

**IDENTIFIKASI LAPISAN BATUAN BAWAH PERMUKAAN  
BERDASARKAN METODE GAYA BERAT DI DAERAH  
PROSPEK PANAS BUMI SUOH, LAMPUNG BARAT**

(Skripsi)

Oleh

**Jochanan Benaya Lumban Tobing**  
**NPM 1855051005**



**JURUSAN TEKNIK GEOFISIKA  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG  
2023**

## ABSTRAK

### IDENTIFIKASI LAPISAN BATUAN BAWAH PERMUKAAN BERDASARKAN METODE GAYA BERAT DI DAERAH PROSPEK PANAS BUMI SUOH, LAMPUNG BARAT

Oleh  
**JOCHANAN BENAYA LUMBAN TOBING**

Indonesia yang terkenal dengan kekayaan sumber daya alam dan mineralnya, baik yang telah dieksploitasi maupun yang masih tersimpan di dalam bumi, memiliki potensi besar dalam energi panas bumi. Salah satu metode yang digunakan untuk eksplorasi panas bumi adalah metode gaya berat, metode ini sangat efektif dalam mengidentifikasi lapisan batuan di bawah permukaan. Tujuan penelitian ini mencakup penentuan kedalaman anomali regional dan residual melalui analisis spektrum, identifikasi struktur geologi menggunakan metode *first horizontal derivative* (FHD) dan *second vertical derivative* (SVD), pembuatan model struktur geologi 2 dimensi, dan penentuan reservoir panas bumi Suoh-Sekincau melalui analisis distribusi densitas. Analisis spektrum, menggunakan data anomali Bouguer lengkap sebagai acuan dan memanfaatkan empat slice, menunjukkan rata-rata kedalaman anomali regional sebesar 4638 meter dan anomali residual sebesar 533 meter. Pola struktural di area penelitian diidentifikasi berdasarkan analisis anomali FHD dan SVD, mengungkapkan dua patahan pada jarak 4000 m dan 8000 m dalam slice 1, mengindikasikan sesar turun, dan retakan pada jarak 4500 m dan 8000 m dalam slice 2, juga mengindikasikan sesar turun. Pemodelan 2 dimensi mengidentifikasi lima jenis litologi di lintasan 1, dan lima jenis lagi di lintasan 2, masing-masing dengan nilai densitas yang berbeda. Model geologi untuk lintasan 1 dan 2 mengungkapkan adanya batuan terobosan di bagian tengah dengan kontras densitas positif sebesar 2,47-2,57 gr/cc, yang mungkin disebabkan oleh adanya cairan. Reservoir panas bumi Suoh-Sekincau terletak pada kedalaman 6300 meter, dengan sumber panas berada di bawah 6300 meter, dan cap rock terbentuk dari lava andesit pada formasi Qv.

**Kata kunci :** Gaya berat, panas bumi, FHD, SVD

## ABSTRACT

### IDENTIFICATION OF SUBSURFACE ROCK LAYERS BASED ON THE HEAVY FORCE METHOD IN THE SUOH GEOTHERMAL PROSPECT AREA, WEST LAMPUNG

By

**JOCHANAN BENAYA LUMBAN TOBING**

*Indonesia, renowned for its wealth of natural resources and minerals, both exploited and still concealed beneath the Earth's surface, holds substantial potential in geothermal energy. One of the methods employed for geothermal exploration is the gravity method, which proves highly effective in identifying rock layers below the surface. The objectives of this research encompass determining the depth of regional and residual anomalies through spectrum analysis, identifying geological structures using the first horizontal derivative (FHD) and second vertical derivative (SVD) methods, creating a 2-dimensional geological structure model, and pinpointing the Suoh-Sekincau geothermal reservoir through density distribution analysis. Spectrum analysis, utilizing complete Bouguer anomaly data as a reference and employing four slices, reveals an average regional anomaly depth of 4638 meters and a residual anomaly depth of 533 meters. Structural patterns in the research area are identified based on anomaly analysis FHD and SVD data, indicating two faults at distances of 4000 m and 8000 m in slice 1, indicative of a down fault, and fractures at 4500 m and 8000 m in slice 2, also suggesting a downfault. The 2-dimensional modeling identifies five lithology types along track 1, and another five along track 2, each with different density values. Geological models for tracks 1 and 2 reveal intrusion rocks in the middle section with a positive density contrast of 2.47-2.57 gr/cc, potentially caused by fluid presence. The Suoh-Sekincau geothermal reservoir is identified at a depth of 6300 meters, with the heat source located below 6300 meters, and the cap rock formed by andesitic lava in the Qv formation. This research provides valuable insights into Indonesia's geothermal potential and offers essential information for sustainable geothermal resource exploitation planning.*

**Keywords :** Gravity, geothermal, FHD, SVD

**IDENTIFIKASI LAPISAN BATUAN BAWAH PERMUKAAN  
BERDASARKAN METODE GAYA BERAT DI DAERAH  
PROSPEK PANAS BUMI SUOH, LAMPUNG BARAT**

Oleh

**Jochanan Benaya Lumban Tobing  
NPM 1855051005**

**Skripsi**

**Sebagai Salah satu syarat untuk mencapai gelar  
SARJANA TEKNIK**

**Pada  
Jurusan Teknik Geofisika  
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**JURUSAN TEKNIK GEOFISIKA  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG  
2023**

Judul Skripsi

**:IDENTIFIKASI LAPISAN BATUAN BAWAH  
PERMUKAAN BERDASARKAN METODE  
GAYA BERAT DI DAERAH PROSPEK PANAS  
BUMI SUOH, LAMPUNG BARAT**

Nama Mahasiswa

**: *Jochanan Benaya Lumban Tobing***

Nomor Pokok Mahasiswa

**: 1855051005**

Program Studi

**: Teknik Geofisika**

Fakultas

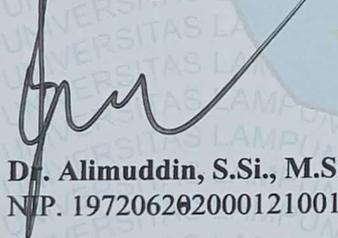
**: Teknik**



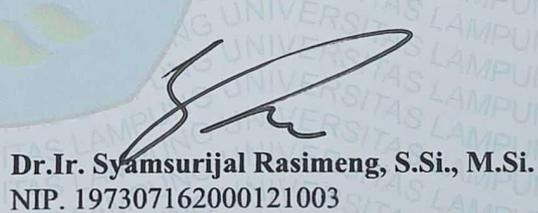
**MENYETUJUI,**

**1. Komisi Pembimbing**

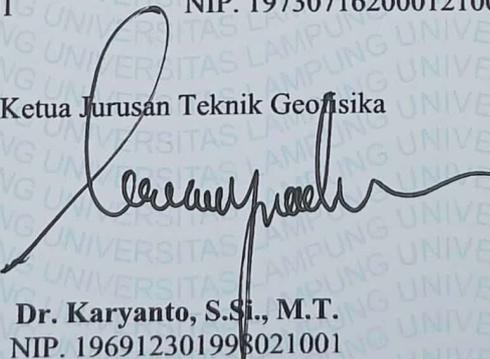
Pembimbing 1

  
**Dr. Alimuddin, S.Si., M.Si.**  
NIP. 197206202000121001

Pembimbing 2

  
**Dr. Ir. Syamsurijal Rasimeng, S.Si., M.Si.**  
NIP. 197307162000121003

**2. Ketua Jurusan Teknik Geofisika**

  
**Dr. Karyanto, S.Si., M.T.**  
NIP. 19691230199021001

**MENGESAHKAN**

**1. Tim Penguji**

**Ketua : Dr. Alimuddin, S.Si., M.Si.**

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

**Anggota : Ir. Bagus Sapto Mulyatno, S.Si., M.T.**

**2. Dekan Fakultas Teknik**

**Dr. Eng. Helmi Fitriawan, S.T., M.Sc.**

**NIP. 197509282001121002**

**Tanggal Ujian Skripsi : 15 Desember 2023**

## PERNYATAAN LEGALITAS

Saya **Jochanan Benaya Lumban Tobing** menyatakan bahwa skripsi yang saya tulis dengan judul “ **IDENTIFIKASI LAPISAN BATUAN BAWAH PERMUKAAN BERDASARKAN METODE GAYA BERAT DI DAERAH PROSPEK PANAS BUMI SUOH, LAMPUNG BARAT** ” bukan merupakan karya dari orang lain, melainkan hasil penelitian dan pemikiran saya sendiri sebagai syarat memperoleh gelar sarjana. Adapun kutipan atau karya orang lain dalam penulisan skripsi ini telah dicantumkan sumbernya sebagaimana disebutkan di dalam daftar pustaka secara jelas dengan norma, kaidah dan etika penulisan.

Demikian pernyataan yang saya buat apabila pernyataan ini terbukti tidak benar, maka saya bersedia dikenakan sanksi sesuai dengan hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, 18 Desember 2023



**Jochanan Benaya Lumban Tobing**  
**NPM. 1855051005**

## RIWAYAT HIDUP



Penulis memiliki nama lengkap Jochanan Benaya Lumban Tobing, Lahir di Bekasi, 2 Mei 2000, merupakan anak pertama dari pasangan Bapak Ferdinand L. Tobing dan Ibu Erna Tarigan. Riwayat pendidikan penulis dimulai dari Taman Kanak – Kanak (TK) Amal Kasih pada tahun 2005 sampai 2006. Kemudian dilanjutkan ke jenjang Sekolah Dasar (SD) Pada tahun 2006 sampai 2012 di SD Amal Kasih Kota Bogor. Kemudian melanjutkan ke jenjang Sekolah Menengah Pertama (SMP) Pada tahun 2012 sampai 2015 di SMP Amal Kasih Kota Bogor. Dan kemudian melanjutkan pendidikan ke jenjang Sekolah Menengah Atas (SMA) pada tahun 2015 sampai 2018 di SMAN 10 Kota Bogor. Pada tahun 2018 penulis terdaftar sebagai mahasiswa Jurusan Teknik Geofisika Fakultas Teknik Universitas Lampung melalui jalur mandiri.

Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif dalam kegiatan keorganisasian yaitu Himpunan Mahasiswa Teknik Geofisika (HIMA TG BHUWANA) sebagai anggota Bidang Sosial Budaya Masyarakat pada periode 2020. Penulis juga aktif dalam kegiatan organisasi Himpunan Mahasiswa Geofisika Indonesia (HMGI) sebagai Anggota Divisi Eksternal.

Pada tahun 2021 penulis melaksanakan Kerja Praktik (KP) di Jurusan Teknik Geofisika Unila dengan judul **“Identifikasi Struktur Bawah Permukaan Menggunakan Metode Gaya berat Berdasarkan Analisa Derivative Pada Daerah Suoh Lampung Barat”** . Pada akhir masa studi penulis melakukan penelitian Tugas Akhir untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik dengan judul **“Identifikasi Lapisan Batuan Bawah Permukaan Berdasarkan Metode Gaya Berat Di Daerah Prospek Panas Bumi Suoh, Lampung Barat”** .

## **PERSEMBAHAN**

Puji syukur saya panjatkan kehadiran Tuhan Yesus Kristus atas terselesaikannya skripsi ini dengan baik dan lancar sehingga saya dapat mempersembahkan untuk :

### **AYAH DAN IBU**

Terima kasih atas rasa kasih sayang dan cinta yang telah diberikan selama saya hidup, Terima kasih atas segala dukungan yang telah diberikan, Terima kasih telah menjadi pagar bagi saya untuk tetap berjalan di jalan yang baik. Semoga kelak saya bisa membahagiakan Ayah dan Ibu sebagaimana Ayah dan Ibu membahagiakan saya.

### **KELUARGA TERCINTA**

Terima kasih atas segala doa dan dukungannya. Semoga kelak saya dapat menjadi manusia yang baik dan mengangkat derajat keluarga.

### **TEKNIK GEOFISIKA UNIVERSITAS LAMPUNG 2018**

Terima kasih atas doa dan dukungannya selama ini. Terima kasih telah kebersamaan saya dalam menyelesaikan pendidikan ini. Terima kasih telah mengukir cerita bersama saya baik suka maupun duka. Terima kasih untuk semua pembelajaran dan pengalaman yang saya dapat selama bersama kalian.

### **KELUARGA BESAR TEKNIK GEOFISIKA UNIVERSITAS LAMPUNG**

Terima kasih atas semua pengalaman, pengajaran dan bantuannya selama saya berkuliah di Teknik Geofisika. Semoga kelak kita mendapatkan cita cita yang diharapkan.

“Tuhan menetapkan langkah-langkah orang yang hidupnya berkenan kepada-Nya. Apabila ia jatuh, sampai tergeletak, sebab Tuhan menopang tangannya.”

~ **Mazmur 37 : 23-24** ~

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Tuhan Yesus Kristus oleh karena kasih dan anugerah-Nya penulis dapat menyusun skripsi ini dengan judul “**Identifikasi Lapisan Batuan Bawah Permukaan Berdasarkan Metode Gaya Berat Di Daerah Prospek Panas Bumi Suoh, Lampung Barat**” Penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang terlibat dalam penulisan skripsi ini secara langsung maupun tidak langsung. Skripsi ini mungkin masih terdapat banyak kekurangan, sehingga sangat diharapkan kritik dan saran yang membangun kepada penulis. Semoga semua yang ada di dalam skripsi ini memberikan manfaat kepada siapapun.

Bandar Lampung, 18 Januari 2024  
Penulis



**Jochanan Benaya Lumban Tobing**  
**NPM. 1855051005**

## SANWACANA

Puji syukur kehadiran Tuhan Yesus Kristus oleh karena kasih dan anugerah-Nya penulis dapat menyusun Skripsi ini dengan judul “**Identifikasi Lapisan Batuan Bawah Permukaan Berdasarkan Metode Gaya Berat Di Daerah Prospek Panas Bumi Suoh, Lampung Barat**” sebagai syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik.

Dalam penyelesaian skripsi ini, banyak pihak yang telah terlibat maka dari itu penulis ingin mengucapkan rasa terima kasih kepada :

1. Tuhan Yesus Kristus, yang selalu memberikan penyertaan, berkat, dan anugerah-Nya sehingga penulis diberikan kemudahan dan kelancaran dalam hidup.
2. Kepada kedua orang tua penulis, Bapak Ferdinand L. Tobing dan Ibu Erna Tarigan yang senantiasa memberikan dukungan, doa, semangat dan kasih sayang yang tiada hentinya.
3. Bapak Karyanto, S.Si., M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Geofisika Universitas Lampung.
4. Bapak Dr. Alimuddin, S.Si., M.Si. selaku dosen pembimbing 1 tugas akhir yang telah banyak meluangkan waktu untuk memberi kritik dan saran serta masukan dan pengarahan dalam penulisan skripsi ini.

5. Bapak Dr. Ir. Syamsurijal Rasimeng, S.Si., M.Si. selaku dosen pembimbing 2 tugas akhir dan dosen pembimbing akademik penulis yang telah meluangkan waktu untuk memberi kritik dan saran serta masukan dalam penulisan skripsi ini.
6. Bapak Ir. Bagus Sapto Mulyatno, S.Si., M.Si. selaku dosen penguji tugas akhir saya yang telah banyak memberikan kritik dan saran.
7. Dosen-dosen Jurusan Teknik Geofisika Universitas Lampung yang saya hormati terima kasih atas semua ilmu yang telah diberikan.
8. Keluarga Besar Teknik Geofisika 2018 (GASAK) yang sangat penulis sayangi dan bangga telah memberikan semangat selama pembuatan skripsi ini.
9. Ikram, Arnas, Andiko, Farhan, Nanda, Topik, Tektona, Eet, Nurul, Herlian Julpan, Arsy, Alek, Cuyung, Billy, Damar, Fahmi, Shofiko, Rinda, Lopia, dan Langnanda yang merupakan sahabat-sahabat kampus yang telah mewarnai lika-liku tugas akhir saya.
10. Abang – kakak dan adik – adik Teknik Geofisika yang telah banyak berbagi cerita serta pertolongan apabila penulis membutuhkan bantuan.
11. Semua pihak yang terlibat dalam penulisan skripsi ini yang tidak bisa penulis sebutkan satu persatu. Terima kasih atas pengalaman yang sangat luar biasa, sekali lagi penulis ucapkan terima kasih banyak.

Bandar Lampung, 18 Januari 2024  
Penulis



**Jochanan Benaya Lumban Tobing**  
**NPM. 1855051005**

## DAFTAR ISI

	<b>Halaman</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>xiv</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>xvii</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>xix</b>
<b>I. PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Tujuan Penelitian.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Manfaat Penelitian.....	3
<b>II. TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>4</b>
2.1 Lokasi Penelitian.....	4
2.2 Tektonik Regional.....	4
2.3 Fisiografi Regional Daerah Penelitian.....	7
2.4 Geomorfologi Regional Area Penelitian.....	8
2.5 Geologi Daerah Penelitian.....	10
2.6 Stratigrafi Daerah Penelitian.....	12
2.6.1. Formasi Menanga (Km).....	15
2.6.2. Formasi Kikim (Tpok).....	15
2.6.3. Formasi Gading (Tomg).....	15
2.6.4. Formasi Hulusimpang (Tomh).....	15
2.6.5. Formasi Bal (Tmba).....	16
2.6.6. Formasi Lakitan (Tmpl).....	16
2.6.7. Formasi Semung (QTse).....	16
2.6.8. Formasi Lampung (QTI).....	17
2.6.9. Formasi Ranau (QTr).....	17

2.6.10. Batuan Gunungapi Tua ( $Q_v$ ) .....	17
2.6.11. Batuan Gunungapi Kuartar Muda ( $Q_{hv}$ ).....	17
2.7. Sistem Panas Bumi .....	18
2.8 Kombinasi Metode Gaya berat, Metode Magnetotelurik, dan Metode Magnetik.....	19
2.8.1 Metode Gaya Berat.....	19
2.8.2 Metode Magnetotelurik.....	20
2.8.3 Metode Magnetik.....	20
<b>III. TEORI DASAR.....</b>	<b>22</b>
3.1 Metode Gaya berat... ..	22
3.2 Konsep Dasar Metode Gaya berat.....	22
3.3 Data Citra Satelit .....	25
3.4 Rapat Massa Batuan .....	26
3.5 Koreksi Metode Gaya berat.....	26
3.5.1 Koreksi Pasang Surut (Tide Correction).....	26
3.5.2 Koreksi Apungan (Drift Correction)... ..	26
3.5.3 Koreksi Udara Bebas (Free Air Anomali)... ..	28
3.5.4 Koreksi Bouger.....	28
3.5.5 Koreksi Medan (Terrain Correction)... ..	29
3.5.6 Anomali Bougeur... ..	30
3.6 Analisis Spektrum... ..	30
3.7 <i>Filter Moving Average</i> .....	33
3.8 <i>Forward Modelling 2D</i> ... ..	34
3.9 <i>First Horizontal Derivative</i> .....	35
3.10. <i>Second Vertical Derivative</i> .....	36
<b>IV. METODE PENELITIAN.....</b>	<b>38</b>
4.1. Tempat dan Waktu Penelitian... ..	39
4.2. Alat dan Bahan... ..	39
4.3. Prosedur Penelitian.....	40
4.3.1. Anomali Bougeur Lengkap... ..	41
4.3.2. Analisis Spektrum... ..	41
4.3.3. Pemisahan Anomali Regional dan Residual.....	41

4.3.4. Analisis Derivative .....	42
4.3.5. Pemodelan 2D .....	42
4.4 Diagram Alir... .....	43
<b>V. HASIL DAN PEMBAHASAN...</b> .....	<b>44</b>
5.1 Data Penelitian... .....	44
5.2 Anomali Bouger Lengkap... .....	45
5.3 Analisis Spektral... .....	46
5.3.1 Lintasan 1... .....	47
5.3.2 Lintasan 2... .....	48
5.3.3 Lintasan 3... .....	48
5.3.4 Lintasan 4... .....	49
5.4 Anomali Regional... .....	50
5.5 Anomali Residual... .....	52
5.6 <i>First Horizontal Derivative (FHD)</i> .....	53
5.7 <i>Second Vertical Derivative (SVD)</i> .....	54
5.8 Identifikasi Patahan... .....	55
5.9 <i>Forward Modelling 2D</i> .....	57
5.9.1 <i>Forward Modelling</i> Lintasan 1.....	58
5.9.2 <i>Forward Modelling</i> Lintasan 2.....	59
5.9.3 Interpretasi Reservoir Panas Bumi Suoh-Sekincau.....	60
<b>VI. KESIMPULAN DAN SARAN...</b> .....	<b>61</b>
6.1. Kesimpulan.....	61
6.2. Saran.....	62
<b>DAFTAR PUSTAKA...</b> .....	<b>63</b>
<b>LAMPIRAN</b>	

## DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Peta lokasi daerah penelitian .....	4
2. Tektonik Regional Pembentukan Pulau Sumatera (Barber dkk., 2005).....	6
3. Rekonstruksi di 130 Ma, Segitiga Lempeng Ngalau berbatasan dengan barat dan timur oleh dua zona subduksi yang berlawanan, (B) Rekonstruksi di 95 Ma: Lempeng Ngalau sepenuhnya dipengaruhi oleh subduksi, (C) Skenario kinematik skematik segitiga yang bergeser ke arah selatan .....	7
4. Fisiografi regional daerah penelitian (Amin dkk., 1993).....	9
5. Peta morfologi daerah Suoh-Sekincau (Barber dkk, 2005).....	10
6. Peta geologi regional daerah penelitian .....	11
7. Stratigrafi Regional Daerah Penelitian (Amin dkk., 1993) .....	14
8. Penampang ideal suatu sistem panas bumi (Dickson dan Fanelli, 2003) .....	18
9. Gaya tarik menarik antara dua buah benda (Grandis, 2009).....	23
10. Pengukuran data oleh Topex .....	25
11. Kurva $\ln A$ terhadap $K$ (Blakely, 1996) .....	33
12. Hasil pemodelan analitik turunan gravitasi horizontal untuk model benda pelat tegak (Sarkowi, 2022). .....	36
13. Respon analisis SVD pada struktur geologi (Reynold, 1997).....	37
14. Diagram alir penelitian .....	43
15. Peta anomali Bouger lengkap daerah penelitian.....	45
16. Grafik $\ln A$ vs $K$ pada lintasan 1 .....	47
17. Grafik $\ln A$ vs $K$ pada lintasan 2.....	48
18. Grafik $\ln A$ vs $K$ pada lintasan 3.....	48
19. Grafik $\ln A$ vs $K$ pada lintasan 4.....	49
20. Peta anomali regional daerah penelitian.....	51
21. Peta anomali residual daerah penelitian .....	52

22. Peta first horizontal derivative (FHD) daerah Penelitian .....	53
23. Peta second vertical derivative (SVD) daerah penelitian .....	54
24. Kurva hasil analisis derivative pada slice 1.....	55
25. Kurva hasil analisis derivative pada slice 2.....	56
26. Forward Modelling Lintasan 1 .....	58
27. Forward Modeling lintasan 2 .....	59

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel</b>	<b>Halaman</b>
1. Nilai densitas batuan (Telford dkk, 1990).....	27
2. Operator Henderson and Zietz (1949).....	38
3. Operator Elkins (1951).....	38
4. Operator Rosenbach (1953).....	38
5. Jadwal pelaksanaan kegiatan penelitian. ....	40
6. Sebagian data gaya berat yang digunakan.....	44
7. Kedalaman anomali regional dan anomali residual.....	50
8. Bilangan gelombang (k) dan lebar jendela (N) .....	50

# I. PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan salah satu negara yang dikenal akan kekayaan sumber daya alam dan mineralnya, adapun yang telah dieksploitasi maupun yang masih tersimpan di dalam bumi. Panas bumi merupakan energi yang murah, ramah lingkungan dan berkelanjutan. Energi panas bumi sendiri merupakan energi panas yang terbentuk di bawah permukaan bumi secara alami, dimana energi panas alami yang berasal dari bumi terjebak cukup dekat dengan permukaan dan dapat dengan mudah untuk dimanfaatkan secara ekonomis pada Kabupaten Lampung Barat adalah salah satu wilayah di Provinsi Lampung. (Ilmi dkk., 2010)

Metode gaya berat merupakan metode geofisika yang dapat digunakan untuk kegiatan eksplorasi untuk melakukan identifikasi struktur geologi bawah permukaan melalui variasi medan gravitasi akibat perbedaan rapat massa batuan di bawah permukaan berdasarkan pengukuran variasi medan gravitasi bumi. Struktur bawah permukaan ini diturunkan dari anomali Bouguer yang terlihat di permukaan, sehingga dalam pelaksanaannya yang diselidiki merupakan sebuah perbedaan gravitasi masing-masing titik observasi (Sarkowi, 2014).

Metode gaya berat memiliki kelebihan terhadap eksplorasi panas bumi karena pengukurannya berdasarkan identifikasi lapisan bawah permukaan dengan melihat variasi rapat massa batuan yang dimana, kita dapat mengetahui batuan reservoir yang terdapat di bawah permukaan. Kemudian pengukuran menggunakan metode gaya berat dapat melakukan pemetaan panas bumi secara regional yang memungkinkan para peneliti untuk memahami potensi panas bumi di area yang luas. Ini dapat membantu dalam perencanaan pengembangan energi panas bumi di

suatu wilayah. Metode gaya berat pun memiliki kelebihan yaitu pengukurannya memerlukan biaya yang cukup terjangkau. Metode gaya berat cenderung lebih ekonomis dibandingkan dengan beberapa teknik eksplorasi lainnya. Hal ini membuatnya menjadi pilihan yang menarik untuk survei awal dalam penelitian potensi panas bumi di suatu wilayah.

Daerah penelitian terletak pada potensi panas bumi Suoh-Sekincau yang berada di Kabupaten, Lampung Barat. Dalam penelitian ini digunakan metode gravitasi untuk menjelaskan struktur bawah permukaan dan zona keluarnya fluida panas bumi ke permukaan. Dan mendeteksi struktur bawah permukaan. Pemodelan yang digunakan untuk mengidentifikasi berdasarkan data anomali gravitasi yang telah didapatkan dan juga melihat struktur dari geologi regional daerah tersebut.

## **1.2 Tujuan Penelitian**

Tujuan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menentukan kedalaman anomali regional dan residual daerah penelitian dengan analisis spektrum.
2. Mengidentifikasi struktur geologi menggunakan metode *first horizontal derivative* (FHD) dan *second vertical derivative* (SVD).
3. Pembuatan pemodelan struktur geologi bawah permukaan berdasarkan pemodelan 2 dimensi
4. Mengidentifikasi reservoir panas bumi Suoh-Sekincau berdasarkan analisis model distribusi densitas bawah permukaan

## **1.3 Batasan Masalah**

Batasan masalah dalam pelaksanaan Praktik Kerja Lapangan ini adalah

1. Data yang digunakan merupakan data sekunder gaya berat dari data satelit Topex didapatkan melalui website [topex.ucsd.edu](http://topex.ucsd.edu) berupa data *Free Anomali Air* (FAA) dan Topografi (ketinggian).
2. Pemisahan anomali regional dan residual menggunakan filter moving average.
3. Penerapan metode FHD dan SVD berdasarkan peta anomali residual untuk melihat persebaran serta batas kontak struktur geologi dan pemodelan 2 dimensi pada daerah Suoh Lampung Barat

#### **1.4 Manfaat Penelitian**

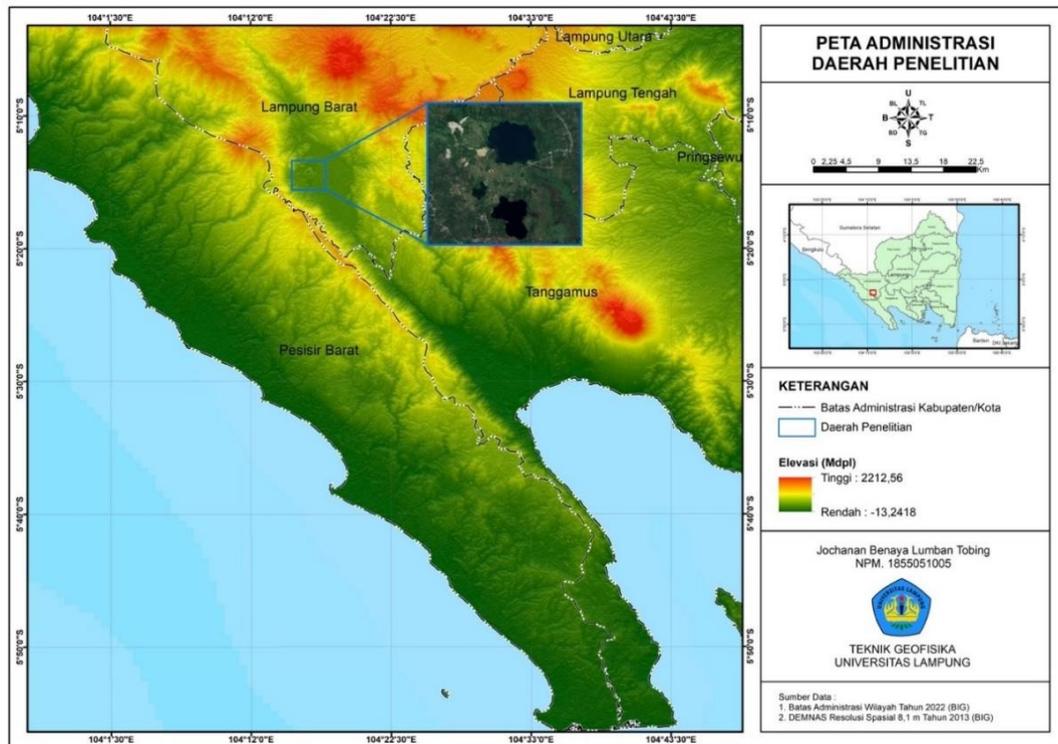
Adapun manfaat dalam pelaksanaan Praktik Kerja Lapangan ini adalah

1. Memberikan informasi mengenai gambaran geologi pada daerah penelitian berdasarkan data gaya berat.
2. Mengetahui sistem patahan daerah penelitian dari analisis *first horizontal derivative* (FHD), *second vertical derivative* (SVD), dan *forward modelling 2D*

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Lokasi Penelitian

Daerah penelitian terletak di Daerah Prospek Panas Bumi Suoh yang berada pada wilayah Kabupaten Lampung Barat Provinsi Lampung. Secara geografis daerah penelitian berada pada koordinat  $5^{\circ}15'47.46''$  Lintang Selatan  $104^{\circ}15'52.51''$  Bujur Timur. Luas daerah penelitian yaitu  $511 \text{ km}^2$  berada pada ketinggian 500-1800 m dari permukaan laut.

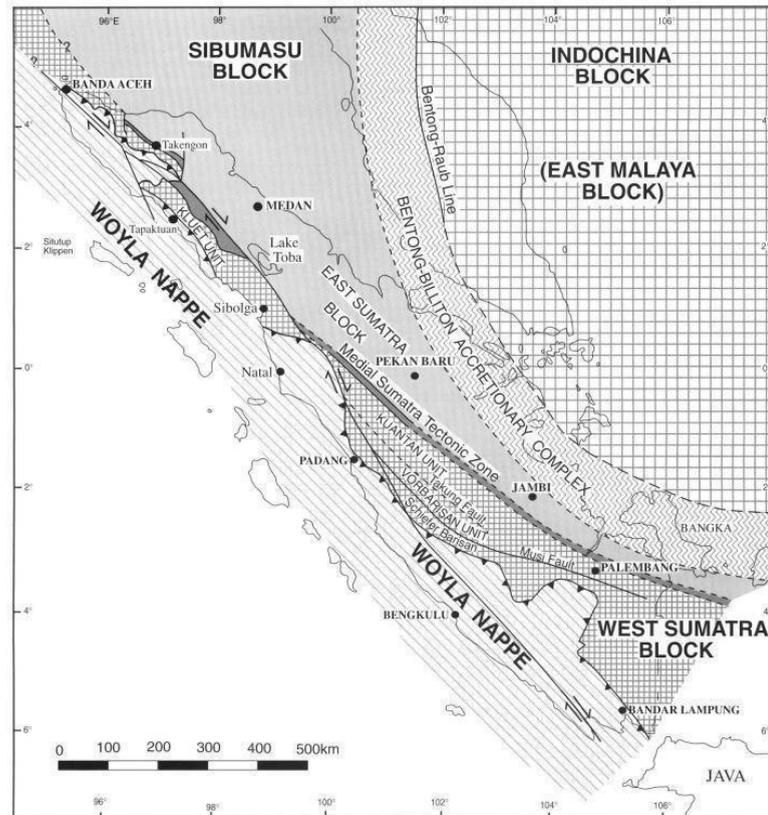


Gambar 1. Peta lokasi daerah penelitian (BIG, 2018).

## 2.2 Tektonik Regional

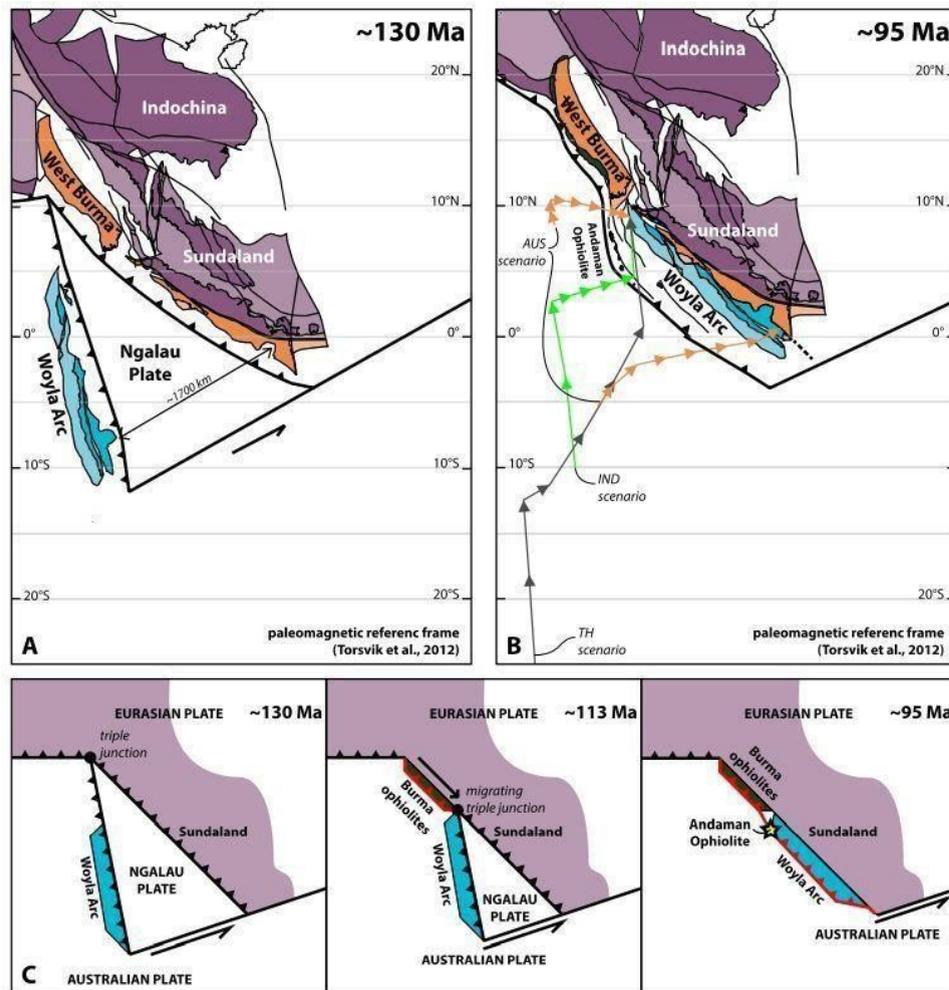
Pulau Sumatera adalah bagian dari Sundaland yang membentuk Indonesia bagian barat. Pada dasarnya Pulau Sumatera merupakan bagian dari benua Asia, namun karena pecahnya Gondwana, Benua India memisahkan diri dari Benua Antartika-Australia, bergerak ke arah barat laut kemudian ke arah Utara-Selatan. Akhirnya menghantam benua Asia pada Kapur Tengah mempengaruhi pergerakan sebagian Asia Timur ke tenggara dan timur menjadi dasar bagi tatanan tektonik Paparan Sunda. Pada periode Pra-Tersier Pulau Sumatera merupakan bagian dari Paparan Sunda (Sundaland), yang memanjang ke arah tenggara lempeng tektonik Eurasia. Penunjaman lempeng Australia-India pada Pulau Sumatera terjadi secara miring (*oblique*), memicu terbentuknya patahan besar Sumatera yang memanjang dari Aceh hingga Lampung. Paparan Sunda terbentuk dari empat blok tektonik dengan peristiwa tektonik yang berbeda (Metcalf, 2013). Paparan Sunda dibentuk dari blok Malaya Timur, Sibumasu, Sumatera Barat, dan Woyla (**Gambar 2**). Blok ini diperkirakan merupakan bagian yang terbentuk dari blok kerak yang mengalami retakan (*rifting*) pada batas utara benua Gondwana, sehingga terpisah pada Pertengahan-Akhir dari Paleozoikum, dan kemudian teraktifkan kembali untuk membentuk paparan Sunda pada Paleozoikum Akhir dan Mesozoikum Awal (Barber dkk., 2005).

Blok Malaya Timur merupakan busur gunungapi bagian dari Cathaysia atau blok Blok Indo-Cina yang merupakan blok tua berumur Karbon-Permian. Blok Sumatera Barat merupakan blok kontinen yang berasal dari Gondwana yang mengalami pemekaran pada zaman Permian Awal lalu mengalami strike-slip pada Trias Awal. Secara tektonik Terrane Sumatera Barat merupakan bagian dari Malaya Timur yang kemudian pada Trias atau Awal Mesozoikum mengalami pemisahan. Blok Sibumasu (Sikkim, Burma, Malaya, Sumatera), merupakan pecahan dari Gondwana pada umur Paleozoikum tepatnya pada Permian Awal. Blok Woyla merupakan busur gunungapi hasil subduksi mikro kontinen pecahan Gondwana dengan lempeng samudra Ngalau (Meso-thetys) yang berumur Mesozoikum. Busur gunungapi ini sudah ada sejak Trias (252 juta tahun yang lalu) hingga Kapur awal bagian Akhir (100 juta tahun yang lalu)



**Gambar 2.** Tektonik regional pembentukan Pulau Sumatera (Barber dkk., 2005).

Pada Mesozoikum dari umur Jura hingga Kapur Awal berlangsung subduksi lempeng samudera Ngalau (Meso-tethys) di bawah Sundaland dan busur Woyla menyebabkan berkembangnya busur pluton. Gerakan lempeng Woyla mengalami kolusi dengan lempeng Sumatera barat yang memiliki waktu yang berbeda-beda pada lokasi yang berbeda dari Aceh hingga Lampung. Tabrakan pertama kali berlangsung di Aceh, kemudian berlangsung progresif ke arah selatan sekitar 95 juta tahun yang lalu atau selama kurun waktu Kapur Awal bagian akhir hingga Kapur Akhir bagian awal (Advokat dkk., 2018). Selanjutnya blok Woyla menyatu dan mengalami amalgamasi terakhir di sebelah selatan Sumatera tepatnya pada Kompleks Gunung Kasih Lampung, Subduksi Woyla ini menyebabkan berkembangnya busur pluton sehingga membentuk magma granitoid yang menerobos bongkah Woyla yang membentuk pluton Padean dan pluton lainnya di daerah Lampung (Amin dkk., 1994).



**Gambar 3.** Rekonstruksi di 130 Ma, Segitiga Lempeng Ngalau berbatasan dengan barat dan timur oleh dua zona subduksi yang berlawanan, (B) Rekonstruksi di 95 Ma: Lempeng Ngalau sepenuhnya dipengaruhi oleh subduksi, (C) Skenario kinematik skematik segitiga yang bergeser ke arah selatan.

Peristiwa tektonik yang bekerja di Pulau Sumatera terutama pada Sumatera bagian Selatan terdiri dari tiga fase yaitu fase kompresional, ekstensional, dan kompresional pada waktu yang berbeda-beda (Pulunggono, 1992).

### 1. Fase Kompresional

Fase kompresional ini terjadi pada Jurasik Akhir hingga Kapur Awal yang menghasilkan sesar mendatar yang berarah barat laut-timur tenggara (WNWSE).

## **2. Fase Ekstensional**

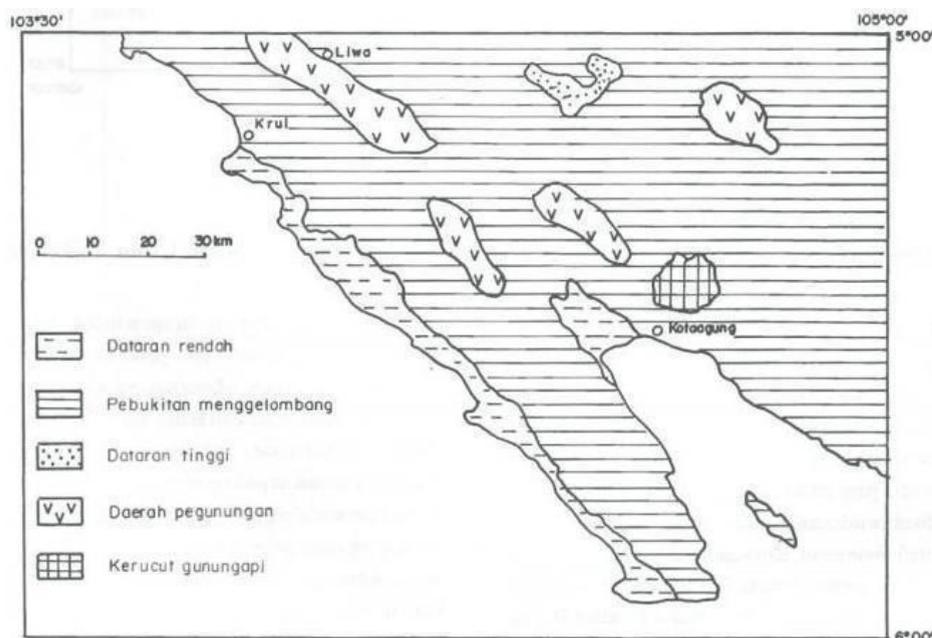
Fase ekstensional ini terjadi pada Kapur Akhir hingga Tersier Awal yang menghasilkan sesar mendatar yang berarah utara-selatan (N-S) dan barat barat laut timur tenggara (WNW-ESE).

## **3. Fase Kompresional**

Fase kompresional ini terjadi pada Miosen Tengah hingga Resen yang menghasilkan reaktivasi sesar mendatar yang berarah utara-selatan (N-S) utara timur laut-selatan barat daya (NNE-SSE)

### **2.3 Fisiografi Regional Daerah Penelitian**

Berdasarkan (Amin dkk., 1993) lembar peta geologi regional Kota Agung dibagi menjadi atas 5 Satuan morfologi yang mencerminkan berdasarkan kondisi geologinya. Dataran rendah sepanjang tepian bagian barat yakni pegunungan dan perbukitan di bagian barat dan bagian timur laut, perbukitan bergelombang menempati sebagian besar daerah ini, dataran tinggi dan kerucut gunungapi. Daerah perbukitan bergelombang menempati 70% lembar yang terdiri dari sedimen Tersier, gunungapi Kuarter, batuan terobosan dan sedikit batuan metamorf dengan ketinggian beberapa puluh sampai 750 mdpl. Pegunungan menempati 20% dari luas daerah dengan ketinggian 700-1500 mdpl tersusun oleh batuan beku, metamorf dan batuan gunungapi muda (**Gambar 4**). Dengan kondisi lereng pada umumnya curam dengan lembah sempit berbentuk V. Berdasarkan fisiografis daerah dataran pantai termasuk depresi Semangko, topografinya bervariasi dengan ketinggian sampai 40 mdpl dan tersusun oleh endapan aluvial. Dataran tinggi di sekitar Suoh dan Gedong Surian, tertutup terutama oleh endapan aluvial dan tuf. Kerucut gunungapi dari Gunung Tanggamus (2.102 m), Gunung Rindingan (1.608 m) dan Gunung Sekincau (1.718 m) dengan memiliki pola aliran sungai tipe radial yang hampir menempati sekitar 5% lembar peta.



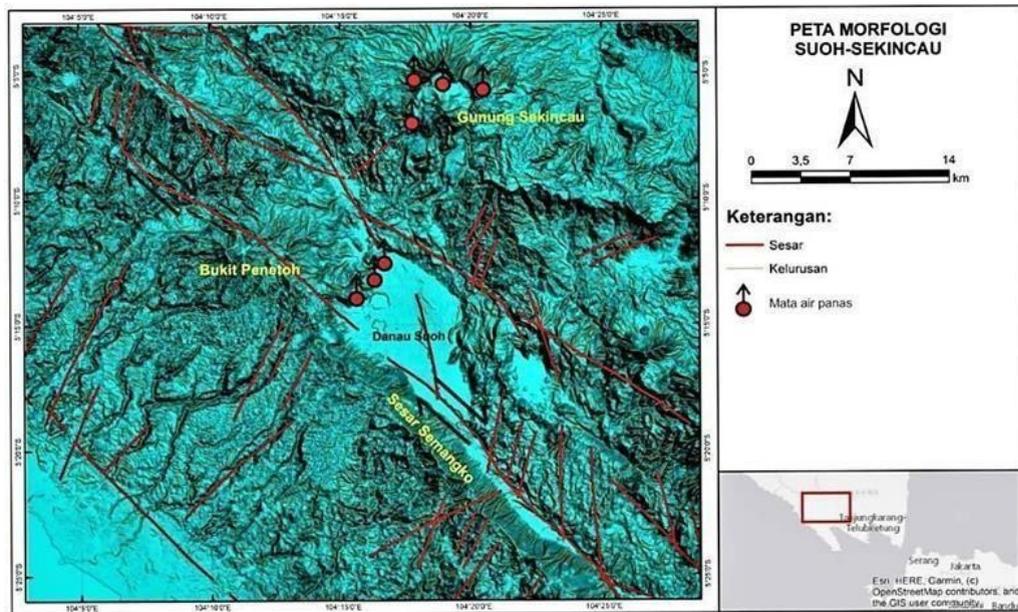
**Gambar 4.** Fisiografi regional daerah penelitian (Amin dkk., 1993).

#### 2.4 Geomorfologi Regional Area Penelitian

Secara morfologi, daerah penelitian Sekincau Lampung Barat termasuk ke wilayah Bukit Barisan Sumatera yaitu busur gunung api berumur Tersier – Kuartar (*volcanic arc*) yang terbentuk akibat subduksi Lempeng Indo-Australia di bawah Lempeng Eurasia yang dilewati oleh Sesar Besar Sumatera dengan arah barat laut-tenggara. Pada daerah penelitian ini juga didominasi oleh topografi yang terjal dengan adanya rendahan pada bagian tengah yang merupakan Danau Suoh (**Gambar 5**). Pada bagian barat daya daerah penelitian topografi menjadi semakin landai hingga ke pantai barat Sumatera (Barber dkk, 2005).

Pulau Sumatera sendiri merupakan salah satu pulau di Indonesia yang memiliki banyak titik potensi panas bumi yaitu 93 lokasi dengan total potensi sekitar 12 GW. Salah satu potensi panas bumi yaitu berada di Suoh-Sekincau yang terletak di Provinsi Lampung. Titik potensi ini merupakan gabungan dari potensi panas bumi yang ada di Danau Suoh dan Gunung Sekincau dengan potensi sekitar 400 Mwe. Pada tahun 2010, Wilayah kerja perusahaan (WKP) Suoh-Sekincau telah dilelang dan dimenangkan oleh PT. Chevron Geothermal, namun perusahaan tersebut mengembalikan WKP ke pemerintah sehingga pemerintah melakukan proses tender

ulang di tahun 2016. Berdasarkan hasil eksplorasi yang telah dilakukan oleh Pusat Sumberdaya, Mineral, Batubara, dan Panas bumi (PSDMBP), reservoir pada sistem Suoh-Sekincau tergolong ke dalam sistem dengan temperatur tinggi yaitu  $>250^{\circ}\text{C}$ .

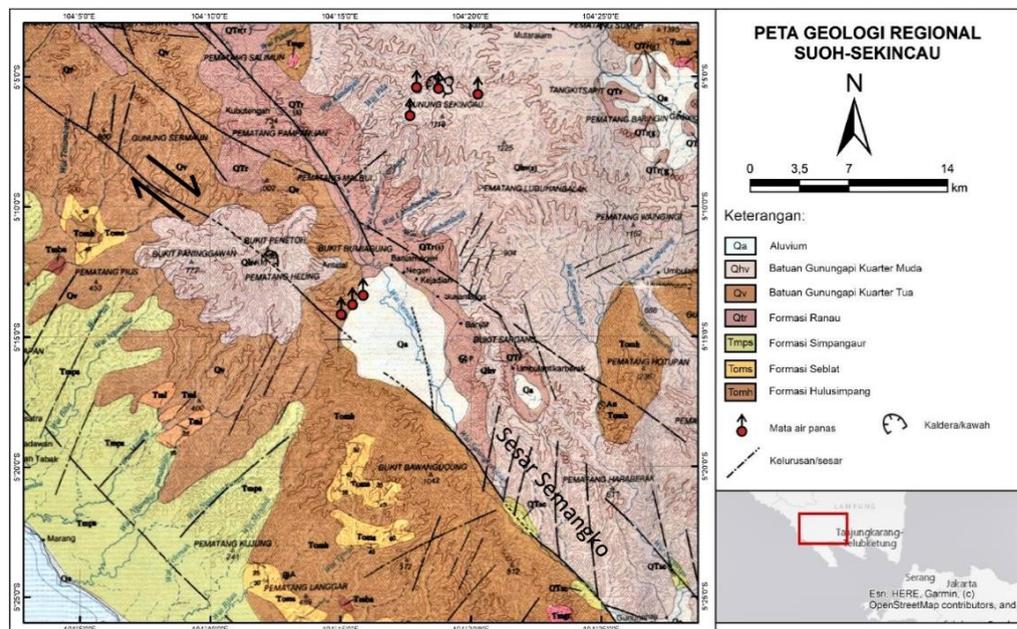


**Gambar 5.** Peta morfologi daerah Suoh-Sekincau (Barber dkk, 2005).

## 2.5 Geologi Daerah Penelitian

Daerah penelitian terletak pada potensi panas bumi Suoh Sekincau yang berada di Kabupaten Lampung Barat. Berdasarkan peta geologi regional lembar Kota Agung, kondisi morfologi Danau Suoh dan Gunung Sekincau termasuk wilayah Bukit Barisan Sumatera yaitu Busur Gunung Api berumur Tersier Kuartar (*volcanic arc*) yang terbentuk akibat adanya subduksi Lempeng Ind-Australia di bawah Lempeng Eurasia yang dilewati oleh sesar besar Sumatera (*great sumatera fault*) dari arah barat laut menuju tenggara. Struktur geologi pada daerah penelitian didominasi oleh kelurusan berarah Barat Laut-Tenggara dan merupakan segmen dari Sesar Besar Sumatera pada Segmen Semangko. Pada bagian tengah terdapat cekungan yaitu Danau Suoh yang merupakan danau yang terbentuk akibat sesar *strike-slip* dan membentuk *pull-apart basin*. Sesar atau patahan merupakan bidang lemah yang dapat bertindak sebagai jalur fluida mengalir (Barber dkk, 2005).

Daerah penelitian terletak pada potensi panas bumi Suoh-Sekincau yang berada di Kabupaten Lampung Barat, kurang lebih 150 km sebelah Barat Bandar Lampung. Secara morfologi, daerah penelitian (Danau Suoh dan Gunung Sekincau) termasuk ke wilayah Bukit Barisan Sumatera yaitu busur gunung api berumur Tersier-Kuarter (*volcanic arc*) yang terbentuk akibat subduksi Lempeng Indo-Australia di bawah Lempeng Eurasia yang dilewati oleh Sesar Besar Sumatera (*Great Sumatran Fault*) dengan arah barat laut-tenggara. Morfologi daerah penelitian didominasi oleh topografi yang terjal dengan adanya rendahan pada bagian tengah yang merupakan Danau Suoh. Pada bagian barat daya daerah penelitian topografi menjadi semakin landai hingga ke pantai barat Sumatera. Struktur geologi pada daerah penelitian didominasi oleh kelurusan berarah barat laut-tenggara dan merupakan segmen dari Sesar Besar Sumatera pada Segmen Semangko. Pada bagian tengah terdapat cekungan yaitu Danau Suoh yang terbentuk akibat sesar *strike-slip* dan membentuk *pull-apart* basin.



**Gambar 6.** Peta geologi regional daerah penelitian (Amin dkk, 1993).

Geologi daerah penelitian terdiri dari beberapa formasi batuan yang diendapkan dari tua ke muda, yaitu formasi Hulusimpang (Tomh) yang disusun oleh breksi gunungapi-lava-tuf, formasi Seblat (Toms) yang disusun oleh perselingan batupasir-batulempung-batulanau-batugamping, formasi Simpangaur (Tmps) yang disusun oleh batu pasir tufan-tuf, formasi Ranau (Qtr) yang disusun oleh breksi batuapung-tuf, Batuan Gunungapi Kuartar Tua (Qv) yang disusun oleh lava andesit-basalt-tuff-breksi gunung api dan Batuan Gunungapi Kuartar Muda (Qhv) yang disusun oleh breksi-lava-tuf. Beberapa manifestasi yang keluar di daerah penelitian banyak dijumpai di Danau Suoh yang merupakan kontak antara satuan Aluvium dengan produk Gunungapi Kuartar Tua, sedangkan pada daerah Gunung Sekincau, manifestasi banyak dijumpai di sekitar lereng gunung yang merupakan Satuan Batuan Gunungapi Muda Kuartar Sekincau (Amin dkk,1993).

## **2.6 Stratigrafi Daerah Penelitian**

Batuan metamorf Kompleks Gunung Kasih (Pzg) diinterpretasikan sebagai satuan geologi tertua di lembar Kota Agung, yang kemudian diendapkan sedimen Kapur dari formasi Menanga pada lajur barisan. Formasi Menanga merupakan hasil dari pengaktifan lanjutan sesar-sesar regional pada Kapur akhir dan Tersier, kemudian di ikuti oleh penunjaman ulang di sepanjang tepi lempeng benua. Penunjaman yang berkaitan dengan kegiatan tektonik ini kemungkinan besar berlanjut hingga Tersier awal dan berakhir pada Eosen awal sampai tengah yang ditandai dengan peristiwa tumbukkan antara lempeng India dan lempeng Eurasia. Namun menyusul penyesuaian gerak relatif antar lempeng, penunjaman terjadi lagi di sepanjang tepi Sundaland yang bersamaan dengan kegiatan vulkanik sejak akhir Oligosen sampai sekarang. Proses penyesaran regional sejak Eosen – Oligosen

Awal hingga membentuk suatu seri cekungan sedimen yang memanjang di seluruh lajur busur belakang dengan material yang bersifat sedimen laut. Kegiatan vulkanik kembali meningkat pada Miosen tengah yang berlanjut sampai Pliosen. Berdasarkan (De Coster, 1974) pada Plio - Pleistosen sepanjang Sistem sesar Sumatera terjadi sesar mendatar kanan berarah baratlaut - tenggara yang di ikuti oleh berkembangnya struktur lipatan sejajar pada cekungan busur belakang. Pada

beberapa bagian orogenesis ini menimbulkan regangan tarik sebagian yang kemungkinan berperan sebagai saluran gunungapi dan menjadi cekungan antar gunung setempat. Diseluruh lajur barisan pada zaman Kuartar terjadi kegiatan gunungapi yang berhubungan dengan proses penunjaman dan menghasilkan tuf, lava, dan breksi gunungapi bersusunan riolit - basalt. Sedangkan endapan Holosen diwakili oleh aluvial dan endapan rawa.

Berdasarkan peta geologi regional lembar Kota Agung, Sumatera (Amin dkk., 1993), secara regional daerah penelitian dapat terbagi menjadi tiga lajur pembentukan, yaitu Lajur Bengkulu, Lajur Barisan, dan Lajur Palembang. Untuk daerah penelitian termasuk pada Lajur Barisan yang disusun oleh beberapa jenis dan urutan formasi batuan dari yang tertua sampai termuda. Dari data hasil stratigrafi disebutkan bahwa Formasi yang paling tua ialah berada pada Lajur Barisan dengan Formasi Menanga (Km), yang memiliki jarak waktu terhadap pembentukan formasi setelahnya, yaitu formasi Kikim (Tpok).

Di atas formasi Kikim (Tpok) diendapkan secara tidak selaras dua formasi yang berbeda karakteristik, yaitu Formasi Gading (Tomg) dan formasi Hulusimpang (Tomh) dengan hubungan beda fasies. Kemudian kembali terjadi selang waktu pada pembentukan formasi berikutnya, yaitu formasi Bal (Tmba). Selanjutnya di atas formasi Bal (Tmba), terbentuk secara tidak selaras formasi Lakitan (Tmpl). Dan di atas formasi Lakitan (Tmpl) diendapkan tiga formasi dalam kurun waktu bersamaan dengan hubungan yang tidak selaras terhadap formasi Lakitan (Tmpl), yakni formasi Semung (QTse), formasi Lampung (QTI), dan formasi Ranau (QTr). Dan yang terakhir adalah batuan gunung api yang terbentuk pada saat Holosen (Qv dan Qhv)

Berdasarkan peta stratigrafi (**Gambar 7**) yang dibuat oleh Amin dkk (1993) diketahui bahwa area penelitian disusun oleh litologi sebagai berikut

AGE		AMIN dkk., 1993	
STRATIGRAPHIC UNITS		LAJUR BARISAN	
HOLOCENE		BATUAN GUNUNG API KUARTER TUA	BATUAN GUNUNG API KUARTER MUDA
PLEISTOCENE		SEMUNG	RANAU LAMPUNG
UPPER	PLIOCENE	LAKITAN	
MIDDLE			
LOWER			
UPPER	MIOCENE	BAL	
MIDDLE		HIATUS	
LOWER		HULU SIMPANG	GADING
UPPER	OLIGOCENE	KIKIM	
MIDDLE			
LOWER			
UPPER	EOCENE	HIATUS	
MIDDLE			
LOWER			
	PALEOCENE	MENANGA	
KAPUR			

**Gambar 7.** Statigrafi regional daerah penelitian (Amin dkk., 1993).

### **2.6.1. Formasi Menanga (Km)**

Pada formasi ini terdapat perselingan antara serpih gampingan, batulempung dan batupasir, dengan sisipan rijang dan lensa batugamping. formasi Menanga berumur Kapur awal yang didapat dari temuan fosil *Orbitulina* sp. Formasi ini memiliki ketebalan lebih dari 300 m, ditemui di dekat Gunung Kasih. Formasi ini diendapkan pada lingkungan laut dengan interpretasi memiliki hubungan dengan lingkungan busur vulkanik berterumbu.

### **2.6.2. Formasi Kikim (Tpok)**

Litologi yang ada pada formasi ini adalah breksi, tuf bersusunan andesit, sisipan tuffit, dan pada beberapa tempat telah menjadi welded tuff. formasi Kikim memiliki ketebalan yang cukup bervariasi sampai 300 m, ditemukan setempat sekitar G. Dempu. formasi Kikim berumur Paleosen - Oligosen dengan lingkungan pengendapan yang ditafsirkan dari daratan hingga fluviatil. Formasi ini diendapkan secara tidak selaras dengan formasi Kasai, begitu pula hubungan dengan formasi Granit Kapur.

### **2.6.3. Formasi Gading (Tomg)**

Formasi dengan ketebalan sekitar 300 - 500 m ini mempunyai beberapa litologi yakni batupasir, batulanau, dan batulempung dengan sisipan batugamping dan lignit. Formasi Gading tersingkap secara setempat dilokasi Way Gading yang merupakan abang dari Way Tebu, hal ini karena endapan pada formasi Gading merupakan hasil dari endapan intramontana basin atau cekungan antar gunung. formasi Gading berumur Oligosen akhir - Miosen awal dengan lingkungan pengendapan laut dangkal sampai transisi bersamaan dengan formasi Hulusimpang

### **2.6.4. Formasi Hulusimpang (Tomh)**

Formasi Hulusimpang memiliki umur geologi sama dengan formasi Gading yaitu Oligosen akhir - Miosen awal. Formasi ini memiliki ketebalan lebih dari 1000 m dan tersebar secara luas dari arah barat laut - tenggara dibagian daerah Bukit Barisan. Formasi ini memiliki litologi breksi gunungapi, lava, tuf bersusunan andesitik - basalt, terubah, berurat kuarsa, dan bermineral sulfida. Formasi

Hulusimpang diendapkan dilingkungan transisi dari daratan sampai laut dangkal, diperkirakan sebagai bagian dari busur vulkanik tepi benua dan berkorelasi dengan formasi Painan. Hubungan formasi Hulusimpang dan formasi Gading tidak tersingkap, namun apabila berdasarkan Selley (1978) bahwa dua jenis litologi yang diendapkan pada satu waktu dikatakan beda fasies apabila berbeda sifat fisik, kimia, dan biologinya. Dan begitu pula yang terjadi antara formasi Gading dan Hulusimpang.

#### **2.6.5. Formasi Bal (Tmba)**

Litologi yang menyusun formasi ini adalah breksi gunungapi bersisipan dasit, tuf dasitan, dan sisipan batupasir. Formasi ini diendapkan pada Miosen tengah dengan lingkungan darat - fluviatil dan terendapkan tidak selaras diatas formasi Hulusimpang. Formasi dengan ketebalan 100 - 200 m hanya ditemukan pada bagian barat dari Sesar Semangko.

#### **2.6.6. Formasi Lakitan (Tmpl)**

Formasi ini memiliki umur geologi Miosen akhir - Pliosen dengan ketebalan sekitar 150 m. Litologi penyusunnya adalah breksi gunungapi bersusunan andesit - basalt, sedikit dasitan, tuf dan batupasir tufaan. Formasi ini diendapkan dilingkungan darat, fluviatil dan terendapkan tidak selaras diatas formasi Bal serta dengan batuan vulkanik Tersier – Resen lainnya. Formasi ini dapat ditemukan di Way Godam dan Way Hanoman.

#### **2.6.7. Formasi Semung (QTse)**

Litologi penyusun dari formasi ini adalah batupasir konglomeratan, batupasir, dan batulempung. Formasi ini diendapkan dilingkungan darat - air payau, secara setempat dalam intramontana basin atau cekungan antar gunung pada saat Plio - Pleistosen, hal itu juga yang menyebabkan singkapan formasi ini sangat terbatas di Way Semung dan Way Semangko, dan beberapa di sepanjang sistem Sesar Semangko. Formasi dengan ketebalan 20 - 40 m ini memiliki hubungan yang tidak selaras dengan endapan Holosen.

#### **2.6.8. Formasi Lampung (QTl)**

Formasi ini memiliki umur geologi yang sama dengan formasi Semung dan formasi Ranau, yakni Plio - Plistosen, dengan litologi penyusunnya adalah tuf batuapung, batupasir tuf, di beberapa tempat terdapat sisipan tuffit. Formasi yang sebelumnya diberi nama tuf Lampung (Van Bemmelen, 1949) ini diendapkan padalingkungan darat sampai fluvial, air payau, memiliki ketebalan sekitar 200 m yang memiliki hubungan tak selaras dengan formasi yang ada di bawah dan di atasnya.

#### **2.6.9. Formasi Ranau (QTr)**

Formasi yang dahulu diberi nama tuf Ranau (van Bemmelen, 1949) ini memiliki ketebalan antara 100 - 500 m ini disusun oleh litologi berupa breksi batuapung, tuf mukaan, tuf batuapung, dan kayu terkesikkan. Memiliki umur geologi Plio - Pleistosen dan diendapkan pada lingkungan darat sampai fluvial secara setempat atau lokal, dan ditimpa secara tak selaras oleh batuan gunungapi muda berumur Holosen. Formasi ini tersebar terutama sepanjang zona Sesar Semangko dari Ranau, Suoh, dan Gedong Surian.

#### **2.6.10. Batuan Gunungapi Tua (Qv)**

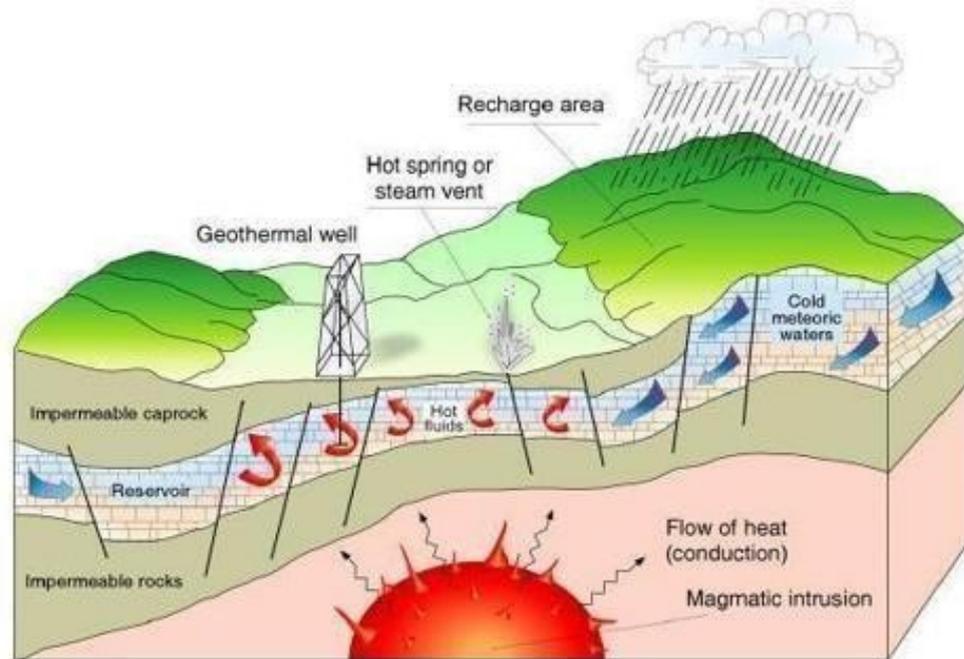
Formasi ini memiliki umur geologi Holosen - Pleistosen dengan disusun oleh litologi berupa lava andesit - basalt, tuf dan breksi gunungapi. Ketebalan formasi ini sekitar 300 m yang tersebar di sudut barat laut dari bagian zona Bukit Barisan. Lingkungan pengendapannya adalah daratan sampai laut dangkal.

#### **2.6.11. Batuan Gunungapi Kwartir Muda (Qhv)**

Formasi dengan ketebalan hingga mencapai 750 m ini disusun oleh litologi breksi, lava dan tuf bersusunan andesit - basalt, bersumber dari Gunung Tanggamus, Gunung Rindingan, Gunung Sekincau, Gunung Talang Tebak, Begelung, Pesawaran, Pematang Baru, dan Bukit Pemetoh. Formasi ini memiliki umur geologi Holosen dan tersebar terutama pada bagian tengah Bukit Barisan.

## 2.7. Sistem Panas Bumi

Sistem panas bumi secara umum dideskripsikan sebagai transfer panas dalam suatu volume terisolasi pada kerak bumi secara alami. Panas tersebut dipindahkan dari sebuah sumber panas (*heat source*) ke sebuah penampung panas (*reservoir*) (Hochstein dan Browne, 2000).



**Gambar 8.** Penampang ideal suatu sistem panas bumi (Dickson dan Fanelli, 2003).

Sistem panas bumi dijumpai pada daerah dengan gradien panas bumi relatif normal, terutama pada bagian tepi lempeng dimana gradien panas bumi biasanya mempunyai kisaran suhu yang lebih tinggi daripada suhu rata-rata (Dickson dan Fanelli, 2003).

Menurut Suharno (2010), sistem panas bumi dikontrol oleh adanya:

1. Sumber panas (*heat source*) berupa plutonik
2. Batuan berporos atau *reservoir* tempat uap panas terjebak di dalamnya
3. Lapisan penutup, berupa batu lempung
4. Keberadaan struktur geologi (patahan, *collapse*, rekahan dan ketidakselarasan)
5. Daerah resapan air atau aliran air bawah permukaan (*recharge area*).

Sistem panas bumi terdiri dari 3 elemen utama, yaitu batuan *reservoir* yang *permeable*, aliran fluida untuk menyalurkan panas dari *reservoir* ke permukaan bumi, dan sumber panas. Pada kenyataannya banyak tipe batuan yang dapat menjadi tempat bagi *reservoir* panas bumi, dan air tanah, yang biasanya terdiri dari presipitasi air purba ke modern atau air laut, sirkulasi ke kedalaman beberapa kilometer hampir terjadi di seluruh kerak bumi. Sistem panas bumi umumnya menghasilkan *hot springs* dan *fumaroles* yang muncul sebagai indikasi dari panas yang ada di dalam reservoir. Area *hot spring* dan fumarol banyak mengandung sulfur dan mineral lain yang terbentuk darisejak jaman terdahulu (Goff dan Janik, 2000).

Keberadaan suatu sistem panas bumi biasanya ditandai oleh adanya manifestasi di permukaan. Sebuah manifestasi yang muncul di permukaan menunjukkan adanya sumber panas bumi di kedalaman yang dikenal dengan *reservoir*. Fluida panas bumi tidak sampai ke permukaan tanpa ada media salurannya. Fluida panas bumi mengalir melalui patahan atau rekahan yang terbentuk oleh proses geologi. Kemunculan manifestasi tidak persis di atas *reservoir*, untuk mendapatkan letak *reservoir* yang tepat, maka jenis patahan dan arah aliran fluidanya harus diketahui dengan tepat. Ada patahan yang dapat menyalurkan (*leaking*) dan ada patahan (*sealing*). Hanya patahan *leaking* yang dapat menjadi saluran fluida panas bumi (Haerudin dkk., 2020).

## **2.8 Kombinasi Metode Gaya berat, Metode Magnetotelurik, dan Metode Magnetik**

Metode gaya berat, metode magnetotelurik, dan metode magnetik adalah 3 teknik atau metode geofisika yang sering digunakan dalam eksplorasi panas bumi, meskipun ketiganya memiliki prinsip yang berbeda.

### **2.8.1 Metode Gaya Berat**

- Prinsip: Metode gaya berat mengukur medan gravitasi bumi untuk mengidentifikasi perbedaan densitas di bawah permukaan. Perbedaan densitas ini bisa menunjukkan adanya struktur geologi atau reservoir panas bumi.

- Kelebihan:  
Memetakan perbedaan densitas batuan yang terkait dengan potensi panas bumi. Bermanfaat dalam pemetaan struktur bawah tanah yang mungkin menjadi reservoir.
- Keterbatasan:  
Tidak selalu memberikan informasi yang spesifik tentang keberadaan panas bumi. Memerlukan interpretasi lebih lanjut untuk mengonfirmasi keberadaan sumber panas.

### **2.8.2 Metode Magnetotelurik**

- Prinsip: Metode magnetotelurik mengukur perbedaan medan listrik dan magnetik bumi untuk mendapatkan gambaran tentang sifat konduktivitas listrik dari batuan di bawah permukaan. Variasi konduktivitas ini dapat mengindikasikan adanya air atau fluida panas yang dapat terkait dengan panas bumi.
- Kelebihan:  
Mendeteksi sifat konduktivitas yang berpotensi terkait dengan keberadaan fluida panas atau reservoir panas bumi. Bisa memberikan informasi tentang kemungkinan lokasi sumber panas.
- Keterbatasan:  
Dapat terpengaruh oleh faktor-faktor lain seperti kelembaban tanah atau kondisi lingkungan tertentu. Memerlukan interpretasi dan analisis yang cermat untuk mengonfirmasi hubungan dengan panas bumi.

### **2.8.3 Metode Magnetik**

- Prinsip:  
Metode magnetik mengukur medan magnetik bumi untuk mengidentifikasi perubahan dalam sifat magnetik batuan di bawah permukaan. Beberapa jenis batuan memiliki sifat magnetik yang berbeda, dan perubahan ini dapat mengindikasikan adanya struktur geologi atau reservoir panas.

- Kelebihan:  
Mengidentifikasi perubahan sifat magnetik yang terkait dengan struktur geologi yang mungkin menyimpan panas bumi. Bisa membantu dalam menentukan lokasi potensial untuk panas bumi.
- Keterbatasan:  
Tidak selalu secara langsung terkait dengan panas bumi; perubahan sifat magnetik bisa disebabkan oleh berbagai faktor geologi lainnya. Memerlukan interpretasi yang hati-hati dan analisis lebih lanjut untuk mengonfirmasi keberadaan panas bumi.

Meskipun memiliki kelebihan-kelebihan tersebut, metode gaya berat juga memiliki batasan. Misalnya, tidak selalu memberikan detail yang sangat spesifik tentang sumber panas yang tepat, dan memerlukan interpretasi yang cermat dari data yang diperoleh untuk mengidentifikasi potensi panas bumi. Pada dasarnya, penggunaan metode gaya berat dalam eksplorasi panas bumi dapat menjadi salah satu langkah awal yang penting untuk mengevaluasi potensi sumber panas di suatu wilayah sebelum melakukan survei lebih lanjut dengan teknik eksplorasi lainnya.

Perbandingan antara ketiga metode ini menunjukkan bahwa ketiganya memiliki kelebihan dan keterbatasan masing-masing dalam mendeteksi potensi panas bumi. Seringkali, dalam eksplorasi panas bumi, penggunaan beberapa teknik geofisika bersama-sama diperlukan untuk mendapatkan gambaran yang lebih lengkap dan akurat tentang kemungkinan keberadaan sumber panas di suatu wilayah. Keduanya memiliki pendekatan yang berbeda dalam mencari potensi panas bumi. Metode gaya berat fokus pada perbedaan densitas yang terkait dengan struktur geologi potensial, sedangkan magnetotelurik fokus pada konduktivitas listrik yang terkait dengan fluida panas di bawah tanah.

### **III. TEORI DASAR**

#### **3.1 Metode Gaya berat**

Metode Gaya berat adalah metode yang mengukur nilai variasi percepatan gravitasi di bumi dan parameter fisis batuan yang utama didapat dari metode ini adalah densitas, metode ini mengukur perubahan anomali percepatan gravitasi akibat perbedaan densitas (Telford, 1990). Metode gaya berat merupakan salah satu hal penting dalam banyak masalah yang melibatkan pemetaan bawah permukaan bumi dan studi geologi. Metode gaya berat didasarkan pada sifat massa, dimana besarnya massa tersebut akan menentukan besarnya gaya tarik-menarik diantara benda tersebut (Djudjun, 2005).

#### **3.2 Konsep Dasar Metode Gaya berat**

Dalam metode gaya berat, pengukuran dilakukan terhadap nilai komponen vertikal dari percepatan gravitasi di suatu tempat. Namun pada kenyataannya, bentuk bumi tidak bulat sehingga terdapat variasi nilai percepatan gravitasi untuk masing-masing tempat. Hal-hal yang dapat mempengaruhi nilai percepatan gravitasi adalah perbedaan derajat garis lintang, perbedaan ketinggian (topografi), kedudukan bumi dalam tata surya, variasi rapat massa batuan di bawah permukaan bumi, perbedaan elevasi tempat pengukuran dan hal lain yang dapat memberikan kontribusi nilai gravitasi, misalnya bangunan dan lain-lain (Untung, 2001). Teori yang mendasari Metode Gaya berat adalah hukum gravitasi yang dikemukakan oleh Sir Isaac Newton (1642-1727), yang menyatakan bahwa gaya tarik-menarik antara dua partikel sebanding dengan perkalian kedua massanya dan sebanding terbalik dengan kuadrat jarak antara pusat keduanya .

sederhananya semakin jauh jarak kedua benda tersebut maka gaya gravitasi semakin kecil dan sebaliknya, seperti persamaan berikut (Serway dkk, 2009):

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

Dimana:

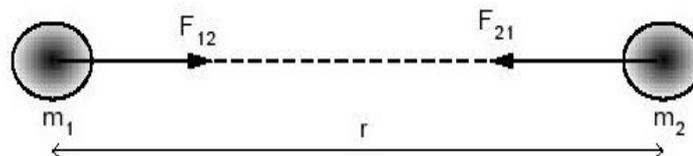
$\vec{F}$  : Gaya tarik menarik (N)

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

$r$  : Jarak antara dua buah benda (m)

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

$\hat{r}$  : Vektor satuan arah



**Gambar 9.** Gaya tarik menarik antara dua buah benda (Grandis, 2009)

Pengukuran gaya berat yang diukur adalah percepatan gravitasi bukan gaya gravitasi. Hubungan antara gaya dengan percepatan didefinisikan Newton pada persamaan Hukum II Newton yang menyatakan gaya sebanding dengan perkalian massa benda dengan percepatan ( $a$ ) benda tersebut. Jika percepatan berarah vertikal, maka percepatan yang berlaku adalah percepatan gravitasi ( $g$ ).

$$\vec{F} = m \vec{g} \quad (2)$$

Jika persamaan (1) disubstitusikan ke (2) maka akan didapatkan persamaan :

$$\vec{F} = G \frac{m_1 m_2}{r^2} \hat{r} = m \vec{g} \quad (3)$$

Jika gaya tarik-menarik yang timbul akibat interaksi antara sebuah titik massa di atas permukaan bumi ( $m=m_1$ ) dengan massa bumi ( $m_2=M$ ), maka hubungan

persamaan 3 di atas menjadi:

$$m g^{\rightarrow} = G \frac{m_1 m_2}{r^2} \quad (4)$$

atau

$$g^{\rightarrow} = G \frac{M}{r^2} \quad (5)$$

Dimana :

$g^{\rightarrow}$  : Percepatan gaya tarik bumi ( $m/s^2$ )

$M$  : Massa bumi (kg)

$m$  : Massa benda (kg)

$r$  : Jari-Jari bumi (km)

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

$$1 \text{ Gal} = 1 \text{ cm/s}^2 = 10^{-2} \text{ m/s}^2 \text{ (dalam c.g.s)} \quad (6)$$

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

$$1 \text{ mGal} = 10^{-3} \text{ Gal} \quad (7)$$

$$1 \mu\text{Gal} = 10^{-3} \text{ mGal} = 10^{-6} \text{ Gal} = 10^{-8} \text{ m/s}^2 \quad (8)$$

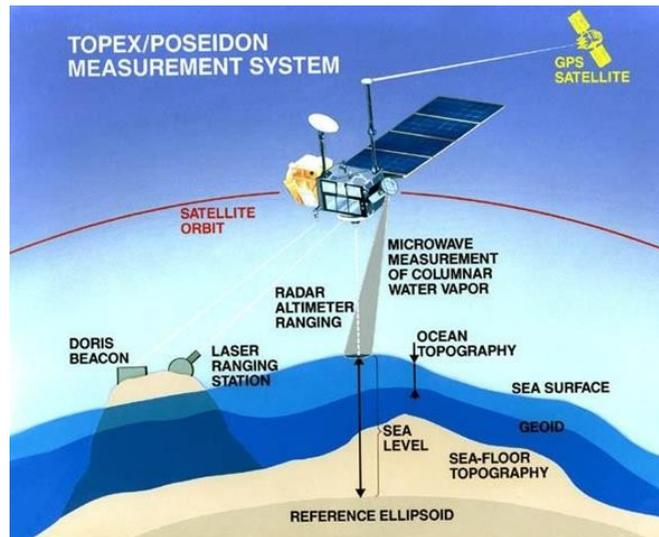
$$1 \text{ mGal} = 10 \text{ g.u.} = 10^{-5} \text{ m/s}^2 \quad (9)$$

Dalam satuan m.k.s, gaya berat diukur dalam g.u. (*gravity unit*) atau  $\mu\text{m/s}^2$  (Octonovrilna, dkk 2009).

Percepatan gravitasi bumi secara teori akan konstan, karena perbedaan variasi gaya berat bumi sebenarnya yang diakibatkan oleh bentuk bumi yang tidak bulat atau ellipsoid, rotasi bumi dan relief permukaan bumi yang tidak biasa serta distribusi massa internal yang berbeda-beda

### 3.3 Data Citra Satelit

Seiring dengan perkembangan teknologi besarnya nilai gravitasi yang ada di permukaan bumi dapat diukur menggunakan satelit. Anomali gravitasi satelit merupakan hasil pengembangan dari metode gravitasi relatif (Nugraha dkk, 2016).



**Gambar 10.** Pengukuran data oleh Topex (Hendrick, dkk, 1996).

Pada penelitian ini penulis menggunakan data dari satelit Topex yang mana dalam pengukurannya tidak perlu melakukan pengukuran data gaya berat di lapangan, yang perlu dilakukan hanya mengakses halaman website yang telah disediakan oleh pihak terkait. Data yang disajikan berupa FAA (*Free Air Anomaly*) yang mana data tersebut tidak membutuhkan FAC (*Free Air Correction*) karena pengukurna berada pada datum yang sama. Koreksi lintang juga tidak dibutuhkan dalam pengolahan karena alat telah mengkalkulasi pengaruh nilai gravitasi terhadap perbedaan lintang.

Selain itu, dengan jarak dari pusat bumi terhadap lintasan orbit satelit perbedaan percepatan gravitasi yang ditimbulkan oleh perbedaan sudut lintang tidak terlalu berpengaruh. Koreksi-koreksi konvensional pada *gravity meter Lacoste Romberg* pada pengukuran *ground gravity* seperti tinggi alat, koreksi drift atau kemuluran pegas juga tidak diperlukan. Koreksi yang diperlukan pada data Topex hanya koreksi Bouguer dan medan untuk mengkompensasi kelebihan atau kekurangan massa terhadap nilai pembacaan pada satelit Topex.

### **3.4 Rapat Massa Batuan**

Rapat massa batuan atau densitas adalah besaran utama yang digunakan untuk menentukan nilai dari percepatan gravitasi yang dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti unsur penyusun batuan (Kirbani, 2001). Adapun nilai rapat massa batuan atau densitas yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada **Tabel 1**.

### **3.5 Koreksi Metode Gaya berat**

Dalam memproses data metode gaya berat pada penelitian ini, terdapat beberapa koreksi-koreksi yang harus dilakukan untuk mereduksi noise-noise yang ditimbulkan. Adapun koreksi-koreksi tersebut antara lain:

#### **3.5.1 Koreksi Pasang Surut (*Tide Correction*)**

Koreksi ini muncul karena adanya efek tarikan gaya berat oleh benda – benda langit seperti matahari dan bulan. Efek tersebut dapat dihilangkan dengan melakukan koreksi pasang surut. Logman (1959) menyatakan bahwa nilai pasang surut yang mempengaruhi nilai gaya berat yang telah dihitung dengan menggunakan komputasi adalah orde mikro Gal. Nilai positif dan negatif terdapat pada grafik pasang surut yang menandakan jika bernilai positif maka bumi mengalami tarikan dari posisi normalnya dan apabila negatif maka bumi mengalami dorongan dari posisi normalnya (Mulyana, 2005).

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

Dalam pengukuran metode gaya berat menggunakan alat, efek dari kesalahan pembacaan oleh alat dapat dikoreksi dengan koreksi apungan (*drift correction*). Alat yang digunakan dalam pengukuran lapangan misalnya gravitimeter, dimana alat ini memiliki sensor pegas yang unik. Nilai konstanta pegas akan berubah dari waktu ke waktu sesuai pengukuran (Telford dkk, 1990).

**Tabel 1.** Nilai densitas batuan (Telford dkk, 1990)

<b>Jenis Batuan</b>	<b>Nama Batuan</b>	<b>Batas (gr/cc)</b>	<b>Rata-rata (gr/cc)</b>
<b>Batuan Sedimen</b>	<i>Aluvium</i>	1,96-2,00	1,98
	<i>Clay</i>	1,63-2,60	2,21
	<i>Gravel</i>	1,70-2,40	2,00
	<i>Loess</i>	1,40-1,93	1,64
	<i>Silt</i>	1,80-2,20	1,93
	<i>Soil</i>	1,20-2,40	1,92
	<i>Sand</i>	1,70-2,30	2,00
	<i>Sandstone</i>	1,61-2,76	2,35
	<i>Shale</i>	1,77-3,20	2,40
	<i>Limestone</i>	1,93-2,90	2,55
	<i>Dolomit</i>	2,28-2,90	2,70
	<i>Chalk</i>	1,53-2,60	2,01
	<i>Halite</i>	2,10-2,60	2,22
<i>Glacier Ice</i>	0,88-0,92	0,90	
<b>Batuan Beku</b>	<i>Riolit</i>	2,35-2,70	2,52
	<i>Granit</i>	2,50-2,81	2,64
	<i>Andesit</i>	2,40-2,80	2,61
	<i>Syenite</i>	2,60-2,95	2,77
	<i>Basalt</i>	2,70-3,30	2,99
	<i>Gabro</i>	2,70-3,50	3,03
<b>Batuan Metamorf</b>	<i>Schist</i>	2,39-2,90	2,64
	<i>Gneiss</i>	2,59-3,00	2,80
	<i>Phylite</i>	2,68-2,80	2,74
	<i>Slate</i>	2,70-2,90	2,79
	<i>Granulite</i>	2,52-2,7	2,65
	<i>Amphibolite</i>	2,90-3,04	2,96
	<i>Eclogite</i>	3,20-3,54	3,37

### 3.5.3 Koreksi Udara Bebas (*Free Air Anomali*)

Pengukuran gaya berat yang dilakukan pada ketinggian  $h$  dari *mean sea level* akan mengakibatkan nilai  $g$  yang semakin kecil, sehingga harus dilakukan koreksi pada pembacaan alat. Koreksi udara bebas digunakan untuk memperoleh nilai pembacaan gravitasi absolut pada titik observasi (Syamsuriadi, 2013). Menurut Kirbani (2001) persamaan yang digunakan untuk koreksi udara bebas adalah:

$$FAC = 0,3086 \times h \quad (10)$$

Keterangan :

$FAC$  : *Free Air Correction*

$h$  : Ketinggian (m)

Untuk memperoleh nilai *Free Air Anomali* (FAA) atau anomali udara bebas, dapat menggunakan persamaan:

$$FAA = g_{obs} - g_{\phi} + 0,3086 h \quad (11)$$

$FAA$  : *Free Air Anomali*

$g_{obs}$  : Gravitasi Observasi

### 3.5.4 Koreksi Bouguer

Koreksi Bouguer adalah koreksi yang dilakukan dengan tujuan menghilangkan nilai ketinggian yang berbeda dengan massa di bawah permukaan bumi tidak diabaikan. Koreksi Bouguer dilakukan dengan cara memperhitungkan massa batuan yang terdapat di antara stasiun dengan bidang geoid. Koreksi Bouguer menghitung tarikan massa antar titik amat dengan titik datum yang diabaikan ketika melakukan koreksi udara bebas (Telford et al., 1990).

$$BC = 2\pi G \rho h \quad (12)$$

Karena  $2\pi G = 0.04191$  maka (Kirbani, 2001)

$$BC = 0.04191\rho h \quad (13)$$

dimana,

$BC$	: Bouguer Correction (mGal/m)
$G$	: Konstanta Gravitasi ( $6,67 \times 10^{-11} \text{m}^3 / \text{kg.s}^2$ )
$\rho$	: Rapat massa batuan rata-rata ( $2,67 \text{ gr/cm}^3$ )
$h$	: Ketinggian (m)

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

Koreksi medan digunakan untuk meninjau kembali adanya penyebaran massa yang tidak teratur pada sekitar titik pengukuran. Pada koreksi Bouguer menggambarkan titik akuisisi pengukuran pada lapangan yang terletak pada suatu bidang datar yang sangat luas. Sedangkan kondisi di lapangan terdapat topografi atau ketinggian yang tidak datar akan tetapi ada kumpulan gunung atau perbukitan. Jika hanya menggunakan koreksi Bouguer saja akan menghasilkan data yang kurang baik. Dari kenyataan diatas, pengaruh material yang ada di sekitar baik material yang ada berada diatas maupun di bawah titik pengukuran turut memberi tambahan terhadap hasil pengukuran di titik pengukuran tersebut sehingga harus dilakukan koreksi topografi terlebih jika di medan pengukuran memiliki topografi yang tidak beraturan seperti rangkaian pegunungan ataupun bukit (Susilawati, 2005).

Menggunakan *Hammer Chart*, Koreksi medan dapat diperoleh dengan persamaan:

$$TC = \frac{0.04193}{n} \rho \left( \frac{r_2^2 - r_1^2}{2} + \sqrt{\frac{r_2^2 + L^2}{2}} - \sqrt{\frac{r_1^2 + L^2}{2}} \right) \quad (14)$$

Dimana,

$TC$  : Koreksi Medan

$n$  : Jumlah kompartemen tiap zona

$\rho$  : Densitas (g/cc)

$r_1$  : jari-jari radius dalam (m)

$r_2$  : jari-jari radius luar (m)

$L$  : Selisih ketinggian dari titik pengukuran (m)

### 3.5.6 Anomali Bouguer

Anomali Bouguer merupakan perbedaan antara nilai gaya berat observasi ( $g_{obs}$ ) dengan jumlah secara aljabar dari koreksi *drift*, koreksi pasang surut, koreksi lintang, koreksi udara bebas, koreksi Bouguer, dan koreksi Terrain. Variasi dari anomali Bouguer merefleksikan variasi densitas secara lateral misalnya benda dengan densitas tinggi berada di dalam medium yang memiliki densitas rendah akan menghasilkan nilai Bouguer anomali positif. Sebaliknya, benda dengan densitas rendah yang berada pada medium dengan densitas tinggi akan menghasilkan nilai anomali Bouguer negatif (Reynolds, 1997).

Anomali Bouguer menggambarkan persebaran dari gaya berat untuk menggambarkan kondisi bawah permukaan berdasarkan kontras rapat massa batuan. Dengan demikian nilai anomali Bouguer dapat dirumuskan sebagai berikut (Kirbani, 2001):

$$BA = g_{obs} - g_{\phi} + FAC + BC + TC \quad (15)$$

dimana,

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

$FAC$  : *Free Air Correction*/ koreksi udara bebas

$BC$  : *Bouguer Correction*/ koreksi Bouguer

$TC$  : *Terrain Correction*/ koreksi medan

### 3.6 Analisis Spektrum

Analisis spektrum memiliki tujuan untuk mendapatkan nilai kedalaman suatu benda anomali gaya berat dari bawah permukaan. Metode analisis spektrum memanfaatkan transformasi Fourier guna mengubah suatu fungsi waktu dan jarak menjadi suatu fungsi frekuensi atau bilangan gelombang. Spektrum diperoleh dari nilai potensial yang terdapat pada suatu bidang horizontal. Dengan persamaan transformasi Fourier adalah (Blakely, 1996) :

$$F U = \gamma \mu F(-) \quad \text{dan} \quad F(-) = 2\eta\mu \frac{e^{k(z_0-z_1)}}{r}, \quad z > z_0 \quad (16)$$

Dimana

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

U : potensial gaya berat

$\mu$  : anomali rapat massa

$\gamma$  : konstanta gaya berat

r : jarak

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

$$g_z = \gamma \mu \frac{\partial}{\partial z} \frac{1}{r} \quad (17)$$

$$F(g_z) = \gamma \mu F \frac{\partial}{\partial z} \frac{1}{r} \quad (18)$$

$$F(g_z) = \gamma \mu \frac{\partial}{\partial z} F \frac{1}{r} \quad (19)$$

Transformasi Fourier pada lintasan yang diinginkan adalah:

$$(g_z) = 2\pi G m e^{k(z_0-z_1)}, \quad z_1 > z_0 \quad (20)$$

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

$$A = C e^{k(z_0-z_1)} \quad (21)$$

Dimana:

A : amplitudo spektrum

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:

$$\ln A = \ln 2\pi G m e^{|k|(z_0 - z_1)} \quad (22)$$

$$\ln A = (z_0 - z_1)|k| + \ln C \quad (23)$$

Persamaan di atas dapat dianalogikan dalam persamaan garis lurus:

$$y = mx + c \quad (24)$$

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 dengan bilangan gelombang yang besarnya  $2\pi/\lambda$  dan satuannya *cycle/meter*.

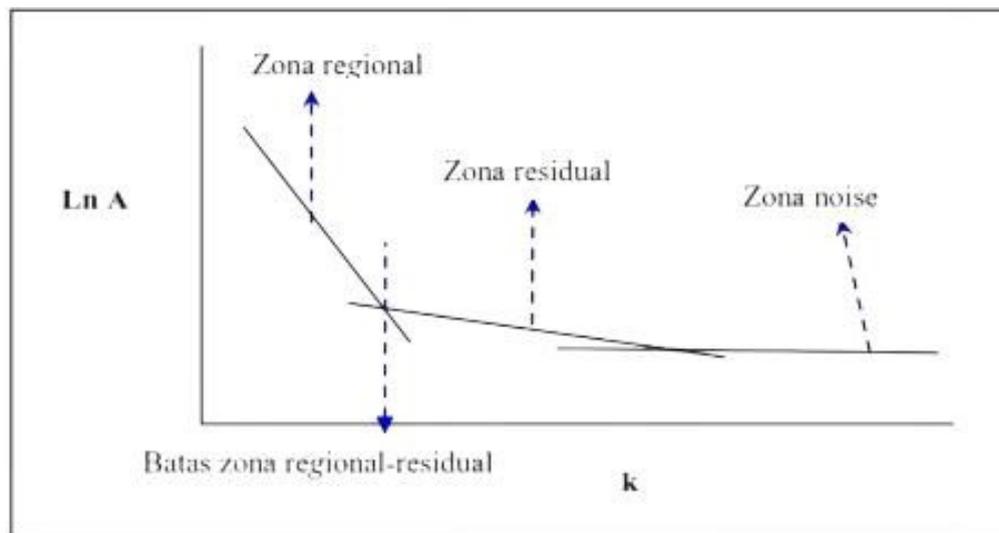
Hubungan dengan  $\Delta x$  diperoleh dari persamaan

$$k = 2\pi/\lambda = 2\pi/(k c \Delta x) \quad (25)$$

yang disebut konstanta pengali, sehingga  $\lambda = N \cdot \Delta x$ , konstanta N didefinisikan sebagai lebar jendela, jadi lebar jendela dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$N = 2\pi/(k c \Delta x) \quad (26)$$

Domain spasi yang akan digunakan dalam *Fast Fourier Transform* (FFT), dan  $kc$  adalah bilangan gelombang *cutoff*. 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. Estimasi nilai kedalaman tiap anomali didapatkan dengan melakukan regresi linear pada masing-masing zona. Kedalaman regional akan didapatkan dengan melakukan regresi linier pada zona regional, hal ini juga berlaku terhadap kedalaman residual dan *noise*.



**Gambar 11.** Kurva  $\ln A$  terhadap  $k$  (Blakely, 1996)

### 3.7 Filter Moving Average

*Filter Moving Average* merupakan salah satu metode penapisan *low pass filter*, dimana metode ini menghilangkan frekuensi tinggi dan meloloskan frekuensi rendah. Data Anomali Bouguer Lengkap ditapis menggunakan metode ini dengan lebar jendela merupakan rata-rata dari setiap lintasan yang telah melalui analisis spektrum. *Output* yang didapatkan disebut dengan anomali regional. Sedangkan anomali residual diperoleh dengan cara melakukan proses pengurangan pada anomali Bouguer lengkap dengan anomali regional. Pada prinsipnya nilai lebar jendela yang digunakan semakin besar maka nilai anomali residual yang diperoleh akan semakin mendekati nilai anomali Bouguer (Setiadi, dkk., 2010).

$$\Delta g_{reg}(i) = \frac{\Delta g(i-n) + \dots + \Delta g(i) + \dots + \Delta g(i+n)}{N} \quad (27)$$

Keterangan :

$i$  : nomor stasiun

$N$  : lebar jendela

$$N = \frac{N-1}{2} \quad (28)$$

### 3.8 Forward Modelling 2D

*Forward modelling* atau pemodelan ke depan merupakan metode interpretasi yang dapat digunakan untuk memprediksi atau memperkirakan nilai densitas bawah permukaan dengan membuat terlebih dahulu benda geologi yang terdapat di bawah permukaan. Proses yang dilakukan pada *forward modeling* yaitu dengan membuat dan menghitung model awal yang berdasarkan pada perkiraan geologi dan geofisika kemudian membandingkannya dengan anomali dari hasil pengukuran sehingga kedua anomali tersebut berkorelasi (Blakely, 1996).

Pemodelan ini merupakan suatu proses perhitungan data secara teoritis yang akan teramati di permukaan bumi jika diketahui harga parameter model bawah permukaan tertentu. Istilah *forward modeling* seringkali disebut *trial and error* atau proses coba-coba untuk memperoleh kesesuaian antara data teoritis dengan data lapangan. Proses *trial and error* ini diharapkan memperoleh model yang cocok responnya dengan data (Grandis, 2009).

Pada pemodelan gravitasi untuk pendekatan model 2-D, bentuk penampang benda anomali dalam arah sumbu x dan z sehingga dianggap tetap atau sama sepanjang arah struktur. Untuk menggambarkan distribusi rapat massa secara 2D maka medium di diskretisasi menjadi *grid* atau blok berukuran seragam (homogen) dengan rapat massa yang bervariasi. Geometri *grid* dianggap tetap dan diketahui sehingga parameter model adalah rapat massa setiap blok yang dapat diperkirakan melalui pemodelan inversi linier (Grandis, 2009).

Menurut Talwani, *forward modelling* untuk efek gravitasi benda bawah permukaan dengan penampang berbentuk sembarang dapat diwakili oleh suatu poligon berisi n yang dinyatakan sebagai integral garis sepanjang sisi-sisi poligon,

$$g_x = 2 G \rho \oint z d\theta \quad (29)$$

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

$$g_x = 2 G \rho \sum_{i=1}^n g_i \quad (30)$$

Model benda anomali sembarang oleh Talwani didekati dengan poligon-poligon dengan sistem koordinat kartesian untuk benda poligon sederhana dan dapat ditunjukkan dengan persamaan sebagai berikut:

$$g_1 = \int_b^a \frac{a_1 \tan \theta_1}{\tan \varphi_1 - \tan \theta} d\theta \quad (31)$$

sehingga diperoleh

$$g_1 = a_1 \sin \varphi_1 \cos \varphi_1 \{(\theta_1 - \theta_2) \ln \left( \frac{\cos \theta_1 (\tan \theta_1 - \tan \varphi_1)}{\cos \theta_2 (\tan \theta_2 - \tan \varphi_1)} \right)\} \quad (32)$$

dimana

$$a_1 = x_2 - z_2 \cot \varphi_1 = x_2 - z_2 \left( \frac{x_2 - z_1}{x_2 - z_1} \right) \quad (33)$$

dengan,

$$\theta_1 = \tan^{-1} \left( \frac{z_1}{x_1} \right) \quad (34)$$

$$\varphi_1 = \tan^{-1} \left( \frac{z_2 + z_1}{x_2 - x_1} \right) \quad (35)$$

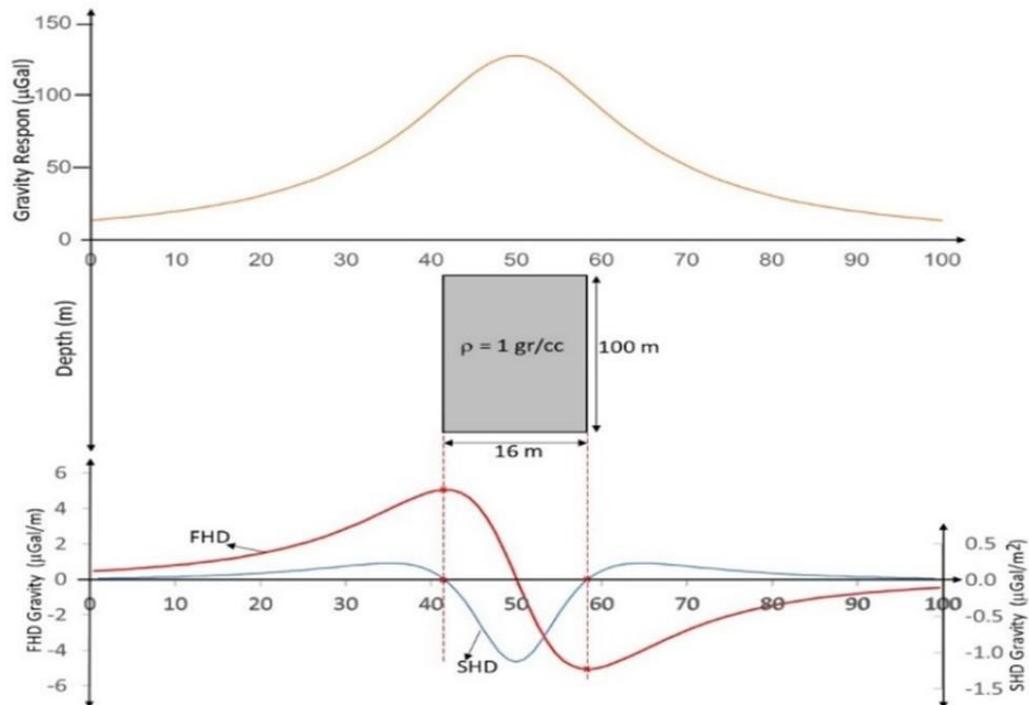
Persamaan dapat ditulis dalam bentuk yang lebih sederhana dengan mensubstitusikan harga-harga  $\sin f$ ,  $\cos f$ ,  $\tan f$  dengan koordinat titik sudut poligon pada sumbu x dan z sebagai berikut,

$$\Delta g = 2G\Delta\rho(g_{x12} + g_{x22} + \dots + g_{xn}) \quad (36)$$

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

### 3.9 First Horizontal Derivative

Pengertian *Horizontal Derivative* pada data anomali gaya berat adalah perubahan nilai anomali gaya berat dari satu titik ke titik lainnya dengan jarak tertentu. *Horizontal derivative* dari anomali gaya berat yang disebabkan oleh suatu *body* cenderung untuk menunjukkan tepian dari *body*-nya tersebut. Jadi metode *horizontal derivative* dapat digunakan untuk menentukan lokasi batas kontak densitas horizontal dari data gaya berat (Cordell dan Grauch, 1982).



**Gambar 12.** Hasil pemodelan analitik turunan gravitasi horizontal untuk model benda pelat tegak (Sarkowi, 2022).

Metode ini dapat digunakan untuk menggambarkan struktur bawah permukaan yang dangkal maupun dalam. Amplitudo dari *horizontal derivative* ditunjukkan sebagai berikut (Cordell dan Grauch, 1982):

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

Dimana  $\left(\frac{\partial g}{\partial x}\right)$  dan  $\left(\frac{\partial g}{\partial y}\right)$  adalah turunan horizontal gaya berat pada arah x dan y.

Satuan dari FHD adalah  $\text{mGal.m}^{-1}$ . Respon anomali dari *first horizontal derivative* ditunjukkan pada **Gambar 12**.

### 3.10. Second Vertical Derivative

*Second Vertical Derivative* (SVD) dilakukan untuk memunculkan efek dangkal dari pengaruh regionalnya yang digunakan untuk mendeteksi anomali yang disebabkan oleh struktur. *Second Vertical Derivative* (SVD) ini yaitu diturunkan dari persamaan Laplace. Adapun secara teoritis metode ini diturunkan dari persamaan

Laplace untuk anomali gaya berat di permukaan yang persamaannya yaitu sebagai berikut.

$$\nabla^2. \Delta g = 0 \quad (38)$$

atau :

$$\frac{\partial^2 \Delta g}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \Delta g}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \Delta g}{\partial z^2} = 0 \quad (39)$$

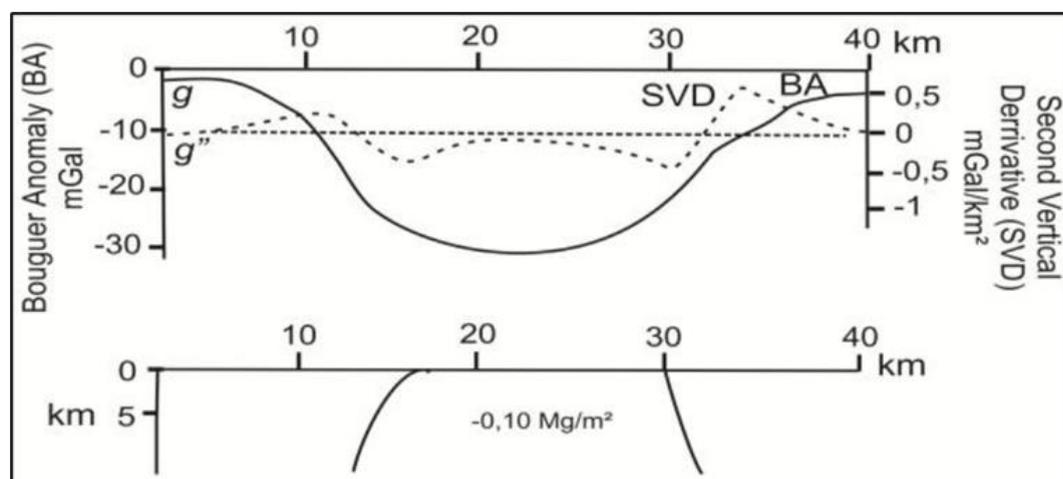
sehingga *second vertical derivative*-nya diberikan oleh :

$$\frac{\partial^2 \Delta g}{\partial z^2} = -\left(\frac{\partial^2 \Delta g}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \Delta g}{\partial y^2}\right) \quad (40)$$

Kemudian untuk data 1-D (data penampang) persamaannya yaitu sebagai berikut.

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

Persamaan SVD di atas menunjukkan bahwa *second vertical derivative* dari suatu anomali gaya berat permukaan adalah sama dengan negatif dari derivatif orde dua horizon. Hal ini memiliki arti bahwa anomali *second vertical derivative* dapat melalui derivatif horizontal yang secara praktis lebih mudah dikerjakan. Nilai nol turunan kedua dari Anomali *Bouguer* sama diinterpretasikan sebagai kontak dari kontras densitas antar dua lapisan batuan, dimana kontak tersebut dapat dikatakan sebagai struktur sesar ataupun intrusi (Sarkowi, 2010).



**Gambar 13.** Respon analisis SVD pada struktur geologi (Reynold, 1997).

Untuk penentuan arah (*dip*) sesar dapat dilihat dari kurva-kurva Anomali Gaya Berat, FHD, dan SHD. Arah (*dip*) sesar tersebut akan mengikuti dari kemiringan

arah kurva Anomali Gaya berat dan kurva SVD. Jika arah kurva Anomali Gaya berat dan kurva SVD menurun ke arah kiri, maka sesar pun arahnya akan menurun ke arah kiri bawah, begitu juga sebaliknya. Jika arah kurva Anomali Gaya berat dan kurva SVD menurun ke arah kanan, maka sesar pun arahnya akan menurun ke arah kanan bawah (Aufia, 2017). **Gambar 9** menunjukkan respon analisis SVD pada struktur geologi.

**Tabel 2.** Operator Henderson and Zietz (1949).

<b>Operator Filter SVD menurut Henderson and Zietz (1949)</b>				
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

**Tabel 3.** Operator Elkins (1951).

<b>Operator Filter SVD menurut Elkins (1951)</b>				
0,0000	-0,0833	0,0000	-0,0833	0,0000
-0,0833	-0,6667	-0,0334	-0,6667	-0,0833
0,0000	-0,0334	-1,0668	-0,0334	0,0000
-0,0833	-0,6667	-0,0334	-0,6667	-0,0833
0,0000	-0,0833	0,0000	-0,0833	0,0000

**Tabel 4.** Operator Rosenbach (1953).

<b>Operator Filter SVD menurut Rosenbach (1953)</b>				
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

## IV. METODE PENELITIAN

### 4.1. Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan selama 7 bulan yang dimulai pada bulan november 2022 sampai dengan Juni 2023, yang bertempat di Laboratorium PPDG Teknik Geofisika Universitas Lampung dengan alamat di Laboratorium Terpadu JTG Lt. 1 - Jl. Brojonegoro No. 1 Gedong Meneng, Rajabasa, Gedong Meneng, Kec. Rajabasa, Kota Bandar Lampung, Lampung 35142. Adapun progres dari pelaksanaan penelitian ini dapat dilihat pada **Tabel 5**.

### 4.2. Alat dan Bahan

Dalam penelitian memerlukan alat dan bahan guna mendukung penelitian ini seperti:

1. Laptop
2. Data Gaya berat dalam Anomali *Bouguer* Lengkap
3. Peta geologi lembar Tanjungkarang
4. *Software ArcGis V 10.8*
5. *Software Geosoft Oasis Montaj V 8.3.4*
6. *Microsoft Office*



### 4.3. Prosedur Penelitian

Adapun prosedur penelitian yang dilakukan pada Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut :

#### 4.3.1. Anomali Bouguer Lengkap

Data gaya berat pada pengolahan ini bukan merupakan data observasi pengukuran lapangan melainkan data citra satelit yang diperoleh dalam bentuk data FAA (*Free Air Anomali*) dan data topografi. Sehingga dalam pengolahannya perlu dilakukan koreksi untuk mendapatkan nilai Anomali Bouguer Lengkap (ABL) dimana dalam perhitungannya dilakukan dengan menggunakan *Software Geosoft Oasis Montaj* 8.3.4. Koreksi yang digunakan adalah koreksi Bouguer dan koreksi medan atau *terrain*.

#### 4.3.2. Analisis Spektrum

Dalam tahap analisis dilakukan analisis Transformasi *Fourier* menggunakan data *Complete Bouguer Anomali* untuk merubah domain data dari spasial jarak ke spasial frekuensi. *Software* yang digunakan adalah *software Oasis Montaj*. Hasil dari proses FFT adalah nilai *real* dan imajiner dari setiap lintasan yang selanjutnya akan diproses dengan menggunakan perangkat lunak *Ms.Excel* untuk mendapatkan nilai amplitudo ( $A$ ),  $\ln A$ , frekuensi dan nilai bilangan gelombang  $k$ . Nilai amplitudo ( $A$ ) dihasilkan dengan cara menghitung akar kuadrat dari nilai *real* dan imajiner. Nilai  $\ln A$  dihasilkan dengan cara melogaritmakan nilai amplitudo ( $A$ ). Perhitungan nilai frekuensi bergantung pada domain spasial yang telah ditentukan sebelumnya, dimana dengan mengetahui besarnya nilai  $k$ . Setelah nilai terhitung maka dilakukan *plotting* pada nilai  $k$  dan nilai  $\ln A$ . sehingga akan diperoleh nilai *cut off* pada daerah tersebut yang akan digunakan pada penentuan besarnya lebar jendela.

#### 4.3.3. Pemisahan Anomali Regional dan Residual

Anomali Bouguer pada metode gaya berat disebabkan oleh perbedaan densitas batuan, baik yang berada dekat dengan permukaan bumi maupun yang jauh dari permukaan bumi. Efek yang berasal dari batuan pada daerah dangkal disebut dengan anomali regional sedangkan efek yang berasal dari batuan yang dalam disebut dengan anomali residual. Dalam penelitian metode gaya berat ini

menggunakan anomali Bouguer lengkap yang dipisahkan dengan noisenya. Pemisahan menggunakan penapis *moving average* dengan nilai input anomali kedalaman residual. Perangkat lunak yang digunakan untuk proses ini adalah perangkat lunak *Oasis Montaj*, proses pemisahan anomali dimulai dengan menginputkan data anomali Bouguer ke dalam perangkat lunak *Oasis Montaj* lalu nilai lebar jendela anomali kedalaman residual yang didapatkan pada proses analisis spektral dimasukkan sebagai nilai *input* pemisahan.

#### **4.3.4. Analisis Derivative**

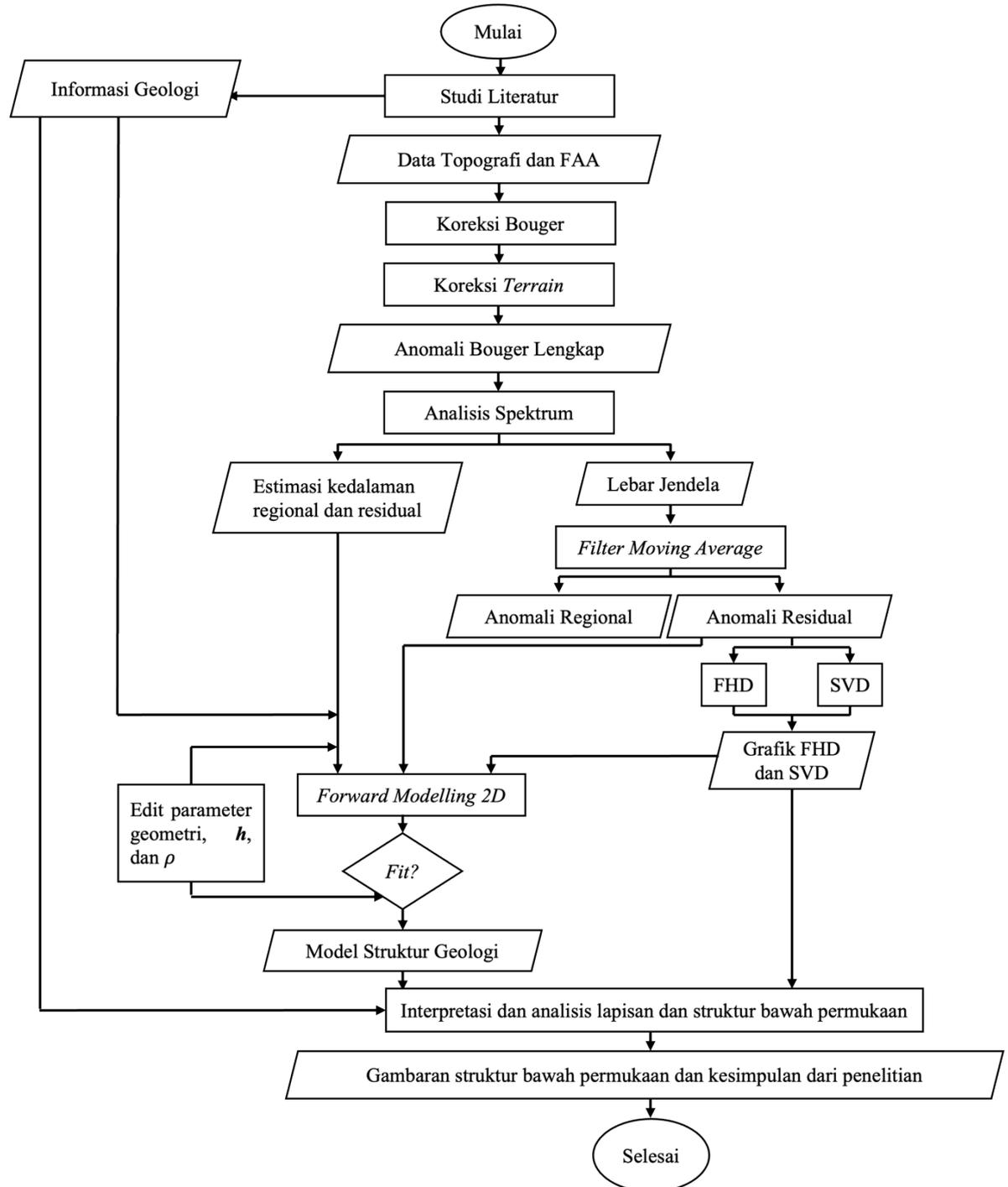
Analisis derivatif dilakukan untuk menentukan batas anomali dan membantu dalam interpretasi kualitatif penentuan lokasi dan jenis stuktur berupa sesar. Dalam penelitian ini analisis derivative yang digunakan adalah *Second Vertical Derivative* (SVD) dengan acuan berupa lintasan yang dibuat peta peta anomali residual dan selanjutnya dibuat penampangnya. *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 sesar turun, sesar naik atau sesar mendatar. Analisis *Second Vertical Derivative* (SVD) dilakukan menggunakan *software* Surfer dengan filter SVD operator Elkins tahun 1951.

#### **4.3.5. Pemodelan 2D**

Pemodelan yang dipakai pada kerja praktik ini merupakan pemodelan *forward modelling*. Istilah *forward modeling* seringkali disebut *trial and error* atau proses coba-coba untuk memperoleh kesesuaian antara data teoritis dengan data kondisi sebenarnya. Pemodelan bawah permukaan dapat dilakukan dengan menganalisis peta anomali Bouguer setelah dipisahkan dengan metode *moving average* menjadi anomali regional dan residual. Pemodelan dilakukan dengan tujuan untuk mengidentifikasi informasi bawah permukaan pada daerah penelitian. Pemodelan yang dibuat merupakan penampang 2D dari lintasan atau *slice* dari peta anomali residual, selanjutnya, data dicocokkan dengan meminimalisir *error* dan mencocokkan dengan data yang ada.

#### 4.4 Diagram Alir

Adapun diagram alir pada penelitian ini adalah sebagai berikut.



**Gambar 14.** Diagram alir penelitian.

## V. KESIMPULAN DAN SARAN

### 6.1. Kesimpulan

1. Berdasarkan analisis spektrum yang telah dilakukan dengan menggunakan data anomali bouger lengkap sebagai acuan dan memanfaatkan 4 *slice* diketahui bahwa secara rata – rata kedalaman anomali regional berada pada 4638 meter sedangkan anomali residual berada pada kedalaman 533 meter.
2. Berdasarkan data *first horizontal derivative* dan *second vertical derivative* diketahui bahwa terdapat sesar turun pada area penelitian yang ditunjukkan pada *Slice* 1 yang terdapat pada jarak 4000 m dan 8000 m dan pada *slice* 2 yang terdapat pada jarak 4500 m dan 8000 m.
3. Berdasarkan pemodelan 2-Dimensi diketahui bahwa pada area penelitian pada lintasan 1 tersusun dari 5 jenis litologi yaitu Qa dengan densitas nilai rata-rata 2 gr/cc, Qv dengan densitas nilai rata-rata 2,36 gr/cc, QTz dengan densitas nilai rata-rata 2,47-2,57 gr/cc, Tmps dengan densitas nilai rata-rata 2,5 gr/cc dan Tomh dengan densitas nilai rata-rata 2,9 gr/cc. Pada lintasan 2 tersusun atas 5 jenis litologi, Qhv dengan densitas nilai rata-rata 2,6 gr/cc, Qv dengan densitas nilai rata-rata 2,36 gr/cc, QTr dengan densitas nilai rata-rata 2,47-2,57 gr/cc, Tomh dengan densitas nilai rata-rata 2,9 gr/cc, dan Tmgr dengan densitas nilai rata-rata 3 gr/cc.
4. Model geologi lintasan 1 dan 2 terdapat batuan terobosan pada bagian tengah dengan nilai densitas kontras positif 2,47-2,57 gr/cc diperkirakan disebabkan oleh adanya cairan (*fluida*). Reservoir sebagai pengontrol keberadaan mata air panas Suoh-Sekincau berada pada kedalaman 6300 meter, *heat source* berada pada kedalaman > 6300 meter, *cap rock* terbentuk dari batuan lava andesit pada formasi Qv.

## **6.2. Saran**

Diperlukannya metode geofisika lainnya untuk menggambarkan bawah permukaan yang lebih baik lagi dan juga pemantauan lebih lanjut terkait bawah permukaan di daerah Suoh, Lampung Barat dan sekitarnya agar tidak dapat menimbulkan masalah lebih lanjut.

## DAFTAR PUSTAKA

- Advokaat, E. L., Bongger, M. L. M., Rudyawan, A., BouDagher-Fadhel, M. K., Langereis, C. G., & van Hinsbergen, D. J. J. 2018. *Early Cretaceous origin of the Woyla Arc, Sumatra, Indonesia on the Australian plate. Earth and Planetary Science Letters*, 498, 348-361
- Amin, T.C., Sidarto, Santosa S., Gunawan, W. 1994. *Geology of the Kotaagung Quadrangle, Sumatera (1:250,000)*. Geological Research and Development Centre, Bandung
- [BIG] Badan Informasi Geospasial. 2018. *Portal pencarian dan integrasi informasi geospasial melalui Ina-SDI*. <https://tanahair.indonesia.go.id>. Diakses pada tanggal 8 November 2021.
- Barber, A. J., and Crow. 2005. *Structure and Structural History. Sumatera: Geology, Resources, and Tectonic Evolution: Geological Society Memoir No 31*, hal 300
- Blakely, R.J. 1996. *Potensial Theory in Gravity and Magnetic Applications*. Cambridge University Press. Cambridge.
- Brotopuspito, K.S. 2001. *Teori dan Aplikasi Metode Gravitasi* . Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.
- De Coaster, G.L. (1974): The Geology of the Central and South Sumatra Basins. *Proceedings Indonesian Petroleum Association (IPA), 3rd Annual Convention, Jakarta, 77 – 110*.
- Ditjen EBTKE. 2017. *Buku Potensi Panas bumi Jilid 1*. Direktorat Panas Bumi. Jakarta.
- Djudjun, A. 2005. Penyelidikan Gaya Berat Daerah Panas Bumi Sipoholon Tarutung Kabupaten Tapanuli Utara Provinsi Sumatera Utara. *Pemaparan Hasil Kegiatan Lapangan Subdit Panas Bumi*. Pusat Sumber Daya Geologi. Bandung.
- Elkins, T.A. 1951. The Second Derivative Method of Gravity Interpretation. *Geophysics*, v.23, h.97-127.

- Gafoer, S., Amin, T.C., dan Pardede, R. 1993. *Peta Geologi Lembar Baturaja*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Departemen Pertambangan dan Energi. Bandung.
- Grandis, H. 2009. *Pengantar Pemodelan Inversi Geofisika*. Himpunan Ahli Geofisika Indonesia. Jakarta.
- Haerudin, N. dan Karyanto, K. 2007. Aplikasi Metode Polinomial Least Square Berbasis Matlab Untuk Memisahkan Efek Residual Anomali Regional Pada Data Gravitasi. *Jurnal Sains MIPA Universitas Lampung*. 5(1).
- Haerudin, N., Karyanto, K. dan Kuntoro Y. 2016. Radon And Thoron Mapping To Delineate The Local-Fault in The Way Ratai Geothermal Field Lampung Indonesia. *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*, 11(7), 4804-4809.
- Henderson, R.G. and Zietz, I. 1949. The Computation of Second Vertical Derivative of Geomagnetic Fields. *Geophysics Journal*. v. 14.
- Hendricks, J. R., Leben, R. ., Born, G. ., & Koblinsky, C. J. (1996). Empirical orthogonal function analysis of global TOPEX/POSEIDON altimeter data and implications for detection of global sea level rise. *Journal of Geophysical Research*, 101, 14131–14145. <http://doi.org/10.1029/96JC00922> (Original work published 1996)
- Hinze, W.J. 2013. *Gravity and Magnetic Exploration Principles, Practices, and Applications, 1 Ed*. Cambridge University Press. Cambridge.
- Kadir, W.G.A. 2000. *Eksplorasi Gaya berat dan Magnetik*. Jurusan Teknik Geofisika Fakultas Ilmu Kebumihan dan Teknologi Mineral. ITB. Bandung.
- Metcalf, I., (2013). *Gondwana Dispersion and Asian Accretion : Tectonic and Paleogeographic Evolution Of Eastern Tethys*. Australian Journal Of Earth Sciences 66, hal 1-33
- Parnadi, W.W., Widodo, Savitri, R.W. dan Zarkasyi, A. 2014. Magnetotelluric Investigations in the Way Umpu Geothermal Prospect Area, Lampung Province, Indonesia. *International Journal of Technology*, 5(3). 227–241.
- Pulunggono. A. S. Haryo, A. Kosuma. C. G. 1992. Pre-Tertiary And Tertiary Fault Systems As A Framework Of The South Sumatera Basin; A Study Of SAR-MAPS. *Proceedings Indoensian Petroleum Association. Twenty First Annual Convention*.
- Reynolds, J.M. 1997. *An Introduction to Applied and Environmental Geophysics, Chichester*. John Wiley dan sons.
- Rosenbach, O. 1953. A Contribution to The Computation of The Second Derivative From Gravity Data. *Geophysics*, XVII, 894-911.

- Rosid, S. 2005. *Gravity Method in Exploration Geophysics*. Department of Physics, University of Indonesia.
- Saptadji, N.M. 2001. *Teknik Panas Bumi*. ITB. Bandung.
- Sarkowi, M. 2007. Gaya berat mikro antar waktu untuk analisa perubahan kedalaman muka air tanah (Studi Kasus Dataran Aluvial Semarang). Disertasi. ITB Bandung.
- Sarkowi, M. 2010. Identifikasi Struktur Daerah Panas bumi Ulubelu Berdasarkan Analisa Data SVD Anomali Bouguer. *Jurnal Sains MIPA*, Vol. 16, No.2, Hal.111-118.
- Sarkowi, M. 2014. *Eksplorasi Gaya Berat*. Graha Ilmu. Yogyakarta.
- Serway, R.A. dan Jewett, J.W. 2009. *Fisika untuk Sains dan Teknik*. Salemba Teknik. Jakarta.
- Setiadi, I., Setyanta, B. dan Widijono, B.S. 2010. Delineasi Cekungan Sedimen Sumatera Selatan Berdasarkan Analisis Data Gaya Berat. *Jurnal Sumber Daya Geologi*. 20(2): 93-106.
- Sihombing, R.B. dan Rustadi. 2020. Pemodelan Dan Analisa Struktur Bawah Permukaan Daerah Prospek Panas bumi Kepahiang Berdasarkan Metode Gaya berat. *Jurnal Geofisika Eksplorasi*, 4(2), 47–61.
- Telford, W.M., Geldart, L.P. dan Sheriff, R.E. 1990. *Applied Geophysics Second Edition*. Cambridge University Press. Cambridge.
- [PSDG] Pusat Sumber Daya Geologi. 2012. *Survei Terpadu Geologi, Geokimia dan Geofisika Daerah Panas Bumi Way Umpu, Kabupaten Way Kanan, Propinsi Lampung*. Laporan Survei Terpadu Way Umpu. Pusat Sumber Daya Geologi, Bandung.
- Van Bemmelen, R. W. 1949. *The Geology of Indonesia*. Government Printing Office, The Hague. Netherland.