

**IDENTIFIKASI STRUKTUR PATAHAN DAN PROSPEK RESERVOIR
PANASBUMI SEKINCAU LAMPUNG BARAT BERDASARKAN
ANALISA DAN INTERPRETASI DATA GRAVITY
(Skripsi)**

Oleh:
Hasnuraini Aulya
2015051022



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2024**

ABSTRAK

IDENTIFIKASI STRUKTUR PATAHAN DAN PROSPEK RESERVOIR PANASBUMI SEKINCAU LAMPUNG BARAT BERDASARKAN ANALISA DAN INTERPRETASI DATA GRAVITY

Oleh

HASNURAINI AULYA

Telah dilakukan penelitian dengan judul “Identifikasi Struktur Patahan Dan Prospek Reservoir Panasbumi Sekincau Lampung Barat Berdasarkan Analisa Dan Interpretasi Data Gravity”. Penelitian ini dilakukan di daerah Sekincau, Kabupaten Lampung Barat, provinsi Lampung. Data yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan GGMPlus 2013 sebanyak 1.945 data. Tujuan dari penelitian ini yaitu penentuan kedalaman anomali regional dan residual melalui analisis spektrum, penentuan nilai anomali Bouguer Lengkap, identifikasi struktur patahan menggunakan metode *second vertical derivative* (SVD), pembuatan model struktur geologi 3 dimensi, dan penentuan lokasi prospek reservoir panas bumi Sekincau melalui analisis distribusi densitas. Analisis spektrum dilakukan menggunakan 5 lintasan *slice* mendapatkan nilai rata-rata kedalaman regional sebesar 3842.92 m dan nilai rata-rata kedalaman residual sebesar 157.932 m. Anomali Bouguer Lengkap memiliki rentang nilai berkisar antara 36 mGal sampai 74 mGal. Pada kontur SVD memiliki rentang nilai sebesar -8 mGal sampai 20 mGal. Didapatkannya model 3D distribusi dengan kedalam 2000 m dibawah *sea mean level* dengan nilai sebaran densitas berkisar 2 gr/cc sampai 2,9 gr/cc dengan prospek reservoir ditandai dengan adanya *caprock* dengan densitas 2,3 gr/cc sampai 2,6 gr/cc pada daerah penelitian. Daerah yang diindikasikan sebagai prospek reservoir berada pada arah utara gunung Sekincau memiliki rentang nilai densitas 2gr/cc sampai 2,3 gr/cc berada pada kedalaman 2500 m dari permukaan.

Kata kunci: GGMplus, Gayaberat , panasbumi, sesar, SVD, reservoir, Sekincau

ABSTRACT

IDENTIFICATION OF FRACTURE STRUCTURES AND PROSPECTS FOR THE SEKINCAU WEST LAMPUNG HOT RESERVOIR BASED ON ANALYSIS AND INTERPRETATION OF GRAVITY DATA

By

HASNURAINI AULYA

A study entitled "Identification of Fault Structures and Geothermal Reservoir Prospects in Sekincau, West Lampung Based on Analysis and Interpretation of Gravity Data" has been conducted. This study was conducted in the Sekincau area, West Lampung Regency, Lampung Province. The data used in this study used GGMPlus 2013 as many as 1,945 data. The objectives of this study were to determine the depth of regional and residual anomalies through spectrum analysis, determine the value of Complete Bouguer anomalies, identify fault structures using the second vertical derivative (SVD) method, create a 3-dimensional geological structure model, and determine the location of Sekincau geothermal reservoir prospects through density distribution analysis. Spectrum analysis was performed using 5 slice trajectories obtaining an average regional depth value of 3842.92 m and an average residual depth value of 157.932 m. Complete Bouguer anomalies have a range of values ranging from 36 mGal to 74 mGal. The SVD contour has a range of values from -8 mGal to 20 mGal. The 3D distribution model was obtained with a depth of 2000 m below sea mean level with a density distribution value ranging from 2 gr/cc to 2.9 gr/cc with reservoir prospects marked by the presence of caprock with a density of 2.3 gr/cc to 2.6 gr/cc in the research area. The area indicated as a reservoir prospect is in the north direction of Mount Sekincau with a density value range of 2gr/cc to 2.3gr/cc at a depth of 2500 m from the surface.

Keywords: GGMplus, Gravity, geothermal, fault, SVD, reservoir, Sekincau

**IDENTIFIKASI STRUKTUR PATAHAN DAN PROSPEK RESERVOIR
PANASBUMI SEKINCAU LAMPUNG BARAT BERDASARKAN
ANALISA DAN INTERPRETASI DATA GRAVITY**

Oleh

Hasnuraini Aulya

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
Sarjana Teknik**

Pada

**Jurusan Teknik Geofisika
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2024**

Judul Skripsi

: IDENTIFIKASI STRUKTUR PATAHAN DAN
PROSPEK RESERVOIR PANASBUMI
SEKINCAU LAMPUNG BARAT
BERDASARKAN ANALISIS DAN
INTERPRETASI DATA GRAVITY

Nama Mahasiswa

: *Hasnuraini Aufya*

Nomor Pokok Mahasiswa

: 2015051022

Program Studi

: Teknik Geofisika

Fakultas

: Teknik

MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing

[Signature]
Prof. Dr. Ir. Muh. Sarkowi, S.Si., M.Si., IPU.
NIP. 197112101997021001

[Signature]
Rahmi Mulyasari, S.Pd., M.T.
NIP. 199102072018032001

2. Ketua Jurusan Teknik Geofisika

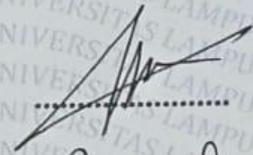
[Signature]
Dr. Karyanto, S.Si., M.T.
196912301998021001

MENGESAHKAN

1. **Tim Penguji**

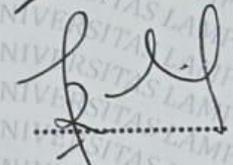
Ketua

: **Prof. Dr. Ir. Muh Sarkowi, S.Si., M.Si., IPU.**



Sekretaris

: **Rahmi Mulyasari, S.Pd., M.T.**

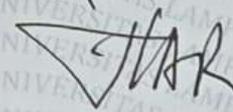


Penguji

Bukan

Pembimbing

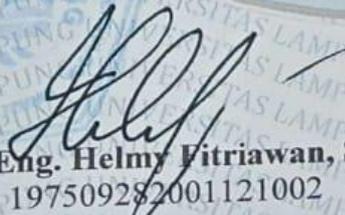
: **Prof. Ir. Suharno, Ph.D., IPU. ASEAN Eng.**



2. **Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung**

Dr. Eng. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc.

NIP. 197509282001121002



Tanggal Lulus Ujian Skripsi: 19 Agustus 2024

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi saya yang berjudul “**IDENTIFIKASI STRUKTUR PATAHAN DAN PROSPEK RESERVOIR PANASBUMI SEKINCAU LAMPUNG BARAT BERDASARKAN ANALISA DAN INTERPRETASI DATA GRAVITY**” merupakan karya sendiri bukan karya orang lain. Semua tulisan yang tertuang dalam skripsi ini sudah mengikuti kaidah penulisan karya tulis ilmiah Universitas Lampung. Apabila kemudian hari skripsi saya terbukti merupakan hasil jiplakan atau telah dibuat oleh orang lain sebelumnya, maka saya bersedia menerima sanksi pencabutan gelar sarjana yang sudah saya terima.

Bandar Lampung, 20 Agustus 2024



Hasnuraini Aulva
NPM. 2015051022

RIWAYAT HIDUP



Penulis memiliki nama lengkap Hasnurainu Aulya, lahir di Jakarta pada tanggal 08 Januari 2002. Penulis merupakan anak pertama dari dua bersaudara dari pasangan bapak Misral dan ibu Suwarti serta memiliki satu adik yang bernama Hana Dwi Amelia. Riwayat pendidikan penulis dimulai dari Taman Kanak – kanak (TK) RA Muslimat NU pada tahun 2007 sampai 2008, kemudian penulis melanjutkan pendidikan Sekolah Dasar di SDN 2 Babakan pada tahun 2008 sampai 2014, kemudian melanjutkan Sekolah Menengah Pertama (SMP) di MTs. Nurul Falah Gunung Tiga pada tahun 2014 sampai 2017, lalu melanjutkan Sekolah Menengah Atas (SMA) di SMAN 1 Pagelaran pada tahun 2017 sampai 2020. Pada tahun 2020 penulis melanjutkan ke perguruan tinggi dan di terima melalui jalur SNMPTN di Universitas Lampung tepatnya di Jurusan Teknik Geofisika, Fakultas Teknik, Universitas Lampung. Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif dalam kegiatan keorganisasian yaitu Hima TG Bhuwana sebagai anggota Biro Kesekretariatan dan Rumah Tangga pada periode 2022 dan menjadi sekretaris Biro Kesekretariatan dan Rumah Tangga pada periode 2023. Selain itu penulis juga aktif dalam kegiatan organisasi FOSSI FT sebagai sekretaris departemen Masjid dan Kesekretariatan pada periode 2022. Pada tahun 2023 penulis melaksanakan Kerja Praktik (KP) di Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) Cibinong, Bogor. Pada akhir masa studi penulis melakukan penelitian Tugas Akhir untuk memperoleh gelar Sarjana dengan Judul “Identifikasi Struktur Patahan Dan Prospek Reservoir Panasbumi Sekincau Lampung Barat Berdasarkan Analisa Dan Interpretasi Data Gravity”

MOTTO HIDUP

"Dan janganlah kamu merasa lemah dan janganlah pula bersedih hati, sebab kamulah yang paling tinggi derajatnya jika kamu orang-orang yang beriman."

(QS. Ali Imran: 139)

"Ketahuilah bahwa kemenangan bersama kesabaran, kelapangan bersama kesempatan, dan kesulitan bersama kemudahan."

(HR Tirmidzi)

"You're doing fine. Sometimes you're doing better. Sometimes you're doing worse, but at the end it's you. So i just want you to have no regrets i want you to feel yourself grow an just to love yourself"

(Mark Lee)

"Jangan pernah takut untuk gagal, takutlah jika tidak pernah mencobanya. Jika ingin menunggu sampai siap, maka itu akan menghabiskan sisa hidup ini hanya untuk menunggu"

(Hasnuraini Aulya)

HALAMAN PERSEMBAHAN

Puji dan syukur saya panjatkan kepada Allah SWT, atas banyaknya rahmat dan karnia-Nya yang diberikan kepada saya sehingga skripsi ini dapat di buat dan terselesaikan. Serta tak lupa juga shalawat serta salam berlimpah kepada Rasulullah Muhammad SAW. Yang memberikan petunjuk bagaimana kita harus berikhtiar, berdoa dan berusaha dalam segala hal kebaikan, termasuk penyusunan skripsi ini.

Kupersembahkan karya sederhana ini kepada orang-orang yang memberikan banyak cinta dan kasih sayang serta segala dukungan yang tak terhingga.

Bapak Misral dan Ibu Suwarti

Terimakasih telah memberikan kasih sayang dan cintanya yang sangat berlimpah serta segala dukungan dan segala doa doa baik yang selalu diucapkan dalam setiap sujudnya. Terimakasih sudah menjadi rumah ternyaman dan aman untuk pulang dan mencurahkan segala gundah dalam diri ini. Tetap sehat dan kuat untuk menemani setiap langkah anakmu hingga bisa menggampai impian dan membahagian kalian.

Adikku Hana Dwi Amelia

Terimakasih telah mendoakan, memberi semangat dan mendukung disetiap perjalanan hidup ini.

Teknik Geofisika 2020

Terimakasih sudah kebersamai dan memberikan pengalaman serta kenangan baik suka maupun duka. Tetap semangat dalam mendapatkan cita cita yang diharapkan.

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis ucapkan kepada Allah SWT karna berkat dan rahmatnya serta hidayah-nya penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan judul **“Identifikasi Struktur Patahan Dan Prospek Reservoir Panasbumi Sekincau Lampung Barat Berdasarkan Analisa Dan Interpretasi Data Gravity”**. Skripsi ini dibuat bertujuan sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan studi di Jurusan Teknik Geofisika, Fakultas Teknik, Universitas Lampung dan sebagai syarat untuk mendapatkan gelar Sarjana. Terima kasih penulis sampaikan kepada semua pihak yang telah terlibat secara langsung maupun tidak langsung dalam penyusunan skripsi ini. Namun penulis sangat menyadari masih banyak kesalahan dan kekurangan dalam penulisan skripsi ini. Oleh karna itu penulis meminta maaf dan menerima kritik serta saran yang dapat membangun. Akhir kata, penulis sangat berharap skripsi ini bisa bermanfaat dan berguna bagi kita semua.

Bandar Lampung, 20 Agustus 2024

Penulis

Hasnuraini Aulya

NPM. 2015051022

SANWACANA

Segala puji bagi Allah S.W.T yang telah melimpahkan rahmat, petunjuk, dan ilmu kepada penulis, sehingga akhirnya penulis dapat menyelesaikan Skripsi ini. Shalawat dan salam semoga selalu tercurahkan kepada nabi Muhammad S.A.W. Laporan yang berjudul **“Identifikasi Struktur Patahan Dan Prospek Reservoir Panasbumi Sekincau Lampung Barat Berdasarkan Analisa Dan Interpretasi Data Gravity”** merupakan hasil dari skripsi sebagai syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik.

Dalam penulisan skripsi ini banyak pihak yang terlibat, maka pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan rasa terimakasih kepada:

1. Allah SWT yang telah memberikan kemudahan serta kelancaran dalam penyusunan skripsi ini.
2. Kepada kedua orang tua penulis, Bapak Misral dan Ibu Suwarti yang senantiasa memberikan banyak dukungan, iringan doa, motivasi dan semangat yang tiada hentinya dalam setiap langkah penulis. Suatu kebanggaan memiliki orangtua yang mendukung anaknya dalam mengapai mimpinya.
3. Kepada adikku Hana Dwi Amelia yang selalu memberikan support apapun bentuknya kepada penulis.
4. Kepada keluarga besar yang selalu mendoakan dan memberi semangat untuk kelancaran kesuksesan sehingga skripsi ini berjalan lancar.
5. Bapak Karyanto, S.Si., M.T selaku Ketua Jurusan Teknik Geofisika Universitas Lampung juga Pembimbing Akademik yang telah membimbing terkait akademik maupun non akademik selama ini.

6. Bapak Prof. Dr. Ir. Muhammad Sarkowi, S.Si., M.Si., IPU. Selaku dosen Pembimbing 1 tugas akhir yang telah banyak meluangkan waktu untuk memberikan kritik dan saran serta masukan dan pengarahan sehingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik.
7. Ibu Rahmi Mulyasari, S.Pd., M.T. selaku dosen pembimbing 2 tugas akhir yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan kritik dan saran serta koreksi penulisan dalam penyelesaian skripsi ini.
8. Bapak Prof. Ir. Suharno, Ph.D., IPU. ASEAN Eng., selaku penguji tugas akhir yang banyak memberikan saran dan perbaikan dalam penyusunan skripsi ini.
9. Segenap dosen-dosen Jurusan teknik Geofisika Universitas Lampung yang telah mengajarkan banyak ilmu dan wawasan serta staf akademik Jurusan Teknik Geofisika.
10. Kepada Serly anggraiani, Retno Aulia, Dinar Pratiwi, dan Nadia Agustin sudah menjadi teman diskusi, tertawa, sedih, dan menjadi pengisi hari hari penulis selama masa perkuliahan ini. Terimakasih sudah memberikan semangat dan dorongannya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi.
11. Kepada Dea Desmiarni, Putri Niraini, dan Tuti Alawiyah terimakasih untuk semua semangat dan motivasi serta dukungannya dan memilih tetap tinggal sebagai tempat cerita baik suka maupun segala keluh kesah penulis.
12. Teman teman Teknik Geofisika 2020 yang selalu kebersamai dalam masa perkuliahan. Terimakasih atas kenangan yang tidak akan terlupakan. Semoga kita semua sukses selalu.
13. Kepada Lee Haechan, NCT, SEVENTEEN atas lagu lagu dan tayangan *youtube* yang menghibur penulis saat mulai merasa lelah.
14. Kepada semua pihak yang secara tidak langsung terlibat dalam penulisan skripsi ini memberikan kesempatan, bantuan dan pengalaman yang sangat luar biasa. Sekali lagi penulis ucapkan terimakasih banyak.
15. Dan yang terakhir penulis ucapkan kepada diri sendiri “Hasnuraini Aulya”, Apresiasi yang sebesar besarnya karena sudah menurunkan ego untuk memilih kembali melanjutkan bangkit dan menyelesaikan apa yang sudah dimulai. Terimakasih sudah mau bertahan sejauh ini dan tetap berusaha

walaupun sering kali merasa putus asa atas upaya yang diusahakan dan belum berhasil. Ini baru permulaan semoga tetap rendah hati dan selalu semangat.

Bandar Lampung, 20 Agustus 2024

Penulis

Hasnuraini Aulya

NPM. 2015051022

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK	ii
ABSTRACT	iii
PERNYATAAN	vii
RIWAYAT HIDUP	viii
MOTTO HIDUP	ix
HALAMAN PERSEMBAHAN	x
KATA PENGANTAR	xi
SANWACANA	xii
DAFTAR ISI	xvi
DAFTAR GAMBAR	xviii
DAFTAR TABEL	xx
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan Penelitian.....	3
1.3 Batasan Masalah.....	4
1.4 Manfaat Penelitian.....	4
II. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Lokasi Daerah Penelitian	5
2.2 Morfologi Daerah Penelitian.....	6
2.3 Geologi Daerah Penelitian	6
2.4 Stratigrafi.....	7
2.4.1 Formasi Hulusimpang (Tomh).....	8
2.4.2 Formasi Ranau (Qtr).....	9
2.4.3 Batuan Gununggapi Tua (Qv).....	9
2.4.4 Batuan Gununggapi Kwartir Muda (Qhv(s))	9

2.5	Struktur Geologi	9
2.6	Sistem Panas Bumi Sekincau	10
2.7	Penelitian Terdahulu	10
III.	TEORI DASAR.....	14
3.1	<i>Global Gravity Model Plus 2013 (GGMPlus 2013)</i>	14
3.2	Metode Gayaberat	16
3.3	Konsep Dasar Metode Gayaberat.....	16
3.2.1	Gayaberat Newton.....	16
3.3.2	Percepatan Gravitasi (Hukum Newton II).....	17
3.3.3	Potensi Gayaberat.....	18
3.3.4	Rapat Massa Batuan	20
3.4	Koreksi – Koreksi dalam Metode Gayaberat	21
3.5.1	Koreksi Lintang (<i>Latitude Correction</i>)	21
3.5.2	Koreksi Pasang Surut (<i>Tidal Correction</i>).....	21
3.5.3	Koreksi Apungan (<i>Drift Correction</i>).....	22
3.5.4	Koreksi Udara Bebas (<i>Free Air Correction</i>).....	22
3.5.5	Koreksi Bouguer	23
3.5.6	Koreksi Medan (<i>Terrain Correction</i>).....	24
3.5.7	Anomali Bouguer	24
3.5.8	Penentuan Densitas Permukaan Bouguer menggunakan Metode Parasnis.....	25
3.6	Analisis Spektrum	26
3.7	<i>Filter Moving Average</i>	28
3.8	Pemisahan Regional- Residual.....	29
3.9	<i>Second Vertical Derivative (SVD)</i>	30
3.10	<i>Inverse Modelling 3D</i>	32
IV.	METODE PENELITIAN.....	32
4.1	Tempat dan Waktu Penelitian	32
4.2	Alat dan Bahan	34
4.3	Prosedur Penelitian.....	35
4.3.1	Anomali Bouguer Lengkap	35
4.3.2	Analisis Spektrum	35
4.3.3	<i>Moving Average</i>	35
4.3.4	Anomali Regional	36

4.3.5 Anomali Residual.....	36
4.3.6 Analisis <i>Derivative</i>	36
4.3.7 Pemodelan Bawah Permukaan.....	36
4.4 Diagram Alir.....	37
V. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	37
5.1 Data Penelitian.....	37
5.2 Anomali Bouguer Lengkap.....	37
5.3 Analisis Spektrum.....	39
5.4 <i>Moving Average</i>	44
5.5 Anomali Regional.....	44
5.7 Analisis <i>Second Vertical Derivative</i>	46
5.8 <i>Inverse Modeling 3D</i>	48
5.9 Komparasi data gayaberat dan data MT (Elektomagnetik).....	58
VI. KESIMPULAN.....	1
6.1 Kesimpulan.....	1
6.2 Saran.....	62
DAFTAR PUSTAKA.....	63

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Peta Daerah Penelitian (dimodifikasi dari DEMNAS Lampung, 2024).....	5
2. Peta morfologi daerah Suoh-Sekincau (Iqbal dan Juliarka, 2019).....	6
3. Peta geologi daerah penelitian (dimodifikasi dari Amin dkk.,1994)	7
4. Ilustrasi Cara Kerja Satelit GRACE (Johannessen dkk., 2003).	15
5. Ilustrasi Cara Kerja Satelit GOCE (Johannessen dkk., 2003).....	16
6. Gaya Tarik menarik antara dua benda (Grandis, 2009).	17
7. Potensi Massa 3 dimensi (Telford, 1990)	19
8. Kurva Ln A terhadap K (Blakely,1996).....	28
9. Diagram Alir.	37
10. Peta Anomali Bouger Lengkap.	39
11. Peta lintasan analisis spektrum.....	40
12. Grafik Ln A terhadap K pada Lintasan 1.	40
13. Grafik Ln A terhadap k pada Lintasan 2.	41
14. Grafik Ln A terhadap K pada Lintasan 3.	41
15. Grafik Ln A terhadap K pada Lintasan 4.	42
16. Grafik Ln A terhadap K pada Lintasan 5.	42
17. Peta Anomali Regional.	44
18. Peta Anomali Residual.....	45
19. Peta Second Vertical Derivative (SVD).....	47
20. Overlay struktur SVD dengan peta Geologi.	48
21. Model distribusi denstitas inversi 3D.....	49
22. Lintasan 1 pada peta SVD dan model 3D.	53
23. Lintasan 2 pada peta SVD dan model 3D.	54
24. Lintasan 3 pada peta SVD dan model 3D.	55

25. Lintasan 4 pada peta SVD dan model 3D.	56
26. Lintasan 5 pada peta SVD dan model 3D.	57
27. Peta Anomali Tahanan jenis daerah Panas bumi sekincaw (EBTKE, 2017)...	58
28. Komparasi lintasan P1 data MT dengan Daerah Penelitian.....	59
29. Komparasi Lintasan P2 data MT dengan daerah penelitian.....	60

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Stratigrafi daerah penelitian (Amin dkk., 1994).	8
2. Penelitian Terdahulu.	11
3. Nilai Densitas Batuan (Telford, dkk.,1990).	20
4. Nilai Densitas Batuan Piroklastik (Fisher, 1984).	20
5. Operator Henderson & Zietz (1949).	31
6. Operator Elkins (1951).	31
7. Operator Rosenbach (1953).	31
8. Jadwal Kegiatan Pelaksanaan.	32
9. Data Penelitian.	34
10. Software yang digunakan dalam penelitian.	34
11. Rata-rata nilai kedalaman.	43
12. Bilangan gelombang (k) dan lebar jendela (N).	43

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sistem panasbumi adalah bentuk dari energi panas alami yang dihasilkan dari dalam bumi bersama dengan kandungan fluida yang berada didalamnya. Sumber daya energi panasbumi berkaitan dengan mekanisme pembentukan magma dan vulkanisme. Mekanisme tersebut disebabkan oleh pergerakan lempeng yang terjadi pada batas lempeng. Terdapat lima komponen yang perlu dimiliki dalam suatu sistem panasbumi, yaitu sumber panas, *claycap* (batuan penudung), struktur geologi, zona reservoir dan *recharging site* (Cumming, 2009).

Pulau Sumatera merupakan salah satu pulau di Indonesia yang mempunyai banyak titik potensi panas bumi. Terdapat 93 lokasi dengan potensi titik sekitar 12 GW. Salah satu potensi panas bumi terletak di Suoh-Sekincau di Kabupaten Lampung Barat, Provinsi Lampung. Titik potensi panas bumi ini merupakan gabungan dari potensi panas bumi di Danau Suoh dan Gunung Sekincau dengan potensi sekitar 400 MWe (Iqbal dan Juliarka, 2019). Berdasarkan hasil eksplorasi yang dilakukan oleh Pusat Sumber Daya Mineral, Batubara dan Panas Bumi (PSDMBP), reservoir pada sistem Suoh-Sekincau tergolong sistem suhu tinggi $>250^{\circ}\text{C}$ (Ditjen EBTKE), 2017).

Pulau Sumatera terletak di perbatasan pertemuan lempeng Indo-Australia dan Eurasia. Termasuk wilayah tektonik aktif, mengakibatkan struktur geologi tampak tersebar di seluruh wilayah Sumatera. Struktur geologi yang memanjang sepanjang Gunung Api Sumatera menghubungkan kawasan tektonik Selat Sunda di selatan dengan kawasan tektonik busur belakang Busur Laut Antaman di selatan Utara (Curray, 1989). Sesar Sumatra merupakan salah satu jenis sesar mendatar yang

kompleks dengan serangkaian segmen dengan panjang bervariasi yang dipisahkan oleh sesar paralel (*Steps*) (De Jossineau dan Aydin, 2009). Zona sesar Sumatera terdiri dari beberapa segmen sesar yang umumnya memiliki batas di daerah depresi. Sesar Sumatera tersegmentasi kedalam 19 buah segmen. Salah satu segmen sesar Sumatera ialah segmen Ranau-Suoh (Bellier dkk., 1999). Struktur geologi pada didominasi oleh kelurusan yang mengarah Barat Laut-Tenggara dan merupakan segmen dari Sesar Besar Sumatera pada Segmen Semangko. Di 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 yang mengalir (Barber dkk., 2005).

Metode gayaberat merupakan metode geofisika pasif, dapat digunakan untuk mengidentifikasi struktur geologi bawah tanah. Perbedaan densitas antar batuan di bawah permukaan menyebabkan fluktuasi medan gravitasi bumi. Ketika terjadi perbedaan nilai densitas, maka anomali dapat diidentifikasi berdasarkan suatu struktur, misalnya patahan (Telford dkk., 2012).

Untuk mengetahui struktur geologi bawah permukaan daerah penelitian dapat digunakan metode gayaberat dengan teknik analisis spektral. Struktur bawah permukaan ini berasal dari anomali gayaberat yang diamati di permukaan, yang didasarkan pada hubungan bahwa anomali gayaberat ini merupakan cerminan dari fluktuasi kepadatan bawah permukaan dalam arah horizontal dan geometri benda anomali tersebut. (Walidah, 2011).

Penelitian ini menggunakan data gravitasi satelit GGMplus (*Global Gravity Model Plus*) 2013. Data GGMplus memiliki keunggulan resolusi spasial paling rapat dibandingkan data gravitasi satelit lainnya seperti TOPEX dan BGI (Suprianto dkk., 2021). GGMplus memiliki resolusi spasial 200 m dapat digunakan untuk pemetaan awal suatu wilayah sebagai gambaran umum suatu wilayah sebelum pengambilan data primer yang lebih lokal dengan data topografi SRTM yang menghasilkan informasi data gravitasi topografi beresolusi tinggi (Hirt dkk., 2013).

Penelitian ini memanfaatkan metode *Second Vertical Derivative* (SVD) dan pemodelan 3D data gayaberat untuk mengidentifikasi struktur bawah permukaan. Proses identifikasi kondisi bawah permukaan dengan menggunakan metode

gayaberas berdasarkan oleh adanya variasi medan gravitasi akibat perbedaan rapat massa (*density*) batuan di bawah permukaan. Perbedaan nilai rapat massa akan memperlihatkan anomali berupa struktur seperti patahan atau sesar.

Penelitian terdahulu mengenai struktur geologi telah dilakukan di kawasan Suoh Sekincau. Penelitian sebelumnya yang dilakukan (Iqbal dan Juliarka, 2019) mengenai struktur geologi wilayah Suoh-Sekincau telah dilakukan dengan menggunakan metode FFD. Berdasarkan kajian tersebut, geologi daerah penelitian didominasi oleh batuan vulkanik dengan arah dominan barat laut-tenggara dan merupakan bagian dari Sesar Besar Sumatera pada segmen Semangko. Kawasan sekitar Gunung Sekincau mempunyai nilai yang tinggi dan kawasan ini dinilai mempunyai tingkat permeabilitas yang baik.

Berdasarkan hal tersebut maka dengan dilakukannya penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat berupa gambaran kondisi struktur bawah permukaan dan lapisan batuan yang lebih baik di sekitar area penelitian. Selain itu hasil dari penelitian ini juga diharapkan dapat membantu dalam memaksimalkan pengembangan dan pemanfaatan potensi panasbumi yang terdapat di Sekincau Lampung Barat.

1.2 Tujuan Penelitian

Adapun Tujuan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mendapatkan peta anomali Bouguer daerah panasbumi Sekincau
2. Menentukan kedalaman anomali Regional dan anomali Residual.
3. Mendapatkan struktur patahan berdasarkan analisa *Second Vertical Derivative* (SVD) anomali Bouguer.
4. Mendapatkan model 3D distribusi densitas bawah permukaan dari pemodelan inversi Residual.
5. Mengidentifikasi lokasi prospek reservoir panasbumi Sekincau.

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebaga berikut:

1. Data yang digunakan adalah data gayaberat yang didapatkan melalui *website* GGMPLUS berupa data topografi dan data *Acceleration*.
2. Pemisahan anomali regional dan anomali residual menggunakan filter *moving average*.
3. Identifikasi struktur bawah permukaan menggunakan filter *Second Vertical Derivative* (SVD) dan pemodelan 3 Dimensi.

1.4 Manfaat Penelitian

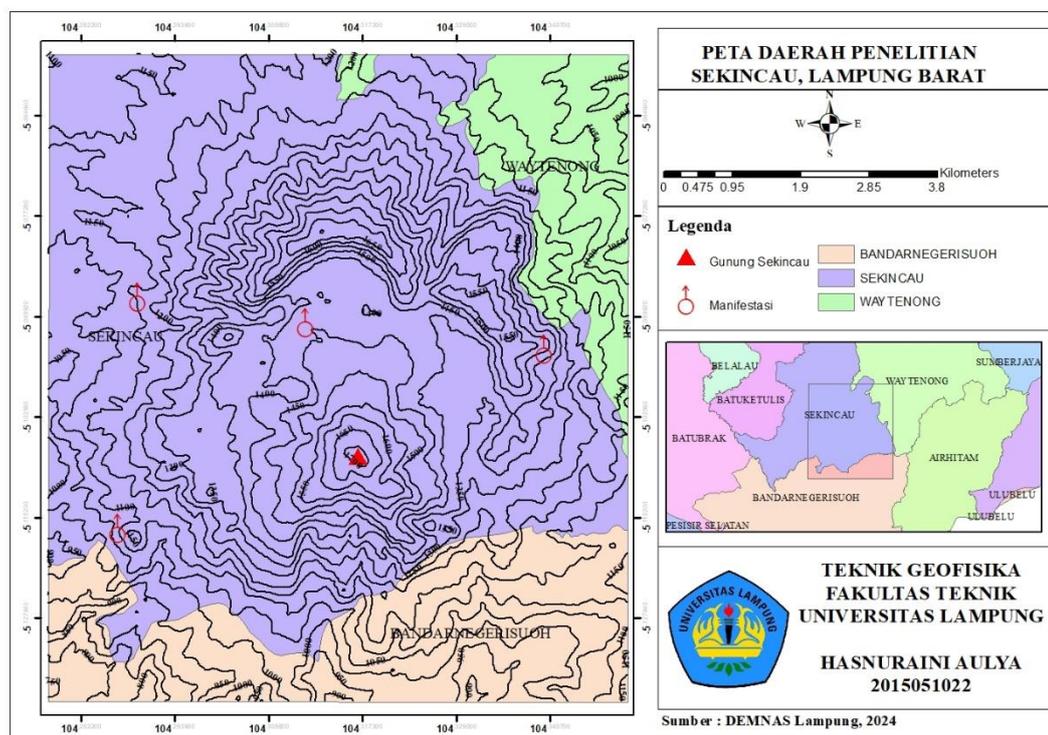
Adapun manfaat yang dapat diberikan dalam pelaksanaan penelitian ini adalah:

1. Memberikan informasi mengenai gambaran geologi pada daerah penelitian berdasarkan data gayaberat.
2. Mengetahui sistem patahan daerah penelitian dari analisis *Second Vertical Derivative* (SVD), dan *Inverse modelling* 3D.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Lokasi Daerah Penelitian

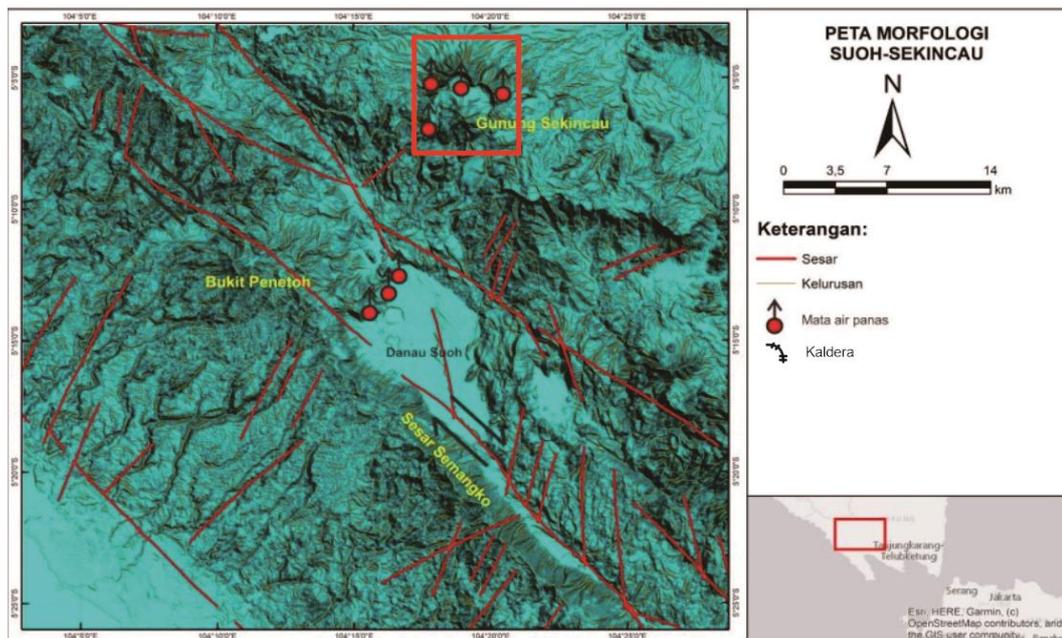
Lokasi daerah penelitian secara administrasi terletak di Sekincau, Kabupaten Lampung Barat, Provinsi Lampung. Secara geografis daerah penelitian berada pada koordinat $5^{\circ} 2' 50''$ LS – $5^{\circ} 10' 25''$ LS dan $104^{\circ} 16' 50''$ BT – $104^{\circ} 25' 50''$ BT atau pada koordinat 420000 – 428000 mE dan 9441000 – 9432000 mN dalam zona 48S UTM (*Universal Transverse Mercator*). Peta lokasi penelitian dapat dilihat pada **Gambar 1**.



Gambar 1. Peta Daerah Penelitian (dimodifikasi dari DEMNAS Lampung, 2024).

2.2 Morfologi Daerah Penelitian

Secara morfologi wilayah penelitian Sekincau Lampung Barat terdapat pada **Gambar 2** yang ditandai oleh kotak warna merah, terbentuk akibat subduksi tektonik Lempeng Indo-Australia ke bawah Lempeng Eurasia sehingga membentuk busur gunungapi berumur Tersier-Kuarter (*volcanic arc* Bukit Barisan Sumatera) kemudian dipotong oleh Sesar Besar Sumatera (*Great Sumateran Fault*) dengan arah baratlaut-tenggara (Barber dkk., 2005). Morfologi daerah penelitian didominasi oleh topografi yang terjal dengan adanya rendahan pada bagian tengah yang merupakan Danau Suoh (**Gambar 2**). Pada bagian barat-daya daerah penelitian topografi menjadi semakin landai hingga ke pantai barat Sumatera (Iqbal, dkk. 2019). Berdasarkan Ditjen EBTKE dan Badan Geologi 2017, diketahui bahwa Satuan geomorfologi daerah Sekincau terdiri dari satuan tubuh air (danau), kerucut gunung api, kaldera gunung api, kaki gunung api bagian atas, kaki gunung api bagian bawah, perbukitan vulkanik ter-erosi, perbukitan struktur ter-erosi, depresi graben, dinding sesar dan punggungan horst.

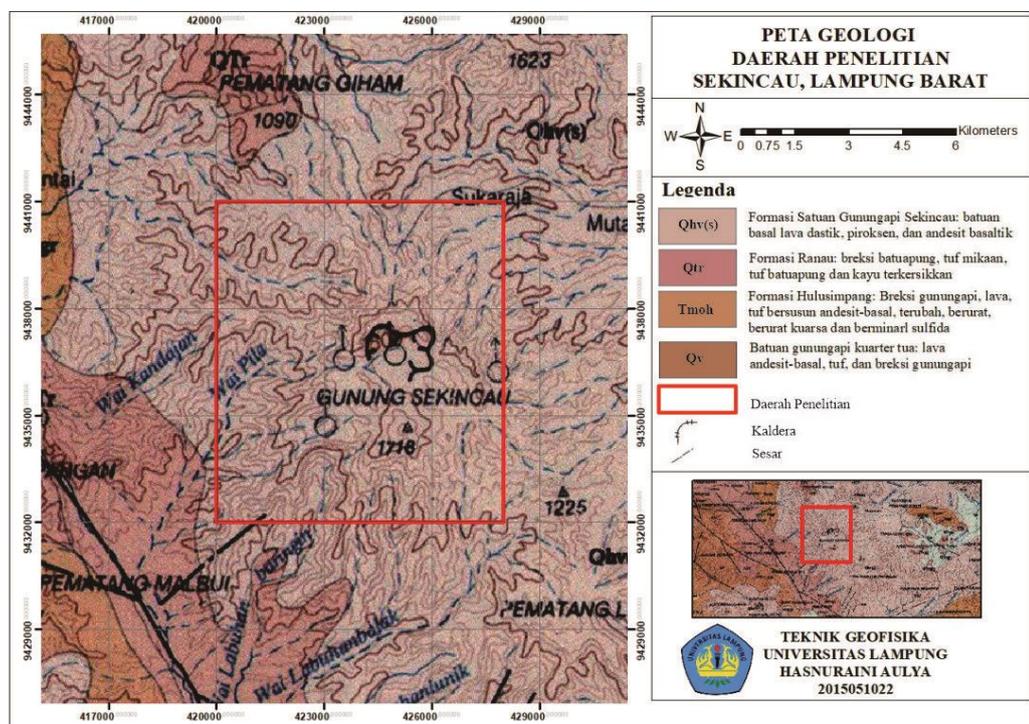


Gambar 2. Peta morfologi daerah Suoh-Sekincau (Iqbal dan Juliarka, 2019).

2.3 Geologi Daerah Penelitian

Daerah penelitian terletak pada potensi panasbumi Sekincau yang berada di Kabupaten Lampung Barat, berjarak kurang lebih 150 km sebelah Barat Bandar Lampung dan dapat dilihat pada **Gambar 3**. 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 Ranau (Qtr) yang disusun oleh breksi batuapung-tuf, Pada Lajur Barisan terdapat (QTr) yaitu Formasi Ranau 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. Pada daerah Gunung Sekincau, manifestasi banyak dijumpai di sekitar lereng gunung yang merupakan Satuan Batuan Gunungapi Muda Kuartar Sekincau (Qvs) (Amin dkk.,1994).



Gambar 3. Peta geologi daerah penelitian (dimodifikasi dari Amin dkk.,1994)

2.4 Stratigrafi

Berdasarkan peta geologi lembar Kota Agung (Amin dkk., 1994), secara regional daerah penelitian dapat terbagi menjadi tiga lajur pembentukan, yaitu Lajur Bengkulu, Lajur Barisan, dan Lajur Palembang. Daerah penelitian yang meliputi Lajur Barisan ini disusun dalam beberapa jenis dan urutan formasi batuan, dari yang tertua hingga yang termuda. Stratigrafi daerah penelitian ini dapat dilihat pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Stratigrafi daerah penelitian (Amin dkk., 1994).

Umur		Lajur Barisan Batuan sedimen dan Gunung Api	
Kuartar	Holosen		Qhv(s)
	Plistosen	Qv	
Tersier	Pliosen		QTr
	Miosen	Akhir	
		Tengah	
		Awal	
	Oligosen	Tmoh	
	Eosin		

2.4.1 Formasi Hulusimpang (Tomh)

Formasi Hulusimpang mempunyai umur geologi yang sama dengan Formasi Gading, yaitu Oligosen Atas – Miosen Awal. Formasi ini mempunyai ketebalan lebih dari 1.000 m dan memanjang luas dari barat laut hingga tenggara di kawasan Bukit Barisan. Formasi ini memperlihatkan litologi breksi vulkanik, lava, basal andesit, tufa ubahan, urat kuarsa, dan mineral sulfida. Formasi Hulusimpang yang terbentuk pada lingkungan peralihan antara daratan dan laut dangkal, dianggap sebagai bagian dari busur vulkanik di tepi benua dan berkorelasi dengan Formasi Painan. Namun hubungan antara Formasi Hulusimpang dan Formasi Gading tidak diungkapkan. Menurut Selley (1978), dua litologi yang diendapkan secara bersamaan dikatakan mempunyai fasies yang berbeda jika sifat fisik, kimia, dan biologinya berbeda.

2.4.2 Formasi Ranau (Qtr)

Formasi yang dahulu dikenal dengan nama Ranau Tuff (van Bemmelen, 1949) ini mempunyai ketebalan 100 sampai 500 m dan terdiri dari litologi berupa breksi batu apung, tufa permukaan, tufa batu apung dan kayu pecah. Ia mempunyai umur geologi Plio-Pleistosen dan diendapkan secara lokal di lingkungan terestrial hingga fluvial dan ditutupi oleh batuan vulkanik muda Holosen. Formasi ini terutama tersebar di sepanjang zona sesar Semangko Ranau, Suoh, dan Gedong Surian.

2.4.3 Batuan Gunungapi Tua (Qv)

Formasi ini mempunyai umur geologi Holosen sampai Pleistosen dan terdiri dari litologi berupa andesit, lava basaltik, tufa dan breksi vulkanik. Ketebalan formasi ini sekitar 300 m dan memanjang di sudut barat laut kawasan Bukit Barisan. Lingkungan sedimen berkisar dari daratan hingga laut dangkal.

2.4.4 Batuan Gunungapi Kuartir Muda (Qhv(s))

Formasi dengan ketebalan mencapai 750 m ini tersusun atas batuan, lava dan tufa dengan komposisi andesit-basal dan berasal dari Gunung Tanggamus, Gunung Rindingan, Gunung Sekincau, Gunung Talang Gubak, Begelung, Pesawaran, Pematang Baru dan Bukit Pemetoh. Formasi ini berumur geologi Holosen dan tersebar terutama di bagian tengah Bukit Barisan.

2.5 Struktur Geologi

Struktur dan kelurusan yang dominan pada daerah Sekincau yaitu berarah utara-selatan dan barat laut-tenggara. Sesar ini mempunyai beberapa segmen antara lain segmen utama di bagian tenggara dan segmen yang membentuk cekungan di daerah Suoh. Dataran rendah pada daerah Suoh diinterpretasikan sebagai cekungan *pull-apart*. Sesar dengan arah utara-selatan dan timur laut pada sisi timur dan barat dari cekungan menghubungkan bagian *en-echelon* dari sesar utama dan membentuk sesar *through-going*. Geometri dari zona *step-over* dan sesar penghubung

mengontrol deformasi regangan berdasarkan arah pergeseran dan pergerakan segmen sesar *en-echelon*. (Direktorat Jenderal EBTKE, 2017).

2.6 Sistem Panas Bumi Sekincau

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 penampang panas (*reservoir*) (Hochstein dan Browne, 2000). Sistem panas bumi dijumpai pada daerah dengan gradien panas bumi relatif normal, terutama pada bagian tepi lempeng dimana gradien panasbumi biasanya mempunyai kisaran suhu yang lebih tinggi daripada suhu rata-rata (Dickson dan Fanelli, 2003).

Manifestasi permukaan terkonsentrasi di empat lokasi di kawasan Sekincau bagian selatan, dua di utara dekat Gunung Sekincau, dan dua lagi di selatan dekat Cekungan Suoh. Sebagian besar alterasi hidrotermal di wilayah studi pendahuluan juga terkonsentrasi di wilayah yang sama, namun terdapat alterasi yang lebih tua (tidak terkait dengan aktivitas termal saat ini) antara Gunung Sekincau dan Cekungan Suoh di utara pada ketinggian yang lebih tinggi, sebagian besar terdiri dari fumarol (dan ventilasi gas) dekat puncak dan di lereng timur Gunung Sekincau. Terdapat tiga manifestasi di Kawah Lama Sekincau, yakni satu fumarol dan dua lubang gas. Manifestasi tersebut diambil sampelnya untuk analisis kimia gas dan menunjukkan perubahan keasaman lemah hingga sedang di area sekitar 10 meter dari lubang uap. Terdapat 14 daerah ekspresi termal di lereng timur Gunung Sekincau. Di lereng timur Gunung Sekincau, sampel air gas dan asam sulfat dikumpulkan untuk analisis kimia di hampir semua wilayah kecuali dua lokasi. Di dua lokasi yang tidak dijadikan sampel, terdapat outlet gas dengan emisi lemah dan tersebar. Kawasan tersebut adalah fumarol di utara (Kawah Putih) dan gugusan sumber air panas di selatan (Srirejo) (Ditjen EBTKE, 2017).

2.7 Penelitian Terdahulu

Dalam penelitian ini, penulis menggunakan referensi dari penelitian sebelumnya yang telah melakukan penelitian di daerah ini maupun daerah lain dengan substansi yang hampir sama. Penelitian ini digunakan sebagai referensi untuk memanfaatkan teori yang sudah ada untuk bidang penelitian baru dan untuk menganalisis data seperti yang ditunjukkan pada **Tabel 2**.

Tabel 2. Penelitian Terdahulu.

No	Nama	Judul	Ringkasan
1	Iqbal, M. dan Juliarka, B.R. 2019.	Analisis Kerapatan Kelurusan (<i>Lineament Density</i>) sebagai indikator tingkat permeabilitas di Lapangan Panasbumi Suoh-Sekincau, Lampung.	Penelitian ini bertujuan untuk melakukan analisis kerapatan kelurusan di daerah penelitian yaitu di lapangan panasbumi Suoh-Sekincau yang terletak pada Kabupaten Lampung Barat Provinsi Lampung. Penelitian ini menggunakan citra satelit. Analisis <i>lineament density</i> yang dilakukan pada Suoh-Sekincau menunjukkan bahwa Wilayah A (Gunung Sekincau) memiliki nilai densitas kelurusan yang tinggi yang merupakan daerah dengan permeabilitas baik. Selain itu, beberapa daerah di sekitarnya memiliki nilai densitas kelurusan yang sedang seperti Danau Suoh dan Bukit Penetoh.
2	Ilmi, 2019.	Pemodelan 3D Struktur Bawah Permukaan Gunungapi Agung Provinsi Bali Menggunakan Metode Gaya Berat.	Penelitian ini Bertujuan untuk membuat model bawah permukaan Gunungapi Agung menggunakan data anomali gayaberat dan mengidentifikasi kantong magma pada Gunungapi Agung Bali. Data yang digunakan adalah data citra satelit TOPEX, serta pemodelan geologi bawah permukaan menghasilkan model 3 Dimensi. Daerah penelitian berada

			<p>pada kabupaten Karangasen Provinsi Bali. Berdasarkan hasil penelitian diketahui bahwa penampang Gunungapi Agung dan Gunungapi Batur terdapat pada daerah yang memiliki densitas Tinggi sebesar 2,73 – 2,86 gr/cc yang diduga kantong magma dari kedua gunung tersebut. Kantong magma pada Gunungapi Agung ini berada pada kedalaman 500 m – 8000 m dengan bentuk yang menjulang keatas dan cembung pada bagian tengahnya.</p>
3	Kurniasih., 2021.	Analisis Struktur Patahan Daerah Suoh Lampung Barat Menggunakan Metode Gayaberat Dan <i>Fault Fracture Density</i> .	<p>Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis struktur geologi berdasarkan data gayaberat metode SVD dan FHD, menganalisis kelurusan struktur geologi berdasarkan data DEM, dan mengestimasi keberadaan patahan di daerah Suoh dengan melihat korelasi kelurusan struktur dan distribusi data kegempaan. Data yang digunakan dalam penelitian adalah data TOPEX sebanyak 3.722. Penelitian ini difokuskan mengidentifikasi struktur geologi dengan menggunakan analisis SVD dan FFD. Hasil analisis pada</p>

			penelitian ini yaitu Struktur geologi berdasarkan data DEM sudut azimuth 45° menghasilkan informasi kelurusan berarah barat laut-tenggara, yang selaras dengan struktur geologi regional Daerah Suoh.
4	Tobing, 2023.	Identifikasi Lapisan Batuan Bawah Permukaan Berdasarkan Metode Gaya Berat di Daerah Prospek Panas Bumi Suoh, Lampung Barat.	Penelitian ini bertujuan untuk menentukan kedalaman anomali Regional dan Residual melalui analisis spektrum, identifikasi struktur geologi menggunakan metode FHD dan SVD, pembuatan model struktur geologi 2 dimensi, dan penentuan reservoir panas bumi Suoh-Sekincau melalui analisis distribusi densitas. Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data satelit TOPEX. Penelitian menggunakan 4 <i>slice</i> pada analisis spektrum dan didapatkan rata-rata kedalaman anomali regional 4638 meter dan anomali residualan 533 meter. Berdasarkan data FHD dan SVD diketahuin terdapat sesar turun pada <i>slice</i> 1 dan 2 dengan <i>slice</i> 1 terdapat pada jarak 4000 m dan 8000 m dan <i>slice</i> 2 terdapat pada jarak 4500 m dan 8000 m.

III. TEORI DASAR

3.1 *Global Gravity Model Plus 2013 (GGMPlus 2013)*

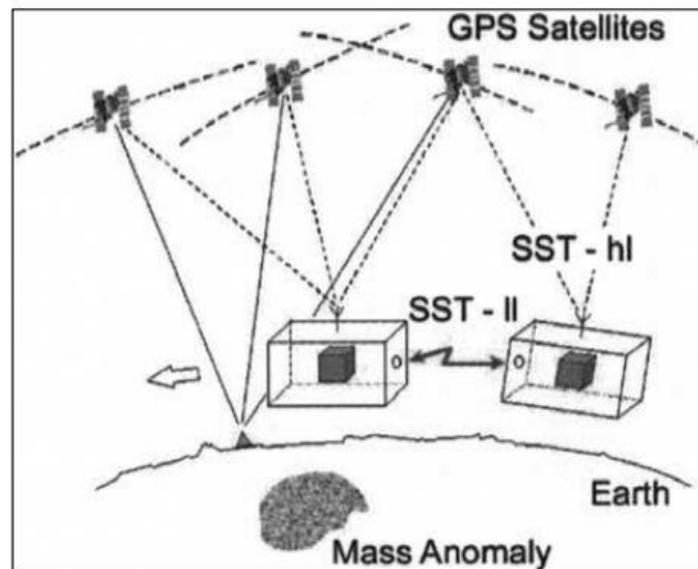
GGMplus 2013 merupakan salah satu data gravitasi satelit. Data ini adalah model komposit atau gabungan yang memurnikan model gravitasi yang ada dari pelacakan satelit ruang angkasa (GRACE, GOCE, dan EGM 2008) dan data terestrial dengan informasi data gravitasi topografi resolusi tinggi yang berasal dari data topografi SRTM. Terdapat lima data dalam GGMplus, yaitu *gravity disturbance*, percepatan gravitasi, defleksi komponen vertikal Utara-Selatan dan Barat-Timur, serta *undulasi quasigeoid* (Suprianto dkk., 2021). Dibandingkan dengan data gravitasi satelit lainnya seperti TOPEX atau BGI, GGMplus memiliki resolusi spasial tertinggi dengan jarak titik sekitar 220 m (Hirt dkk., 2013).

Pengukuran data gravitasi GGMplus mempunyai prinsip yaitu menggunakan dua satelit, yaitu satelit gravitasi *GRACE* dan *GOCE*. Kedua satelit tersebut mengukur percepatan gravitasi bumi dengan pengukuran pasif, dengan memanfaatkan respon alami dari sumber anomali menggunakan *mode satellite to satellite tracking (SST)* relatif terhadap bumi (Hinze dkk., 2012).

Satelit *GRACE* mengukur percepatan gravitasi bumi menggunakan 2 satelit identik yang terkoneksi dan saling mengikuti orbit yang sama dengan jarak antar satelit 220 km. Prinsip pengukurannya yaitu mendeteksi perubahan medan gravitasi bumi dengan cara memonitor perubahan jarak yang terjadi pada satelit *GRACE* (**Gambar 4**).

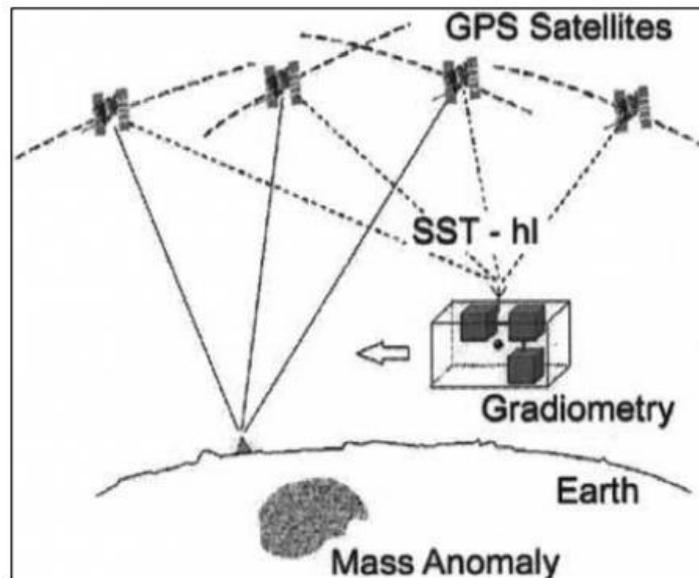
Apabila satelit *GRACE* depan mendekati sumber anomali lebih dahulu dibanding satelit *GRACE* belakang maka satelit *GRACE* depan akan merasakan

gaya tarik gravitasi yang lebih besar, sehingga jarak kedua satelit akan merenggang (Bettadpur dkk., 2016).



Gambar 4. Ilustrasi Cara Kerja Satelit *GRACE* (Johannessen dkk., 2003).

Sedangkan untuk satelit *GOCE* mengukur percepatan gravitasi bumi menggunakan gradiometer (**Gambar 5**). Gradiometer terdiri dari tiga pasang akselerometer identik yang dipasang pada tiga lengan yang ortogonal. Hal ini memungkinkan pengukuran secara simultan dari enam komponen medan gravitasi yang independen namun komplementer. Sinyal yang diukur adalah perbedaan percepatan gravitasi di dalam pesawat ruang angkasa, dimana sinyal gravitasi merepresentasikan gaya tarik medan gravitasi yang bervariasi akibat pegunungan, lembah, zona subduksi, dan *inhomogenitas* mantel, dan lain-lain (Drinkwater dkk., 2003).



Gambar 5. Ilustrasi Cara Kerja Satelit *GOCE* (Johannessen dkk., 2003).

3.2 Metode Gayaberat

Metode Gayaberat adalah metode yang mengukur nilai variasi percepatan gravitasi bumi. Parameter fisik batuan yang paling penting yang ditentukan dengan metode ini adalah densitas. Metode ini mengukur perubahan anomali percepatan gravitasi akibat perbedaan densitas (Telford, 1990).

Metode gayaberat merupakan salah satu hal yang sangat penting dalam berbagai permasalahan dalam pemetaan bawah permukaan bumi maupun dalam kajian geologi. Metode gravitasi didasarkan pada sifat massa, dimana besar kecilnya massa menentukan besar kecilnya gaya tarik menarik antar benda (Djudjun, 2005).

3.3 Konsep Dasar Metode Gayaberat

3.2.1 Gayeberat Newton

Prinsip dasar teori gravitasi berdasarkan Hukum Newton yang menjelaskan adanya gaya tarik menarik antara dua massa m_1 dan m_2 yang dipisahkan oleh jarak r , dapat dirumuskan dengan persamaan 1 (Serway & Jewett, 2009):

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

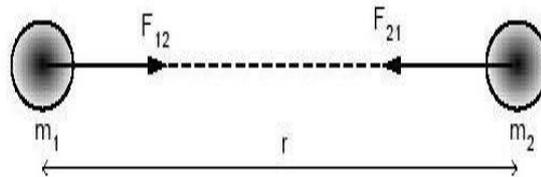
Dimana:

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

$m_1 m_2$: Massa benda bumi 1 dan massa benda bumi 2

r : Jarak antara dua buah benda (m)

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



Gambar 6. Gaya Tarik menarik antara dua benda (Grandis, 2009).

3.3.2 Percepatan Gravitasi (Hukum Newton II)

Hubungan antara gaya dan percepatan telah didefinisikan oleh Newton. Hukum kedua Newton tentang gerak mengatakan bahwa gaya terdiri dari massa dan percepatan (2).

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

Dimana percepatan sebuah benda bermassa m_2 yang disebabkan oleh tarikan benda yang memiliki massa M pada jarak r , dapat dinyatakan dengan persamaan (3):

$$\vec{g} = \frac{\vec{F}}{m} \quad (3)$$

Apabila ditetapkan dengan percepatan gaya Tarik bumi, persamaanya akan menjadi persamaan (4):

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

Dimana:

\vec{g} : Percepatan gaya tarik menarik bumi (m/s)

M : Massa bumi (kg)

m : massa benda bumi(kg)

\vec{F} : Gayaberat (N)

r : Jari-jari bumi (km)

Persamaan (4) di atas menunjukkan bahwa besar percepatan gravitasi bumi (g) berbanding lurus dengan massa bumi (M) dan berbanding terbalik dengan

kuadrat jari-jari bumi (r). Pengukuran percepatan gravitasi pertama kali dilakukan oleh Galileo, dan dengan demikian didefinisikan dalam persamaan (5) berikut:

$$1 \text{ Gall} = 1 \text{ cm/s}^2 = 10^{-2} \text{ m/s}^2 \text{ (dalam c.g.s)} \quad (5)$$

Satuan anomali gayaberat dalam kegiatan eksplorasi diberikan dalam orde miligal (mGall) pada persamaan (6) berikut:

$$\begin{aligned} 1 \text{ mGall} &= 10^{-3} \text{ Gal} \\ 1 \mu\text{Gall} &= 10^{-3} \text{ mGal} = 10^{-6} \text{ Gal} = 10^{-8} \text{ m/s}^2 \\ 1 \text{ mGall} &= 10 \text{ g.u} = 10^{-5} \text{ m/s}^2 \end{aligned} \quad (6)$$

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

Pada kenyataannya bumi berbentuk bulat dengan topografi yang berbeda-beda, sehingga nilai medan gravitasi yang dipengaruhi bumi tidak sama, tergantung pada: letak (koordinat), ketinggian dan kepadatan batuan pada titik tersebut. Nilai medan gravitasi pada ketinggian 0 (*mean sea level*) dan garis lintang θ dapat dihitung menggunakan Persamaan (7) (Sarkowi, 2014).

$$g_{(\theta)} = 978031.85 (1 + 0.00527889 \sin^2 \theta + 0.000023462 \sin^4 \theta) \text{ mGall} \quad (7)$$

θ adalah koordinat lintang titik pengukuran bumi. Terjadinya perubahan medan gravitasi akibat perubahan ketinggian dapat dilihat pada persamaan (8) (Sarkowi, 2014).

$$g_{\varphi.h} = g_{\varphi} + \frac{\partial g_{\varphi}}{\partial h} h \rightarrow \frac{\partial g_{\varphi}}{\partial h} = -\frac{2g_{\varphi}}{\partial h} (1 + f + m - 2f \sin^2 \varphi) = 0.308 \text{ mgal/m} \quad (8)$$

3.3.3 Potensi Gayaberat

Energi yang diperlukan untuk menempatkan suatu massa pada suatu titik disebut potensial gravitasi. Medan potensial disekitarnya disebabkan oleh adanya suatu benda bermassa tertentu dalam sistem ruang. Medan potensial yang terbentuk mempunyai sifat konservatif, artinya usaha yang dilakukan pada suatu medan gravitasi tidak mempunyai pengaruh terhadap lintasan yang dilaluinya, melainkan hanya terhadap posisi awal dan akhir (Rosid, 2005). Gaya berat merupakan suatu vektor yang artinya memiliki gaya, magnitudo dan arah. Arah dari vektor tersebut adalah garis panjang yang menghubungkan pusat di kedua massa.

Gaya yang timbul dari suatu medan konservatif akan diturunkan dari fungsi potensial skalar (x, y, z) atau lebih dikenal sebagai potensial Newton atau tiga dimensi. Definisi yang telah dijelaskan tadi ditulis dalam suatu persamaan (9) (Telford dkk., 1990):

$$\nabla U(r, \theta, \phi) = \frac{-F(r, \theta, \phi)}{m_2} = -g(r, \theta, \phi) \quad (9)$$

Sehingga, persamaan potensial gaya berat akan menjadi persamaan (10) berikut:

$$\nabla U(r, \theta, \phi) = \int_{\infty}^r (\nabla U) \cdot dr = - \int_{\infty}^r g \cdot dr \quad (10)$$

Jika persamaan (10) di substitusikan ke persamaan (9), maka dapat diperoleh persamaan (11) dalam bentuk skalar sebagai berikut:

$$\nabla U(r) = -G \int_{\infty}^r m \left(\frac{1}{r^2}\right) dr = \frac{Gm}{r} \quad (11)$$

Dari persamaan (11) potensial akibat suatu unsur bermassa dm di titik (x, y, z) yang berjarak $(0,0,0)$ adalah persamaan (12) sebagai berikut:

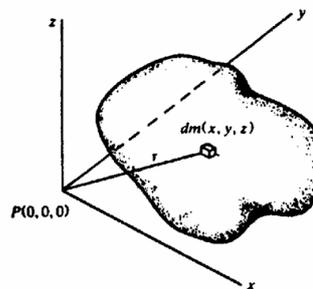
$$dU = \frac{Gdm}{r} = G\rho \frac{dx dy dz}{r} \quad (12)$$

Dengan ρ merupakan densitas serta $r^2 = x^2 + y^2 + z^2$. Maka massa tersebut memiliki total potensial persamaan (13) sebagai berikut:

$$U = G \int_x \int_y \int_z \left(\frac{\rho}{r}\right) dx dy dz \quad (13)$$

Diketahui bahwa g merupakan percepatan gaya berat di sumbu z yang arahnya adalah vertikal dengan berasumsi bahwa ρ adalah konstan, maka (14):

$$g = -\left(\frac{\partial U}{\partial z}\right) = G \int_x \int_y \int_z \left(\frac{z}{r^3}\right) dx dy dz \quad (14)$$



Gambar 7. Potensi Massa 3 dimensi (Telford, 1990)

3.3.4 Rapat Massa Batuan

Dalam menentukan nilai percepatan gravitasi, besaran yang utama adalah massa jenis batuan. Kepadatan suatu batuan dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu kepadatan butiran pembentuk batuan, porositas, kandungan fluida yang mengisi pori-pori, serta pemadatan yang disebabkan oleh tekanan dan pelapukan yang dialami batuan tersebut.(Brotopuspito , 2001). Adapun variasi densitas batuan dapat dilihat pada **Tabel 3** dan variasi densitas piroklastik dapat dilihat pada **Tabel 4**.

Tabel 3. Nilai Densitas Batuan (Telford, dkk.,1990).

<i>Material Type</i>	<i>Density Type (mg/m³)</i>	<i>Approximate Average</i>
<i>Sedimentary Rock</i>		
<i>Aluvium</i>	1,96 - 2,00	1,96
<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
<i>Igneous Rock</i>		
<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>Gabbro</i>	2,70 - 3,50	3,03
<i>Metamorphic Rock</i>		
<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

Tabel 4. Nilai Densitas Batuan Piroklastik (Fisher, 1984).

<i>Pyroclastic Rock</i>		
<i>Volcanic ash</i>	0,6 - 1,0	0,8
<i>Pumice</i>	0,3 - 0,9	0,6
<i>Tufa</i>	0,5 - 1,1	0,8
<i>Volcanic Breccia</i>	1,0 - 2,0	1,5
<i>Lapili</i>	1,0 - 2,5	1,7
<i>Scoria</i>	0,8 - 1,5	1,1

3.4 Koreksi – Koreksi dalam Metode Gayaberat

Dalam memperoleh data metode gayaberat, terdapat beberapa koreksi – koreksi yang harus dilakukan untuk mendapatkan anomali gayaberat, adapun koreksi – koreksi tersebut antara lain:

3.5.1 Koreksi Lintang (*Latitude Correction*)

Gaya berat pada lintang geografis berbeda disebabkan oleh adanya gaya sentrifugal dan bentuk elipsoid atau akibat dari bentuk bumi yang tidak bulat, maka perlu dilakukan koreksi gaya berat di setiap lintang geografis (spheroid dan geoid), Koreksi lintang dapat dilakukan dengan 2 cara yaitu menggunakan diferensi IGRF 67 (untuk derajat lintang/latitude) atau IGRF 84 (untuk radian).

IGRF 67 (15):

$$g_{\theta} = 978031.8 (1 + 0.0053924 \sin^2 \theta - 0.0000059 \sin^2 2\theta) \quad (15)$$

IGRF 84 (16):

$$g_{\theta} = 978032.7 (1 + 0.0053024 \sin^2 \theta - 0.0000058 \sin^2 2\theta) \quad (16)$$

3.5.2 Koreksi Pasang Surut (*Tidal Correction*)

Koreksi Pasang Surut (*Tidal Correction*) merupakan koreksi yang dilakukan akibat adanya efek tarik menarik massa benda langit seperti bulan dan matahari. Nilai koreksi ini berubah secara berkala pada waktu-waktu tertentu tergantung pada posisi benda langit. Jika tarikan gravitasi bulan dan matahari berlaku di permukaan bumi, maka nilai tersebut ditambah dengan nilai pembacaan dan pengamatan. Sebaliknya, jika koreksi berlawanan dengan gaya tarikan, maka nilai ini harus dikurangi. Perhitungan koreksi pasang surut yang didasarkan pada perumusan Longman (1959) dibuat dalam sebuah program komputer Perhitungan koreksi pasang surut berdasarkan formulasi Longman (1959) dilakukan dalam program komputer. Pada grafik nilai pasang surut, hasil koreksi pasang surut mempunyai nilai positif dan negatif. Jika bernilai positif maka Bumi mengalami tarikan dari posisi normalnya dan sebaliknya.

3.5.3 Koreksi Apungan (*Drift Correction*)

Gravimeter dibangun dengan menggunakan sistem keseimbangan pegas dan dilengkapi massa yang tergantung bebas di ujungnya. Karena pegas memiliki sifat yang tidak elastis secara sempurna, maka sistem pegas tidak kembali ke posisi semula. Seringnya terjadi guncangan pada saat pengukuran (transportasi), mengakibatkan bergesernya pembacaan titik nol pada alat (pada alat *gravimeter* tidak diklem sehingga pegas tetap bekerja). Keadaan ini disebut *drift* (apungan) yang besarnya sebagai fungsi waktu. Koreksi apungan digunakan untuk mengoreksi kesalahan pembacaan *gravimeter* pada saat melakukan pengukuran nilai gayaberat di suatu tempat. Koreksi apungan dilakukan dengan prinsip membuat lintasan tertutup pada titik-titik pengukuran (*loop* tertutup). Loop tertutup merupakan pengukuran dengan cara pengukuran ulang pada stasiun awal (titik ikat pada tiap *loop*) setelah dilakukan pada titik akhir. Besarnya koreksi *drift* dapat dilihat pada persamaan (17) (Brotopuspito, 2001):

$$Dn = \left\{ \frac{(gb-ga)}{(tb-ya)} (t_n - t_a) \right\} \quad (17)$$

Dimana:

Dn : Koreksi drift pada waktu pembacaan titik ikat

ga : Pembacaan gravimeter di titik awal

gb : Pembacaan gravimeter di titik akhir

ta : Waktu pembacaan di titik awal

tb : Waktu pembacaan di titik akhir

tn : Waktu pembacaan di titik pengamatan

3.5.4 Koreksi Udara Bebas (*Free Air Correction*)

Menurut Lowrie (2007), ketinggian titik amat mempengaruhi nilai gayaberat observasi, semakin tinggi nilai titik amat maka nilai gayaberat observasi semakin menurun, dan semakin menurun titik pengamatan maka nilai gayaberat observasi akan semakin meningkat. Perbedaan nilai gayaberat antara yang terletak di *mean sea level* dengan yang terletak dengan elevasi h (meter) adalah koreksi udara bebas diberikan pada persamaan 18 (Reynolds, 1997):

$$\partial g_f = g_h - g_0 = -\left(\frac{2g_0h}{R}\right) = 0,3086h \text{ mGal} \quad (18)$$

Dimana:

g_0 : 981785 mGal

R : 6371000 meter

Maka koreksi udara bebasnya yaitu pada persamaan (19) berikut:

$$FAC = 0.3086 \cdot h(\text{mGal}) \quad (19)$$

Dimana, h adalah ketinggian stasiun pengukuran (meter). Sedangkan anomali udara bebasnya/FAA, dapat dirumuskan pada persamaan (20) berikut:

$$FAA = g_{obs} - g_{\varphi} + 0.3086h \quad (20)$$

FAA : *Free Air Anomaly*

Gobs : Gravitasi Observasi

3.5.5 Koreksi Bouguer

Koreksi *Bouguer* dilakukan perhitungan akibat adanya efek dari tarikan massa benda yang berada di antara stasiun dengan bidang datum yang belum dilakukan perhitungan pada koreksi udara bebas. Koreksi *Bouguer* dilakukan dengan menggunakan pendekatan yaitu pendekatan sebuah benda berupa slab tak berhingga dengan benda slab yang memiliki ketebalan dan densitas yang sama. Persamaan koreksi *Bouguer* dapat dilihat pada persamaan 21 dan 22:

$$BC = 2\pi G\rho h \quad (21)$$

$$BC = 0,41931\rho h \quad (22)$$

Dimana:

ρ = massa jenis

h = elevasi.

Anomali gayaberat yang dapat dihasilkan setelah diaplikasikan dengan koreksi *Bouguer* dan anomali udara bebas atau disebut sebagai *Simple Bouguer Anomaly* yaitu persamaan (23) berikut:

$$FAC = -0.3086h \quad (23)$$

3.5.6 Koreksi Medan (*Terrain Correction*)

Koreksi medan digunakan untuk memeriksa adanya distribusi massa yang tidak teratur di sekitar titik pengukuran. Koreksi Bouguer menggambarkan titik deteksi pengukuran di lapangan yang terletak pada bidang datar yang sangat lebar. 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. Oleh karena itu, pengaruh material sekitar baik di atas maupun di bawah titik pengukuran juga turut mempengaruhi hasil pengukuran pada titik pengukuran, sehingga perlu dilakukan koreksi topografi, terutama pada bidang pengukuran yang topografinya tidak beraturan seperti rangkaian gunung atau perbukitan (Susilawati, 2005).

Jika keadaan topografi pengukuran pada area datar maka koreksi medan dapat dihilangkan. Berikut persamaan (24) untuk koreksi medan adalah:

$$g = \frac{0.04193}{n} \rho \left\{ (r_2 - r_1) + \sqrt{r_2^2 + L^2} - \sqrt{r_1^2 + L^2} \right\} \quad (24)$$

Dengan:

- g : Respon gayaberat (mGal)
- n : Jumlah kompartemen tiap zona
- ρ : Densitas (gr/cc)
- r_1 : Jari-jari radius dalam (m)
- r_2 : Jari-jari radius luar (m)
- L : Selisih ketinggian dari titik pengukuran (m)

3.5.7 Anomali Bouguer

Anomali Bouguer merupakan perbedaan antara nilai gayaberat observasi (gobs) 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 Anomali Bouguer positif. Sebaliknya, benda dengan densitas rendah yang berada pada

medium dengan densitas tinggi akan menghasilkan nilai Anomali Bouguer negatif (Reynolds, 1997).

Menurut Hinze (2013), Anomali Bouguer adalah selisih antara harga gravitasi pengamatan dengan harga gravitasi teoritis yang didefinisikan pada titik pengamatan tertentu. Perbedaan akan menggambarkan perbedaan densitas atau rapat massa pada suatu daerah dengan daerah sekelilingnya baik ke arah vertikal maupun lateral. Target akhir yang ingin didapatkan dari metode gayaberat pada eksplorasi sumber daya alam maupun studi keilmuan adalah mendapatkan gambaran bawah permukaan berdasarkan variasi persebaran densitas.

Anomali Bouguer menggambarkan persebaran dari gayaberat untuk menggambarkan kondisi bawah permukaan berdasarkan kontras rapat massa batuan. Dengan demikian nilai Anomali Bouguer dapat dirumuskan pada persamaan (25) (Brotopuspito, 2001):

$$BA = g_{obs} - g_{\varphi} + FAC - BC + TC \quad (25)$$

Dimana:

g_{obs} : harga gayaberat pengukuran di titik tertentu

g_{φ} : harga koreksi lintang

FAC : *Free Air Correction* /Koreksi Udara Bebas

BC : *Bouguer Correction* /Koreksi Bouguer

TC : *Terrain Correction* /Koreksi Medan

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

3.5.8 Penentuan Densitas Permukaan Bouguer menggunakan Metode Parasnis

Estimasi rapat massa metoda ini diturunkan dari anomali gayaberat dituliskan pada persamaan (26) berikut:

$$CBA = g_{obs} - gL + 0.385h - 2\pi G\rho h \quad (26)$$

dimana suku terakhir bagian kanan adalah koreksi medan dengan c nilai koreksi medan sebelum dikalikan dengan rapat massa. Dari persamaan 200 diatas didapat persamaan (27) berikut:

$$(g_{obs} - gL + 0.385h) = (2\pi Gh)\rho \quad \text{atau } G = \rho x \quad (27)$$

3.6 Analisis Spektrum

Analisis spektrum memiliki tujuan untuk mendapatkan nilai kedalaman suatu benda anomali gayaberat dari bawah permukaan. Metode analisis spektrum memanfaatkan transformasi Fourier guna mengubah suatu fungsi waktu dan jarak menjadi suatu fungsi frekuensi atau bilangan gelombang (Blakely, 1996). Analisis spektrum dilakukan untuk mengetahui batas Anomali Bouguer regional dan residual daerah penelitian. Hasil dari analisis spektrum ini selanjutnya digunakan untuk mengestimasi lebar jendela untuk filtering anomali gayaberat. Suatu transformasi Fourier digambarkan dengan proses memisahkan suatu gelombang ke dalam bentuk gelombang sinus dengan frekuensi yang bervariasi. Hasil dari penjumlahan pada gelombang - gelombang tersebut adalah bentuk gelombang aslinya (Kadir, 2000).

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 (28) adalah (Blakely, 1996) :

$$F(U) = G \mu F\left(\frac{1}{r}\right) \quad \text{dan} \quad F\left(\frac{1}{r}\right) = 2\pi \frac{e^{|k|(z_0-z_1)}}{|K|} \quad (28)$$

Dimana :

U : potensial gayaberat,

μ : anomali rapat massa,

G : konstanta gaya berat

r : jarak

Percepatan gayaberat dihubungkan pada potensial gravitasi oleh persamaan $g = \nabla U$. Gerak dari vertikal pada gravitasi disebabkan oleh suatu titik massa merupakan turunan derivatif dari potensial gayaberatnya, dapat dilihat pada persamaan 29, 30, dan 31:

$$g_z = Gm \frac{\partial}{\partial z} \frac{1}{r} \quad (29)$$

$$F(g_z) = GmF\left(\frac{\partial}{\partial z} \frac{1}{r}\right) \quad (30)$$

$$F(g_z) = Gm \partial z \partial F\left(\frac{1}{r}\right) \quad (31)$$

Transformasi Fourier pada lintasan yang diinginkan yaitu pada persamaan (32):

$$F(g_z) = 2\pi G m e^{|k|(z_0-z_1)}, z_1 > z_0 \quad (32)$$

Jika distribusi rapat massa memiliki sifat random dan tidak ada korelasi antara masing-masing nilai gayaberat, maka $m=1$ sehingga hasil transformasi Fourier anomali gayaberat menjadi (33):

$$A = C e^{|k|(z_0-z_1)} \quad (33)$$

Dimana A adalah amplitudo dan C adalah 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* (34) (35).

$$\ln A = \ln C e^{|k|(z_0-z_1)} \quad (34)$$

$$\ln A = (z_0 - z_1)|k| + \ln C \quad (35)$$

Persamaan di atas dapat dirumuskan dalam persamaan garis lurus (36):

$$y = mx + c \quad (36)$$

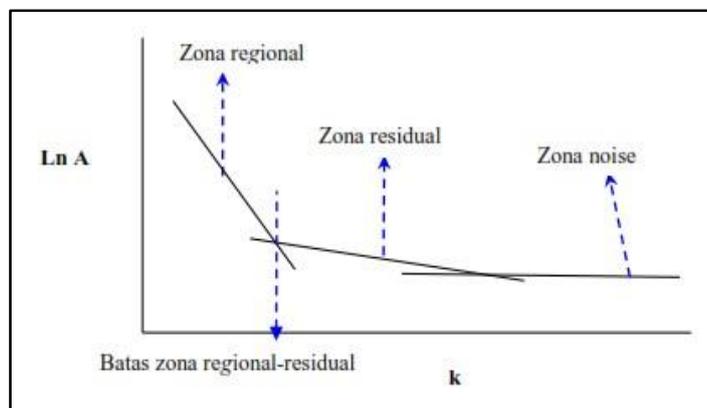
Dimana $\ln A$ sebagai sumbu y , $|k|$ sebagai sumbu x , dan $(z_0 - z_1)$ sebagai kemiringan garis (gradien). Oleh karena itu, kemiringan garisnya merupakan kedalaman bidang dalam dan dangkal. $|k|$ sebagai sumbu x didefinisikan sebagai bilangan gelombang yang besarnya $\frac{2\pi}{\lambda}$ dan satuannya *cycle/meter*, dengan λ adalah panjang gelombang. Hubungan λ dengan Δx diperoleh dari persamaan (37):

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{2\pi}{k_c \Delta x} \quad (37)$$

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 pada persamaan (38) berikut:

$$N = \frac{2\pi}{k_c \Delta x} \quad (38)$$

Dimana Δx adalah domain spasi yang akan digunakan dalam *Fast Fourier Transform* (FFT), dan kc adalah bilangan gelombang *cut off*. Dalam proses ini akan terbentuk kurva hubungan antara f (frekuensi) dan k (bilangan gelombang) seperti pada **Gambar 6**.



Gambar 8. 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 diperkirakan berasal dari anomali regional dan frekuensi tinggi diperkirakan berasal dari sumber anomali residual.

3.7 Filter Moving Average

Nilai gravitasi yang diukur di permukaan merupakan penjumlahan dari berbagai anomali dan struktur mulai dari permukaan hingga inti bumi, sehingga anomali Bouguer yang diperoleh merupakan gabungan dari beberapa sumber dan struktur anomali. Anomali *Bouguer* adalah superposisi dari anomali yang bersifat regional dan yang bersifat residual atau lokal. Anomali regional berkaitan dengan kondisi geologi umum secara keseluruhan pada daerah yang bersangkutan, dicirikan oleh anomali yang memiliki frekuensi rendah, sedangkan anomali residual dicirikan oleh anomali yang memiliki frekuensi tinggi.

Untuk memperoleh anomali yang berhubungan dengan kondisi geologi yang diharapkan dan untuk meningkatkan resolusi sebelum diinterpretasikan secara kuantitatif, maka perlu dilakukan pemisahan anomali regional dan residual agar anomali yang diperoleh sesuai dengan anomali target yang dicari. Untuk memberikan interpretasi kuantitatif gravitasi, pemisahan anomali juga harus

dipertimbangkan. Pemisahan anomali ini salah satunya dapat dilakukan dengan *filter moving average*.

Moving average dilakukan dengan cara merata-ratakan nilai anomalnya. Hasil perata-rataan tersebut adalah anomali regional dan pengurangan data hasil pengukuran gaya berat dengan anomali regional merupakan anomali residual. Dirumuskan pada persamaan (39) berikut:

$$\Delta g_{reg}(i) = \frac{\Delta g(i-n) + \dots + \Delta g(i) + \dots + \Delta g(i+n)}{N} \quad (39)$$

Dimana:

- i : nomor stasiun
- N : lebar jendela
- Δg_{reg} : besarnya anomali regional

3.8 Pemisahan Regional- Residual

Data yang diperoleh setelah melakukan koreksi-koreksi adalah data anomali bouguer. Anomali Bouguer merupakan total dari anomali residual dan regional, dimana secara sistematis dapat dituliskan pada persamaan (40) berikut:

$$g_{Bouguer} = g_{reg} + g_{res} \quad (40)$$

Dimana $g_{Bouguer}$ adalah anomali *bouguer*, g_{reg} adalah anomali regional dan g_{res} adalah anomali residual. Sehingga untuk memperoleh anomali residual yang merepresentasikan benda-benda anomali di kedalaman dangkal, maka perlu dilakukan pemisahan antara anomali regional dan residual dengan cara mengurangi nilai anomali *bouguer* dengan anomali regionalnya. Dengan rumus pada persamaan (41) berikut:

$$g_{res} = g_{bouguer} - g_{reg} \quad (41)$$

Pada umumnya terdapat beberapa metoda dalam proses pemisahan regional residual yang akan digunakan untuk memperoleh nilai anomali regional, diantaranya:

1. *Low Pass Filter*
2. *Trend Surface Analysis* atau *Polynomial Fitting*
3. *Upward Continuation*

Pada dasarnya, metode pemisahan dirancang untuk memisahkan anomali berdasarkan frekuensi yang berkaitan dengan kedalaman sumber anomali. Anomali regional menunjukkan frekuensi rendah, sedangkan anomali sisa menunjukkan anomali tinggi. Tujuan dari prosedur pemisahan ini adalah untuk mendapatkan nilai anomali regional dan sisa yang mewakili kondisi bawah permukaan sebenarnya.

3.9 *Second Vertical Derivative (SVD)*

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. Metode *Second Vertical Derivative (SVD)* ini diturunkan dari persamaan Laplace untuk anomali gayaberat di permukaan dapat dirumuskan pada persamaan (42):

$$\nabla^2 \cdot \Delta g = 0 \quad (42)$$

Atau menggunakan persamaan (43):

$$\frac{\partial^2 \Delta g}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \Delta g}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \Delta g}{\partial z^2} = 0 \quad (43)$$

Sehingga *second vertical derivative* nya diberikan menggunakan persamaan (44):

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

Untuk data 1-D (data penampang) persamaan nya diberikan pada persamaan (45):

$$\frac{\partial^2 \Delta g}{\partial z^2} = \frac{\partial^2 \Delta g}{\partial x^2} \quad (45)$$

Persamaan *Second Vertical Derivative (SVD)* dan 1-D diatas menunjukkan bahwa *Second Vertical Derivative (SVD)* dari suatu anomali gayaberat permukaan adalah sama dengan negatif dari derivatif orde dua horizon. Artinya bahwa anomali *Second Vertical Derivative (SVD)* dapat melalui derivatif horizontal yang secara praktis lebih mudah dikerjakan.

Dalam penentuan patahan normal ataupun patahan naik, maka dapat dilihat pada hargamutlak nilai SVD_{\min} dan harga mutlak SVD_{\max} dalam penentuannya dapat dilihat pada ketetapan berikut:

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

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

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

Terdapat tiga operator yang digunakan dalam menentukan anomali *Second Vertical Derivative* yaitu terlihat pada **Tabel 4**, **Tabel 5**, dan **Tabel 6**.

Tabel 5. Operator Henderson & Zietz (1949).

Operator Filter SVD menurut Henderson and Zietz (1949)				
0.0000	0.0000	-0.0838	0.0000	0.0000
0.0000	1.0000	-2.6667	1.0000	0.0000
-0.0838	-2.6667	17.0000	-2.6667	-0.0838
0.0000	1.0000	-2.6667	1.0000	0.0000
0.0000	0.0000	-0.0838	0.0000	0.0000

Tabel 6. Operator Elkins (1951).

Operator Filter SVD menurut Elkins (1951)				
0.0000	-0.0838	0.0000	-0.0838	0.0000
-0.0838	-0.6667	-0.0334	-0.6667	-0.0838
0.0000	-0.0334	-1.0668	-0.0334	0.0000
-0.0838	-0.6667	-0.0334	-0.6667	-0.0838
0.0000	-0.0838	0.0000	-0.0838	0.0000

Tabel 7. Operator Rosenbach (1953).

Operator Filter SVD menurut Rosenbach (1953)				
0.0000	-0.0416	0.0000	-0.0416	0.0000
-0.0416	-0.3332	-0.7500	-0.3332	-0.0416
0.0000	-0.7500	4.0000	-0.7500	0.0000
-0.0416	-0.3332	-0.7500	-0.3332	-0.0416
0.0000	-0.0416	0.0000	-0.0416	0.0000

3.10 *Inverse Modelling 3D*

Inversi gravitasi bertujuan untuk mengetahui sebaran massa jenis yang menjelaskan pengukuran atau bentuk dan dimensi dari variasi densitas (Sarkowi dan Wibowo, 2021). Pada tahap inversi, analisis data lapangan dilakukan dengan melakukan fitting kurva antara model matematika dengan data lapangan. Tujuan dari proses inversi adalah untuk memperkirakan parameter fisik batuan yang sebelumnya tidak diketahui.

Pemodelan inversi (*inversion modelling*) menggunakan parameter model yang didapatkan secara langsung dari data pengukuran. Inversi merupakan suatu perhitungan matematis dan statistika yang digunakan untuk mengetahui informasi suatu sistem berdasarkan observasi terhadap sistem tersebut. Sistem fisika yang dimaksud adalah hasil observasi terhadap sistem adalah data, sedangkan informasi yang ingin diperoleh data adalah model atau parameter model. Dalam mengestimasi parameter model sebenarnya ditemukan berbagai permasalahan, namun permasalahan tersebut umumnya dibahas sebagai permasalahan regresi linier. Konsep regresi linier ini digunakan untuk memformulasikan masalah inversi linier yang berlaku lebih umum. Model terbaik atau optimum diperoleh jika kesalahan tersebut minimum (Grandis, 2009).

Kesesuaian antara respon model dan data observasi umumnya dinyatakan dengan fungsi tujuan yang harus diminimalkan. Proses pencarian fungsi tujuan minimum berkaitan dengan proses pencarian model optimal. Properti minimal suatu fungsi digunakan untuk mencari parameter model. Secara umum, model dimodifikasi agar respon model sesuai dengan data (Sarkowi, 2014).

4.2 Alat dan Bahan

Adapun alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada **Tabel 8** dan **Tabel 9**.

Tabel 9. Data Penelitian.

No	Data	Sumber Data
1	Data <i>Acceleration</i> dan <i>Gravity</i>	Data ini merupakan data longitude, Latitude, Elevasi, dan Gobs yang diperoleh dari GGMPPlus 2013 sebanyak 1.945 data pada laman https://murray-lab.caltech.edu/GGMplus/index.html
2	Peta Lembar Geologi	Peta geologi yang digunakan dalam penelitian ini bersumber dari peta Geologi Lembar Kotaagung.

Tabel 10. *Software* yang digunakan dalam penelitian.

No	<i>Software</i>	Fungsi
1	Global Mapper	Digunakan untuk mencari nilai lokal dan regional yang nantinya digunakan pada Oasis Montaj.
2	Microsoft Excel	Digunakan untuk menghitung koreksi koreksi gayaberat, serta mencari nilai Ln A dan k dari hasil analisis spektrum pada Numeri.
3	Oasis Montaj	Digunakan untuk mencari nilai Terrain.
4	ArcGIS 10.8	Berfungsi dalam pembuatan peta lokasi penelitian, peta geologi dan analisis SIG lainnya.
5	Surfer 16	Digunakan untuk mengolah data gayaberat yaitu dalam membuat peta kontur Topografi, anomali Bouguer, dan pemisahan anomali Bouguer regional dan residual.
6	Numeri	Digunakan untuk analisis spektrum.
7	Grav3D	Digunakan untuk membuat model distribusi densitas bawah permukaan dengan metode <i>Inverse modelling</i> 3D.
8	Microsoft Word	Digunakan untuk pembuatan laporan penelitian.

4.3 Prosedur Penelitian

4.3.1 Anomali Bouguer Lengkap

Data gayaberat pada pengolahan ini merupakan data mentah yang didapatkan melalui GGMPPlus daerah Sekincau. Dalam pengolahannya perlu dilakukan koreksi-koreksi gayaberat untuk mendapatkan nilai Anomali Bouguer Lengkap (ABL). Dari data GGMPPlus diperoleh 1.945 data. Setelah didapatkannya data Terrain, langkah selanjutnya adalah mencari data Anomali Bouguer Lengkap dengan menjumlahkan data Anomali Bouguer Sederhana yang sudah dikalikan hasil densitas parasnis dengan data Terrain. Selanjutnya dibuat peta Kontur Anomali Bouguer Lengkap (ABL) daerah penelitian menggunakan *Software* Surfer 16.

4.3.2 Analisis Spektrum

Setelah didapatkan peta Anomali Bouguer Lengkap (ABL), langkah selanjutnya adalah analisis spektrum. Metode analisis spektrum menggunakan transformasi Fourier untuk mengubah domain data dari domain jarak menjadi domain frekuensi. Dalam penelitian ini analisis spektrum dilakukan pada 5 lintasan yang mewakili daerah yang diinginkan. Dari kelima lintasan tersebut dilakukan interpolasi data menggunakan *Software* Matlab dengan jarak 200 kemudian dilakukan transformasi Fourier menggunakan *software* Numeri. Semua data yang didapatkan dari lintasan tersebut kemudian diolah menggunakan Ms. Excel untuk mencari nilai $\ln A$ dan nilai bilangan gelombang k yang nantinya digunakan untuk mengetahui estimasi kedalaman dan lebar jendela.

4.3.3 *Moving Average*

Filter moving average merupakan proses pemisahan anomali yang memiliki sinyal frekuensi tinggi (*low pass filter*). Hasil dari proses *filter moving average* adalah sinyal frekuensi rendah yang telah ditentukan batasannya dari anomali bouguer yang kemudian memperlihatkan anomali regional. Pada pengolahan ini *Filter Moving Average* digunakan untuk pemisahan anomali regional dan anomali residual gayaberat.

4.3.4 Anomali Regional

Anomali regional merupakan anomali yang bersumber pada bagian dalam bumi dan memiliki frekuensi yang rendah. Pada peta anomali regional sebaran kontur menunjukkan variasi nilai anomali regional yang terdapat pada daerah penelitian.

4.3.5 Anomali Residual

Anomali residual lebih dikenal sebagai anomali yang menggambarkan persebaran densitas batuan dangkal atau sesuatu yang berhubungan dengan struktur lokal. Pada umumnya batuan yang terdapat pada kedalaman yang dangkal memiliki nilai densitas yang bervariasi karena hal itu disebabkan oleh batuan yang bervariasi. Dengan menghitung selisih nilai Anomali Bouguer Lengkap dengan anomali regional maka akan didapatkan anomali residual.

4.3.6 Analisis *Derivative*

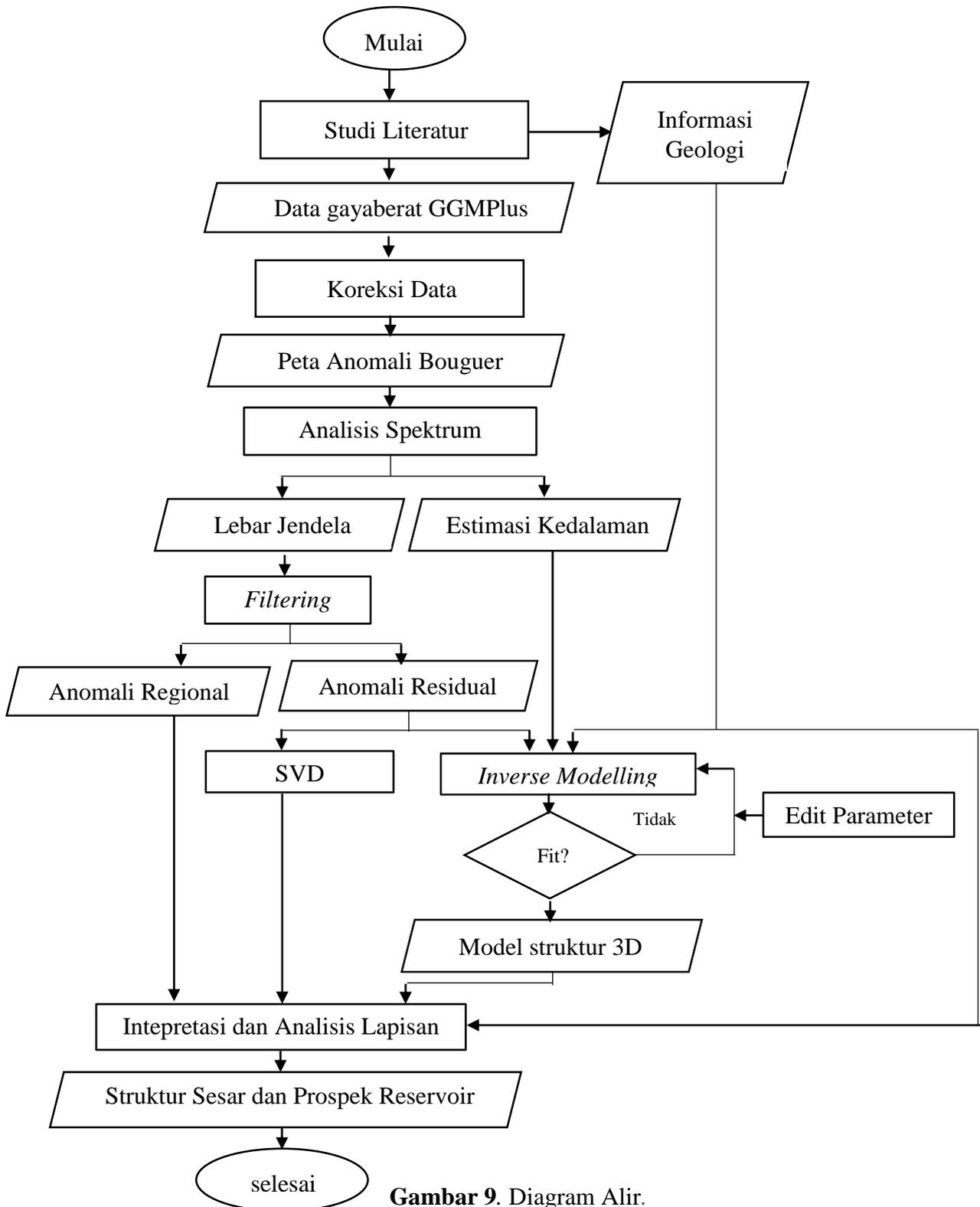
Analisis *derivative* digunakan untuk mennetukan batas anomali dan mengetahui jenis patahan. Untuk mendapatkan hal tersebut maka dilakukan *Second Vertical Derivative* (SVD) dari lintasan yang dibuat dalam peta anomali residual yang selanjutnya dibuat penampangnya. *Second Vertical Derivative* (SVD) bersifat sebagai *High Pass Filter* sehingga dapat menggambarkan anomali residual yang berasosiasi dengan struktur dangkal yang dapat digunakan untuk mengidentifikasi jenis patahan turun, patahan naik atau patahan mendatar. Analisis *Second Vertical Derivative* (SVD) dilakukan menggunakan *software* Surfer dengan filter SVD operator Henderson & Zietz (1949).

4.3.7 Pemodelan Bawah Permukaan

Metode pemodelan bawah permukaan yang dipakai pada penelitian kali ini, yaitu pemodelan mundur atau *Inverse modeling*. Pemodelan inversi 3D dilakukan dengan *software* Grav3D. Terdapat tiga program yang terintegrasi di dalamnya yaitu gm DataViewer, MeshTools3d, dan Grav3D gui.. Untuk melakukan pemodelan inversi, data yang dibutuhkan yaitu data anomali gayaberat, data topografi, dan data mesh.

4.4 Diagram Alir

Adapun diagram alir pada penelitian ini terdapat pada **Gambar 8**.



VI. KESIMPULAN

6.1 Kesimpulan

Kesimpulan dari penelitian yang telah dilakukan ini adalah sebagai berikut:

1. Nilai Anomali Bouguer Lengkap berkisar antara 36 mGal sampai 74 mGal. Nilai anomali rendah berada pada rentang 38 sampai 50 mGal. Anomali sedang berada pada rentang nilai 52 sampai 60 mGal. Anomali tinggi memiliki rentang nilai 62 sampai 74 mGal.
2. Berdasarkan perhitungan, nilai rata-rata estimasi kedalaman anomali regional sebesar 3843 meter dan nilai rata-rata estimasi kedalaman anomaly residual daerah penelitian sebesar 158 meter.
3. Peta kontur SVD ini memiliki rentang nilai sebesar -8 sampai 20 mGal. Persebaran anomali pada peta kontur SVD ini menyerupai anomali residualnya. Terdapat garis putih putus-putus yang merupakan kontur SVD 0 diindikasikan adanya sesar dengan adanya kontras densitas pada daerah penelitian.
4. Didapatkannya model 3D distribusi densitas dengan kedalaman 2000 meter dan nilai persebaran densitas berkisar antara rentang 2 gr/cc sampai 2,9 gr/cc. Daerah dengan densitas rendah berkisar antara 2 gr/cc sampai 2,3 gr/cc. Daerah dengan densitas sedang dengan berkisar antara 2,3 gr/cc sampai 2,6 gr/cc. Daerah dengan densitas yang tinggi berkisar antara 2,6 gr/cc sampai 2,9 gr/cc.
5. Prospek reservoir ditandai dengan adanya *caprock* pada daerah penelitian. Daerah yang diindikasikan sebagai prospek reservoir berada pada arah utara gunung Sekincau memiliki nilai densitas 2 gr/cc sampai 2,3 gr/cc dan berada pada kedalaman 2500 meter dari permukaan.

6.2 Saran

Saran dari penelitian ini yaitu diperlukannya peninjauan lebih langsung ke lapangan untuk mengetahui pola struktur geologi yang terbentuk. Selain itu diperlukannya metode geofisika lainnya untuk menggambarkan kondisi bawah permukaan yang lebih baik di daerah panasbumi Sekincau, Lampung Barat.

DAFTAR PUSTAKA

- Amin, T.C., Sidarto, Santosa S., Gunawan, W. (1994). *Geology of the Kotaagung Quadrangle, Sumatera (1:250,000)*. Geological Research and Development Centre, Bandung.
- Badan Informasi Geospasial. (2024). Peta SHP Kabupaten Lampung Barat. di akses Pada tides.big.go.id Pada Tanggal 27 April 2024.
- Barber, A. J., and Crow. (2005). *Structure and Structural History. Sumatera: Geology, Resources, and Tectonic Evolution: Geological Society Memoir No 31*.
- Bellier, O., Bellon, H., Sébrier, M., Sutanto, and Maury, R. C. (1999). K-Ar age of the Ranau Tuffs: Implications for the Ranau caldera emplacement and slip-partitioning in Sumatera (Indonesia). *Tectonophysics*, 312(2-4): 347–359. doi:10.1016/S0040-1951(99)00198-5.
- Bettadpur, S., Tapley, B., dan Save, H. (2016). High resolution CSR GRACE RL05 mascons. *Journal Geophysics*, 121(10), 7547–7569.
- Blakely, R. J. (1996). *Potential Theory in Gravity and Magnetic Applications*. Cambridge University Press.
- Brotospito, K.S. (2001). *Teori dan Aplikasi Metode Gravitasi*. Universitas Gadjah Mada.
- Cumming, W. (2009). Geothermal Resource Conceptual Models Using Surface Exploration Data. *Thirty-Fourth Workshop on Geothermal Reservoir Engineering, April, SGP--TR--187*.
- Curry, J.R., (1989). The Sunda Arc: a model for oblique plate convergence.

Netherlands Journal of Sea Research, vol.24, 131-140.

- De Jossineau, G., dan Aydin, A. (2009). Segmentation along strike-slip faults revisited. *Pure and Applied Geophysics*. 166(10-11): 1575–1594. doi:10.1007/s00024-009-0511-4.
- Dickson, M.H. dan Fanelli, M. (2003). *Geothermal Energy: Utilization and Technology*. Unesco Publishing: Paris.
- Ditjen EBTKE. (2017). *Buku Potensi Panas bumi Jilid 1*. Direktorat Panas Bumi.
- 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.
- Drinkwater, M. R., Floberghagen, R., Haagmans, R., Muzi, D., & Popescu, A. (2003). Earth Gravity Field from Space – from Sensors to Earth Sciences. *Space Sciences Series*, 18, 419–433.
- Elkins, T.A. (1951). The Second Derivative Method of Gravity Interpretation. *Geophysics*, v.23, h.97-127.
- Fisher, R. V., dan Schmincke, H. U. (1984). *Pyroclastic rocks*. Springer Science & Business Media. Tokyo.
- Grandis, H. (2009). *Pengantar Pemodelan Inversi Geofisika*. Himpunan Ahli Geofisika Indonesia. Jakarta.
- Henderson, R.G., and Zietz, I. (1949). The Computation of Second Vertical Derivative of Geomagnetic Fields. *Geophysics Journal*. v. 14.
- Hinze, W.J. (2013). *Gravity and Magnetic Exploration Principles, Practices, and Applications, 1 Ed*. Cambridge University Press. Cambridge.
- Hirt, C., Claessens, S., Fecher, T., Kuhn, M., Pail, R., dan Rexer, M. (2013). New Ultrahigh-Resolution Picture of Earth's Gravity Field. *Geophysical Research Letters*, 40(16), 4279–4283.
- Hochstein, M.P. dan Browne, P.R.L. (2000). *Surface Manifestation of Geothermal Systems with Volcanic Heat Sources*. Academic Press: San Diego.

- Illi, N. (2019). Pemodelan 3d Struktur Bawah Permukaan Gunungapi Agung Provinsi Bali Menggunakan Metode Gaya Berat. *Skripsi*. Universitas Lampung: Lampung
- Iqbal, M., dan Juliarka, B. R. (2019). Analisis Kerapatan Kelurusan (Lineament Density) di Lapangan Panasbumi Suoh-Sekincau, Lampung. *Journal of Science and Applicative Technology*, 3(2), 61. <https://doi.org/10.35472/jsat.v3i2.212>.
- Johannessen, J. A., Balmino, G., dan Provost, C. L. (2003). The European Gravity Field and Steady-State Ocean Circulation Explorer Satellite Mission Its Impact on Geophysics. *Surveys in Geophysics*, 24, 339–386.
- Kadir, W.G.A. (2000). *Eksplorasi Gayaberat dan Magnetik*. Jurusan Teknik Geofisika Fakultas Ilmu Kebumihan dan Teknologi Mineral. ITB.
- Kurniasih, A., (2021). Analisis Struktur Patahan Daerah Suoh Lampung Barat Menggunakan Metode Gayaberat Dan *Fault Fracture Density*. *Skripsi*. Univeritas Lampung: Lampung
- Lowrie, W. (2007). *Fundamentals Of Geophysics, Second Edition*. In Cambridge University Press.
- Octonovrilna, L., dan Pudja, I. P. (2009). Analisa Perbandingan Anomali Gravitasi Dengan Persebaran Intrusi Air Asin (Studi Kasus Jakarta 2006-2007). *Jurnal Meteorologi Dan Geofisika*, 10(1), 39–57. <https://doi.org/10.31172/jmg.v10i1.32>.
- 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.
- Reynolds, J. M. (1997). *An Introduction to Applied and Environmental Geophysics*. John Wiley dan Sons Ltd: England.
- Sarkowi, M. (2010). Identifikasi Struktur Daerah Panasbumi Ulubelu Berdasarkan Analisa Data SVD Anomali Bouguer. *Jurnal Sains MIPA*, 16(2), 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.
- Supriyanto. (2007). Analisis Data Geofisika : *Memahami teori Inversi*. Department Fisika FMIPA Universitas Indonesia.
- Susilawati. (2005). *Pemodelan Metode Gayaberat*. Departemen Fisika FMIPA Universitas Indonesia.
- Telford, W. M., Geldart, L. P., dan Sheriff, R. E. (2012). Magnetic Methods. In *Applied Geophysics*. <https://doi.org/10.1017/cbo9781139167932.007>.
- Tobing, J.B.L. (2023). Identifikasi Lapisan Batuan Bawah Permukaan Berdasarkan Metode Gaya Berat di Daerah Prospek Panas Bumi Suoh, Lampung Barat. *Skripsi*. Universitas Lampung: Lampung
- Van Bemmelen, R. W. (1949). *The Geology of Indonesia*. Government Printing Office, The Hague. Netherland.
- Walidah, I. F. (2011). Penentuan Struktur Bawah Permukaan Berdasarkan Analisa Dan Pemodelan Data Gayaberat Untuk Melihat Potensi Hidrokarbon Pada Daerah “Fw1807” Cekungan Jawa Timur Utara. *Skripsi*. Fmipa - Ui, 34–35.