiah, spiritual dan informasi baik secara langsung maupun tidak langsung. Pada kesempatan kali ini penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada:

1. Allah SWT Tuhan Yang Maha Esa dan Rasullullah Muhammad SAW atas segala rahmat dan hidayah-Nya selama pengolahan dan penulisan menyelesaikan Tugas Akhir.
2. Ayahku tercinta Syamsuardi dan Ibuku tercinta Fatwi Elma yang selalu mendukung penulis baik secara moril maupun materiel serta yang selalu memberikan doa terbaik untuk penulis sehingga bisa menyelesaikan skripsi ini. Terimakasih banyak atas semua motivasi, dukungan dan doa dari Ayah dan Ibu.
3. Luluk Tantri Elvadari Ibu Angkat tersayang yang telah banyak membantu moril dan materiel serta memberikan motivasi dan dukungan kepada penulis selama berkuliah di Universitas Lampung hingga penulis bisa menyelesaikan skripsi ini. Semoga semua kebaikan ibu selama ini di balas oleh Allah Swt.

4. Kepada Novi kakakku dan kepada adik-adikku tersayang Agung, Caca, dan Hanania yang selalu menjadi sumber motivasiku dalam mengerjakan skripsi. Semoga kita semua sukses dan bisa membanggakan keluarga.
5. Bapak Dr. Ir. Muh. Sarkowi, S.Si., M.Si. dan Bapak Ir. Syamsurijal Rasimeng, S.Si., M.Si.. selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir penulis yang telah memberikan arahan, masukan, ilmu yang bermanfaat serta motivasi bagi penulis.
6. Bapak Prof. Drs. Ir. Suharno, M.Sc., Ph.D, IPU., ASEAN Eng. selaku Dosen Penguji Tugas Akhir penulis yang telah memberikan masukan dan saran bagi penulis.
7. Bapak Karyanto, S.Si., M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Geofisika Universitas Lampung yang selalu memberikan dukungan dan motivasi kepada penulis.
8. Dosen-dosen Teknik Geofisika Universitas Lampung yang penulis hormati atas semua ilmu yang diajarkan selama ini.
9. Seluruh keluarga besar **Teknik Geofisika'16** "KSKJ": Arya, Ahfas, Arief, Adli, Alvin, Bani, David, Eko, Fikri, Gege, Haqqie, Igo, Ikhsan, Jaka, Lintang, Mirza, Mufido, Pupu, Ramos, Ripang, Tri, Umam, Wahyu, Fachrul, Yuzir. "Cewe Tg Au" :Arel, Alia, Detri, Desima, Ditha, Echa, ,Engla, Etri, Fidel, Fitria, Fristi, Iis, Kintani, Kristin, Machrani, Nadya, Puja, Puteri, Ribka, Sarah, Suci Kurniati, Suci Ariska, Tara, Yola, Zahra, yang telah memberikan motivasi dan membantu dalam penyusunan skripsi ini, dan juga terima kasih atas tawa canda duka yang sudah kalian berikan selama kurang lebih 4 tahun ini.

10. Team gravity Tri, Yuzir, Mirza, Desima, Fachrul, Arya, Machrani, Fitria, dan Yola yang sudah menjadi wadah belajar terutama mengenai gravity.
11. Kepada teman-teman kontrakan RBP Ripang, Umam, Tri, Mirza, Adli, Mbah, Fikri, Igo, Pupu, dan Yuzir terimakasih sudah mendukung dan banyak membantu penulis dalam penyusunan skripsi.
12. Teman-teman rusunawa Ipul, David, Intan, Marsya, Vera, Fadila, Bang Oji terima kasih telah menemani dan memberikan dukungan kepada penulis. Semoga kita semua sukses.
13. Dan berbagai pihak yang telah membantu penulis.

Semoga penelitian ini dapat bermanfaat bagi pembaca. Adapun kritik dan saran sangat diharapkan agar menjadi kebaikan penulis untuk menjadi lebih baik.

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI	ii
DAFTAR GAMBAR	iii
DAFTAR TABEL	vi
I. PENDAHULUAN	
A. Latar Belakang.....	1
B. Tujuan Penelitian	3
C. Batasan Masalah	4
II. TINJAUAN PUSTAKA	
A. Lokasi Penelitian	5
B. Geologi Regional	6
C. Stratigrafi Daerah Sipoholon	7
1. Satuan Lava Jorbing (Tmlj).....	7
2. Satuan Lava Siborboron (Tmlsb)	7
3. Satuan Piroklastik Toba 1 (Qvt 1).....	8
4. Satuan Piroklastik Toba 2 (Qvt 2).....	8
5. Satuan Lava Palangka Gading (Qvpg)	8
6. Satuan Kubah Lava Martimbang (Qvma)	8
7. Satuan Sinter Karbonat (Qsk).....	9

8. Satuan Endapan Alluvial (Qal).....	9
D. Struktur Geologi Regional.....	9
E. Struktur Geologi Sipoholon	11

III. TEORI DASAR

A. Konsep Dasar Metode Gayaberat.....	16
1. Gaya Gravitasi (Hukun Newton I)	16
2. Percepatan Gravitasi (Hukun Newton II).....	17
3. Potensial Gravitasi.....	18
B. Reduksi Data Gayaberat.....	19
1. Koreksi Pasang Surut	20
2. Koreksi Apungan.....	20
3. Koreksi Lintang.....	21
4. Koreksi Udara Bebas.....	22
5. Koreksi Bouguer	22
6. Koreksi Medan	23
C. Anomali Bouguer	24
D. Spektral Analisis	25
E. <i>Filter Moving Average</i>	27
F. SVD	29
G. <i>Forward Modelling</i>	34
H. <i>Inverse Modelling</i>	36
I. Densitas Batuan	37

IV. METODOLOGI PENELITIAN

A. Lokasi, Waktu, dan Judul Penelitian.....	39
B. Alat dan Bahan	39
C. Tahapan Pengolahan Data	40
1. Analisis Spektrum Menggunakan FFT	40
2. Pemisahan Anomali Regional dan Residual	40
3. Analisis <i>Derivative</i>	41
4. Pemodelan Bawah Permukaan	41
D. Jadwal Penelitian.....	42
E. Diagram Alir.....	44

V. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Anomali Bouguer	45
B. Analisis Spektrum	46
C. Pemisahan Anomali Regional dan Residual	56
1. Anomali Regional.....	57
2. Anomali Residual.....	58
D. <i>Second Vertical Derivative</i>	59
E. <i>Inverse Modelling</i>	61
F. <i>Slicing 3D</i>	63

VI. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan	86
B. Saran.....	87

DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1. Peta Lokasi Daerah Penelitian	5
Gambar 2. Geologi Regional Sumatera Utara	11
Gambar 3. Peta Geologi Daerah Panasbumi Sipoholon	15
Gambar 4. Gaya Tarik Menarik Antara Dua Benda.....	16
Gambar 5. Koreksi Pasang Surut Bumi.....	20
Gambar 6. Koreksi Apungan	21
Gambar 7. Koreksi Udara Bebas	22
Gambar 8. Koreksi Bouger	22
Gambar 9. Stasiun yang berada dekat dengan gunung.....	23
Gambar 10. Stasiun yang berada dekat dengan lembah.....	23
Gambar 11. Kurva Ln A terhadap K	27
Gambar 12. Kurva respon anomali SVD pada struktur geologi.....	31
Gambar 13. Skema hubungan antarmuka transisi densitas dan profil SVD.....	33

Gambar 14. Efek Benda Bentuk Poligon Anomali Gravitasi.....	34
Gambar 15. Nilai densitas beberapa batuan	38
Gambar 16. Ilustrasi ambiguitas penyebab anomali gaya berat	38
Gambar 17. Diagram Alir Penelitian.....	44
Gambar 18. Peta Anomali Bouguer Daerah Penelitian	45
Gambar 19. Peta Sayatan Pada Anomali Bouguer	47
Gambar 20. Grafik ln A vs K (lintasan 1) Analisis Spektrum.....	49
Gambar 21. Grafik ln A vs K (lintasan 2) Analisis Spektrum.....	50
Gambar 22. Grafik ln A vs K (lintasan 3) Analisis Spektrum.....	51
Gambar 23. Grafik ln A vs K (lintasan 4) Analisis Spektrum.....	53
Gambar 24. Grafik ln A vs K (lintasan 5) Analisis Spektrum.....	54
Gambar 25. Peta Anomali Regional	57
Gambar 26. Peta Anomali Residual	58
Gambar 27. Peta Anomali SVD dan Interpretasi Sesar yang Dianalisa dari Peta SVD.....	61
Gambar 28. Model 3D	62
Gambar 29. <i>Overlay Xsection</i> koordinat Y=229,48 km	65
Gambar 30. <i>Overlay Xsection</i> koordinat Y=224,12 km	67
Gambar 31. <i>Overlay Xsection</i> koordinat Y=221,82 km	69

Gambar 32. <i>Overlay Xsection</i> koordinat Y 220,29 km	71
Gambar 33. <i>Overlay Ysection</i> koordinat X 493,82 km.....	73
Gambar 34. <i>Overlay Ysection</i> koordinat X 500,08 km.....	74
Gambar 35. <i>Slicing</i> pada kedalaman 0.56 km	76
Gambar 36. <i>Slicing</i> pada kedalaman 1.14 km	77
Gambar 37. <i>Slicing</i> pada kedalaman 2 km	79
Gambar 38. <i>Slicing</i> pada kedalaman 2.61 km	80
Gambar 39. Peta distribusi model density pada kedalaman 2000 m yang dikompilasi dengan struktur sesar, manifestasi, gunung, dan reservoir panasbumi hasil interpretasi	81
Gambar 40. Analisis Model Panasbumi Sipoholon Berdasarkan Slice 3D.....	83
Gambar 41. Model Tentatif Panasbumi Sipoholon	84
Gambar 42. Model Berdasarkan <i>X section</i> koordinat Y 229,5 km	85

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1. Operator Filter SVD Elkins	32
Tabel 2. Jadwal Kegiatan Penelitian	43
Tabel 3. Kedalaman Anomali Regional dan Residual.....	55
Tabel 4. Bilangan Gelombang (Kc) dan Lebar Jendela (N)	56

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Daerah Sipoholon, yang terletak di Kabupaten Tapanuli Utara, berdasarkan manifestasi permukaan panas bumi dan pola geologinya merupakan daerah yang berpotensi adanya sumber daya panasbumi. Sayangnya, sampai saat ini potensi energi tersebut belum dikembangkan untuk pembangkit tenaga listrik sebagai kegunaan utama (Situmorang, 2005). Mengacu pada Peraturan Presiden No. 5 tahun 2006 tentang Kebijakan Energi Nasional yang menargetkan penggunaan energi panasbumi untuk pemenuhan kebutuhan listrik di Indonesia sebesar 5% pada tahun 2025, maka potensi panasbumi daerah ini dapat dikembangkan menjadi salah satu solusi untuk mengatasi kekurangan energi listrik di Kabupaten Tapanuli Utara. Namun, salah satu faktor yang menjadi kendala pengembangannya saat ini adalah belum adanya model konseptual sistem panasbumi daerah ini.

Model konseptual adalah penggabungan model deskriptif maupun kualitatif yang menyatukan informasi fisik penting dari sistem panasbumi (Zarkasyi, 2015). Dengan kata lain bahwa model konseptual merupakan gambaran komponen-komponen penyusun suatu sistem panasbumi yang dihasilkan dari

lapangan panasbumi, salah satunya dalam memilih lokasi dan target dari sumur yang akan dibor (Mortensen dan Axelsson, 2013). Dalam hal ini, daerah panasbumi Sipoholon sudah pernah diteliti dari segi geologi, geokimia, dan geofisika. Hasil survei geologinya adalah manifestasi permukaan di daerah ini tersebar di 18 titik mata air panas dan 5 titik endapan travertine, sehingga identifikasi sementara menunjukkan bahwa sistem panasbumi daerah Sipoholon ini termasuk ke dalam jenis sistem non-vulkanik (Niasari, 2015).

Area panasbumi Sipoholon ini berada diantara beberapa gunung api non-aktif seperti Gunung Imun, Gunung Jorbing, Gunung Martimbang, Gunung Siborboron, dan Gunung Palangka Gading. Gunung Martimbang merupakan sumber panas daerah panasbumi Sipoholon ini (Hasan dkk., 2005). Namun, data-data geofisika dan geokimia yang sudah ada tidak sepenuhnya mendukung hipotesis ini karena tidak menemukan indikasi apapun tentang sumber panas dibawah gunung non-aktif Martimbang (Niasari, 2015). Hal ini menyebabkan cara kerja dan sumber panas dari sistem panasbumi ini masih dalam perdebatan sampai sekarang. Oleh karena itu, perlu adanya studi.

Salah satu metode geofisika yang digunakan dalam penyelidikan panasbumi yaitu metode gaya berat. Metode ini mampu memberikan gambaran bawah permukaan bumi berdasarkan variasi nilai densitas batuan penyusunnya (Setianingsih, 2013). Penggunaan metode ini dalam eksplorasi panasbumi cukup efektif karena dapat mendelineasi struktur bawah permukaan berupa

zona patahan yang ditandai dengan kontras densitas rendah dengan batuan sekitarnya (Sugianto, 2015). Dalam sistem panasbumi zona ini sangat berperan penting dalam mengontrol pemunculan manifestasi panasbumi di permukaan. Selain itu, metode gayaberat juga mampu untuk memperlihatkan persebaran daerah terpanas yang bisa diindikasikan sebagai sumber panas (Sugianto, 2015), yang ditandai dengan kontras densitas tinggi. Variasi persebaran densitas dan anomali ini didapatkan dari hasil pemodelan geofisika terhadap data pengukuran gaya berat.

B. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mendapatkan anomali Bouguer daerah penelitian
2. Menentukan batas kedalaman anomali Bouguer Regional dan Residual berdasarkan analisa spektrum dan filtering
3. Mengidentifikasi struktur patahan daerah penelitian berdasarkan analisa pola anomali Bouguer dan analisa SVD anomali Bouguer
4. Mendapatkan model struktur bawah permukaan berdasarkan pemodelan inversi 3D anomali Bouguer
5. Mengetahui daerah prospek panasbumi daerah penelitian berdasarkan hasil interpretasi *gravity* yang dikorelasikan dengan data geologi, geokimia dan data geofisika lainnya.

C. Batasan Masalah

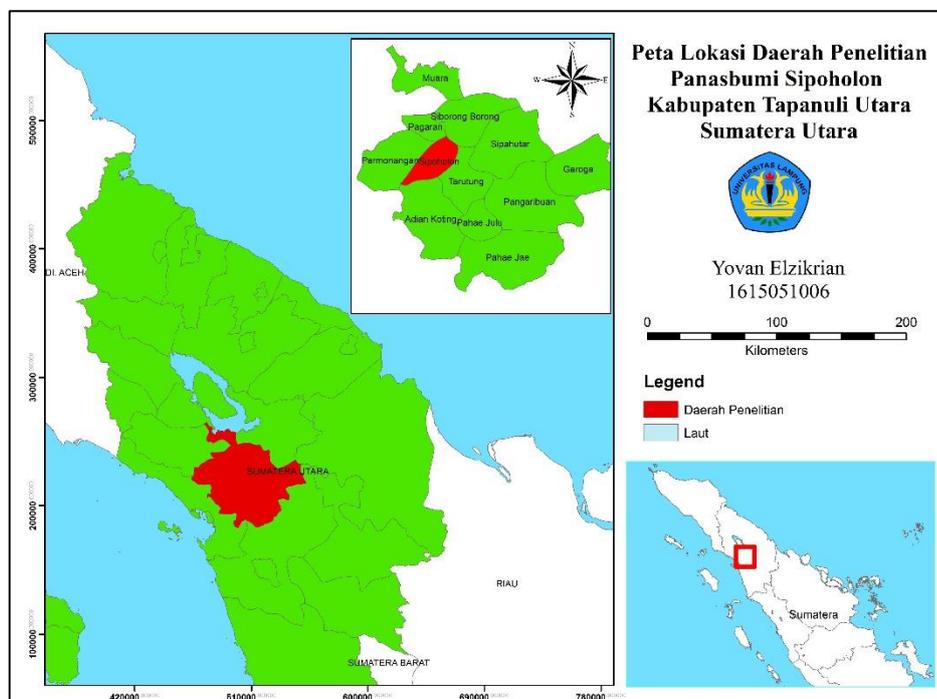
Batasan masalah penelitian ini adalah:

1. Data yang digunakan adalah data sekunder berupa anomali Bouguer yang diperoleh dari ESDM.
2. Pada Wilayah penelitian adalah daerah Sipoholon bagian tenggara dan Tarutung bagian utara dengan ukuran 14 km x 16 km.
3. Pada data gayabarat dilakukan proses pemisahan anomali regional dan residual dengan *moving average*, analisis struktur dengan *Second Vertical Derivative*, dan pemodelan inversi 3D.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Lokasi Penelitian

Lokasi daerah penelitian berada pada daerah panas bumi Sipoholon yang secara administratif terletak di Kecamatan Sipoholon bagian tenggara dan Kecamatan Tarutung bagian utara, Kabupaten Tapanuli Utara, Provinsi Sumatera Utara. Secara geografis, daerah ini terletak antara $98^{\circ}54'00''$ - $99^{\circ}01'30''$ BT dan $01^{\circ}56'00''$ LU sampai $02^{\circ}06'00''$ LU atau antara 488000 m - 502000 m UTM X dan 215600 m - 232100 m UTM Y pada sistem koordinat UTM zona 47 belahan bumi utara.



Gambar 1. Peta Lokasi Daerah Penelitian

B. Geologi Regional

Secara regional di daerah Sumatera Utara telah tersingkap berbagai macam batuan mulai dari batuan sedimen, beku, metasedimen hingga malihan yang berumur Karbon hingga umur Pleistosen. Batuan intrusif tua yang berumur Kapur hingga Tersier, baik jenis granodiorit maupun granit porfir yang terdapat di daerah Padang Sidempuan sampai daerah selatan Solok, Sumatera Barat dan juga di bagian timur hingga barat daerah Sibolga. Batuan intrusif tua dan malihan berumur pra-tercier menjadi basement dari cekungan-cekungan sedimen di sepanjang jalur belakang busur vulkanik.

Batuan vulkanik banyak tersingkap di bagian tengah yang merupakan jalur vulkanik aktif sejak oligosen atas hingga resen yang dicirikan oleh banyaknya kerucut-kerucut gunung api aktif seperti Sibayak, Sinabung, Sarula, Sorik Marapi dan sebagainya, komposisi batuan vulkanik di sepanjang jalur ini bervariasi dari mulai basaltik hingga riolitik. Piroklastik Toba merupakan produk yang paling besar volume dan luas areal penyebarannya dari sekian banyak produk vulkanik di daerah Sumatera Utara. Satuan batuan yang terdiri dari tufa dan ignimbrit yang berkomposisi dasitik hingga riolitik ini diduga merupakan hasil dari mekanisme letusan gunung api tua Toba. Gunung api ini bersifat sangat eksplosif yang terjadi pada kala pleistosen awal, akibat letusan ini terbentuklah kaldera yang menjadi danau Toba sekarang.

C. Stratigrafi Daerah Sipoholon

Pengamatan dan pengambilan sampel terhadap batuan penyusun daerah penelitian telah dilakukan oleh Tim Penyelidikan Terpadu PSDG (2005) di 54 lokasi titik amat. Berdasarkan hasil pemetaan di lapangan dan pengamatan makroskopis yang dilakukan oleh Hasan, dkk (2005), litologi di daerah penelitian dapat dibagi menjadi 8 (delapan) satuan batuan yang terdiri dari 6 (enam) satuan batuan vulkanik, 1 (satu) satuan batuan sedimen, dan 1 (satu) satuan batuan endapan permukaan (lihat Gambar 3). Menurut Hasan, dkk (2005), urutan genesa batuan tersebut dari tua ke muda adalah sebagai berikut.

1. Satuan Lava Jorbing (Tmlj)

Satuan ini menyebar di bagian tenggara daerah penelitian. Merupakan penyusun satuan morfologi relief sedang-terjal yang tersusun oleh batuan beku andesit berwarna abu-abu terang gelap, porfiritik, sebagian telah mengalami pelapukan dan ubahan yang lemah. Dari hasil pengamatan mikroskopis, batuan ini adalah andesit piroksen yang diperkirakan berumur Tersier (Miosen) dan berasal dari erupsi Gunung Jorbing. Batuan ini kontak tak selaras dengan satuan di atasnya yaitu piroklastik Toba.

2. Satuan Lava Siborboron (Tmlsb)

Satuan ini menyebar di bagian barat daerah penelitian dengan menempati satuan morfologi relief terjal di lereng Gunung Siborboron. Terdiri dari batuan beku dengan warna abu-abu muda-tua dengan komposisi andesitik. Dari hasil analisis sayatan tipis, satuan ini didominasi oleh batuan beku andesit piroksen yang diperkirakan berumur Miosen dan berasal dari erupsi

Gunung Siborboron, dengan posisi stratigrafinya yang berada tidak selaras di bawah satuan Piroklastik Toba.

3. Satuan Piroklastik Toba 1 (Qvt 1)

Satuan ini menyebar di bagian selatan daerah penelitian tepatnya di sebelah barat Gunung Martimbang. Di beberapa tempat terdapat sisa aktivitas hidrotermal berupa endapan oksida besi. Dari hasil pengamatan sayatan tipis, satuan ini termasuk dalam tufa gelas yang diperkirakan berumur Kuartar dan merupakan aliran piroklastik hasil aktivitas gunung api purba Toba.

4. Satuan Piroklastik Toba 2 (Qvt 2)

Satuan ini menyebar hampir di semua bagian daerah penelitian dengan ciri-ciri berwarna abu-abu terang, mengandung fragmen batu apung dengan diameter mencapai 10 cm, dan berkomposisi riodasit. Diperkirakan bahwa satuan ini berumur Kuartar dan merupakan aliran piroklastik hasil aktivitas gunung api purba Toba.

5. Satuan Lava Palangka Gading (Qvpg)

Satuan ini menyebar di bagian barat daerah penelitian yang terdiri dari batuan beku andesitik dengan ciri-ciri berwarna abu-abu kehijauan. Dari hasil pengamatan sayatan tipis, satuan ini tersusun oleh batuan Andesit Piroksen, dengan kedudukan selaras di atas satuan piroklastik Toba 2. Satuan ini diperkirakan berumur Kuartar dan berasal dari erupsi Gunung Palangka Gading.

6. Satuan Kubah Lava Martimbang (Qvma)

Satuan ini tersebar di daerah selatan daerah penelitian yaitu di sekitar lereng Gunung Martimbang. Terdiri dari batuan beku andesitik, hasil pembekuan

lava Gunung Martimbang. Dari hasil sayatan tipis, satuan ini termasuk dalam andesit piroksen. Berdasarkan metode *Fission Track*, satuan ini diperkirakan berumur 600.000 tahun atau Kuartar.

7. Satuan Sinter Karbonat (Qsk)

Satuan yang terdapat di sekitar manifestasi panas bumi ini merupakan hasil endapan fluida panas bumi yang berkomposisi bikarbonat dan di beberapa tempat terdapat struktur perlapisan dan gua (*caving*) dengan stalaktit dan stalagmit. Dari hasil pengamatan sayatan tipis menunjukkan bahwa 95% satuan ini terdiri dari kristal kalsit hasil rekristalisasi fluida berkomposisi bikarbonat. Satuan ini merupakan batuan sedimen dan proses pembentukannya masih berlangsung hingga saat ini.

8. Satuan Endapan Alluvial (Qal)

Satuan ini merupakan endapan permukaan yang terkonsentrasi di daerah graben Tarutung yaitu di sepanjang lereng Sungai Sigaeon. Satuan ini terdiri dari pasir, tuf, dan batuan beku andesit, yang memiliki fragmen dengan ukuran diameter mencapai 50 cm, membundar-bundar tanggung, dan tidak padu.

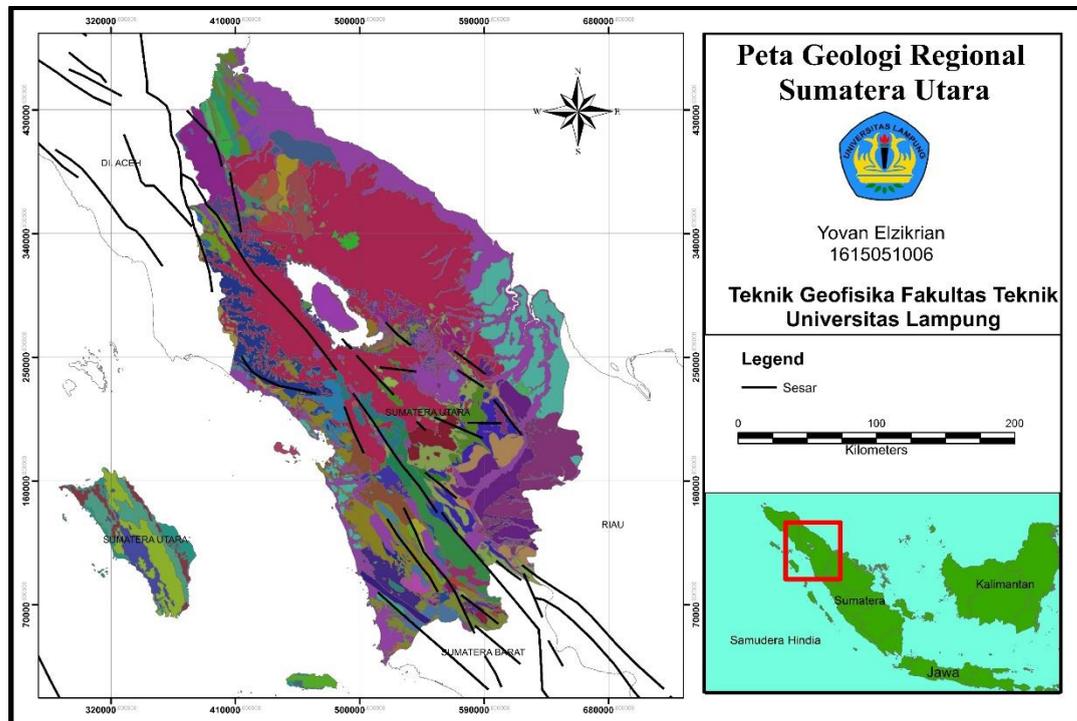
D. Struktur Geologi Regional

Secara regional, proses tektonik di daerah Sipoholon dipengaruhi oleh kegiatan tektonik pergerakan lempeng-lempeng utama yaitu Eurasia di utara dan Hindia Australia di bagian selatan yang saling bertumbukan sehingga mengalami penunjaman. Penunjaman yang terjadi ini mengakibatkan terbentuknya jalur pegunungan yang dikenal dengan sebutan Bukit Barisan.

Hal ini terlihat pada deretan gunung api berumur Paleogen sampai Resen yang membentang dari ujung utara Sumatera sampai Teluk Semangko di bagian selatan. Deretan gunung yang ada sangat mempengaruhi litologi batuan di pulau Sumatera ini. Aktivitas vulkanisme di pulau Sumatera yang berlangsung sejak zaman Tersier sampai saat ini telah menghasilkan persebaran batuan vulkanik yang cukup luas. Batuan vulkanik di Sumatera umumnya merupakan produk gunung api strato yang muncul di atas batuan sedimen Tersier maupun Pratersier dan batuan malihan. Khusus untuk daerah Sipoholon, litologi batuan di daerah ini dapat dilihat pada Gambar 3.

Penunjaman di pulau Sumatera ini terbentuk secara berkala dan telah dilepaskan melalui sesar-sesar geser (transform) yang terpusat dan membentang sepanjang pulau Sumatera yang dikenal dengan Sistem Sesar Sumatera (Tim Penyelidikan Terpadu PSDG, 2005). Sistem Sesar Sumatera (SFS) ini berperan sebagai struktur utama dengan arah barat laut-tenggara yang memiliki panjang sekitar 1650 km. Umur sesar ini berbeda-beda mulai dari Kapur sampai Paleogen. Pola-pola struktur yang berkembang di pulau Sumatera mengikuti pola struktur utama ini. Sistem sesar ini tersusun oleh paling tidak 18 segmen sesar dan masih aktif. Sebagai akibat pergerakan aktif ini, di sepanjang jalur sesar ini terdapat banyak struktur depresi (graben) terutama di daerah pertemuan antar segmen sesar, sebagai akibat komponen gaya tarikan (*extention*) yang dikenal juga dengan istilah *pull-apart basin*. Keterdapatannya sumber daya panas bumi di Pulau Sumatera ini, termasuk

daerah Sipoholon, dipengaruhi dan dikontrol oleh struktur geologi yang berkembang di pulau ini.



Gambar 2. Geologi Regional Sumatera Utara

E. Struktur Geologi Sipoholon

Berdasarkan analisa citra satelit dan pengamatan dilapangan, di daerah penyelidikan terdapat 12 sesar. Sesar-sesar ini secara umum mempunyai 4 (empat) arah orientasi yaitu baratlaut-tenggara, timurlaut-baratdaya, utara-selatan dan barat-timur. Semua sesar ini bertanggung jawab atas terbentuknya manifestasi panas bumi di daerah penyelidikan. Sesar-sesar tersebut adalah:

1. Sesar Sipoholon

Sesar ini berarah barat laut – tenggara dengan indikasi permukaan yang dicirikan oleh adanya kelurusan mata air panas (Sipoholon dan Hutabarat). Selain itu, pada citra satelit terlihat juga adanya kelurusan lembah atau tekuk

lereng. Sesar ini berupa sesar normal dengan bidang naik (*foot wall*) berada di sebelah timur laut dan bidang turun (*hanging wall*) di sebelah barat daya. Sesar ini terjadi akibat adanya gaya tarikan (*extension*) yang berarah timur laut – barat daya.

2. Sesar Sibatu-batu

Sesar ini mempunyai arah barat laut - tenggara dan diperkirakan merupakan kemenerusan dari sesar Sipoholon ke arah tenggara daerah penelitian. Indikasi di permukaan adalah adanya mata air panas Sitompul. Selain itu dari citra satelit menunjukkan adanya kelurusan lembah. Sesar ini berupa sesar normal dengan bidang naik di sebelah timur laut dan bidang turun di sebelah barat daya.

3. Sesar Sigeaon

Sesar ini berarah barat laut – tenggara dengan indikasi di permukaan dicirikan oleh adanya bualan gas H_2S di daerah Pintubosi dan kelurusan lembah. Sesar ini berjenis sesar normal dengan bidang naik di sebelah barat daya dan bidang turun di sebelah timur laut.

4. Sesar Toru

Sesar ini berarah barat laut – tenggara. Pemunculannya dicirikan oleh adanya mata air panas dan bualan gas CO_2 (air soda), sedangkan dari kenampakan citra satelit menunjukkan adanya kelurusan tekuk lereng. Sesar ini berjenis sesar normal dengan bidang naik di sebelah timur laut dan bidang turun di sebelah barat daya.

5. Sesar Pintubosi

Sesar ini berarah timur laut - barat daya dan terletak di sebelah utara daerah penelitian. Indikasi di permukaan dicirikan oleh adanya mata air panas Tapian Nauli dan bualan gas H₂S di daerah Pintubosi serta adanya singkapan batuan ubahan, sedangkan dari kenampakan citra satelit terlihat sebagai kelurusan lembah sungai. Sesar ini berjenis sesar normal dengan bidang naik di sebelah barat laut dan bidang turun di sebelah tenggara.

6. Sesar Tarutung

Sesar ini berarah relatif utara-selatan dan terletak di sebelah selatan daerah penelitian. Indikasinya di permukaan dicirikan oleh adanya mata air panas Ugan, sedangkan dari kenampakan citra satelit sesar ini terlihat sebagai kelurusan lembah. Sesar ini berjenis sesar normal dengan bidang naik di sebelah barat dan bagian turun di sebelah timur.

7. Sesar Parbubu

Sesar ini berarah relatif barat - timur dan terletak di wilayah barat daerah penelitian. Indikasi di permukaan dicirikan oleh adanya mata air panas Sibadak dan Parbubu. Analisis citra satelit memperlihatkan sesar sebagai kelurusan lembah dan punggung. Sesar ini berjenis sesar normal dengan bidang naik di sebelah utara dan bidang turun di sebelah selatan.

8. Sesar Siborboron

Sesar ini berarah barat laut - tenggara dan terletak di sebelah barat daerah penelitian. Dari kenampakan citra satelit, indikasi sesar ini terlihat berupa kelurusan punggung. Sesar ini berjenis sesar normal dengan bidang naik di sebelah barat daya dan bidang turun di sebelah timur laut.

9. Sesar Hutabarat

Sesar ini berarah timur laut - barat daya dengan indikasi permukaan yang dicirikan oleh adanya mata air panas dan buangan gas H₂S (Hutabarat), sedangkan pada kenampakan citra satelit terlihat sebagai kelurusan lembah sungai. Sesar ini berjenis sesar normal dengan bidang naik di sebelah barat laut dan bidang turun di sebelah tenggara.

10. Sesar Martimbang

Sesar ini berarah relatif utara - selatan dan terletak di sebelah selatan daerah penelitian. Indikasi di permukaan dicirikan oleh adanya mata air panas Parbubu, sedangkan pada kenampakan citra satelit sesar ini terlihat sebagai kelurusan lembah. Sesar ini berjenis sesar normal dengan bagian naik di sebelah barat dan bagian turun di sebelah timur.

11. Sesar Sibadak

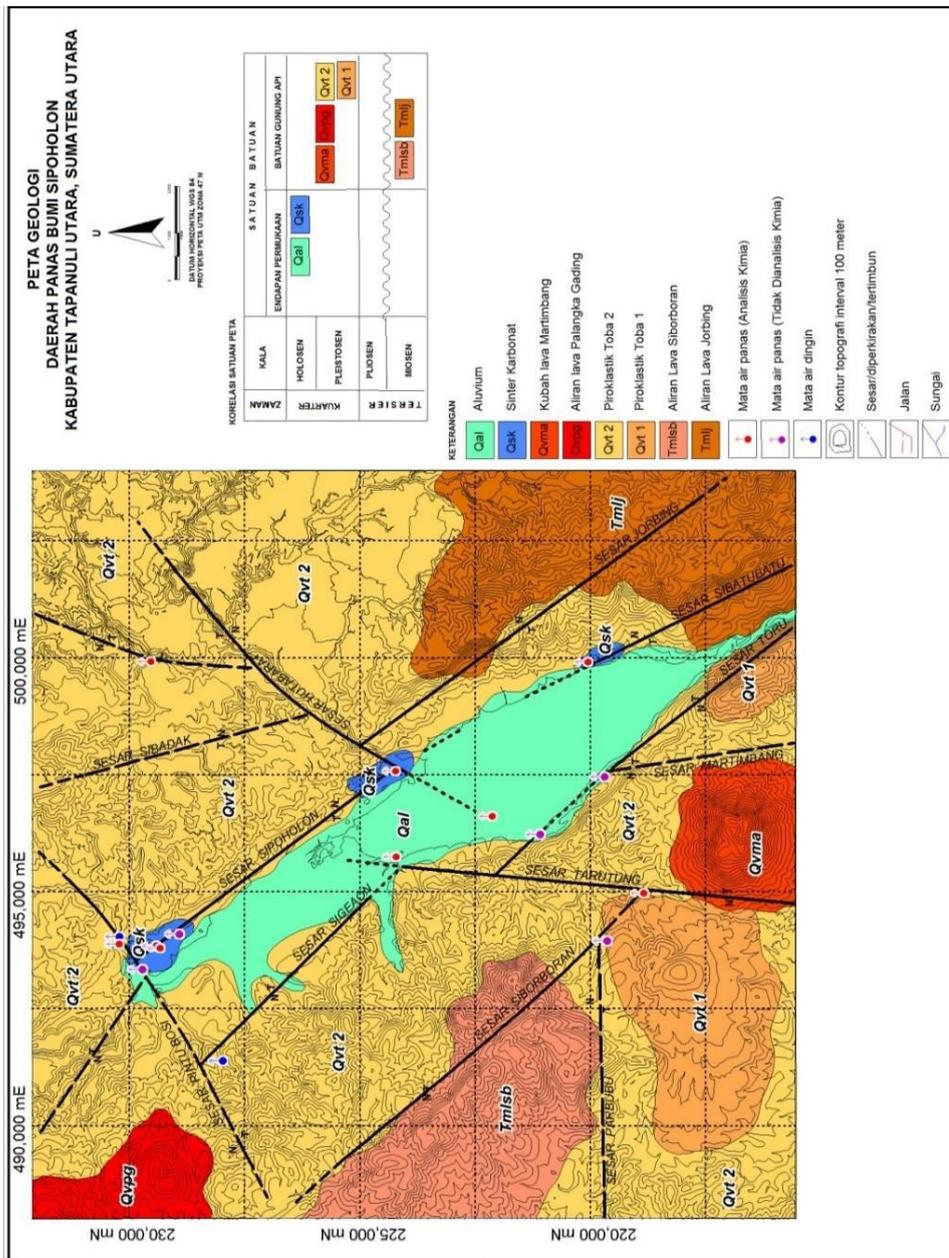
Sesar ini berarah relatif utara - selatan. Indikasi sesar ini hanya berupa kelurusan lembah sungai dan kemungkinan merupakan sesar penyerta dari Sistem Sesar Sumatera (SFS). Sesar ini berjenis sesar normal dengan bidang naik di sebelah timur dan bidang turun di sebelah barat.

12. Sesar Jorbing

Sesar ini berarah barat laut - tenggara dan terletak di sebelah tenggara daerah penelitian. Indikasi di permukaan dicirikan oleh kelurusan punggung dan lereng. Sesar ini berjenis sesar normal dengan bidang naik di sebelah timur laut dan bidang turun di sebelah barat daya.

Semua sesar diatas merupakan faktor yang sangat berperan dalam terbentuknya manifestasi panas bumi di daerah penelitian. Manifestasi panas

bumi di daerah penelitian terdiri atas mata air panas, bualan gas, dan solfatar. Beberapa manifestasi mata air panas yang terdapat pada daerah penelitian yaitu mata air panas Sipoholon, Hutabarat, Sitompul, Tapian Nauli, Sipolhas, Parbubu-2, Ugan, Penabungan, Pansur Batu, Simamora dan Sait Nihuta (Hasan, 2005).



Gambar 3. Peta Geologi Daerah Panasbumi Sipoholon (Hasan, 2005)

III. TEORI DASAR

A. Konsep Dasar Metode Gayaberat

1. Gaya Gravitasi (Hukum Newton I)

Prinsip dasar teori gravitasi adalah hukum Newton yang menjelaskan tentang gaya tarik menarik antara dua massa m_1 dan m_2 yang terpisah sejauh r , dapat diformulakan sebagai berikut (Serway dan Jewett, 2009):

$$\vec{F}(r) = -G \frac{m_1 m_2}{r^2} \quad (1)$$

Dimana :

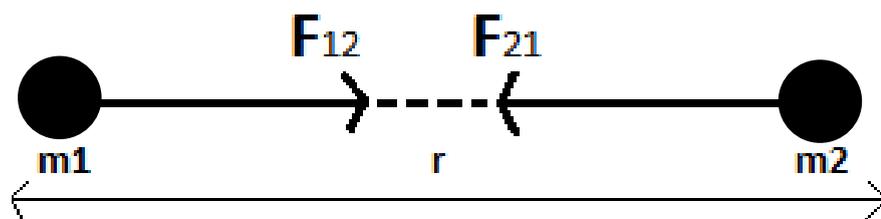
$F(r)$: Gaya Tarik Menarik (N)

m_1 : Massa benda 1 (kg)

m_2 : Massa benda 2 (kg)

r : Jarak antara dua buah benda (m)

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



Gambar 4. Gaya Tarik Menarik Antara Dua Benda

2. Percepatan Gravitasi (Hukum Newton II)

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

$$F = m \cdot g \quad (2)$$

Percepatan sebuah benda bermassa m_2 yang disebabkan oleh tarikan benda bermassa M_1 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:

$$1 \text{ Gall} = 1 \text{ cm/s}^2 = 10^{-2} \text{ m/s}^2 \text{ (dalam c.g.s)}$$

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

$$1 \text{ mGall} = 10^{-3} \text{ Gall}$$

$$1 \text{ } \mu\text{Gall} = 10^{-3} \text{ mGall} = 10^{-6} \text{ Gall} = 10^{-8} \text{ m/s}^2$$

Dalam satuan MKS, gravitasi diukur dalam gravity unit atau $\mu m/s^2$

$$1 \text{ mGall} = 10 \text{ g.u.} = 10^{-5} \text{ m/s}^2$$

(Octonovrilna dan Pudja, 2009).

3. Potensial Gravitasi

Untuk memindahkan suatu massa dari suatu titik ke titik tertentu maka diperlukan energi, dimana energi tersebut adalah potensial gayaberat. Suatu benda dengan massa tertentu dalam sistem ruang akan menimbulkan medan potensial di sekitarnya. Dimana medan potensial bersifat konservatif, artinya usaha yang dilakukan dalam suatu medan gravitasi tidak tergantung pada lintasan yang ditempuhnya tetapi hanya tergantung pada posisi awal dan akhir. Medan potensial dapat dinyatakan sebagai gradien atau potensial *scalar* (Blakely, 1996), melalui persamaan:

$$g = -\nabla U(r) \quad (5)$$

Percepatan gravitasi g merupakan medan potensial sedangkan fungsi U pada persamaan di atas disebut potensial gravitasi. Tanda minus menandakan bahwa arah gayaberat menuju ke titik yang dituju. Dengan mengasumsikan bumi berbentuk bola dengan jari-jari r , dengan massa m bersifat *homogeny* dan potensial gayaberat di permukaan dapat didefinisikan dengan persamaan:

$$\nabla U(r) = -\frac{F(r)}{m_2} = -g(r) \quad (6)$$

$$\nabla U(r) = \int_{\infty}^r (\nabla U) \cdot dr = \int_{\infty}^r g \cdot dr \quad (7)$$

$$\nabla U(r) = -Gm \int_{\infty}^r \frac{dr}{r^2} = G \frac{M}{r} \quad (8)$$

Berdasarkan persamaan (8), potensial yang disebabkan oleh elemen massa dm pada titik (x, y, z) dengan jarak r dari $P(0, 0, 0)$ adalah:

$$dU = G \frac{dm}{r} = G\rho \frac{dxdydz}{r} \quad (9)$$

Dimana $\rho(x,y,z)$ adalah densitas dan $r^2 = x^2 + y^2 + z^2$

Potensial total dari massa adalah:

$$U = G \int_x \int_y \int_z \frac{\rho}{r} dxdydz \quad (10)$$

karena g adalah percepatan gravitasi pada sumbu z (arah vertikal) dan dengan asumsi konstan, maka:

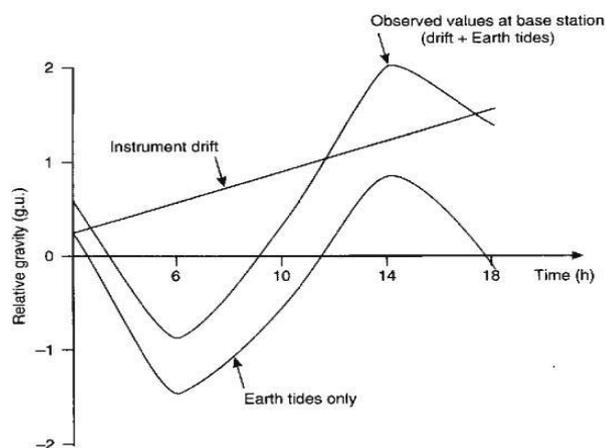
$$g = -\left(\frac{\partial U}{\partial z}\right) = G\rho \int_x \int_y \int_z \frac{z}{r^3} dxdydz \quad (11)$$

B. Reduksi Data Gayaberat

Besar nilai gravitasi bergantung kepada lima faktor yaitu lintang, elevasi, topografi daerah sekitar pengukuran, pasang surut bumi dan variasi densitas di bawah permukaan (Telford dkk, 1990). Eksplorasi gravitasi lebih menekankan pada perubahan besar nilai gravitasi oleh karena variasi densitas di bawah permukaan. Sementara nilai gravitasi yang terukur pada alat gravimeter tidak hanya berasal dari nilai gravitasi yang disebabkan oleh variasi densitas di bawah permukaan, tetapi juga dari keempat faktor lainnya. Koreksi dalam metode gravitasi diperlukan untuk menghilangkan faktor- faktor lain yang mempengaruhi besar nilai gravitasi sehingga didapatkan nilai gravitasi yang hanya disebabkan oleh pengaruh variasi densitas di bawah permukaan. Berikut adalah koreksi-koreksi yang dilakukan kepada data gravitasi lapangan (g_{read})

1. Koreksi Pasang Surut Bumi

Koreksi ini dilakukan untuk menghilangkan efek benda-benda di luar bumi seperti matahari dan bulan yang dapat mempengaruhi nilai gravitasi di bumi.



Gambar 5. Koreksi Pasang Surut Bumi (Reynolds, 1997).

Untuk mendapatkan nilai pasang surut ini maka, dilihatlah perbedaan nilai gravitasi stasiun dari waktu ke waktu terhadap base. Gravitasi terkoreksi tidal dapat ditulis sebagai berikut :

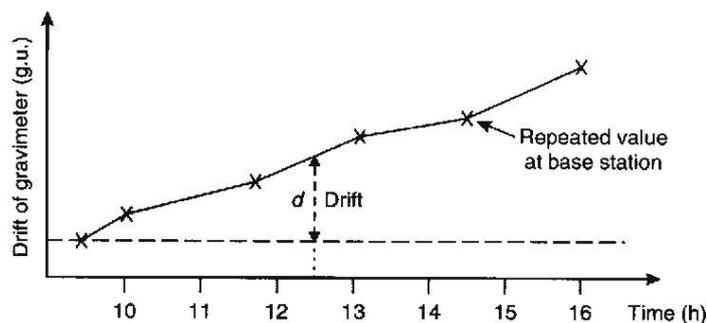
$$g_{st} = g_s + t \quad (12)$$

Dimana g_{st} adalah nilai bacaan alat gravimeter terkoreksi Tidal (mGal), g_s adalah nilai pada bacaan pada alat gravimeter (mGal), dan t adalah nilai koreksi Tidal (mGal)

2. Koreksi Apungan

Koreksi apungan merupakan koreksi pada data gravitasi, sebagai akibat perbedaan pembacaan nilai gravitasi di stasiun yang sama pada waktu yang berbeda oleh alat gravimeter. Perbedaan tersebut disebabkan karena terjadi guncangan pegas dan

perubahan temperatur pada alat gravimeter selama proses perjalanan dari satu stasiun ke stasiun berikutnya.



Gambar 6. Koreksi Apungan (Reynolds, 1997).

Untuk menghilangkan efek ini, proses akusisi data atau pengukuran dirancang dalam suatu lintasan tertutup sehingga besar penyimpangan tersebut dapat diketahui. Koreksi apungan diberikan oleh persamaan berikut ini :

$$D_n = \frac{g_{akhir} - g_o}{t_{akhir} - t_o} (t_n - t_o) \quad (13)$$

Dimana D_n adalah *drift* pada stasiun , g_{akhir} dan g_o adalah pembacaan alat pada akhir dan awal *looping*, t_{akhir} , t_o , t_n adalah waktu pembacaan alat pada akhir, awal dan pada stasiun ke- n saat pengukuran.

3. Koreksi Lintang

Koreksi lintang pada data gravitasi diperlukan sebagai akibat dari rotasi bumi.

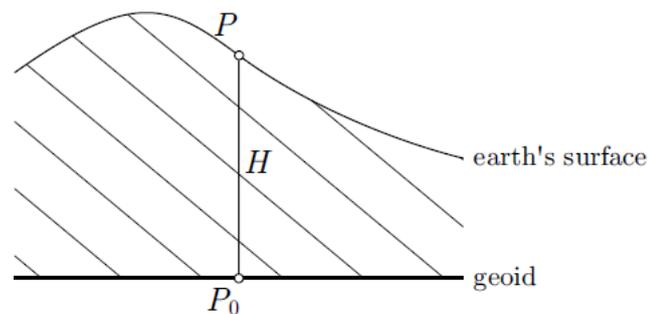
Hasil dari rotasi bumi tersebut akan menyebabkan perbedaan nilai percepatan gravitasi di seluruh permukaan bumi, yaitu bervariasi dari ekuator ke kutub atau bervariasi terhadap lintang. Untuk menghitung koreksi lintang dikenal persamaan sebagai *Geodetic Reference System 1967 (GRS67)*, yaitu:

$$g(\Phi) = 978031,846(1 + 0,005278895 \sin^2 \Phi + 0,00023462 \sin^4 \Phi) \quad (14)$$

dengan Φ adalah sudut lintang dalam radian.

4. Koreksi Udara Bebas

Koreksi udara bebas merupakan koreksi yang disebabkan oleh karena pengaruh variasi ketinggian terhadap medan gravitasi bumi. Koreksi ini dilakukan untuk menarik bidang pengukuran (P) ke bidang datum yaitu bidang geoid (P_0).



Gambar 7. Koreksi Udara Bebas (Wellenhof dan Moritz, 2005).

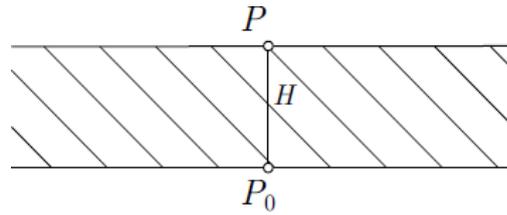
Perhitungan koreksi udara bebas dapat ditulis sebagai berikut :

$$FAC = -0,3086h \quad (15)$$

dimana h adalah ketinggian titik pengukuran terhadap *mean sea level*.

5. Koreksi Bouguer

Koreksi Bouguer memperhitungkan massa batuan yang terdapat di antara stasiun pengukuran dengan bidang geoid. Koreksi ini dilakukan dengan menghitung tarikan gravitasi yang disebabkan oleh batuan berupa slab dengan ketebalan H dan densitas rata-rata ρ .



Gambar 8. Koreksi Bouguer (Wellenhof dan Moritz, 2005).

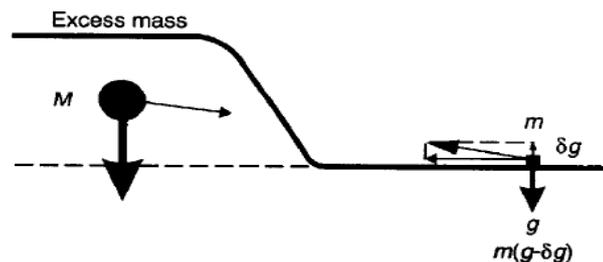
Besar koreksi Bouguer diberikan oleh persamaan :

$$BC = 0,04185h\rho \quad (16)$$

Dimana BC adalah koreksi Bouguer (mgal), h adalah ketinggian titik pengukuran terhadap *mean sea level* dan ρ adalah rapat massa batuan (gr/cc).

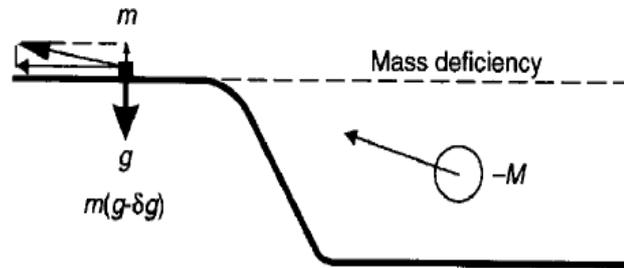
6. Koreksi Medan

Koreksi medan diperlukan oleh karena setiap stasiun pengukuran gravitasi memiliki bentuk permukaan yang tidak datar atau memiliki undulasi. Jika stasiun pengukuran berada dekat dengan gunung, maka akan terdapat gaya ke atas yang menarik pegas pada gravimeter, sehingga akan mengurangi nilai pembacaan gravitasi.



Gambar 9. Stasiun yang berada dekat dengan gunung (Reynolds, 1997).

Sementara jika stasiun pengukuran berada dekat dengan lembah, maka akan ada gaya ke bawah yang hilang sehingga pegas pada gravimeter tertarik ke atas. Hal ini akan mengurangi nilai pembacaan gravitasi.



Gambar 10. Stasiun yang berada dekat dengan lembah (Reynolds, 1997).

Koreksi medan pada tiap sektor dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$TC = 0,04191 \frac{\rho}{n} r_2 - r_1 + \sqrt{r_1^2 + z^2} - \sqrt{r_2^2 + z^2} \quad (17)$$

Dimana TC (*Terrain Correction*) adalah koreksi medan (mGal), ρ adalah rapat massa batuan (gr/cc), n adalah jumlah kompartemen dalam zona Hammer Chart, r_1 dan r_2 masing-masing adalah jari-jari radius dalam dan luar pada Hammer Chart (m), dan H beda ketinggian titik amat dan rata-rata sektor (m).

C. Anomali Bouguer

Benda yang berada dekat dengan permukaan ataupun yang jauh dari permukaan pada metode gayaberat, menyebabkan terbentuknya anomali bouguer. Anomali bouguer adalah selisih antara nilai gravitasi pengamatan atau gravitasi observasi (**gobs**) dengan nilai gravitasi teoritis atau gravitasi normal (**gn**). Anomali Bouguer dapat diukur dengan beberapa cara tergantung pada apakah kepadatan dan bentuk dataran antara titik pengukuran dan permukaan laut dihitung, diperkirakan, atau diabaikan. Rumus persamaan anomali anomali Bouguer yaitu :

$$ABL = (Gobs - Gn) + KUB - KB + KM \quad (18)$$

dimana ABL adalah anomali bouguer, Gobs adalah percepatan gayaberat teramati, Gn adalah nilai percepatan gayaberat setelah koreksi lintang, KUB adalah koreksi

udara bebas, KB adalah koreksi bouguer dan KM adalah koreksi medan (Blakely, 1996).

D. Spektral Analisis

Analisis spektral dilakukan untuk untuk mengestimasi kedalaman anomali gayaberat. Analisis spektral dilakukan dengan cara mentransformasi Fourier lintasan yang telah ditentukan pada peta kontur Anomali Bouguer. Suatu transformasi Fourier adalah menyusun kembali/mengurai suatu gelombang sembarang ke dalam gelombang sinus dengan frekuensi bervariasi dimana hasil penjumlahan gelombang-gelombang sinus tersebut adalah bentuk gelombang aslinya (Kadir, 2000). Pada metoda gayaberat, spektrum diturunkan dari potensial gayaberat yang teramati pada suatu bidang horizontal dimana transformasi Fouriernya sebagai berikut (Blakely, 1996):

$$F(U) = \gamma \mu F\left(\frac{1}{r}\right) \quad \text{dan} \quad F\left(\frac{1}{R}\right) = 2\pi \frac{e^{|k|(z_0-z_1)}}{|k|} \quad (19)$$

Dimana $z_1 > z_0, |k| \neq 0$

U = Potensial gayaberat μ = Anomali rapat masa

γ = Konstanta gayaberat r = Jarak

Percepatan gravitasi dihubungkan pada potensial gravitasi oleh persamaan

$$g = \nabla U. \quad (20)$$

Gerak vertikal gravitasi yang disebabkan oleh suatu titik massa adalah turunan *derivative* dari potensial gaya beratnya :

$$g_z = Gm \frac{\partial 1}{\partial z r} \quad (21)$$

$$F(g_z) = GmF \left(\frac{\partial}{\partial z} \frac{1}{r} \right) \quad (22)$$

$$F(g_z) = Gm \frac{\partial}{\partial z} F \left(\frac{1}{r} \right) \quad (23)$$

Transformasi Fourier pada lintasan yang diinginkan adalah:

$$F(g_z) = 2\pi Gme^{|k|(z_0-z_1)}, \quad z_1 > z_0 \quad (24)$$

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

$$A = C e^{|k|(z_0-z_1)} \quad (25)$$

Dimana A = Amplitudo C = Konstanta

Untuk memperoleh hubungan antara amplitudo (A) dengan bilangan gelombang (k) dan kedalaman (z_0-z_1) dilakukan dengan melogaritmakan persamaan $A = C e^{|k|(z_0-z_1)}$ sehingga bilangan gelombang k berbanding lurus dengan *spectral amplitude*.

$$\ln A = \ln 2\pi Gme^{|k|(z_0-z_1)} \quad (26)$$

$$\ln A = (z_0 - z_1)|k| + \ln C \quad (27)$$

Persamaan di atas dapat di analogikan dalam persamaan garis lurus:

$$y = mx + c \quad (28)$$

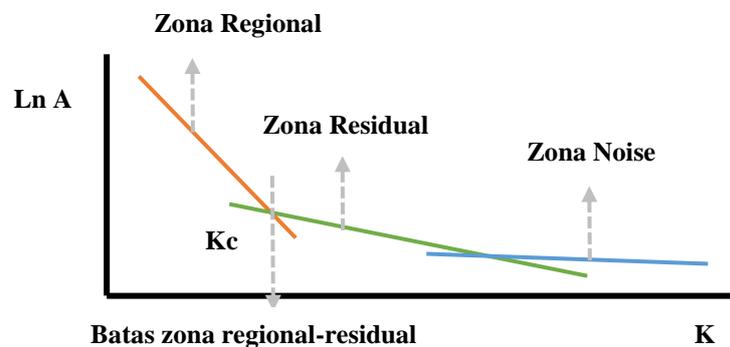
Dimana $\ln A$ sebagai sumbu y , $|k|$ sebagai sumbu x , dan $(z_0 - z_1)$ sebagai kemiringan garis (gradien). Oleh karena itu, kemiringan garisnya merupakan kedalaman bidang dalam dan dangkal. $|k|$ sebagai sumbu x didefinisikan sebagai bilangan gelombang yang besarnya $\frac{2\pi}{\lambda}$ dan satuannya *cycle/meter*, dengan λ adalah panjang gelombang. Hubungan λ dengan Δx diperoleh dari persamaan:

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{2\pi}{k_c \Delta x} \quad (29)$$

Nilai λ sama dengan Δx , ada faktor lain pada Δx yang disebut konstanta pengali, sehingga $\lambda = N \cdot \Delta x$, konstanta N didefinisikan sebagai lebar jendela, jadi lebar jendela dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$N = \frac{2\pi}{k_c \cdot \Delta x} \quad (30)$$

Dimana Δx adalah domain spasi yang akan digunakan dalam *Fast Fourier Transform* (FFT), dan k_c adalah bilangan gelombang *cutoff*.



Gambar 11. Kurva Ln A terhadap K (Blakely, 1996).

Semakin besar nilai k maka nilai frekuensi akan tinggi. Hubungan bilangan gelombang k dengan frekuensi f adalah $k = 2\pi f$, frekuensi yang sangat rendah berasal dari sumber anomali regional dan frekuensi tinggi berasal dari sumber anomali residual.

E. *Filter Moving Average*

Proses pengolahan data gravitasi menghasilkan data terkoreksi yang disebut dengan Anomali Bouger. Namun data ini masih merupakan superposisi dari anomali residual (anomali lokal) dengan komponen regional (anomali regional). Anomali regional mempresentasikan kondisi geologi daerah secara umum seperti *basement* yang dicirikan dengan frekuensi rendah. Efek residual mempresentasikan kondisi geologi setempat seperti *reservoir*, intrusi batuan, jenis dan bentuk struktur, mineral atau bijih yang dicirikan dengan anomali berfrekuensi tinggi (Haerudin dan Karyanto, 2007)

Untuk memperoleh anomali yang terasosiasi dengan kondisi geologi yang diharapkan dan untuk meningkatkan resolusi sebelum diinterpretasi secara kuantitatif maka perlu dilakukan pemisahan anomali regional dan residual. Pemisahan anomali juga dimaksudkan untuk membantu dalam interpretasi gayaberat secara kualitatif. Pemisahan anomali ini salah satunya dapat dilakukan dengan *filter moving average* (Sarkowi, 2014).

Moving average dilakukan dengan cara merata-ratakan nilai anomalnya. Hasil perata-rataan ini merupakan anomali regionalnya, sedangkan anomali residualnya diperoleh dengan mengurangkan data hasil pengukuran gayaberat dengan anomali regional.

$$\Delta g_{reg}(i) = \frac{\Delta g(i-n) + \dots + \Delta g(i) + \dots + \Delta g(i+n)}{N} \quad (31)$$

Keterangan :

i = nomor stasiun

N = lebar jendela

Δg_{reg} = besarnya anomali regional

Sedangkan penerapan *moving average* pada peta dua dimensi, harga pada suatu titik dapat dihitung dengan merata-ratakan semua nilai di dalam sebuah kotak persegi dengan titik pusat adalah titik yang akan dihitung harganya. Misalnya *moving average* dengan lebar jendela 3, maka:

$$\Delta g_{reg} = \frac{1}{9} \sum_{N=1}^9 \Delta g(n) \quad (32)$$

Nilai anomali residual Δg_{res} dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$\Delta g_{res} = \Delta g - \Delta g_{reg} \quad (33)$$

Dimana Δg adalah anomali Bouguer total (Setiadi dkk, 2014).

F. SVD

Dalam menginterpretasikan bawah permukaan berupa batas-batas struktur dapat menggunakan metode *Second Vertical Derivative* (SVD). Turunan vertikal orde dua yang bersifat sebagai *high pass filter* atau meninggikan anomali dengan panjang gelombang yang pendek terhadap anomali residual yang berasosiasi dengan struktur dangkal. SVD dapat digunakan untuk analisis model dengan cara melihat nilai maksimum dan minimum dari nilai turunan keduanya.

Secara teoritis, metode ini diturunkan dari fungsi harmonik Laplace, yaitu :

$$\nabla^2 \Delta g = 0 \quad (34)$$

$$\nabla^2 \Delta g = \frac{\partial^2(\Delta g)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2(\Delta g)}{\partial y^2} + \frac{\partial^2(\Delta g)}{\partial z^2} \quad (35)$$

Sehingga

$$\frac{\partial^2(\Delta g)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2(\Delta g)}{\partial y^2} + \frac{\partial^2(\Delta g)}{\partial z^2} = 0 \quad (36)$$

$$\frac{\partial^2(\Delta g)}{\partial z^2} = - \left[\frac{\partial^2(\Delta g)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2(\Delta g)}{\partial y^2} \right] \quad (37)$$

Untuk data berupa lintasan penampang yang mempunyai nilai sumbu y tetap, maka persamaannya adalah:

$$\frac{\partial^2(\Delta g)}{\partial z^2} = - \left[\frac{\partial^2(\Delta g)}{\partial x^2} \right] \quad (38)$$

Bila dilihat dari persamaan diatas, dapat disimpulkan bahwa nilai dari turunan kedua vertikal atau *second vertical derivative* merupakan nilai turunan horizontal kedua atau *second horizontal derivative* yang di negatifkan dari suatu anomali gayabarat. Berdasarkan persamaan diatas pula, dapat dikatakan bahwa pada data gayabarat, anomali *second vertical derivative* (SVD) dapat ditentukan berdasarkan nilai *second horizontal derivative*. Penentuan nilai SVD dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan berikut ini :

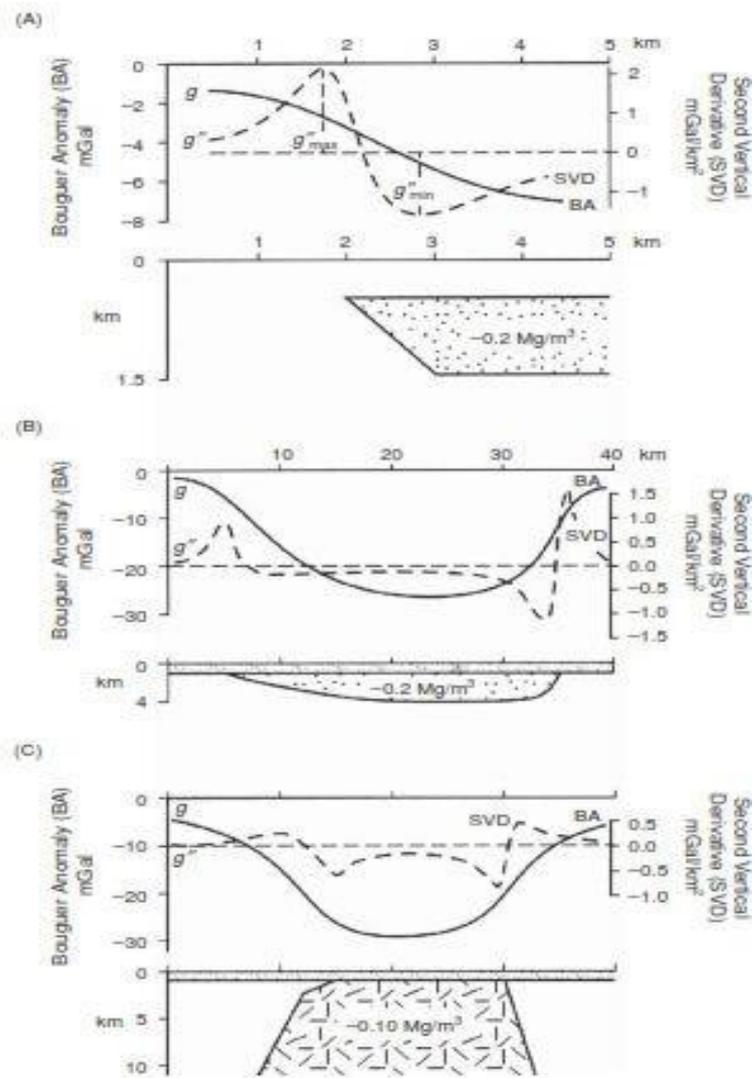
$$SVD = \frac{g_{(i+1)} - 2g + g_{(i-1)}}{\Delta x^2} \quad (39)$$

Penelitian ini menggunakan filter SVD hasil perhitungan Elkins (1951). Untuk menentukan jenis patahan, apakah berupa patahan naik, patahan turun ataupun patahan geser dapat ditentukan dengan menggunakan nilai SVD ini. Untuk menentukan jenis patahan, dapat menggunakan syarat berikut:

$|SVD|_{min} < |SVD|_{max} =$ Patahan Normal

$|SVD|_{min} > |SVD|_{max} =$ Patahan Naik

$|SVD|_{min} = |SVD|_{max} =$ Patahan Mendatar



Gambar 12. Kurva respon anomali SVD pada struktur geologi (Reynolds, 1997)

Struktur patahan atau sesar naik maupun turun dapat ditentukan dari nilai anomali SVD dengan karakteristik sebagai berikut :

1. Untuk sesar turun :

$$\left(\frac{\partial^2 \Delta g}{\partial x^2} \right)_{maks} > \left| \left(\frac{\partial^2 \Delta g}{\partial x^2} \right)_{min} \right| \quad (40)$$

2. Untuk sesar naik :

$$\left(\frac{\partial^2 \Delta g}{\partial x^2} \right)_{maks} < \left| \left(\frac{\partial^2 \Delta g}{\partial x^2} \right)_{min} \right| \quad (41)$$

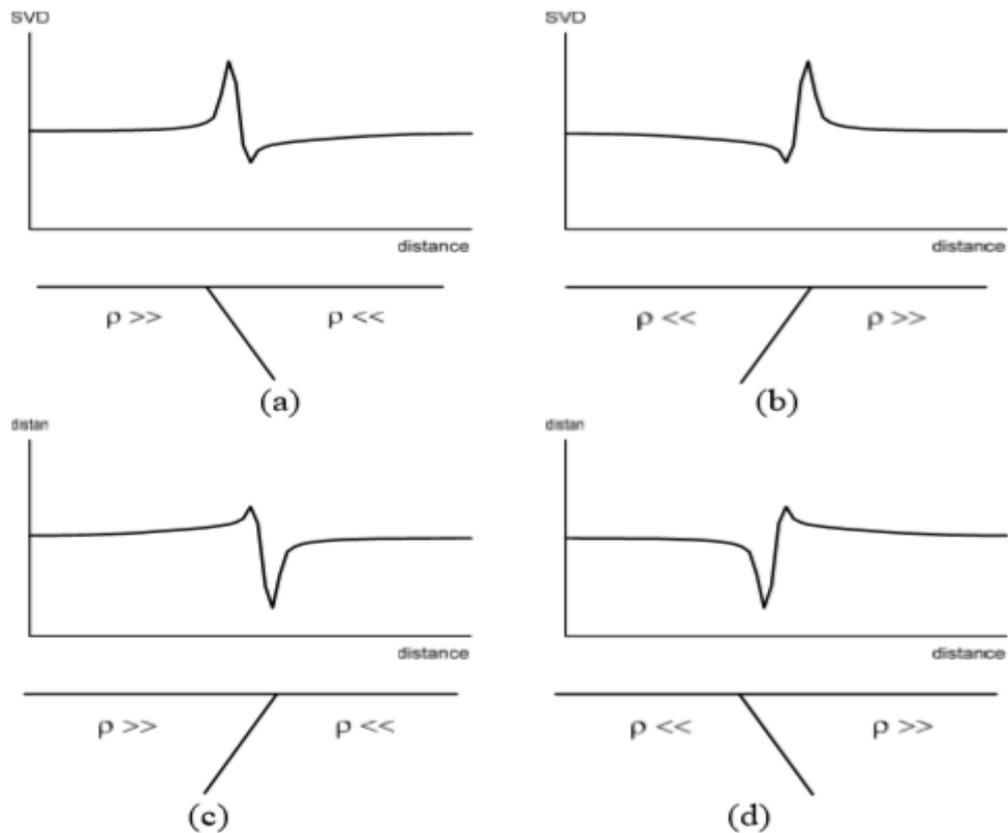
Untuk data anomali gayabarat dalam grid teratur, anomali *second vertical derivative* dapat diturunkan melalui proses *filtering* dimana persamaan konvolusinya diberikan oleh :

$$\Delta G_{svd}(\Delta x, \Delta y) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \Delta g(x, y) F(x - \Delta x, v - \Delta y) dx dy \quad (42)$$

Dimana F adalah filter *second vertical derivative* sesuai persamaan diatas dan Δg adalah anomali gayabarat sebagai data input. Berikut ini merupakan filter SVD dengan operator Elkins filter 2-D :

Tabel 1. Operator filter SVD Elkins

Operator Filter SVD menurut Elkins (1951)				
0,0000	-0,0833	0,0000	-0,0833	0,0000
-0,0833	-0,0667	-0,0344	-0,0667	-0,0833
0,0000	-0,0334	1,0668	-0,0334	0,0000
-0,0833	-0,0667	-0,0344	-0,0667	-0,0833
0,0000	-0,0833	0,0000	-0,0833	0,0000



Gambar 13. Skema hubungan antara kemiringan antarmuka kontras densitas atau transisi densitas dan profil SVD (Grandis, 2009)

Ringkasan skema dari konsistensi yang dijelaskan di atas ditunjukkan pada Gambar 12. Untuk transisi densitas yang sama (misalnya dari rendah ke tinggi) profil SVD dibalik secara horizontal ketika kemiringan antarmuka dibalik, seperti dapat dilihat pada Gambar 12a dan 12b dan Gambar 12c dan 12d. Untuk kemiringan antarmuka yang sama, profil SVD dibalik secara vertikal ketika transisi kepadatan dipertukarkan (lihat Gambar 3a dan 3d dan Gambar 3b dan 3c). Dalam kasus terakhir, profil SVD dicerminkan sehubungan dengan garis horizontal nol SVD. Jenis transisi densitas dan orientasi kemiringannya tidak dapat digunakan untuk menentukan jenis patahan. Oleh karena itu, perluasan

kriteria Bott untuk menentukan jenis patahan adalah salah karena definisi sesar dalam geologi sangat tepat [misalnya 18] dan hanya dapat ditentukan dari pengamatan lapangan unit batuan yang dipindahkan.

G. *Forward Modelling*

Pemodelan ke depan untuk menghitung efek gayaberat model benda bawah permukaan dengan penampang berbentuk sembarang yang dapat diwakili oleh suatu poligon bersisi n dinyatakan sebagai integral garis sepanjang sisi-sisi *polygon*.

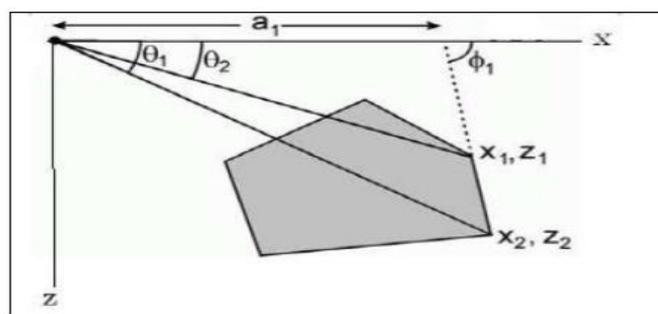
$$g_x = 2 G \rho \phi z d\theta \quad (43)$$

Integral garis tersebut dapat pula dinyatakan sebagai jumlah garis tiap sisinya sehingga persamaan diatas dapat ditulis sebagai berikut,

$$g_x = 2 G \rho \sum_{i=1}^n g_1 \quad (44)$$

Model benda anomali sembarang oleh Talwani didekati dengan poligon-poligon dengan sistem koordinat kartesian, untuk benda poligon sederhana seperti pada gambar dibawah dapat ditunjukkan dengan persamaan berikut:

$$g_1 = \int_b^a \frac{a_1 \tan \theta_1}{\tan \theta_1 - \tan \theta} d\theta \quad (45)$$



Gambar 14. Efek Benda Bentuk Poligon Anomali Gravitasi (Talwani, dkk, 1969).

Sehingga diperoleh,

$$g_1 = a_1 \sin \mathcal{Q}_1 \cos \mathcal{Q}_1 \left\{ (\theta_1 + \theta_2) \ln \left(\frac{\cos \theta_1 (\tan \theta_1 - \tan \mathcal{Q}_1)}{\cos \theta_2 (\tan \theta_2 - \tan \mathcal{Q}_2)} \right) \right\} \quad (46)$$

dimana,

$$a_1 = x_2 - z_2 \cot \mathcal{Q}_1 = x_2 - z_2 \left(\frac{x_2 - z_1}{z_2 - z_1} \right) \quad (47)$$

dengan,

$$\theta_1 = \tan^{-1} \left(\frac{z_1}{x_1} \right) \quad (48)$$

$$\mathcal{Q}_1 = \tan^{-1} \left(\frac{z_2 + z_1}{x_2 - x_1} \right) \quad (49)$$

Persamaan dapat ditulis dalam bentuk yang lebih sederhana dengan mensubsitusikan harga-harga $\sin f$, $\cos f$, $\tan f$ dengan koordinat titik sudut poligon pada sumbu x dan z sebagai berikut,

$$Z_1 = \frac{a_1 c}{c^2 + 1} \left\{ \theta_1 - \theta_2 + \frac{1}{2} c \left(\frac{x_2^2 - z_2^2}{x_1^2 - z_1^2} \right) \right\} \quad (50)$$

Persamaan diatas dijadikan sebagai dasar perhitungan model bawah permukaan yang berbentuk perangkat lunak (*software*).

Forward modelling menyatakan proses perhitungan data yang secara teoritis akan teramati di permukaan bumi jika diketahui harga parameter model bawah-permukaan tertentu. Dalam pemodelan data geofisika, dicari suatu model yang menghasilkan respons yang cocok atau *fit* dengan data pengamatan atau data lapangan. Dengan demikian, model tersebut dapat dianggap mewakili kondisi bawah-permukaan di tempat pengukuran (Grandis, 2009). Seringkali istilah *forward modeling* digunakan untuk proses *trial and error*. *Trial and error* adalah proses coba-coba atau tebakan untuk memperoleh kesesuaian antara data teoritis

dengan data lapangan. Diharapkan dari proses *trial and error* ini diperoleh model yang cocok responnya dengan data (Grandis, 2009).

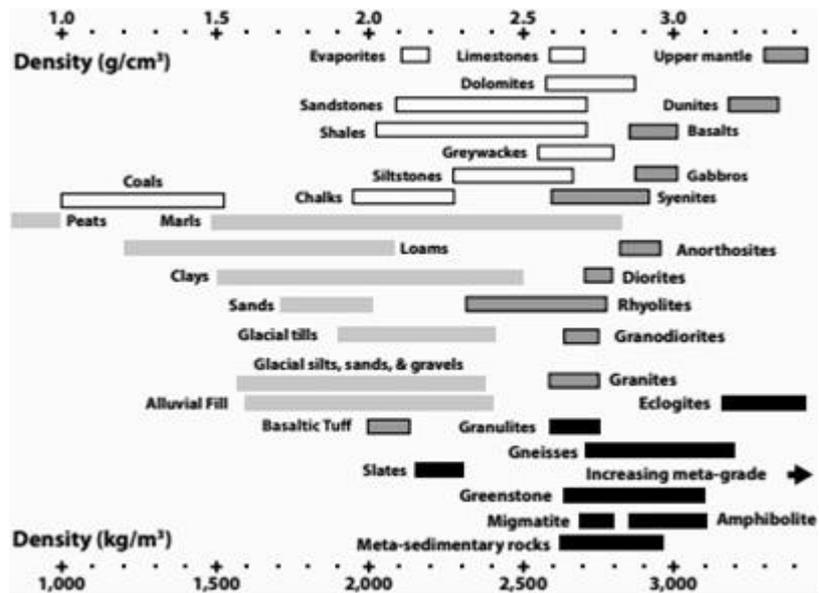
H. *Invers Modelling*

Menke (1984) mendefenisikan teori inversi sebagai suatu kesatuan teknik antara metode matematika dan statistika untuk memperoleh informasi yang berguna mengenai suatu sistem fisika berdasarkan observasi terhadap sistem tersebut. Pemodelan inversi adalah salah satu teknik pemodelan dimana parameter modelnya diperoleh langsung dari data pengamatan (Zarkasyi, 2013). Bila pada pemodelan *forward modelling*, dilakukan pemodelan dengan cara menentukan parameter model terlebih dahulu, maka pada *inverse modelling* adalah pemodelan berkebalikan dengan *forward modelling*. Menghasilkan model langsung dari data merupakan salah satu tujuan dari pemodelan tipe ini. Pada proses pemodelan *inverse modelling* ini dicari parameter model yang memiliki respon yang sesuai dan mendekati kebenaran berdasarkan dengan data pengamatan yang ada. *Output* dari pemodelan ini ialah menghasilkan model yang optimal dan memiliki respon model yang mempunyai kecocokan terhadap data pengamatan (Supriyanto, 2007). Pemodelan inversi merupakan fokus kebanyakan atau hampir semua bidang geofisika karena kita dituntut untuk dapat memperkirakan model atau parameter model berdasarkan hasil pengamatan atau pengukuran data lapangan. Salah satu contoh pemodelan inversi yang diaplikasikan dalam penelitian ini adalah memperkirakan model struktur bawah permukaan dalam bentuk persebaran nilai densitas dari data pengukuran metode gaya berat.

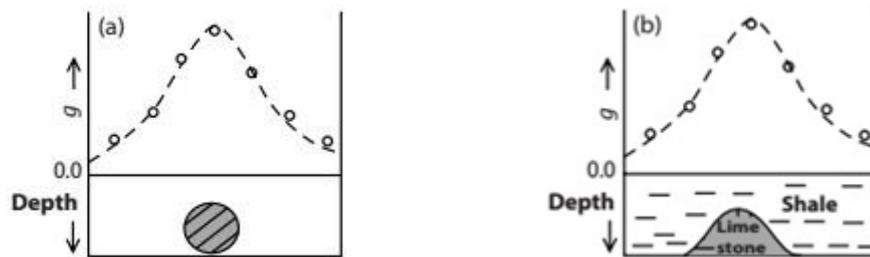
I. Densitas Batuan

Dalam metode gaya berat, distribusi parameter fisika yaitu densitas dari material di bawah permukaan bumi berasosiasi dengan kondisi dan struktur geologi di dalam bumi. Hal ini karena nilai percepatan gravitasi terukur di permukaan bumi yang bervariasi dipengaruhi oleh distribusi densitas material (batuan) yang berada di bawah permukaan bumi. Menurut Hinze (2013), nilai densitas setiap batuan dapat dibedakan sesuai dengan jenisnya yang dapat dilihat pada Gambar 13. Dengan membandingkan persebaran densitas hasil pengolahan data anomali (dalam penelitian ini anomali residual) dengan nilai densitas referensi (Gambar 13), maka kita bisa menginterpretasikan batuan penyusun bawah permukaan.

Namun dari hasil pengolahan, data anomali Bouguer yang sama bisa menghasilkan kondisi bawah permukaan penyebab anomali yang berbeda (lihat Gambar 14) yang disebut dengan ambiguitas (Hinze, 2013). Hal ini disebabkan karena nilai densitas batuan memiliki nilai rentang yang saling tumpang-tindih antara satu jenis dengan yang lainnya (lihat Gambar 13). Kondisi ini akan mempengaruhi keakuratan interpretasi hasil yang akan dilakukan. Oleh karena itu dalam proses interpretasi, nilai densitas yang dihasilkan perlu dikorelasikan dengan informasi geologi yang ada untuk mendapatkan hasil interpretasi yang lebih akurat.



Gambar 15. Nilai densitas beberapa batuan (Hinze, 2013)



(a) Akibat benda berbentuk bola

(b) Akibat adanya batu gamping

Gambar 16. Ilustrasi ambiguitas penyebab anomali gayaberat (Hinze, 2013)

IV. METODOLOGI PENELITIAN

A. Lokasi, Waktu dan Judul Penelitian

Lokasi : Laboratorium Teknik Geofisika Universitas Lampung

Waktu : 1 Desember 2020 - 10 Mei 2021

Judul : Identifikasi Struktur Geologi Bawah Permukaan Daerah
Panasbumi Sipoholon Berdasarkan Analisis SVD dan
Pemodelan Anomali Gayaberat

B. Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan dalam kerja praktek ini adalah:

1. Data Gayaberat Sipoholon
2. Laptop (*Operation System Windows*)
3. *Software Microsoft Word dan Excel v.2013*
4. *Software Arcgis 10.3*
5. *Software Oasis Montaj 8.3.3*
6. *Software Surfer 12*
7. *Software Grav3D*

C. Tahapan Pengolahan Data

1. Analisis Spektrum Menggunakan FFT

Pada peta Anomali Bouguer Lengkap (ABL), langkah pertama yang dilakukan adalah analisis spektrum. Analisis spektrum bertujuan untuk memperkirakan kedalaman suatu benda anomali gayaberat di bawah permukaan. Metode analisis spektrum menggunakan *Transformasi Fourier* yang berguna untuk mengubah suatu fungsi dalam jarak atau waktu menjadi suatu fungsi dalam bilangan gelombang atau frekuensi. Dengan analisis spektrum dapat diketahui kandungan frekuensi dari data, sehingga kedalaman dari anomali gayaberat dapat diestimasi. Frekuensi rendah yang berasosiasi dengan panjang gelombang panjang mengindikasikan daerah regional yang mewakili struktur dalam dan luas. Sedangkan sebaliknya, frekuensi tinggi yang berasosiasi dengan panjang gelombang pendek mengindikasikan daerah residual (lokal) yang mewakili struktur dangkal dan umumnya frekuensi sangat tinggi menunjukkan *noise* yang diakibatkan kesalahan pengukuran, kesalahan digitasi, dan lain-lain. Dalam penelitian kali ini data yang diambil sebanyak 5 lintasan untuk mewakili daerah yang kita inginkan. Semua data yang didapat dari lintasan tersebut selanjutnya diolah di *Microsoft excel* untuk mencari nilai $\ln A$ dan K yang nantinya digunakan untuk mengetahui estimasi kedalaman yang kita cari.

2. Pemisahan Anomali Regional dan Residual

Anomali Bouguer merupakan suatu nilai anomali gayaberat yang disebabkan oleh perbedaan densitas batuan pada daerah dangkal dan

daerah yang lebih dalam di bawah permukaan. Efek yang berasal dari batuan pada daerah dangkal disebut anomali residual, sementara efek yang berasal dari batuan pada daerah yang lebih dalam disebut anomali regional. Oleh karena itu, perlu dilakukan pemisahan anomali regional dan anomali residual pada Anomali Bouguer. Proses pemisahan anomali regional dan residual pada penelitian ini adalah dengan menggunakan metode *Moving Average* dengan lebar jendela N yang didapatkan dari proses analisis spektrum.

3. Analisis *Derivative*

Setelah didapatkan anomali residual dan regional dari *filtering moving average*, maka akan diketahui nilai anomali rendah memperlihatkan adanya batuan dengan kontras rapat massa batuan yang lebih rendah (batuan sedimen), sedangkan anomali tinggi mencerminkan adanya batuan dengan kontras rapat massa lebih tinggi, untuk lebih menguatkan kedua hal tersebut penulis melakukan analisis *derivative* sebagai data pendukung untuk analisis struktur bawah permukaan untuk sebaran patahan pada daerah penelitian, analisis *derivative* juga dilakukan untuk membantu dalam pembuatan model 2,5D. Analisis *derivative* yang digunakan pada penelitian ini adalah turunan kedua anomali *Bouguer* atau *Second Vertical Derivative (SVD)*.

4. Pemodelan Bawah Permukaan

Pemodelan bawah permukaan dalam penelitian ini dilakukan dengan menggunakan software *Grablok 1.7*. Sedangkan untuk menampilkan hasil

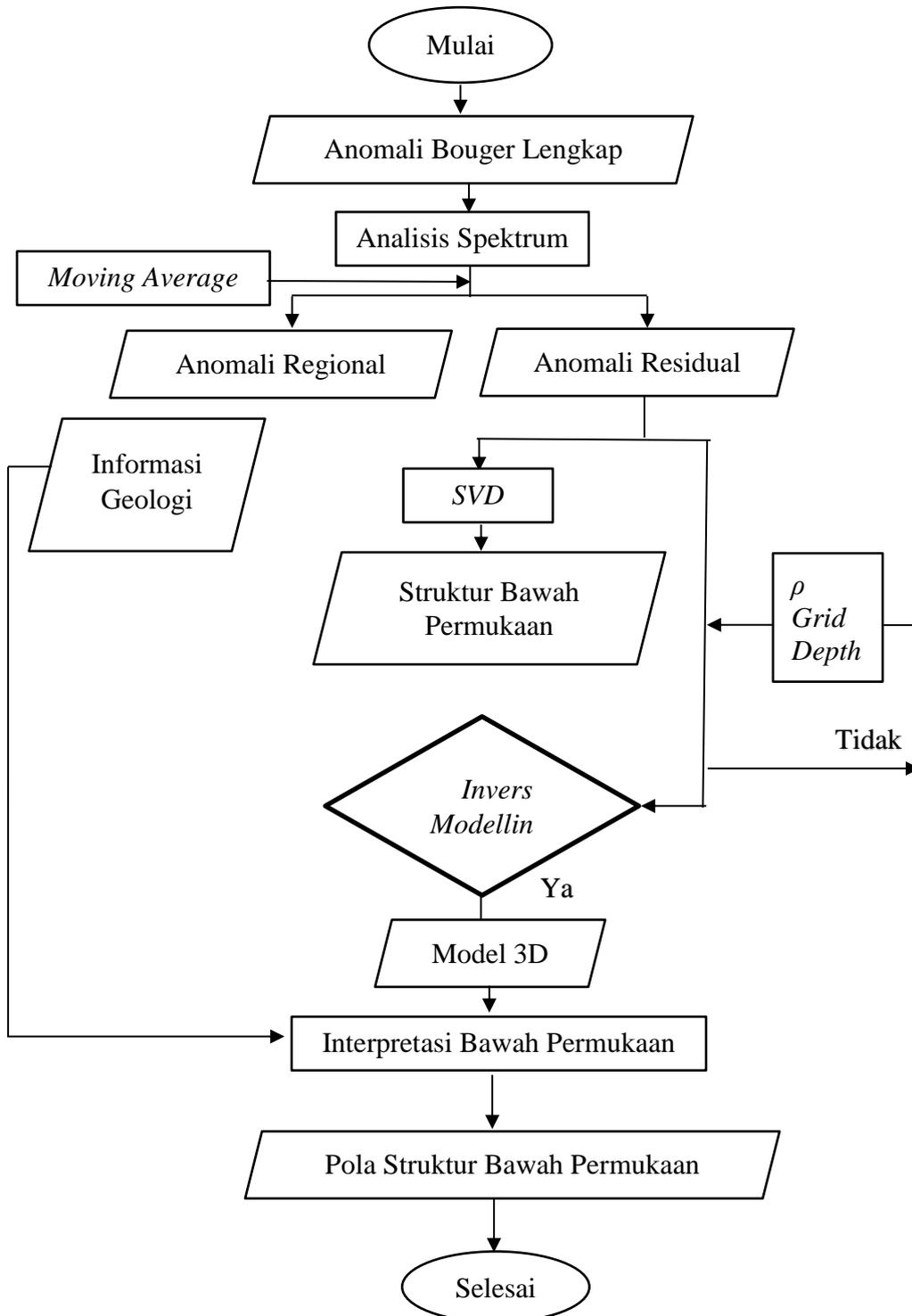
inverse modelling untuk pemodelan 3D menggunakan software *Bloxer64*. *Inverse modeling* dilakukan dengan cara menginput data jarak dan data anomali residual berdasarkan lintasan atau *slice* yang telah di tentukan pada perangkat lunak *Geosoft*. Pemodelan dilakukan dengan memadukan informasi – informasi yang ada yaitu informasi geologi yang berisi mengenai geologi permukaan, struktur geologi, dan stratigrafi pada daerah penelitian. Pemodelan *inverse modelling* untuk pemodelan 3D didasarkan pada suatu model yang dihasilkan langsung dari data. Pemodelan ini dilakukan dengan menginput data anomali residual dalam kemasan (*.grv) dan *mesh* dalam kemasan (*.dat) ke dalam *software Grablok 1.7*.

D. Jadwal Penelitian

Adapun jadwal Penelitian pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

E. Diagram Alir

Adapun diagram alir dalam pengolahan data sebagai berikut :



Gambar 17. Diagram Alir Penelitian

VI. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan pengolahan data dan analisa yang telah dilakukan pada daerah penelitian kesimpulan yang dapat diambil adalah:

1. Anomali Bouguer daerah penelitian mempunyai nilai -105 sampai -35 mGal dengan anomali tinggi berada di utara daerah penelitian dan anomali rendah berada di timur dan tenggara daerah penelitian
2. Hasil analisa spektrum anomali Bouguer mendapatkan kedalaman anomali Bouguer regional 6963 m dan kedalaman anomali Bouguer residual 744 m. Anomali Bouguer residual hasil *filtering* menggunakan metode *moving average* dengan *windows* 15x15 mendapatkan nilai -26 mGal sampai 16 mGal dengan anomali rendah terletak timur dan tenggara dan anomali tinggi di utara serta tengah daerah penelitian
3. Struktur sesar yang teridentifikasi dominan berada ditengah daerah penelitian yang berarah barat laut – tenggara, sesar berarah timur laut – barat daya di utara daerah penelitian, dan sesar berarah utara – selatan di selatan daerah penelitian.
4. Terdapat 3 zona prospek yang diduga sebagai reservoir panasbumi yang ditandai dengan terdapatnya *low density* pada kedalaman 1 km – 2 km di

barat laut, barat daya, dan tenggara daerah penelitian. Manifestasi berada di barat laut, barat daya, tengah, dan sebelah tenggara daerah penelitian yang relatif berarah barat laut – tenggara mengikuti struktur sesar.

B. Saran

Berdasarkan pembahasan dan kesimpulan dari penelitian ini maka penulis sarankan untuk menambah metode geofisika lainnya seperti metode magnetotellurik dan metode magnetik untuk memperkuat dalam interpretasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Blakely, R. J. 1996. *Potential Theory In Gravity And Magnetic Applications*. New York: Cambridge University Press.
- Davis, G. and Reynold, S.J. 1996. *Structural Geology of Rocks and Regions*. NewYork. John Willey and Sons, Inc.
- Elkins, T. A. 1951. The Second Derivative Method of Gravity Interpretation. *Geophysics*. Vol 23, Hal. 97 – 127.
- Grandis, H. 2009. *Pengantar Pemodelan Inversi Geofisika*. Jakarta: Himpunan Ahli Geofisika Indonesia (HAGI).
- Haerudin, N. and Karyanto. 2007. Aplikasi Metode Polinomial Least Square Berbasis Matlab Untuk Memisahkan Efek Residual Anomali Regional Pada Data Gravitasi. *Jurnal Sains MIPA*, 32-36.
- Hasan, R., Setiadarma., Risdianto, D., and Supardi, K. 2005. Geologi Daerah Panasbumi Sipoholon, Kabupaten Tapanuli Utara, Sumatera Utara. *Pemaparan Hasil Kegiatan Lapangan Subdit Panas Bumi*. Bandung: Pusat Sumber Daya Geologi Badan Geologi Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia.
- Hinze, W.J. 2013. *Gravity and Magnetic Exploration – Principles, Practices, and Applications*. Inggris: Cambridge University Press.
- Kadir, W. G. 2000. *Eksplorasi Gayaberat dan Magnetik*. Bandung: Jurusan Teknik Geofisika Fakultas Ilmu Kebumihan dan Teknologi Mineral ITB.
- Menke, W. 1984. *Geophysical Data Analysis: Discrete Inverse Theory*. California: Academic Press, Inc.

- Mortensen, A. and Axelsson, G. 2013. Developing a Conceptual Model of a Geothermal System. *Short Course on Conceptual Modelling of Geothermal Systems*. El-Slavador: UNU-GTP and LaGeo.
- Niasari, S. W. 2015. Magnetotelluric Investigation of the Sipoholon Geothermal Field, Indonesia. *Disertasi PhD*. Jerman: Freie Universität Berlin.
- Octonovrilna, L. and Pudja, I. P. 2009. Analisa Perbandingan Anomaly Gravitasi dengan persebaran intrusi air asin (Studi kasus Jakarta 2006-2007). *Jurnal Meteorologi dan Geofisika Vol.10 No.1: AMG*. Reynolds, J. M. (1997). *An Introduction to Applied and Environmental Geophysics*. England: John Wiley and Sons Inc.
- Sarkowi, M. 2014. *Eksplorasi Gaya Berat*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Serway, R. A. and Jewett, J. W. 2009. *Fisika Untuk Sains dan Teknik Buku 1*. Jakarta: Salemba Empat.
- Setiadi, I., Diyanti, A., and Ardi, N. D. 2014. Interpretasi Struktur Geologi Bawah Permukaan Daerah Leuwidamar Berdasarkan Analisis Spektral Data Gaya Berat. *Jurnal Geologi dan Sumberdaya Mineral*, 205-214.
- Setianingsih, Efendi, R., Kadir, W.G.A., Santoso, D., Abdullah, A.I., and Alawiyah, S. 2013. Gravity Gradient Technique to Identify Fracture Zones in Palu Koro Strike-Slip Fault. *Procedia Environmental Sciences*. Vol. 17 Hal: 248-255.
- Situmorang, T. 2005. Penelitian Geomagnet Daerah Panas Bumi Ria-Ria Sipoholon, Tarutung, Tapanuli Utara. *Pemaparan Hasil Kegiatan Lapangan Subdit Panas Bumi 2005*. Bandung: Pusat Sumber Daya Geologi Badan Geologi Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia.
- Sugianto, A. and Rahadinata, T. 2015. Pemodelan Gaya Berat 3D Daerah Panas Bumi Dolok Morawa, Kabupaten Simalungun, Sumatera Utara. *Buletin Sumber Daya Geologi*. Vol. 10 (2). Hal: 26-39.
- Supriyanto. 2007. *Analisis Data Geofisika : Memahami Teori Inversi*. Departemen Fisika-MIPA Universitas Indonesia.
- Talwani, M., Worzel, J. L., and Landisman, M. 1969. Rapid Gravity Computations for Two-Dimensional Bodies with Application to the Mendocino Submarine Fracture Zone. *Journal of Geophysical Research* : Vol.6 No.1.
- Telford, W. M., Geldart, L. P., and Sheriff, R. E. 1990. *Applied Geophysics Second Edition*. London: Cambridge University Press.

- Tim Penelitian Terpadu PSDG. 2005. *Penelitian Terpadu Geologi, Geokimia, dan Geofisika Daerah Panas Bumi Siholon/ Siria-ria – Tarutung, Kabupaten Tapanuli Utara, Propinsi Sumatera Utara*. Bandung: Direktorat Inventarisasi Sumber Daya Mineral, Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia.
- Wellenhof, B. H. and Moritz, H. 2005. *Physical Geodesy*. Austria: Springer Wien New York.
- Zarkasyi, A. and Suhanto, E. 2013. Pemodelan Inversi 3D Gaya Berat dan Magnet pada Sistem Panas Bumi Jaboi. *Buletin Sumber Daya Geologi*. Vol. 8 (1). Hal: 26-32.
- Zarkasyi, A. 2015. *Buku Panduan Penelitian Panas Bumi*. Bandung: Pusat Sumber Daya Geologi Badan Geologi Kementerian Energi dan Sumber.