

**PEMODELAN 3D STRUKTUR SESAR LAMPUNG - PANJANG
MENGUNAKAN METODE GAYABERAT UNTUK ANALISIS POTENSI
AKTIVITAS SESAR**

(Skripsi)

Oleh

Nazhifah Ananda Yeri

2115051059



**JURUSAN TEKNIK GEOFISIKA
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
2026**

**PEMODELAN 3D STRUKTUR SESAR LAMPUNG - PANJANG
MENGUNAKAN METODE GAYABERAT UNTUK ANALISIS POTENSI
AKTIVITAS SESAR**

**Oleh
Nazhifah Ananda Yeri**

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**

2026

ABSTRAK

PEMODELAN 3D STRUKTUR SESAR LAMPUNG - PANJANG MENGUNAKAN METODE GAYABERAT UNTUK ANALISIS POTENSI AKTIVITAS SESAR

Oleh

Nazhifah Ananda Yeri

Wilayah Lampung merupakan zona tektonik aktif yang dipengaruhi oleh Sistem Sesar Sumatra, salah satunya Sesar Lampung–Panjang yang berpotensi menimbulkan bahaya kegempaan, terutama bagi wilayah Bandar Lampung dan sekitarnya. Penelitian ini bertujuan untuk memodelkan struktur tiga dimensi (3D) Sesar Lampung–Panjang menggunakan metode gayaberat serta menganalisis potensi aktivitas sesarnya. Data yang digunakan berupa data gayaberat satelit GGMplus dan data topografi DEMNAS. Metode penelitian meliputi koreksi gayaberat, perhitungan Anomali Bouguer Lengkap, pemisahan anomali regional dan residual menggunakan analisis spektral dan filter moving average, serta analisis turunan First Horizontal Derivative (FHD) dan Second Vertical Derivative (SVD). Interpretasi kualitatif dilakukan berdasarkan pola sebaran anomali dan kesesuaiannya dengan kondisi geologi regional, sedangkan interpretasi kuantitatif diperoleh dari estimasi kedalaman sumber anomali dan parameter geometri sesar. Hasil penelitian menunjukkan nilai Anomali Bouguer Lengkap berkisar antara 54-84 mGal dengan pola kelurusan berarah barat laut-tenggara yang berasosiasi dengan Sesar Lampung-Panjang. Pemodelan inversi 3D memperlihatkan zona kontras densitas yang merepresentasikan struktur sesar dan mengindikasikan bahwa Sesar Lampung-Panjang berpotensi aktif secara tektonik.

Kata kunci: Metode Gayaberat, Anomali Bouguer Lengkap, Pemodelan 3D, Sesar Lampung-Panjang.

ABSTRACT

PEMODELAN 3D STRUKTUR SESAR LAMPUNG - PANJANG MENGUNAKAN METODE GAYABERAT UNTUK ANALISIS POTENSI AKTIVITAS SESAR

By

Nazhifah Ananda Yeri

The Lampung region is an active tectonic zone influenced by the Sumatra Fault System, including the Lampung–Panjang Fault, which poses potential seismic hazards to Bandar Lampung and its surrounding areas. This study aims to model the three-dimensional (3D) structure of the Lampung–Panjang Fault using the gravity method and to analyze its tectonic activity potential. The data used consist of satellite gravity data from GGMplus and topographic data from DEMNAS. The research methodology includes gravity corrections, calculation of the Complete Bouguer Anomaly, separation of regional and residual anomalies using spectral analysis and moving average filtering, and derivative analysis using the First Horizontal Derivative (FHD) and Second Vertical Derivative (SVD) methods. Qualitative interpretation is based on anomaly distribution patterns and their correlation with regional geological conditions, while quantitative interpretation is derived from estimated anomaly source depths and fault geometry parameters. The results show that the Complete Bouguer Anomaly values range from 54 to 84 mGal, forming northwest–southeast linear patterns associated with the Lampung–Panjang Fault. Spectral analysis indicates regional anomaly depths of approximately 1.4–2.8 km and shallow residual anomalies at depths of about 140–200 m. The 3D inversion modeling reveals density contrast zones representing fault structures and indicates that the Lampung–Panjang Fault has potential tectonic activity.

Keywords: Gravity Method, Complete Bouguer Anomaly, 3D Modeling, Lampung-Panjang Fault.

Judul Skripsi : **PEMODELAN 3D STRUKTUR SESAR
LAMPUNG - PANJANG MENGGUNAKAN
METODE GAYABERAT UNTUK ANALISIS
POTENSI AKTIVITAS SESAR**

Nama Mahasiswa : **Nazhifah Ananda Yeri**

Nomor Pokok Mahasiswa: **2115051059**

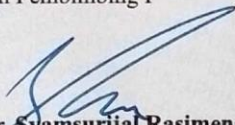
Program Studi : **Teknik Geofisika**

Fakultas : **Teknik**

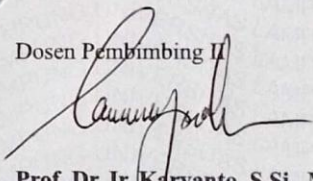


1. Komisi Pembimbing

Dosen Pembimbing I


**Dr. Ir. Syamsurijal Rasimeng, S.Si., M.Si.,
C.EIA., IPM.**
NIP. 197307162000121002

Dosen Pembimbing II

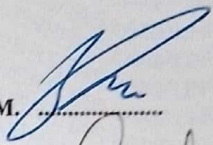

Prof. Dr. Ir. Karyanto, S.Si., M.T.
NIP. 196912301998021001

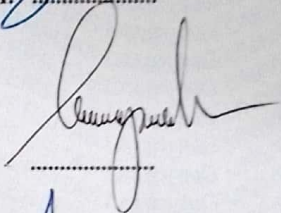
2. Ketua Jurusan Teknik Geofisika

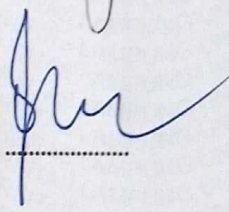

Dr. Ir. Syamsurijal Rasimeng, S.Si., M.Si., C.EIA., IPM.
NIP. 197307162000121002

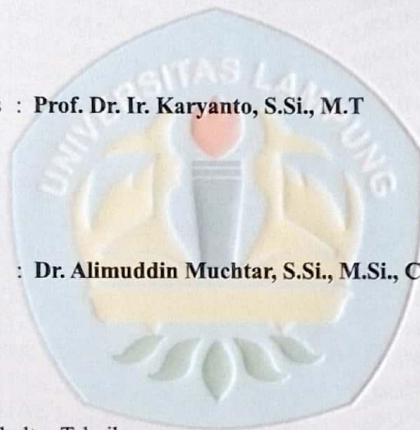
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

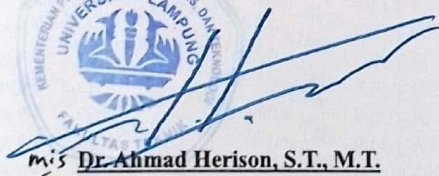
Ketua : Dr. Ir. Syamsurijal R, S.Si., M.Si., C.EIA., IPM. 

Sekretaris : Prof. Dr. Ir. Karyanto, S.Si., M.T 

Anggota : Dr. Alimuddin Muchtar, S.Si., M.Si., C.EIA. 



2. Dekan Fakultas Teknik

 Dr. Ahmad Herison, S.T., M.T.

NIP. 196910302000031001

Tanggal Lulus Ujian Skripsi: 13 Februari 2026

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi saya yang berjudul “Pemodelan 3D Struktur Sesar Lampung-Panjang Menggunakan Metode Gayaberat Untuk Analisis Potensi Aktivitas Sesar” adalah hasil kerja saya sendiri yang berdasarkan pengalaman, pengetahuan dan data yang telah saya dapatkan. Karya ini tidak berisi material yang telah dipublikasikan sebelumnya atau dengan kata lain bukanlah hasil plagiat karya orang lain. Adapun kutipan tertentu dalam penulisan skripsi ini terdapat karya atau pendapat orang lain yang ditulis menurut sumbernya sebagaimana disebutkan dalam daftar pustaka secara jelas sesuai dengan norma, kaidah dan etika penulisan ilmiah.

Demikianlah pernyataan ini saya buat dan dapat dipertanggungjawabkan. Apabila saya tidak benar maka saya bersedia dikenakan sanksi sesuai dengan hukum yang berlaku

Bandar Lampung, 14 Februari 2026

Penulis



Nazhifah Ananda Yeri

NPM. 2115051059

RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama lengkap Nazhifah Ananda Yeri, lahir di Kota Payakumbuh, Provinsi Sumatera Barat, pada tanggal 2 Februari 2003. Penulis merupakan anak pertama dari tiga bersaudara, putri dari pasangan Bapak Yeriswanto dan Ibu Rika Andriani. Penulis memulai pendidikan formal di TK Negeri Pembina Barat Kota Payakumbuh pada tahun 2008, SDN 02 Payakumbuh pada tahun 2009, SMPN 1 Payakumbuh pada tahun 2015, dan SMAN 1 Payakumbuh pada tahun 2018. Pada tahun 2021, penulis melanjutkan pendidikan tinggi di Jurusan Teknik Geofisika, Fakultas Teknik, Universitas Lampung melalui jalur Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SNMPTN).

Selama menempuh pendidikan di perguruan tinggi, penulis aktif dalam berbagai kegiatan. Pada tahun 2023, penulis menjadi anggota Himpunan Mahasiswa Teknik Geofisika Bhuwana (HIMA TG Bhuwana) menjadi pengurus di Biro Dana dan Usaha selama dua periode. Pada tahun yang sama, Penulis juga menjadi anggota bidang Fieldtrip dalam HAGI UNILA SC dengan periode yang sama. Pada tahun 2023 tersebut penulis menjadi *helper* mata kuliah Kuliah Lapangan Jurusan Teknik Geofisika angkatan 2020. Pada tahun 2024 penulis menjadi ketua bidang konsumsi dalam mata kuliah Kuliah Lapangan angkatan 2021 yang mengatur konsumsi dosen, asisten dosen, *helper*, dan peserta Kuliah Lapangan.

Penulis menjalankan kegiatan Kerja Praktik (KP) di bulan Maret 2025 di Pusat Survei Geologi (PSG), Badan Geologi, Kementrian Energi dan Sumber Daya Mineral, Bandung dengan laporan KP berjudul “Analisis Struktur Patahan Daerah Bogor, Jawa Barat Menggunakan Metode SVD Serta Pemodelan 3D Gayaberat”.

Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Geofisika pada Fakultas Teknik Universitas Lampung, penulis menyusun skripsi yang berjudul “Pemodelan 3D Struktur Sesar Lampung–Panjang Menggunakan Metode Gayaberat Untuk Analisis Potensi Aktivitas Sesar” dari bulan November 2025 hingga bulan Februari 2026. Demikian riwayat hidup ini disusun dengan sebenarnya untuk digunakan sebagaimana mestinya.

Bandar Lampung, 14 Februari 2026

Penulis,

A handwritten signature in dark ink, appearing to be 'Nazhifah Ananda Yeri', written in a cursive style.

Nazhifah Ananda Yeri

NPM. 2115051059

PERSEMBAHAN

Dengan penuh rasa syukur serta rasa terimakasih yang luar biasa, karya ini saya persembahkan dengan penuh cinta dan bangga kepada:

Ayah dan Bunda tercinta

Ayah Yerisiswanto & Bunda Rika Andriani

Atas segala doa yang selalu dipanjatkan dalam setiap langkah besar dalam hidup, kasih sayang yang tidak ternilai dengan apapun, serta pengorbanan luar biasa dalam membesarkan penulis hingga kini. Terima kasih selalu ada dalam kehidupan penulis yang tidak sempurna dan banyak kurangnya ini.

Terimakasih tertinggi terhaturkan pada Allah SWT, Maha Pengasih dan Maha Penolong bagi hamba-Nya yang meminta pertolongan, karena atas izin dan rahmat-Nya, skripsi ini dapat terselesaikan. Semoga segala sesuatu yang dilakukan untuk meraih gelar ini, begitupun kehidupanku setelahnya, menjadi amal jariyah dan kebanggaan bagi Ayah dan Bunda di dunia maupun di akhirat.

MOTTO

“Janganlah kamu lemah dan jangan bersedih hati, padahal kamu paling tinggi derajatnya jika beriman.” - QS. Ali ‘Imran: 139

“Nan luruih ditampuah, nan bana ditagakkan.”

“Hakuna matata.” - Film The Lion King

“Don't stop believing how you got here, Hold on to that feelin', Gonna make it far enough” - Enough by ATEEZ

“Be yourself and you'll be fine.” - Nara Shikamaru ‘Naruto’

“As long as the story continues, there is still hope.” - Novel Omniscient Reader’s Viewpoint

“Kamu boleh takut, boleh malas, boleh nggak percaya diri, tapi tetap maju meskipun pelan. Selalu ada doa dari orang tua dan orang-orang terdekat. Pastikan selalu berdoa kepada Allah. InsyaAllah segala urusan akan dimudahkan.”

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah rabbil ‘aalamiin, segala puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT atas limpahan rahmat, kasih sayang, serta petunjuk-Nya. Berkat karunia dan pertolongan-Nya, penulis dapat menyelesaikan penyusunan skripsi yang berjudul **“Pemodelan 3D Struktur Sesar Lampung-Panjang Menggunakan Metode Gayaberat Untuk Analisis Potensi Aktivitas Sesar”** dengan baik dan lancar.

Penyusunan skripsi ini tentunya tidak terlepas dari dukungan, bantuan, dan doa dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada seluruh pihak yang telah membantu, baik secara langsung maupun tidak langsung, dalam proses penyelesaian skripsi ini. Penulis menyadari bahwa masih terdapat kekurangan dalam penulisan skripsi ini, baik dari segi isi maupun penyajian. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan adanya kritik dan saran yang membangun demi kesempurnaan karya ini di masa mendatang.

Akhir kata, penulis berharap semoga skripsi ini memberikan manfaat, dapat menambah wawasan, serta menjadi inspirasi bagi para pembaca.

Bandar Lampung, 14 Februari 2026

Penulis,



Nazhifah Ananda Yeri

NPM. 2115051059

SANWACANA

Segala puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT, atas segala rahmat, karunia dan petunjuk-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik. Skripsi ini berjudul **“Pemodelan 3D Struktur Sesar Lampung-Panjang Menggunakan Metode Gayaberat Untuk Analisis Potensi Aktivitas Sesar”**. Penyusunan skripsi ini merupakan salah satu tahap akhir dalam proses perkuliahan yang tidak terlepas dari berbagai tantangan, kesulitan, kesabaran, dan pembelajaran berharga. Skripsi ini merupakan hasil dari proses panjang yang tidak dapat penulis lalui seorang diri. Banyak pihak yang berkontribusi dan berperan besar dalam memberi dukungan, nasihat dan semangat. Oleh karena itu, dengan rasa hormat, penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Dr. Ahmad Herison, S.T., M.T., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung.
2. Bapak Dr. Ir. Syamsurijal Rasimeng, S.Si., M.Si., C.EIA., IPM., selaku Ketua Jurusan Teknik Geofisika Universitas Lampung.
3. Bapak Dr. Ir. Syamsurijal Rasimeng, S.Si., M.Si., C.EIA., IPM., selaku dosen pembimbing I tugas akhir penulis serta pembimbing akademik, yang telah membimbing, memberikan arahan, saran, masukan dan koreksi, serta selalu memberikan semangat dan dukungan kepada penulis, tidak hanya selama proses penyusunan skripsi ini, melainkan sepanjang proses perkuliahan.
4. Bapak Prof. Dr. Ir. Karyanto, S.Si., M.T., selaku dosen pembimbing II tugas akhir penulis yang telah memberikan arahan, saran, masukan dan koreksi, serta selalu membimbing penulis selama proses penyelesaian skripsi ini.

5. Bapak Dr. Alimuddin Muchtar, S.Si., M.Si., C.EIA., selaku dosen penguji tugas akhir penulis yang telah memberikan masukan, saran, serta motivasi kepada penulis, sehingga dapat membangun dalam penyempurnaan skripsi ini.
6. Seluruh dosen dan civitas akademika Jurusan Teknik Geofisika Universitas Lampung yang telah memberikan banyak sekali ilmu, pembelajaran serta motivasi yang bermanfaat dan berharga untuk penulis selama penulis berkuliah.
7. Bapak Yerisiswanto, S.T., M.T. dan Ibu Rika Andriani, S.Pd. selaku orang tua penulis, yang selalu memberikan doa, kasih sayang, *support*, baik secara mental, fisik, dan finansial; semangat tiada henti setiap harinya. Serta kepercayaan yang luar biasa sejak awal penulis memilih langkah ini. Sehat dan bahagia selalu menyertai.
8. Athallah Ananda Yeri dan Tazkia Malahati Ananda Yeri selaku adik dari penulis, atas segala motivasi, dukungan, semangat, dan waktu yang diberikan untuk menemani penulis dalam masa skripsi. Semangat selalu dalam meraih pendidikan.
9. “Anak Kost” Early, Hanna, Muthia, Nabila, Meisha, Annisa, Jihan, dan Raevana, yang sudah kebersamaan dan menjadi rumah kedua sejak awal perkuliahan. Terimakasih atas segala *effort* dan waktu yang diberikan selama menjalani masa-masa berjuang. Bahagia dan sukses selalu ku doakan untuk kalian semua. *We've come a long way from where we began and I'll tell you all about it when I see you again.*
10. “Penghuni Lab Petro” Ayus, Fadhil, Finka, Sandik, Opik, Farhan, Pangal, dll yang tidak bisa disebutkan satu persatu, yang selalu *stay* di petro setiap hari, sehingga penulis masih merasakan euforia perkuliahan walaupun tidak ada kelas lagi. Terimakasih atas waktu dan bantuannya.
11. Keluarga besar Teknik Geofisika 2021 “Breksi“, sebagai keluarga kedua penulis. Terimakasih atas segala kenangan indah yang tercipta sejak awal hingga akhir perkuliahan. Terimakasih sudah memberikan pelajaran dan ilmu yang berharga untuk hidup. Semoga bertemu lagi di versi terbaik masing-masing.

12. Terakhir, kepada diri sendiri, Nazhifah Ananda Yeri. Terima kasih telah melalui setiap fase dengan sabar, meski sering kali harus berjalan dalam sunyi. Terima kasih karena tetap berdiri ketika lelah, tetap percaya ketika ragu, dan tetap berusaha ketika hasil belum terlihat. Semoga langkah ini menjadi awal dari perjalanan yang lebih luas, dengan hati yang tetap rendah dan tekad yang terus tumbuh, diiringi doa serta restu orang tua yang selalu menguatkan.

Serta kepada seluruh pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu, penulis mengucapkan terima kasih atas segala bentuk dukungan, bantuan, dan doa yang telah diberikan. Semoga Allah SWT membalas setiap kebaikan tersebut dengan keberkahan yang melimpah.

Bandar Lampung, 14 Februari 2026

Penulis,

A handwritten signature in dark ink, featuring a stylized 'N' and 'A' that flow into each other, with a horizontal line at the bottom.

Nazhifah Ananda Yeri

NPM.2115051059

DAFTAR ISI

ABSTRAK	iii
ABSTRACT	iv
PERNYATAAN.....	vii
RIWAYAT HIDUP.....	viii
PERSEMBAHAN.....	x
MOTTO	xi
KATA PENGANTAR.....	xii
SANWACANA.....	xiii
DAFTAR ISI.....	xvi
DAFTAR GAMBAR	xix
DAFTAR TABEL	xxi
I. PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Batasan Masalah.....	4
II. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Lokasi Daerah Penelitian	5
2.2 Geologi Regional Daerah Penelitian	6
2.3 Stratigrafi Regional Daerah Penelitian	7
2.3.1 Urutan pra-Tersier	7
2.3.2 Urutan Tersier.....	8
2.3.3 Urutan Kuartar.....	8

2.3.4 Batuan terobosan	8
2.4 Aktivitas Sesar Lampung Panjang	9
2.5 Penelitian Terdahulu.....	9
III. TEORI DASAR	13
3.1 Konsep Dasar Metode Gayaberat.....	13
3.1.1 Hukum Newton I	13
3.1.2 Percepatan Gravitasi (Hukum Newton II)	14
3.1.3 Rapat Massa Batuan	14
3.2 Koreksi-Koreksi Dalam Metode Gayaberat.....	16
3.2.1 Koreksi Pasang Surut (Tidal Correction)	16
3.2.2 Koreksi Apungan (Drift Correction)	16
3.2.3 Koreksi Lintang (Latitude Correction).....	17
3.2.4 Koreksi Udara Bebas (Free Air Correction).....	17
3.2.5 Koreksi Bouguer (Bouguer Corretion).....	18
3.2.6 Koreksi Medan (Terrain Correction).....	19
3.2.7 Penentuan Densitas Permukaan Menggunakan Metode Parasnis	19
3.2.8 Penentuan Densitas Permukaan Menggunakan Metode Nettleton.....	20
3.3 Analisis Spektral	21
3.4 Moving Average	24
3.5 Metode First Horizontal Derivative (FHD)	25
3.6 Metode Second Vertical Derivative (SVD).....	25
3.7 Inverse Modelling	28
3.8 Aktifitas Tektonik.....	30
3.8.1 Sesar (Fault).....	30
3.8.2 Hubungan Sesar dengan Pemodelan 3D Inversi Gaya Berat.....	30
3.8.3 Keterkaitan Sesar dengan Data Seismisitas Historis dan Potensi Aktivitas Sesar	31

IV. METODELOGI PENELITIAN.....	32
4.1 Waktu dan Tempat Penelitian.....	32
4.2 Alat dan Bahan	32
4.3 Tahapan Penelitian	32
4.4 Diagram Alir.....	35
V. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	36
5.1 Hasil	36
5.1.1 Anomali Bouguer Lengkap	36
5.1.2 Analisis Spektrum	38
5.1.3 Moving Average.....	44
5.1.4 Anomali Regional.....	45
5.1.5 Anomali Residual	46
5.2 Pembahasan.....	48
5.2.1 Analisis Derivatif.....	48
5.2.2 Perbandingan grafik FHD dan SVD pada setiap slice.....	51
5.2.3 Pemodelan 3D Bawah Permukaan Daerah Penelitian	56
5.2.4 Aktivitas Sesar lampung-Panjang.....	58
VI. KESIMPULAN DAN SARAN	60
6.1 Kesimpulan	60
6.2 Saran.....	61
DAFTAR PUSTAKA.....	62

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Peta Daerah Penelitian	5
Gambar 2. Peta geologi daerah penelitian	7
Gambar 3. Gaya tarik menarik antara dua benda (Blakely, 1996).....	13
Gambar 4. Grafik metode parasnis (Telford, dkk., 1990).....	20
Gambar 5. Grafik Hubungan Sebaran Penampang Anomali Bouguer dengan Penampang Topografi (Wuenschel dan Nettleton, 1971)	21
Gambar 6. Kurva $\ln A$ terhadap k (Blakely, 1996)	23
Gambar 7. Filter SVD untuk penentuan jenis dan kemiringan bidang sesar (Sumintadireja, Dahrin, & Grandis, 2018).....	28
Gambar 8. Diagram Alir	35
Gambar 9. Peta Anomali Bouguer Lengkap	37
Gambar 10. Peta ABL dan Lintasan Analisis Spektrum	38
Gambar 11. Grafik $\ln A$ vs k pada Lintasan A-A'	39
Gambar 12. Grafik $\ln A$ vs k pada Lintasan B-B'	40
Gambar 13. Grafik $\ln A$ vs k pada Lintasan C-C'	41
Gambar 14. Grafik $\ln A$ vs k pada Lintasan D-D'	42
Gambar 15. Grafik $\ln A$ vs k pada Lintasan E-E'	43
Gambar 16. Anomali Regional Daerah Penelitian	45
Gambar 17. Anomali Residual Daerah Penelitian	46
Gambar 18. Perbandingan Peta Anomali Residual dan Peta Geologi Daerah Penelitian.....	47
Gambar 19. Peta Anomali <i>First Horizontal Derivative</i> (FHD)	48
Gambar 20. Peta Anomali <i>Second Vertical Derivative</i> (SVD)	49
Gambar 21. Peta Lintasan FHD	50
Gambar 22. Peta Lintasan SVD	50
Gambar 23. Perbandingan grafik FHD dan SVD pada lintasan A-A'	51

Gambar 24. Perbandingan grafik FHD dan SVD pada lintasan B-B'	51
Gambar 25. Perbandingan grafik FHD dan SVD pada lintasan C-C'	52
Gambar 26. Perbandingan grafik FHD dan SVD pada lintasan D-D'	52
Gambar 27. Perbandingan grafik FHD dan SVD pada lintasan E-E'	53
Gambar 28. Pemodelan 3D gayaberat pada Software Bloxer	56
Gambar 29. Penampang Horizontal 3D Gayaberat di software Bloxer	57
Gambar 30. Peta Anomali Residual dan Titik Gempa.....	58

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Nilai densitas batuan (Telford, dkk., 1990)	15
Tabel 2. Operator SVD (Henderson & Zietz, 1949)	26
Tabel 3. Operator SVD (Elkins, 1951)	27
Tabel 4. Operator SVD (Rosenbach, 1952)	27
Tabel 5. Tabel Jadwal Penelitian	34
Tabel 6. Kedalaman anomali regional dan residual lintasan A-E.....	43
Tabel 7. Tabel Ringkasan Segmen - Jenis Patahan.....	53

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar belakang

Indonesia merupakan salah satu negara yang terletak pada jalur cincin api Pasifik (*ring of fire*), di mana aktivitas tektonik, vulkanik, dan seismik sangat tinggi. Posisi Indonesia yang berada di pertemuan tiga lempeng utama dunia, yaitu Lempeng Indo-Australia, Eurasia, dan Pasifik, menjadikan wilayah ini rawan terhadap terjadinya gempa bumi dan aktivitas tektonik lainnya (Hall, 2012). Kondisi geologi tersebut menyebabkan keberadaan sesar aktif menjadi salah satu faktor penting yang memengaruhi dinamika tektonik di Indonesia.

Salah satu struktur geologi penting di wilayah Sumatera bagian selatan adalah Sesar Lampung-Panjang. Sesar ini merupakan bagian dari sistem Sesar Besar Sumatera yang terbentang sepanjang lebih dari 1.900 km dari Aceh hingga Teluk Semangko (Sieh & Natawidjaja, 2000). Keberadaan sesar ini berperan penting dalam pembentukan morfologi, stratigrafi, serta potensi kegempaan di Provinsi Lampung. Beberapa penelitian terdahulu menyebutkan bahwa sesar ini masih aktif hingga saat ini, ditandai dengan aktivitas seismik di sekitar Teluk Semangka, Bandar Lampung, dan sekitarnya (Natawidjaja, dkk., 2006). Fakta historis mencatat bahwa kawasan Lampung telah beberapa kali mengalami guncangan gempa yang diperkirakan berasosiasi dengan aktivitas sesar Lampung-Panjang. Misalnya, gempa besar yang terjadi di Teluk Semangka pada abad ke-19 diyakini terkait dengan pergerakan sesar tersebut (Irsyam, 2010). Hal ini menunjukkan bahwa sesar Lampung-Panjang memiliki potensi bahaya tektonik yang signifikan, terutama bagi pusat aktivitas penduduk seperti Kota Bandar Lampung yang berada dekat dengan zona sesar.

Kajian tentang struktur sesar Lampung-Panjang telah dilakukan dengan berbagai metode geofisika dan geologi. Beberapa penelitian menggunakan

data seismik maupun citra satelit untuk mengidentifikasi jalur sesar (Malod, dkk., 1995; Daryono, 2016). Namun, studi yang mengintegrasikan pemodelan bawah permukaan secara tiga dimensi (3D) masih relatif terbatas. Padahal, pemodelan 3D struktur geologi dapat memberikan gambaran yang lebih akurat mengenai geometri, kedalaman, dan arah pergerakan sesar, sehingga bermanfaat dalam menilai potensi aktivitas tektoniknya.

Metode gayaberat (*gravity method*) merupakan salah satu metode geofisika yang efektif dalam mengidentifikasi struktur bawah permukaan, termasuk sesar. Perbedaan densitas batuan akan menghasilkan anomali gayaberat yang dapat diinterpretasikan untuk mengetahui pola struktur geologi (Telford, dkk., 1990). Melalui pemodelan 3D, data gayaberat dapat dimanfaatkan untuk memperoleh gambaran distribusi densitas bawah permukaan dan memperkirakan geometri sesar Lampung-Panjang secara lebih detail.

Hingga saat ini, kajian mengenai pemodelan 3D struktur sesar Lampung-Panjang menggunakan metode gayaberat belum banyak dilakukan secara komprehensif. Sebagian besar penelitian lebih berfokus pada identifikasi jalur sesar secara umum atau menggunakan pendekatan seismik. Oleh karena itu, terdapat gap penelitian dalam hal representasi spasial 3D struktur sesar Lampung-Panjang berdasarkan metode gayaberat.

Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini bertujuan untuk melakukan pemodelan 3D sesar Lampung-Panjang menggunakan metode gayaberat. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam memahami geometri bawah permukaan sesar Lampung-Panjang serta menilai potensi aktivitas tektoniknya. Selain itu, hasil pemodelan ini juga dapat digunakan sebagai dasar bagi kajian kebencanaan geologi dan perencanaan pembangunan wilayah di sekitar Bandar Lampung dan Teluk Semangka yang rawan terhadap bahaya gempa bumi.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut, permasalahan yang akan dikaji dalam penelitian ini yaitu:

1. Bagaimana karakteristik sebaran anomali medan gayaberat di sekitar jalur Sesar Lampung-Panjang?
2. Bagaimana model struktur tiga dimensi (3D) Sesar Lampung-Panjang berdasarkan hasil pemodelan inversi 3D data gayaberat?
3. Bagaimana potensi aktivitas tektonik Sesar Lampung-Panjang berdasarkan model 3D yang dihasilkan?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini yaitu:

1. Interpretasi kualitatif pola sebaran batuan bawah permukaan berdasarkan data Anomali Bouguer Lengkap.
2. Pemodelan 3D bawah permukaan Sesar Lampung-Panjang melalui data gayaberat.
3. Menganalisis hubungan antara struktur Sesar Lampung-Panjang dari hasil pemodelan residual dengan potensi aktivitas sesar di wilayah Lampung.

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Manfaat Ilmiah: Memberikan kontribusi terhadap pemahaman mengenai geometri 3D dan kinematika Sesar Lampung-Panjang. Selain itu, penelitian ini juga dapat menjadi contoh aplikasi metode gayaberat dalam pemodelan struktur sesar aktif di Indonesia.
2. Manfaat Praktis: Hasil penelitian dapat dijadikan sebagai data dasar dan masukan untuk kajian mitigasi bencana gempa bumi, perencanaan tata ruang, dan penelitian seismotektonik yang lebih detail di wilayah Lampung.

1.5 Batasan Masalah

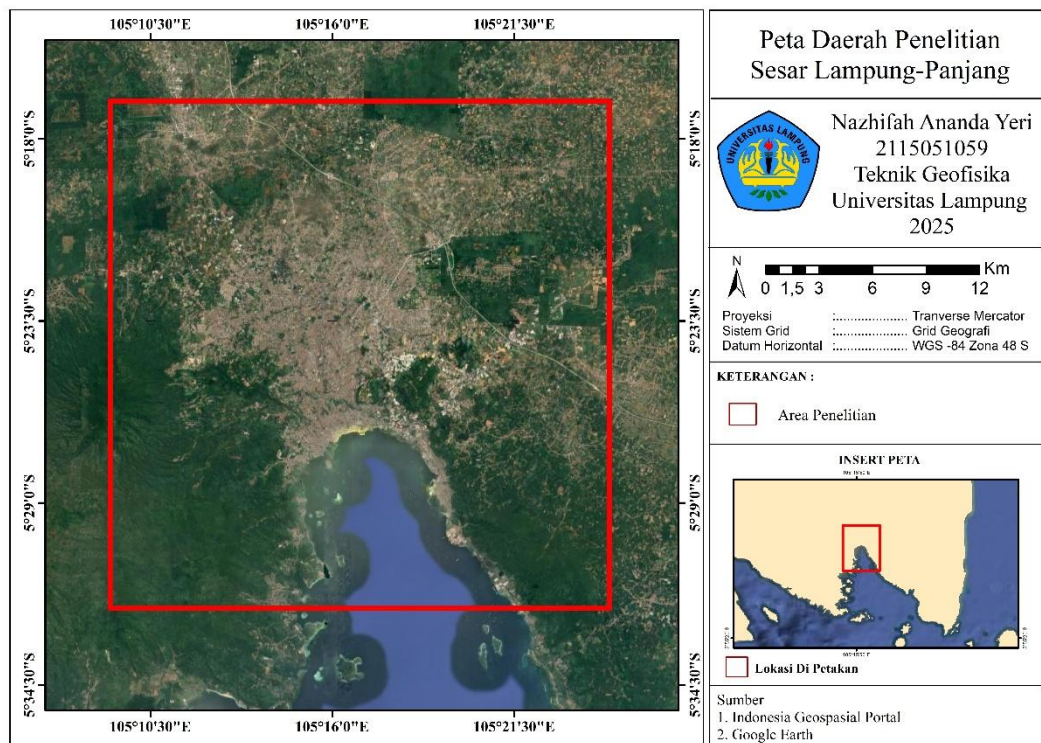
Agar penelitian ini tetap fokus dan tujuan penelitian dapat tercapai, maka diberikan batasan masalah sebagai berikut:

1. Data gayabarat yang digunakan adalah data satelit dari model global GGMplus
2. Data topografi yang digunakan untuk koreksi medan berasal dari DEMNAS dengan resolusi 1 arc-second.
3. Pemodelan 3D dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak berbasis inversi, seperti Grav3D atau Grablox dan Bloxer.
4. Analisis potensi aktivitas tektonik terutama didasarkan pada parameter geometri sesar (kedalaman, *dip*) dan dikonfirmasi dengan data seismisitas historis.
5. Daerah penelitian dibatasi pada koordinat 105°10'-105°22' BT dan 5°20'-5°30' LS yang mencakup indikasi jalur Sesar Lampung-Panjang.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Lokasi Daerah Penelitian

Daerah penelitian berada di sekitar Kota Bandar Lampung dan Kecamatan Panjang, Provinsi Lampung. Secara geografis terletak pada koordinat sekitar $105^{\circ}10' - 105^{\circ}22'$ BT dan $5^{\circ}20' - 5^{\circ}30'$ LS. Wilayah ini mencakup bagian utara Teluk Lampung hingga perbukitan selatan Bandar Lampung. Area ini termasuk ke dalam zona tektonik aktif di ujung selatan Pulau Sumatra yang dipengaruhi oleh interaksi antara Lempeng Indo-Australia dan Lempeng Eurasia.



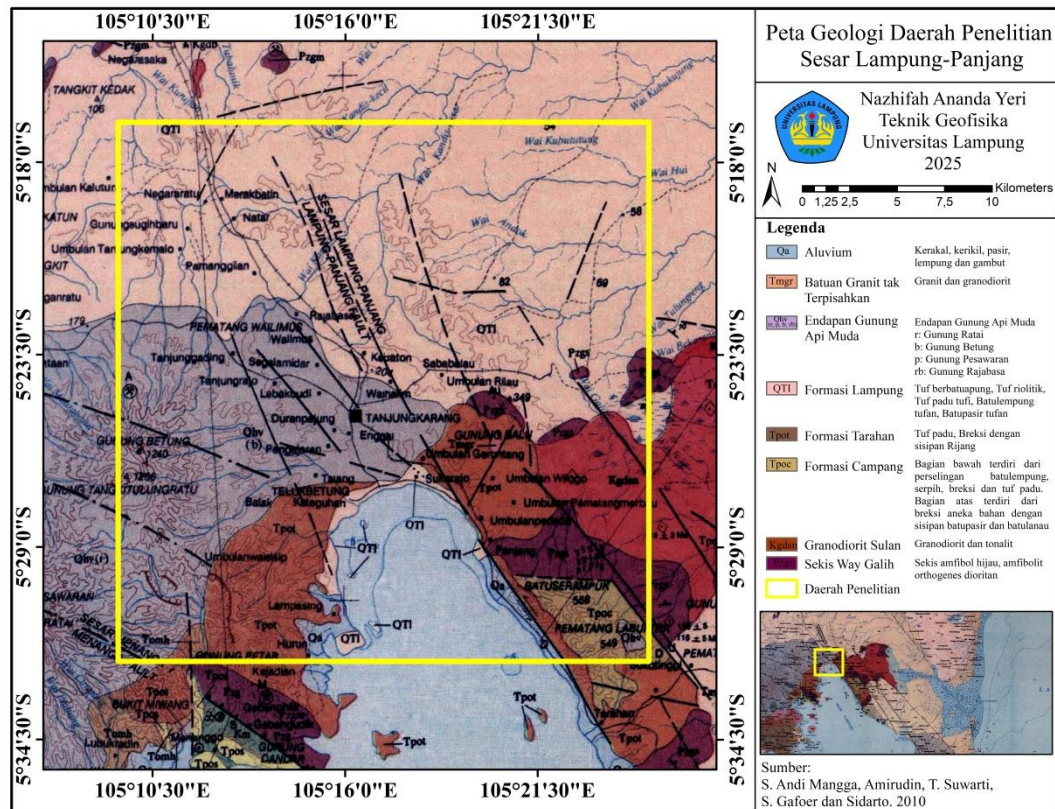
Gambar 1. Peta daerah penelitian Sesar Lampung-Panjang

2.2 Geologi Regional Daerah Penelitian

Wilayah Lampung secara geografis berada di bagian paling selatan Pulau Sumatra dan termasuk ke dalam zona tektonik aktif Indonesia bagian barat. Secara regional, kondisi geologi Lampung dikontrol oleh interaksi konvergen antara Lempeng Indo-Australia yang menunjam ke bawah Lempeng Eurasia sepanjang zona subduksi Sumatra-Jawa. Pola tumbukan yang bersifat miring ini menghasilkan deformasi kerak yang kompleks, ditandai oleh perkembangan busur magmatik Sunda serta sistem sesar mendatar berarah baratlaut-tenggara yang dikenal sebagai Sistem Sesar Sumatra (Sieh & Natawidjaja, 2000).

Secara fisiografi, Lampung tersusun atas beberapa satuan morfotektonik utama, yaitu Pegunungan Bukit Barisan di bagian barat, dataran bergelombang di bagian tengah, serta dataran rendah dan pesisir di bagian selatan dan timur. Daerah penelitian yang meliputi wilayah Bandar Lampung hingga Panjang berada pada zona peralihan antara perbukitan vulkanik Bukit Barisan dan dataran pesisir Teluk Lampung. Posisi ini menyebabkan daerah penelitian memiliki variasi litologi yang beragam dan struktur geologi yang intens.

Geologi Lembar Tanjung Karang ditunjukkan pada Gambar 2, terdiri dari Kompleks Gunung Kasih (Pzg) yang terdiri dari batuan malihan (metamorphic rocks), ditafsirkan merupakan satuan geologi tertua pada lembar Tanjung Karang. Batuan ini terdiri dari sekis, gnes, kuarsit dan pualam yang tersingkap direruntuhan batuan penutup kuartar dan sentuhan tektonik dengan sedimen kapur. Batuan tersebut dianggap berumur karbon awal atau lebih tua dan kemungkinan besar mewakili contoh batuan alas kristalin yang mengalasi cekungan sedimen tersier awal yang luas di lajur busur-belakang. Formasi Lampung (Qtl) yang ditafsirkan mendominasi hampir seluruh wilayah pada lembar Tanjung Karang ini terdiri dari batuan riolit-tufan dan vulkanoklastik tufan. Kegiatan gunungapi selanjutnya yang berhubungan dengan penunjaman lempeng Samudera Hindia, terjadi diseluruh busur pegunungan barisan selama tersier yang menghasilkan batuan tuf, lava dan breksi gunungapi bersusunan riolitbasal. Proses pengendapan selama holosen menghasilkan endapan aluvium, batugamping dan rawa.



Gambar 2. Peta geologi daerah penelitian Sesar Lampung-Panjang (S. Andi Mangga, dkk. 2010)

2.3 Stratigrafi Regional Daerah Penelitian

2.3.1 Urutan pra-Tersier

Batuan tertua yang tersingkap adalah runtunan batuan malihan yang terdiri dari migmatite, sekis, genes, pualam dan kuarsit, yang termasuk Kompleks Gunungkasih (Pzg). Dalam Lembar ini Kompleks Gunungkasih (Pzg) terdiri dari sekis kuarsa pelitik dan grafitik, pualam dan sekis gampingan, kuarsit sensit, migmatit, sekis amfibol dan ortogenes. Runtutan sedimen-malihan dan batuan beku-malihan yang terdiri dari sekis, kuarsit, pualam, genes dan sedikit migmatit. Sekis, terdiri dari dua jenis: sekis kuarsa-mika granit & sekis amfibol. Pada umumnya satuan-satuan litologi utama merupakan serpihan atau keratan yang berarah lebih kurang barat laut-tenggara (Mangga, dkk. 1993).

2.3.2 Urutan Tersier

Batuan Tersier yang tersingkap di Lembar Tanjungkarang terdiri dari runtunan batuan gunungapi busur benua dan sedimen yang diendapkan di tepi busur gunungapi, yang diendapkan bersama-sama secara luas, yaitu Formasi-formasi Campang dan Tarahan.

Batuan Gunungapi Formasi Tarahan (Tpot) terdiri dari terutama tuf dan breksi tufan dengan sedikit lava, bersusunan andesit-basal. Batuan piroklastika Formasi Tarahan (Tpot) yang menyebar ke arah mendatar berubah menjadi turbidit Formasi Campang (Tpoc) yang terdiri dari batulempung, serpih, klastika gampingan, tuf dan breksi konglomeratan polimik. Kandungan batuan piroklastika Formasi Tarahan (Tpot) dan batuan klastika serta batuan tufan Formasi Campang (Tpoc), sangat mirip.

Formasi Lampung (QTI) diendapkan di lingkungan terestrial-fluvial air payau akibat sedimentasi material vulkanis pada zaman kwarter (Pliosen-Plistosen). Terdiri dari batuan tuff berbatu apung, tuff dan batupasir tufan dengan ketebalan $\pm 200\text{m}$ yang tersebar disebelah Utara hingga Timurlaut daerah penelitian (Mangga, dkk. 1993)

2.3.3 Urutan Kuarter

Urutan Kuarter terdiri dari Aluvium (Qa) dan Satuan Gunung Api Muda (Qhv). Aluvium (Qa) yang tersebar di daerah pedataran pesisir terdiri dari bongkah, kerikil, pasir, lanau, lumpur dan lempung. Konglomerat, kerakal dan pasir. Batugamping terumbu, setempat dengan kalkarenit dan kalsirudit. Lumpur, lanau dan pasir.

Satuan Gunungapi Muda (Qhv) tersebar di sebelah barat pada kawasan Gunung Betung. Terdiri dari lava (andesit-basal), breksi dan tuf. (Mangga, dkk. 1993).

2.3.4 Batuan terobosan

Di daerah penelitian terdapat batuan terobosan berupa batuan granit tak terpisahkan (Tmgr) dan batuan granodiorit sulan (Kgdsn). Batuan granit tak

terpisahkan (Tmgr) tersebar di sebelah tenggara daerah penelitian yang terdiri dari intrusi batuan granit yang menerobos Formasi Hulusimpang yang terbentuk pada kala miosen tengah. Batuan granodiorit sulan (Kgdsn) tersebar di daerah timur penelitian. Formasi ini terdiri dari granodiorit dan tonalit (Mangga, dkk. 1993).

2.4 Aktivitas Sesar Lampung Panjang

Aktivitas sesar di wilayah Lampung merupakan bagian dari dinamika Sistem Sesar Sumatra yang terbentuk sebagai respon terhadap konvergensi miring antara Lempeng Indo-Australia dan Lempeng Eurasia. Sistem sesar ini berkembang memanjang sejajar Bukit Barisan dan bercabang menjadi beberapa segmen lokal di bagian selatan Sumatra, termasuk Sesar Lampung-Panjang.

Sesar Lampung-Panjang diinterpretasikan sebagai sesar mendatar dengan kemungkinan komponen vertikal lokal (Rasimeng, dkk., 2024). Keberadaan sesar ini ditunjukkan oleh kelurusan morfologi, pergeseran satuan batuan, serta kontras sifat fisik batuan bawah permukaan. Beberapa penelitian geofisika menunjukkan bahwa struktur ini masih aktif dan berpotensi mempengaruhi aktivitas seismik di wilayah Bandar Lampung dan sekitarnya.

Penelitian oleh Syamsurijal Rasimeng dan rekan-rekan menunjukkan bahwa analisis data geomagnetik dan gayaberat mampu mengidentifikasi keberadaan serta geometri Sesar Lampung–Panjang hingga kedalaman beberapa kilometer. Variasi anomali Bouguer yang sejajar dengan arah sesar mengindikasikan adanya kontras densitas antar blok batuan yang dipisahkan oleh sesar. Kondisi ini menjadi dasar utama penggunaan metode gayaberat dalam penelitian ini.

2.5 Penelitian Terdahulu

Berikut merupakan penelitian terdahulu yang saya gunakan sebagai acuan

1. *Identification of Regional Rock Depth–Residual Gravity Anomaly Based on Spectrum Analysis of Geothermal Prospect Area of Way Ratai Lamp*

Penelitian ini berhasil memisahkan anomali gaya berat regional dan residual di daerah prospek panas bumi Way Ratai menggunakan analisis spektrum berbasis data satelit GGMPlus resolusi 200 m. Hasil analisis spektrum menunjukkan

estimasi kedalaman batuan dasar dan lapisan dangkal yang berasosiasi dengan sistem panas bumi. Anomali residual mengindikasikan keberadaan struktur geologi lokal seperti sesar dan zona rekahan yang berperan sebagai jalur fluida panas bumi. Studi ini menegaskan bahwa analisis spektrum gayaberat efektif untuk mengidentifikasi kedalaman sumber anomali dan karakter struktur bawah permukaan pada daerah vulkanik–geothermal (Rasimeng, dkk., 2024).

2. *Fault Identification Using Inversion Modeling and Gradient Method of Gravity Data in Bandar Lampung City.*

Hasil akhir penelitian ini menunjukkan bahwa kombinasi pemodelan inversi gayaberat (parametrik/3D) dan analisis gradient mampu mengidentifikasi keberadaan dan geometri patahan aktif di wilayah Kota Bandar Lampung. Peta First Horizontal Derivative dan analisis inversi memperlihatkan kontras densitas yang signifikan, yang diinterpretasikan sebagai zona sesar dengan orientasi dominan searah struktur regional Lampung. Studi ini menegaskan hubungan erat antara anomali gayaberat, aktivitas seismik, dan struktur patahan, serta menunjukkan keunggulan pendekatan inversi 3D untuk memodelkan struktur kompleks di daerah perkotaan (Sarkowi, dkk., 2025).

3. *Fault Reassessment in Way Huwi Area, South Lampung using Gravity Method.*

Penelitian ini menghasilkan reinterpretasi struktur patahan di daerah Way Huwi berdasarkan peta Anomali Bouguer, anomali residual, dan pemodelan gayaberat 2D. Hasil akhir menunjukkan bahwa beberapa struktur patahan yang sebelumnya dipetakan secara geologi mengalami pergeseran posisi dan orientasi setelah dikonfirmasi oleh data gayaberat. Anomali residual yang tajam mencerminkan batas densitas batuan yang dikaitkan dengan sesar lokal. Studi ini membuktikan bahwa metode gayaberat efektif untuk memvalidasi dan memperbarui interpretasi struktur geologi permukaan (Siringoringo, dkk., 2021).

4. *Identification of Hydrocarbons Sub-Basin based on Gravity Data Analysis in Lampung Area.*

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa analisis gayaberat regional-residual yang dikombinasikan dengan metode SVD mampu mendelineasi sub-cekungan hidrokarbon di wilayah Lampung. Anomali regional merepresentasikan struktur

basement regional, sedangkan anomali residual dan hasil SVD menyoroti keberadaan sesar dan batas sub-cekungan. Estimasi kedalaman basement menunjukkan variasi ketebalan sedimen yang signifikan, yang berperan penting dalam sistem perangkap hidrokarbon. Metodologi ini relevan untuk pemodelan struktur regional seperti Sesar Panjang dalam konteks 3D (Sarkowi, dkk., 2021).

5. *Analysis of Subsurface Structure of Bandar Lampung City Based on Gravity Anomalies (2D & 3D modelling).*

Penelitian ini menghasilkan model struktur bawah permukaan Kota Bandar Lampung melalui pemodelan gayaberat 2D dan 3D berdasarkan survei lapangan. Hasil analisis spektrum, filter SVD, dan Second Vertical Derivative menunjukkan adanya zona kontras densitas yang kuat, yang diinterpretasikan sebagai struktur patahan utama dan minor. Model 3D memperlihatkan hubungan antara anomali gayaberat dan jalur Sesar Panjang yang mempengaruhi kondisi geologi kota. Studi ini menunjukkan bahwa integrasi teknik filter dan pemodelan forward-inverse gayaberat sangat efektif untuk memetakan struktur kompleks perkotaan (Dani, dkk., 2024).

6. *Subsurface Interpretation of the Panjang Fault Area (Lampung) Based on Geomagnetic Method.*

Hasil akhir penelitian geomagnetik ini menunjukkan variasi nilai suseptibilitas magnetik yang signifikan di sepanjang lintasan Teluk Betung–Tanjung Karang Barat, yang diinterpretasikan sebagai perbedaan litologi dan struktur sesar di area Sesar Panjang. Peta anomali magnetik dan hasil pemodelan menunjukkan adanya zona patahan yang mengontrol distribusi batuan bermagnet tinggi dan rendah. Penelitian ini memberikan validasi independen terhadap interpretasi struktur sesar berbasis gayaberat dan memperkuat keberadaan Sesar Panjang secara geofisika (Rasimeng, dkk., 2025).

7. *Structural Geology Identification based on Derivative Analysis Gravity Data in Tangkuban Perahu Mountain*

Penelitian ini menghasilkan identifikasi struktur bawah permukaan Gunung Tangkuban Perahu berdasarkan analisis turunan gayaberat menggunakan FHD dan SVD dari data GGMPlus. Hasil akhir menunjukkan keberadaan intrusi basal berdensitas tinggi yang menyebabkan pengangkatan batuan di sekitarnya serta

pembentukan sistem sesar radial dan linier. Pemodelan 2D dan 3D mengonfirmasi bahwa struktur sesar berasosiasi langsung dengan aktivitas magmatik. Studi ini memperkuat peran metode turunan gayabarat dalam mengidentifikasi struktur tektonik dan magmatik pada daerah vulkanik aktif (Rasimeng, dkk., 2025)

III. TEORI DASAR

3.1 Konsep Dasar Metode Gayaberat

3.1.1 Hukum Newton I

Prinsip dasar teori gravitasi berdasarkan dengan Hukum Newton yang menjelaskan bahwa dua benda bermassa m_1 dan m_2 yang terpisah dalam jarak r akan saling tarik-menarik dengan gaya yang diberikan, dapat diformulasikan sebagai berikut (Serway, 2009):

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

Keterangan:

F : Gaya gravitasi (Newton, N)

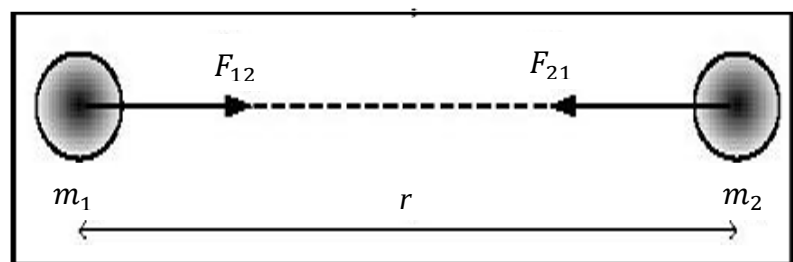
G : Konstanta gravitasi universal ($6,67430 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-2}$)

m_1 dan m_2 : Massa benda (kg)

r : Jarak antara pusat massa (m)

Dalam konteks bumi, m_1 digantikan dengan massa bumi (M), dan m_2 adalah massa uji (m), seperti massa suatu benda di permukaan atau massa alat gravimeter.

Adapun ilustrasi gaya tarik-menarik antara dua benda dapat dilihat dari Gambar 3.



Gambar 3. Gaya tarik menarik antara dua benda (Blakely, 1996).

3.1.2 Percepatan Gravitasi (Hukum Newton II)

Hukum II Newton membahas tentang gerak menyatakan gaya merupakan perkalian dari massa dan percepatannya.

$$F = mg \quad (2)$$

Percepatan sebuah benda yang bermassa m_2 dikarenakan dari tarikan benda yang bermassa M_1 pada jarak r secara sederhana dapat dinyatakan dengan

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

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

$$g = \frac{F}{m} = \frac{G \frac{M_1 m_2}{r^2}}{m} = G \frac{M}{r^2} \quad (4)$$

dimana: g merupakan percepatan gaya tarik bumi (Nm^2/s^2), M merupakan massa bumi (Kg), m merupakan massa benda (Kg), F merupakan gayaberat (N) dan r merupakan jari-jari bumi (m).

Pengukuran percepatan gravitasi pertama kali dilakukan oleh Galileo, sehingga diguna menghormati Galileo, selanjutnya didefinisikan:

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

Satuan anomali gayaberat diberikan pada orde miligal (mGall):

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

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

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

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

3.1.3 Rapat Massa Batuan

Rapat massa merupakan besaran utama dalam menentukan nilai percepatan gravitasi. Variasi rapat massa di batuan sedimen dikarenakan dari tekanan gaya

tektonik. Densitas batuan faktor yang mempengaruhi yaitu rapat massa butir pembentuknya, porositas, kandungan fluida yang mengisi pori-porinya dan pemadatan akibat tekanan dan pelapukan yang dialami batuan tersebut (Kirbani, 2001). Tabel nilai densitas batuan dapat ditunjukkan pada **Tabel 1**.

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

Jenis Batuan	Nilai Interval Densitas (gr/cc)	Nilai Rata-Rata Interval Densitas (gr/cc)
Batuan Sedimen		
Clay	1,63 – 2,60	2,21
Gravel	1,70 – 2,40	2,00
Loess	1,40 – 1,93	1,64
Silt	1,80 – 2,20	1,93
Soil	1,20 – 2,40	1,92
Sand	1,70 – 2,30	2,00
Sandstone	1,61 – 2,76	2,35
Shale	1,77 – 3,20	2,40
Limestone	1,93 – 2,90	2,55
Dolomite	2,28 – 2,90	2,70
Chalk	1,53 – 2,60	2,01
Halite	2,10 – 2,60	2,22
Glacier Ice	0,88 – 0,92	0,90
Batuan Metamorf		
Gneiss	2,59 – 3,00	2,80
Phyllite	2,68 – 2,80	2,74
Slate	2,70 – 2,90	2,79
Granulite	2,52 – 2,70	2,65
Amphibolite	2,90 – 3,04	2,96
Eclogite	3,20 – 3,54	3,37
Batuan Beku		
Granit	2,50 – 2,81	2,64
Andesit	2,40 – 2,80	2,61
Syenite	2,60 – 2,95	2,77
Basalt	2,70 – 3,30	2,99
Gabbro	2,70 – 3,50	3,03

3.2 Koreksi-Koreksi Dalam Metode Gayaberat

Koreksi-koreksi yang dilakukan untuk mereduksi noise-noise yang ditimbulkan, adapun koreksi-koreksi antara lain:

3.2.1 Koreksi Pasang Surut (*Tidal Correction*)

Koreksi pasang surut dilakukan karena adanya tarikan gayaberat yang diakibatkan benda-benda yang ada dilangit, terutama bulan dan matahari. Nilai koreksi ini berubah secara berkala tergantung dari posisi benda benda langit tersebut. Nilai tidal atau nilai pasang surut yang mempengaruhi nilai gayaberat yang telah dihitung dengan menggunakan komputasi adalah dalam orde mikroGal (Longman,1959). Pada grafik pasang surut terdapat nilai positif dan nilai negatif yang artinya jika positif maka bumi mengalami tarikan dari posisi normalnya dan apabila negatif maka bumi mengalami dorongan dari posisi awalnya.

3.2.2 Koreksi Apungan (*Drift Correction*)

Gravimeter merupakan sistem pegas, dilengkapi dengan massa yang tergantung secara bebas diujungnya. Sistem pegas tidak kembali ke posisi semula karena pegas yang tidak sepenuhnya elastis. Koreksi apungan yang dilakukan untuk mengoreksi kesalahan pembacaan gravimeter pada saat melakukan pengukuran nilai gayaberat di suatu tempat. menutup (loop tertutup), caranya dengan melakukan pengukuran kembali pada tempat stasiun awal (Telford, dkk., 1990).

$$drift_n = \frac{(t_n - t_1)}{(t_N - t_1)} (g_N - g_1) \quad (5)$$

dimana: t_n merupakan waktu pembacaan pada stasiun ke-n, t_1 merupakan waktu pembacaan pada stasiun base (awal *looping*), t_N merupakan waktu pembacaan pada stasiun base (akhir *looping*), g_1 merupakan bacaan gravimeter (terkoreksi tidal) pada stasiun base (awal *looping*) dan g_N merupakan bacaan gravimeter (terkoreksi tidal) pada stasiun base (akhir *looping*).

Koreksi drift selalu dikurang terhadap bacaan gravimeter:

$$g_{td} = g_t - drift \quad (6)$$

dimana: g_{td} merupakan gayaberat terkoreksi tidal dan drift dan g_t merupakan gayaberat terkoreksi tidal.

Gayaberat observasi adalah nilai percepatan gayaberat pada titik pengukuran akibat adanya tarikan dari lingkungan sekitar tetapi masih belum memberikan informasi mengenai variasi rapat massa bawah permukaan.

3.2.3 Koreksi Lintang (*Latitude Correction*)

Koreksi lintang untuk mengoreksi gayaberat pada setiap lintang geografis (*spheroid* dan *geoid*) karena perbedaan antara jari-jari bumi yang berada di kutub dan di katulistiwa sehingga adanya gaya sentrifugal dan bentuk *elipsoid* (akibat bentuk bumi yang tidak bulat). Nilai gayaberat yang berada di kutub akan lebih besar dibandingkan nilai gayaberat yang berada di katulistiwa (Telford dkk, 1990). Koreksi lintang dilakukan dengan dua cara yaitu menggunakan diferensi IGRF 67 (untuk derajat lintang/latitude) atau IGRF 84 (untuk radian).

IGRF 67:

$$g_{\theta} = 978031,8 (1 + 0,0053924 \sin^2 \theta - 0,0000059 \sin^2 2\theta) \quad (7)$$

IGRF 84:

$$g_{\theta} = 978031,8 (1 + 0,0053924 \sin^2 \theta - 0,0000058 \sin^2 2\theta) \quad (8)$$

3.2.4 Koreksi Udara Bebas (*Free Air Correction*)

Koreksi udara bebas untuk menghilangkan efek ketinggian yang mempengaruhi nilai pembacaan gayaberat tanpa memperhatikan efek dari massa batuan. Ketika ketinggian titik amat mempengaruhi nilai gayaberat observasi, semakin tinggi nilai titik amat maka nilai gayaberat observasi semakin menurun dan semakin menurun titik amat maka nilai gayaberat observasi akan semakin meningkat (Lowrie, 2007). Perbedaan nilai gayaberat antara yang terletak di *mean sea level* yang terletak dengan elevasi (meter) adalah koreksi udara bebas diberikan pada Persamaan (9) (Reynolds, 1997)

$$\partial g_f = g_h - g_0 = -\left(\frac{2g_0 h}{R}\right) = 0,3086h \text{ mGal} \quad (9)$$

Dimana: g_0 merupakan 981785 mGal dan R merupakan 6371000 m, maka koreksi udara bebasnya:

$$FAC = 0,3086 \cdot h \text{ (mGal)} \quad (10)$$

Dimana: h merupakan ketinggian stasiun pengukuran (meter). Sedangkan anomali udara bebas:

$$FAA = g_{obs} - g_{lintang} + FAC \quad (10)$$

3.2.5 Koreksi Bouguer (*Bouguer Corretion*)

Koreksi Bouguer, atau yang dikenal sebagai *Bouguer Correction* (BC), digunakan untuk mengompensasi pengaruh gayaberat yang disebabkan oleh massa yang ada di antara titik pengamatan dan datum (*mean sea level*) (Burger, 1992). Dalam melakukan koreksi Bouguer, kita mengasumsikan bahwa titik pengamatan berada pada bidang horizontal yang luas dan memiliki massa batuan dengan densitas tertentu. Jika titik pengamatan berada di atas slab yang sangat luas, maka pengukuran percepatan gravitasi di titik tersebut akan terpengaruh oleh keberadaan slab tersebut. Rumus koreksi Bouguer dapat dinyatakan sebagai berikut.

$$BC = 2\pi G \rho h \quad (11)$$

$$BC = 0,04191 \rho h \quad (12)$$

Keterangan:

BC : Bouguer Correction

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

ρ : Densitas rata-rata

h : Ketinggian (meter)

Anomali gayaberat yang dapat dihasilkan setelah diaplikasikan dengan koreksi bouguer dan anomali udara bebas atau disebut sebagai Simple Bouguer Anomaly adalah:

$$SBA = FAA - BC \quad (13)$$

dimana: SBA merupakan *Simple Bouguer Anomaly* (mGal), FAA merupakan *Free Air Anomaly* (mGal), dan BC merupakan *Bouguer Correction* (mGal)

3.2.6 Koreksi Medan (*Terrain Correction*)

Kondisi topografi yang terdapat pada titik pengamatan tidak selamanya beraturan, dan dapat mempengaruhi nilai gayaberat pengamatan. Misalkan terdapat bukit di sekitar pengukuran, maka bukit ini memiliki medan yang dapat menekan gravimeter untuk menaikkan percepatan gayaberat. Dan sebaliknya, adanya lembah akan memberikan efek penurunan hasil pengukuran gayaberat. Koreksi medan didapatkan dengan melakukan pengolahan data menggunakan hammer chart (Telford, dkk., 1990).

Untuk mendapatkan nilai anomali bouguer lengkap, maka nilai anomali bouguer sederhana perlu dilakukan koreksi medan terlebih dahulu. Setelah dilakukan koreksi medan maka baru akan didapatkan anomali bouguer lengkap. Anomali bouguer merupakan anomali yang disebabkan dari variasi densitas lateral pada batuan kerak bumi yang telah terdapat pada bidang referensi geoid. Anomali bouguer dapat diukur dengan beberapa cara yang tergantung pada apakah dengan kepadatan dan bentuk dataran antara titik pengukuran dan permukaan laut dihitung, diperkirakan atau diabaikan. Rumus Anomali Bouguer:

$$ABL = G_{obs} - (g\phi - FAC + BC - TC) \quad (14)$$

dimana: ABL merupakan anomali bouguer lengkap (mGal), G_{obs} merupakan nilai gayaberat observasi (mGal), $g\phi$ merupakan koreksi lintang (mGal), FAC merupakan koreksi udara bebas (mGal), BC merupakan koreksi bouguer (mGal) dan TC merupakan koreksi medan (mGal).

3.2.7 Penentuan Densitas Permukaan Menggunakan Metode Parasnis

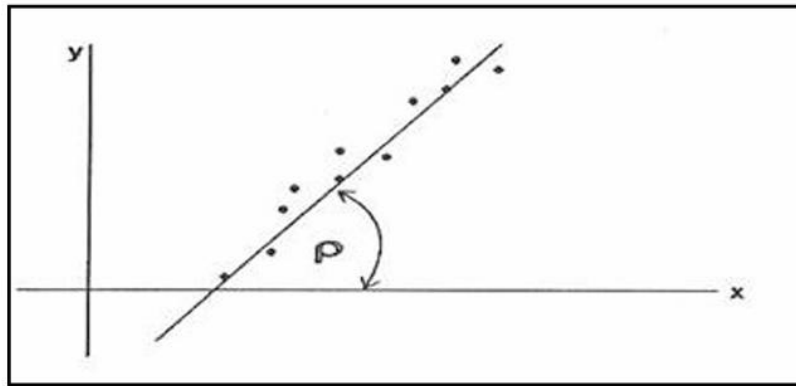
Penentuan densitas permukaan bouguer dapat menggunakan dengan metode parasnis yang mengestimasi rapat massa metoda ini diturunkan dari anomali gayaberat dituliskan sebagai berikut:

$$ABL = g_{obs} - g_{lintang} + 0,3085h - 2\pi G\rho h \quad (15)$$

dimana: suku terakhir bagian kanan adalah koreksi medan dengan c nilai koreksi medan sebelum dikalikan dengan rapat massa. Dari persamaan tersebut didapat:

$$(g_{obs} - g_{lintang} + 0,3085h) = (2\pi Gh)\rho \text{ atau } y = \rho x \quad (16)$$

Dari persamaan tersebut, maka rapat massa ρ dapat diperoleh dari gradien garis lurus terbaik seperti diberikan pada Gambar 5, dimana ABL diasumsikan sebagai penyimpangan terhadap garis lurus tersebut.



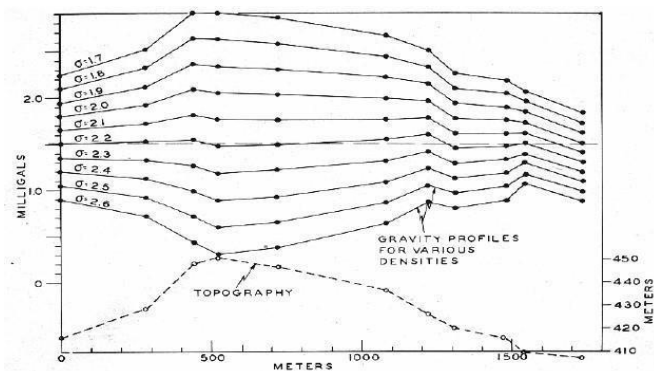
Gambar 4. Grafik metode parsnis (Telford, dkk., 1990)

3.2.8 Penentuan Densitas Permukaan Menggunakan Metode Nettleton

Metoda ini didasarkan pada pengertian tentang Koreksi Bouguer dan Koreksi Medan dimana jika rapat massa yang digunakan sesuai dengan rapat massa permukaan, maka penampang atau profile anomali gayabarat menjadi 'smooth'. Dalam aplikasi, penampang dipilih melalui daerah topografi kasar dan tidak ada anomali gayabarat target. Secara kuantitatif, estimasi rapat massa permukaan terbaik dapat ditentukan dengan menerapkan korelasi silang antara perubahan elevasi terhadap suatu referensi tertentu dengan anomali gayabaratnya. Sehingga rapat massa terbaik diberikan oleh harga korelasi silang terkecil sesuai dengan persamaan sebagai berikut :

$$k = - \frac{\sum_{i=1}^N \delta(\Delta g)_i \delta h_i}{\sum_{i=1}^N (\delta h_i)^2} \quad (17)$$

dimana N adalah jumlah stasion pada penampang tersebut.



Gambar 5. Grafik hubungan sebaran penampang anomali Bouguer dengan penampang topografi (Wuenschel dan Nettleton, 1971)

3.3 Analisis Spektral

Analisis spektrum digunakan untuk mengidentifikasi batas antara anomali gayabarat yang bersifat regional dan yang bersifat lokal dalam area penelitian. Hasil dari analisis spektrum ini selanjutnya digunakan untuk menentukan lebar jendela yang akan digunakan dalam proses penyaringan anomali. Secara umum, transformasi Fourier adalah proses matematika yang memecah atau mengurai gelombang yang kompleks menjadi sejumlah gelombang sinus dengan frekuensi yang berbeda, dan hasil penjumlahan dari gelombang sinus-sinus tersebut akan menghasilkan bentuk gelombang aslinya (Kadir, 2000).

Analisis spektrum memiliki tujuan untuk mendapatkan nilai kedalaman suatu benda anomali gayabarat 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). Untuk melakukan analisis yang lebih mendalam, amplitudo gelombang sinus tersebut direpresentasikan sebagai sebuah fungsi yang bergantung pada frekuensi. Secara matematis, hubungan antara gelombang $s(t)$ yang akan diurai menjadi gelombang sinusnya dan $S(f)$ adalah hasil dari transformasi Fourier, sehingga dapat diungkapkan dalam persamaan berikut.

$$S(f) = \int_{-\infty}^{\infty} s(t) e^{j2\pi ft} dt \quad (18)$$

Dengan $j = \sqrt{-1}$

Dalam metode gaya berat, spektrum diperoleh melalui transformasi Fourier dari

potensial gaya berat yang diamati pada bidang horizontal tertentu. Transformasi Fourier ini direpresentasikan sebagai berikut (Blakely, 1996).

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

Hubungan antara percepatan gravitasi dan potensial gravitasi dinyatakan dalam persamaan $g = \nabla U$. Pergerakan vertikal dalam gaya gravitasi disebabkan oleh turunan potensial gaya berat terhadap perubahan posisi massa titik tersebut.

$$gz = Gm \frac{\partial}{\partial z} \frac{1}{r} \quad (20)$$

$$F(gz) = Gm F\left(\frac{\partial}{\partial z} \frac{1}{r}\right) \quad (21)$$

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

Transformasi fourier pada lintasan yang diinginkan adalah

$$F(gz) = 2\pi Gm e^{|k|(z_0-z_1)} \quad z_1 > z_0 \quad (23)$$

Jika distribusi densitas massa bersifat acak dan tidak ada korelasi antara nilai-nilai gaya berat, maka parameter "m" memiliki nilai 1, sehingga hasil transformasi Fourier dari anomali gaya beratnya adalah seperti berikut.

$$A = C e^{|k|(z_0-z_1)} \quad (24)$$

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 amplitudo spektral.

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

$$\ln A = (Z_0 - Z_1)|k| + \ln C \quad (26)$$

Persamaan di atas dapat dianalogikan dalam persamaan garis lurus.

$$y = mx + c \quad (27)$$

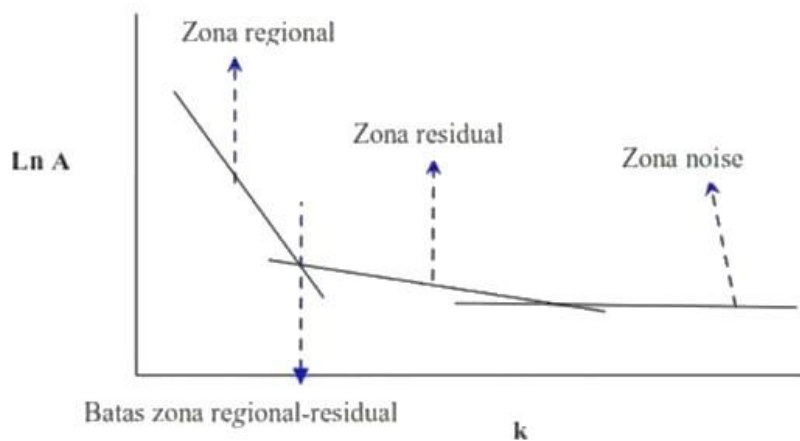
Dimana $\ln A$ sebagai sumbu y, $|k|$ sebagai sumbu x, dan $(z_0 - z_1)$ sebagai gradien. Oleh karena itu, gradiennya merupakan kedalaman bidang dalam dan dangkal. $|k|$ sebagai sumbu x didefinisikan sebagai bilangan gelombang dan satuannya *cycle/meter*, dengan λ adalah panjang gelombang. Hubungan λ dengan Δx diperoleh dari persamaan berikut.

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} \quad (28)$$

Dimana Δx adalah domain spasi yang akan digunakan dalam *fast fourier transform* (FFT), dan k_c adalah bilangan gelombang *cutoff*. Semakin besar nilai k , maka nilai frekuensi akan tinggi. Hubungan bilangan gelombang k dengan frekuensi adalah $k = 2\pi f$, anomali regional akan direpresentasikan dari nilai frekuensi yang sangat rendah, sebaliknya, anomali residual direpresentasikan dengan nilai frekuensi yang tinggi. 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 dirumuskan sebagai berikut:

$$N = \frac{2\pi}{k_c \cdot \Delta x} \quad (29)$$

dimana: Δx merupakan domain spasi yang akan dipergunakan dalam Fast Fourier Transform (FFT), dan k_c merupakan bilangan gelombang cutoff. Dalam proses ini akan terbentuk kurva hubungan antara f (frekuensi) dan k (bilangan gelombang) seperti pada Gambar 7.



Gambar 6. Kurva $\ln A$ terhadap k (Blakely, 1996)

Frekuensi tinggi, jika nilai k Semakin besar. Hubungan bilangan gelombang dengan frekuensi f merupakan $k = 2\pi f$, frekuensi yang sangat rendah berasal dari sumber anomali regional serta frekuensi tinggi berasal dari sumber anomali residual.

3.4 Moving Average

Filter moving average merupakan salah satu jenis dari low pass filter. Filter 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. Hasil yang didapatkan melalui filter *moving average* yaitu anomali regional. Sedangkan anomali residual didapatkan dengan mengurangkan anomali bouguer lengkap dengan anomali regional yang telah didapat. Pada prinsipnya nilai lebar jendela yang digunakan semakin besar maka nilai anomali residual yang diperoleh akan semakin mendekati nilai Anomali Bouguer (Setiadi dkk., 2010). Pemisahan anomali ini dimaksudkan untuk membantu dalam interpretasi gaya berat secara kualitatif. Untuk mendapatkan anomali regional dengan *moving average* secara matematis seperti berikut.

$$\Delta g_{reg}(i) = \frac{\Delta g(i - n) + \dots + \Delta g(i) + \dots + \Delta g(i + n)}{N} \quad (30)$$

Keterangan :

i : Nomor stasiun

N : Lebar jendela

Δg_{reg} : Anomali regional

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

$$\Delta g_{reg} = \frac{1}{N} \sum_{N=1}^9 \Delta g(n) \quad (31)$$

Nilai anomali residual didapatkan dengan persamaan:

$$\Delta g_{res} = \Delta g - \Delta g_{reg} \quad (32)$$

Dengan Δg adalah anomali bouguer total (Diyanti, 2014)

3.5 Metode *First Horizontal Derivative* (FHD)

Anomali FHD adalah perubahan harga anomali gaya berat dari satu titik ke titik yang mempunyai karakteristik tajam yaitu harga maksimum atau minimum pada kontak benda anomali, sehingga untuk menunjukkan batas suatu struktur geologi. Turunan horizontal lebih mudah diaplikasikan dengan menggunakan metode turunan berhingga dan perhitungan secara diskrit. Metode FHD digunakan untuk menggambarkan struktur bawah permukaan yang dangkal maupun dalam. Amplitudo di *horizontal derivative* ditunjukkan-sebagai berikut:

$$HG^{1ST} = \sqrt{a \left(\frac{\partial g}{\partial x} \right)^2 + b \left(\frac{\partial g}{\partial y} \right)^2} \quad (33)$$

Dengan: $\frac{\partial g}{\partial x}$ dan $\frac{\partial g}{\partial y}$ adalah-turunan horizontal gaya berat pada arah x dan y. Satuan dari HG adalah $\text{mGal} \cdot \text{m}^{-1}$.

3.6 Metode *Second Vertical Derivative* (SVD)

Second Vertical Derivative (SVD) digunakan untuk menonjolkan dampak yang berasal dari pengaruh regional di lapisan yang dangkal, dan juga berguna untuk mendeteksi perubahan tiba-tiba dalam struktur bawah permukaan, terutama patahan atau diskontinuitas di dalam wilayah survei (Sarkowi, 2014). SVD dihitung berdasarkan persamaan Laplace, yang dalam bentuk matematisnya adalah sebagai berikut.

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

Atau

$$\frac{\partial^2 \Delta g}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \Delta g}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \Delta g}{\partial z^2} = 0 \quad (35)$$

Sehingga persamaan *second vertical derivative* adalah sebagai berikut.

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

Kemudian untuk data 1D (data penampang) persamaannya menjadi berikut.

$$\frac{\partial^2 \Delta g}{\partial z^2} = \frac{\partial^2 \Delta g}{\partial x^2} \quad (37)$$

Persamaan SVD dan 1D di atas mengindikasikan bahwa *Second Vertical Derivative* (SVD) dari anomali gaya berat permukaan adalah sebanding dengan negatif dari turunan kedua secara horizontal pada horizon. Oleh karena itu, penghitungan anomali *Second Vertical Derivative* dapat dilakukan dengan turunan horizontal, yang pada umumnya lebih praktis. Ketika turunan kedua dari Anomali Bouguer adalah nol, ini dapat diinterpretasikan sebagai batas antara dua lapisan batuan dengan kontras densitas yang berbeda, dan batas tersebut dapat merujuk pada struktur seperti patahan atau intrusi (Sarkowi, 2010).

Untuk data anomali gayaberat pada *grid* teratur, anomali SVD dapat diturunkan menggunakan proses filtering dimana persamaan konvolusinya diberikan oleh:

$$\Delta G_{SVD}(\Delta x, \Delta y) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \Delta g(x, y) F(x - \Delta x, y - \Delta y) dx dy \quad (38)$$

dimana: F merupakan filter second vertical derivative sesuai persamaan di atas dan Δg adalah anomali gayaberat sebagai data input. Lalu filter Second Vertical Derivatives (SVD) dengan operator Henderson & Zietz, Rosenbach, Elkins dapat dilihat pada Tabel.

Tabel 2. Operator SVD (Henderson & Zietz, 1949)

SVD Tipe Henderson & Ziets (1949)				
0.00	0.00	-0.0838	0.00	0.00
0.00	1.00	-2.6667	1.00	0.00
-0.0838	-2.6667	17.0	-2.6667	-0.0838
0.00	1.00	-2.6667	1.00	0.00
0.00	0.00	-0.0838	0.00	0.00

Tabel 3. Operator SVD (Elkins, 1951)

SVD Tipe Elkins (1951)				
0.00	-0.0833	0.00	-0.0833	0.00
-0.0833	-0.6667	-0.0334	-0.6667	-0.0833
0.00	-0.0334	-1.0668	-0.0334	0.00
-0.0833	-0.6667	-0.0334	-0.6667	-0.0833
0.00	-0.0833	0.00	-0.0833	0.00

Tabel 4. Operator SVD (Rosenbach, 1952)

SVD Tipe Rosenbach (1953)				
0.00	-0.0416	0.00	-0.0416	0.00
-0.0416	-0.3332	-0.75	-0.3332	-0.0416
0.00	-0.75	4.00	-0.75	0.00
-0.0416	-0.3332	-0.75	-0.3332	-0.0416
0.00	-0.0416	0.00	-0.0416	0.00

Ide dari metode ini adalah mengambil nilai turunan kedua dari anomali Bouguer sama dengan nol sebagai kontak dari kontras densitas antara dua lapisan batuan, dalam hal ini kontak tersebut dapat dianggap sebagai patahan atau intrusi (Sarkowi, 2010). Struktur patahan atau sesar naik maupun turun dapat ditentukan dari nilai anomali SVD dengan karakteristik sebagai berikut:

Untuk sesar naik:

$$\left| \frac{\partial^2 g}{\partial z^2} \max \right| < \left[\frac{\partial^2 g}{\partial z^2} \min \right] \quad (39)$$

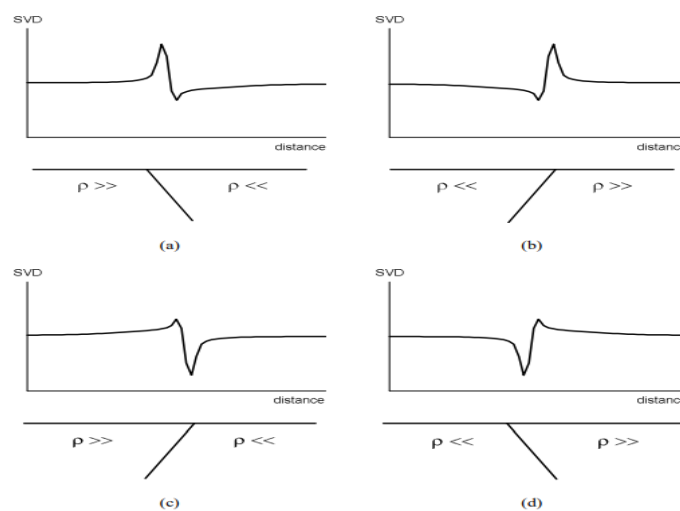
Pada sesar naik, blok batuan dengan densitas lebih tinggi terangkat relatif terhadap blok lainnya. Hal ini menghasilkan nilai minimum SVD (negatif) dengan magnitudo lebih besar, nilai maksimum SVD (positif) dengan magnitudo lebih kecil. Secara numerik, karena nilai minimum bersifat negatif, maka nilai

maksimum < nilai minimum jika dilihat dari besar amplitudonya. Pola ini menunjukkan bahwa massa padat berada lebih dangkal di satu sisi sesar, konsisten dengan mekanisme sesar naik (*reverse fault*).

Sedangkan untuk sesar turun:

$$\left| \frac{\partial^2 g}{\partial z^2} \max \right| > \left| \frac{\partial^2 g}{\partial z^2} \min \right| \quad (40)$$

Pada sesar turun, blok batuan dengan densitas tinggi turun menjauhi permukaan. Hal ini menghasilkan nilai maksimum SVD (positif) dengan amplitudo lebih dominan, nilai minimum SVD (negatif) dengan amplitudo lebih kecil. Secara numerik, nilai maksimum lebih besar daripada nilai minimum. Pola ini mengindikasikan bahwa batuan berdensitas tinggi berada lebih dalam, sesuai dengan karakteristik sesar turun (*normal fault*).



Gambar 7. Filter SVD untuk penentuan jenis dan kemiringan bidang sesar
(Sumintadireja, dkk, 2018)

3.7 Inverse Modelling

Pemodelan inversi merupakan pendekatan matematis yang digunakan untuk menentukan model atau parameter fisik bawah permukaan berdasarkan data observasi yang terukur di permukaan. Dalam geofisika, pemodelan inversi dilakukan dengan meminimalkan selisih antara data hasil observasi dan data hasil perhitungan dari suatu model awal melalui proses iteratif (Blakely, 1995).

Permasalahan inversi umumnya bersifat tidak tunggal (non-unique) dan tidak stabil (ill-posed), sehingga diperlukan penerapan kendala tambahan atau regularisasi agar diperoleh solusi yang secara matematis stabil dan bermakna secara geologi (Menke, 2012). Oleh karena itu, pemodelan inversi tidak hanya bergantung pada data, tetapi juga memerlukan informasi awal seperti batasan parameter fisik dan pengetahuan geologi regional.

Pemodelan inversi gayaberat adalah penerapan metode inversi pada data anomali gayaberat untuk memperoleh distribusi densitas batuan di bawah permukaan. Data anomali gayaberat yang diukur di permukaan mencerminkan variasi densitas bawah permukaan, sehingga melalui proses inversi dapat ditentukan model densitas yang menghasilkan respon gayaberat mendekati data observasi (Telford dkk., 1990). Inversi data gayaberat umumnya dilakukan dengan membagi volume bawah permukaan menjadi elemen-elemen kecil dan menentukan nilai densitas tiap elemen secara numerik (Li & Oldenburg, 1998). Karena sifat medan potensial gayaberat yang meredam dengan kedalaman, inversi gayaberat sangat bergantung pada penerapan regularisasi dan pembatasan densitas agar solusi yang diperoleh tetap realistis secara geologi.

Pemodelan 3D metode gayaberat merupakan representasi tiga dimensi dari distribusi densitas bawah permukaan yang diperoleh melalui proses inversi data gayaberat. Pemodelan ini memungkinkan visualisasi struktur geologi secara lebih komprehensif, termasuk bentuk, kedalaman, dan sebaran lateral sumber anomali gayaberat (Hinze dkk., 2013). Dalam pemodelan 3D, hasil inversi densitas biasanya divisualisasikan dalam bentuk irisan vertikal, irisan horizontal, maupun tampilan volume, sehingga memudahkan interpretasi struktur geologi seperti sesar, cekungan sedimen, dan intrusi batuan beku (Blakely, 1995). Dengan demikian, pemodelan 3D gayaberat tidak hanya berfungsi sebagai hasil numerik inversi, tetapi juga sebagai alat interpretasi geologi bawah permukaan yang penting dalam studi tektonik dan eksplorasi.

3.8 Aktivitas Tektonik

3.8.1 Sesar (Fault)

Sesar (fault) merupakan struktur rekahan pada batuan yang mengalami pergeseran akibat adanya tegangan (stress) yang melampaui kekuatan batuan, yang secara fundamental dibentuk oleh gaya tektonik lempeng (Fossen, 2016). Keberadaan sesar tidak hanya merepresentasikan zona lemah dalam kerak bumi, tetapi juga menjadi jalur utama akumulasi dan pelepasan energi seismik. Secara geometri dan mekanisme pergerakannya, sesar diklasifikasikan menjadi tiga jenis utama:

1. Sesar Normal (*normal fault*), terbentuk akibat gaya tensional (tarikan) dimana blok footwall relatif naik terhadap blok hanging wall;
2. Sesar Naik/Mendatar (*Reverse/Thrust Fault*), terbentuk akibat gaya kompresional (tekanan) dimana blok hanging wall bergerak naik relatif terhadap footwall; dan
3. Sesar Mendatar (*Strike-Slip Fault*), seperti sesar dextral (kanan) dan sinistral (kiri), yang dominan bergerak horizontal akibat gaya geser (shear) (Twiss & Moores, 2007).

Pemahaman terhadap jenis dan geometri sesar ini menjadi kunci dalam analisis struktur geologi dan penilaian potensi kegempaan.

3.8.2 Hubungan Sesar dengan Pemodelan 3D Inversi Gaya Berat

Dalam investigasi regional dan eksplorasi, sesar seringkali teridentifikasi melalui pemodelan 3D inversi gayaberat. Anomali gayaberat bumi sensitif terhadap variasi densitas massa batuan di bawah permukaan. Zona sesar, yang sering diisi oleh batuan terbreksiasi atau teralterasi, maupun merupakan batas antara batuan dengan densitas berbeda, akan menimbulkan anomali residual yang khas (gradien linear, kelurusan anomaly bouguer, dll.). Metode inversi 3D bertujuan untuk memperkirakan distribusi densitas bawah permukaan yang paling mungkin menghasilkan anomali gayaberat terukur (Li & Oldenburg, 1998). Dengan demikian, pemodelan ini dapat memvisualisasikan geometri tubuh sesar, kedalaman, dan kemiringannya dalam ruang 3D, serta membedakan struktur sesar dari fenomena geologi lainnya, seperti intrusi atau batas cekungan sedimen.

Integrasi data gayaberat dengan data geologi permukaan sangat meningkatkan reliabilitas model tersebut.

3.8.3 Keterkaitan Sesar dengan Data Seismisitas Historis dan Potensi

Aktivitas Sesar

Model struktur sesar hasil inversi gayaberat kemudian dapat dikonfirmasi dan dihidupkan secara kinematik melalui data seismisitas historis. Katalog gempa yang merekam lokasi episenter, kedalaman, dan mekanisme fokus (*focal mechanism*) memberikan bukti langsung tentang aktivitas sesar di masa kini. Kluster seismisitas yang teratur sering membentuk pola linier atau bidang yang mengkonfirmasi keberadaan dan orientasi sesar aktif. Selain itu, mekanisme fokus gempa (apakah normal, naik, atau mendatar) secara langsung mengindikasikan jenis gerakan dan regangan tektonik regional yang bekerja pada sesar tersebut (Stein & Wysession, 2003). Dengan menggabungkan model 3D geometri sesar dari inversi gayaberat dengan distribusi spasial dan mekanisme seismisitas, dapat dianalisis potensi aktivitas sesar dan bahaya seismiknya. Sesar dengan deformasi aktif akan menunjukkan kesesuaian antara bidang sesar hasil pemodelan dan bidang yang dibentuk oleh hiposenter gempa. Segmentasi sesar, zona locking (penguncian) yang berpotensi sebagai sumber gempa besar, dan laju deformasi dapat dievaluasi lebih komprehensif melalui pendekatan terpadu ini. Dengan kata lain, integrasi data gayaberat dan seismisitas memungkinkan transisi dari model struktural statis menuju pemahaman dinamika sistem sesar, yang sangat vital untuk mitigasi bencana kegempaan.

IV. METODELOGI PENELITIAN

4.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada Laboratorium Petrologi Jurusan Teknik Geofisika, Universitas Lampung pada bulan September - Desember 2025, mencakup tahapan pengumpulan data, telaah pustaka, pengolahan data, pemodelan dan interpretasi.

4.2 Alat dan Bahan

Adapun alat dan bahan yang digunakan dalam pelaksanaan penelitian ini, sebagai berikut:

1. Laptop dan *Mouse*
2. Data Gayaberat GGMplus
3. Data Digital Elevation Model (DEM SRTM 30 m) Lampung
4. Peta Geologi Lembar Tanjungkarang 1:250.000)
5. *Software* Microsoft excel
6. *Software* ArcGIS 10.8
7. *Software* QGIS 3.44.3
8. *Software* Global Mapper 25.1
9. *Software* Geosoft Oasis Montaj
10. *Software* Surfer 13
11. *Software* Numeri
12. *Software* GRAV3D

4.3 Tahapan Penelitian

1. Studi Literatur

Mengkaji teori dasar metode gayaberat, gaya berat satelit (GGMplus), konsep sesar Lampung–Panjang, serta prinsip pemodelan 3D anomali

Bouguer. Mengumpulkan referensi dari jurnal, skripsi, dan peta geologi regional.

2. Pengumpulan Data

Mengunduh data GGMplus dari laman resmi GGMplus, mengunduh data DEM SRTM dari USGS Earth Explorer, dan menentukan batas wilayah penelitian dalam format koordinat geografis.

3. Pengolahan Data Gayaberat

Konversi koordinat: Longitude Latitude menjadi UTM (menggunakan QGIS), melakukan Koreksi data yaitu Koreksi Bouguer, Koreksi Anomali Bouguer sederhana, Koreksi medan (terrain correction)

4. Perhitungan Anomali Bouguer Lengkap (complete Bouguer anomaly).
Pemisahan anomali regional dan residual.

5. Pemodelan 3D

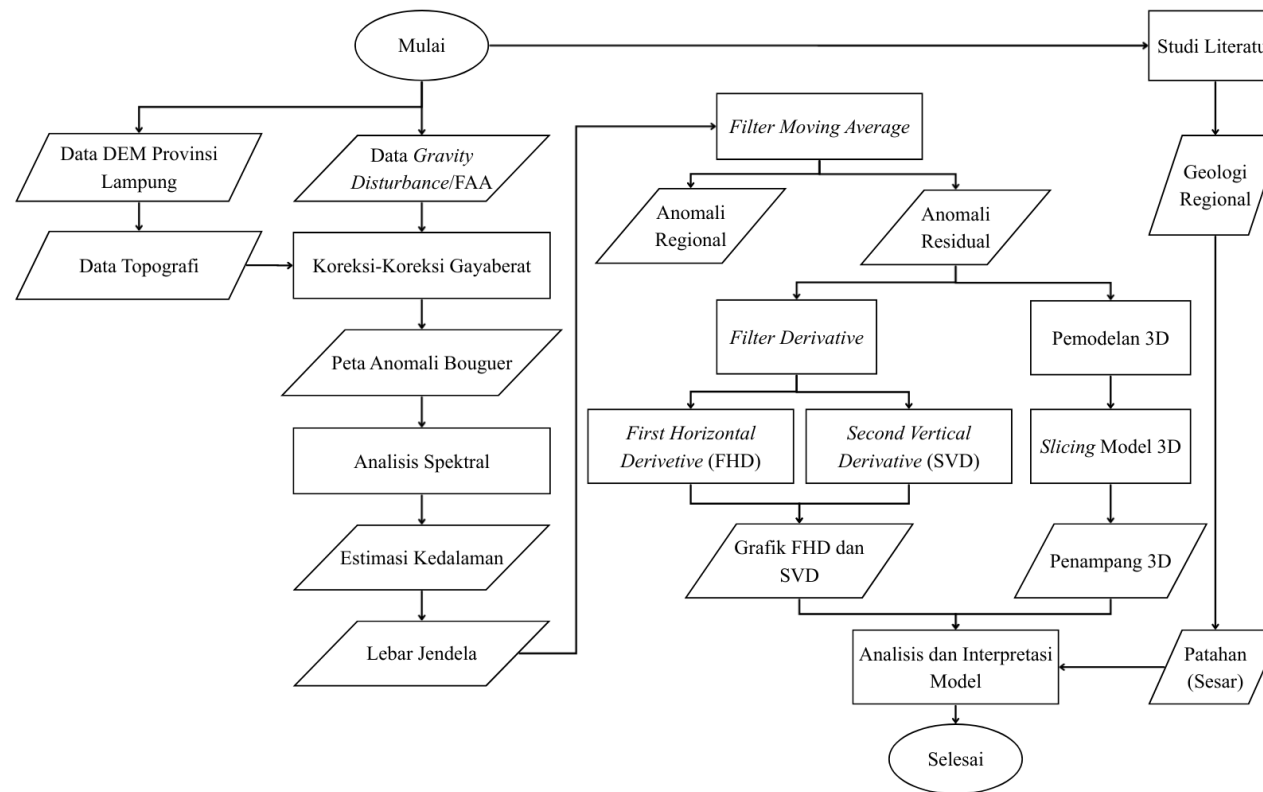
Menentukan lintasan penampang berdasarkan tren sesar, melakukan pemodelan 3D inversi, menyesuaikan densitas model dengan kondisi geologi regional (batuan sedimen, batuan beku, dan sesar), dan menganalisis hasil model terhadap kemungkinan zona patahan aktif.

6. Analisis dan Interpretasi

Mengkorelasikan hasil model 3D dengan peta geologi dan morfologi, menentukan indikasi aktivitas sesar dari hasil anomali dan model, Penyusunan Laporan dan Skripsi, dan menyusun hasil pengolahan dan analisis dalam bentuk laporan penelitian dan skripsi.

4.4 Diagram Alir

Adapun diagram alir dari penelitian ini terdapat pada Gambar 8:



Gambar 8. Diagram alir penelitian

VI. KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

1. Dari peta Anomali Bouguer lengkap didapatkan persebaran nilai anomali pada rentang 57 mGal sampai 84 mGal. Anomali rendah terdapat dalam interval 57 mGal sampai 65 mGal yang ditunjukkan daerah dengan warna ungu muda sampai biru kehijauan. Anomali sedang memiliki nilai anomali dalam rentang 65 mGal sampai 75 mGal yang ditunjukkan daerah dengan warna hijau sampai kuning kejinggaan. Anomali tinggi terdapat dalam interval nilai 75 mGal sampai 84 mGal dengan digambarkan dengan warna oranye sampai merah. Zona anomali tinggi di bagian timur-timur laut diinterpretasikan sebagai batuan berdensitas tinggi berupa batuan beku dan basement, sedangkan zona anomali rendah di bagian barat-barat daya berkaitan dengan batuan berdensitas rendah seperti aluvium, batuan sedimen, dan endapan gunung api muda. Pola anomali yang memanjang berarah barat laut-tenggara mengindikasikan kontrol struktur geologi regional, khususnya Sesar Lampung-Panjang, terhadap sebaran densitas batuan bawah permukaan.
2. Pemodelan 3D bawah permukaan berdasarkan data gayabarat berhasil menggambarkan distribusi densitas batuan dan struktur bawah permukaan daerah Sesar Lampung-Panjang. Model menunjukkan adanya kontras densitas yang jelas antara batuan berdensitas tinggi dan rendah yang dipisahkan oleh suatu bidang diskontinuitas berarah barat laut-tenggara, yang diinterpretasikan sebagai Sesar Lampung-Panjang. Hasil ini mengindikasikan bahwa sesar tersebut berperan penting dalam mengontrol susunan dan geometri batuan bawah permukaan daerah penelitian.
3. Berdasarkan analisis hubungan antara hasil pemodelan struktur bawah permukaan dan sebaran titik gempa, Sesar Lampung-Panjang

diinterpretasikan sebagai sesar yang masih berpotensi aktif. Hal ini ditunjukkan oleh keterkaitan spasial antara jalur sesar hasil interpretasi anomali gayaberat dengan distribusi gempa bumi di wilayah Lampung. Dengan demikian, Sesar Lampung-Panjang memiliki peran penting dalam pengendalian aktivitas sesar dan tingkat kerawanan seismik di daerah penelitian.

6.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian dan kesimpulan yang telah diperoleh, maka beberapa saran yang dapat diajukan untuk pengembangan penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut:

1. Penelitian selanjutnya disarankan untuk menggunakan data gayaberat dengan kerapatan titik pengukuran yang lebih tinggi, khususnya di sekitar jalur Sesar Lampung–Panjang, agar resolusi anomali Bouguer lengkap dan anomali residual yang dihasilkan semakin baik.
2. Pemodelan struktur 3D menggunakan inversi data gayaberat dapat dikembangkan dengan menambahkan jumlah lapisan, variasi nilai densitas batuan, serta integrasi kendala geologi permukaan, sehingga geometri sesar bawah permukaan dapat dimodelkan secara lebih detail dan realistis.
3. Untuk meningkatkan keakuratan interpretasi struktur, penelitian lanjutan disarankan mengombinasikan metode gayaberat dengan metode geofisika lain, seperti seismik dangkal, magnetik, atau geolistrik, sehingga interpretasi struktur sesar dapat divalidasi secara multidisipliner.
4. Analisis keterkaitan antara hasil pemodelan struktur sesar dengan data kegempaan BMKG dapat dikembangkan secara kuantitatif, misalnya dengan menganalisis hubungan antara segmen sesar dengan kedalaman hiposenter, magnitudo gempa, dan mekanisme sumber gempa.
5. Hasil penelitian ini diharapkan dapat digunakan sebagai salah satu dasar dalam kajian mitigasi bahaya gempa bumi dan perencanaan tata ruang wilayah di Provinsi Lampung, khususnya di daerah yang berada di sekitar jalur Sesar Lampung–Panjang.

DAFTAR PUSTAKA

- Blakely, R. J. (1996). *Potential Theory in Gravity and Magnetic Applications*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Burger, H. R. (1992). *Exploration Geophysics of shallow Sub Surface*. Prentice Hall.
- Dani, I., Zaenudin, A., Hutomo, A. I., & Yuniza, N. (2024). Analysis of Subsurface Structure of Bandar Lampung City Based on Gravity Anomalies (2D & 3D modelling). *Geodynamics & Tectonophysics*. 15(1), Article 21.
- Daryono. (2016). *Aktivitas tektonik dan implikasinya terhadap kebencanaan di Indonesia*. Laporan Teknis, Pusat Gempa Bumi dan Tsunami, BMKG.
- Elkins, T. A. (1951). The second derivative method of gravity interpretation. *Geophysics*, 16(1), 29-50.
- Fossen, H. (2016). *Structural Geology* (2nd ed.). Cambridge: Cambridge University Press.
- Hall, R. (2012). Late Jurassic-Cenozoic reconstructions of the Indonesian region and the Indian Ocean. *Tectonophysics*, 570-571, 1-41.
- Henderson, R. G., & Zietz, I. (1949). The Computation of Second Vertical Derivative of Geomagnetic Fields. *Geophysics*, 14(4), 508-516.
- Hinze, W. J., von Frese, R. R. B., & Saad, A. H. (2013). *Gravity and magnetic exploration: Principles, practices, and applications*. Cambridge: Cambridge University Press

- Irsyam, M. (2010). *Ringkasan hasil studi dan rekomendasi peta gempa Indonesia 2010*. Bandung: Pusat Studi Gempa Nasional.
- Kadir, W. G. A. (2000). *Eksplorasi Gaya Berat dan Magnetik*. Bandung: Jurusan Teknik Geofisika, Institut Teknologi Bandung.
- Brotopuspito, K.S. (2001). *Teori dan Aplikasi Metode Gravitasi*. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.
- Li, Y., & Oldenburg, D. W. (1998). 3-D inversion of gravity data. *Geophysics*, 63(1), 109-119.
- Longman, I.M. (1959). Formulas for computing the Tidal Accelerations Due to the Moon and the Sun. *Journal of Geophysical Research*, 64(12), 2351-2355.
- Lowrie, W. (2007). *Fundamentals of Geophysics* (2nd ed). Cambridge: Cambridge University Press.
- Malod, J. A., Karta, K., Beslier, M. O., & Zen, M. T. (1995). From normal to oblique subduction: Tectonic relationships between Java and Sumatra. *Tectonophysics*, 241(1-2), 123-146.
- Mangga, S.A., Amiruddin, Suwarti, T., dan Sidarto, 1993, *Geologi Lembar Tanjungkarang, Sumatera*, Bandung: Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.
- Menke, W. (2012). *Geophysical data analysis: Discrete inverse theory*. Amsterdam: Academic Press.
- Natawidjaja, D. H., Sieh, K., Chlieh, M., Galetzka, J., Suwargadi, B. W., Cheng, H., Edwards, R. L., Avouac, J. P., & Ward, S. N. (2006). Source parameters of the great Sumatran megathrust earthquakes of 1797 and 1833 inferred from coral microatolls. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 111(B6), B06403.

- Octonovrilna, L. (2009). Analisa Perbandingan Anomali Gravitasi dengan persebaran intrusi air asin (Studi kasus Jakarta 2006-2007). *Jurnal Meteorologi dan Geofisika*, 10(1), 67-75.
- Rasimeng, S., Dani, I., Syahranti, W. P., Sitompul, I. J., & Nizam, F. M. (2024). Identification of regional rock depth–residual gravity anomaly based on spectrum analysis of geothermal prospect area of Wayratai Lampung, *Jurnal Ilmiah Penelitian dan Pembelajaran Fisika*, 10(1), 38–53
- Rasimeng, S., Fahrudin, F., Valentin, F., Aurora, T. G., & Nurlaili, J. (2024). Subsurface interpretation of the Panjang Fault area, Lampung, based on geomagnetic method. *Jurnal Geocelebes*, 8(1), 37-50.
- Rasimeng, S., Pratama, T. P. E., & Wibowo, R. C. (2024). Structural geology identification based on derivative analysis gravity data in Tangkuban Perahu Mountain. *Journal of Engineering and Scientific Research*, 6(1), 7-15.
- Reynolds, J. M. (1997). *An Introduction to Applied and Environmental Geophysics*. Chichester: John Wiley & Sons Ltd.
- Rosenbach, O. (1952). A Contribution to The Computation of The Second Derivative From Gravity Data. *Geophysics*, 17, 894–911.
- Sarkowi, M. (2010). Identifikasi Struktur Daerah Panas Bumi Ulubelu Berdasarkan Analisa Data SVD Anomali Bouguer. *Jurnal Sains MIPA*, 16(2), 111-118
- Sarkowi, M. (2014). *Eksplorasi Gaya Berat*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Sarkowi, M., Damayanti, L., Rosadi, V. A., Pinandita, A. H., Fajriyanto, Hendrawan, R. N., Wibowo, A., & Wibowo, R. C. (2025). Fault identification using inversion modeling and gradient method of gravity data in Bandar Lampung City. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1517(1), 012016.

- Sarkowi, M., Wibowo, R. C., Minardi, S., & Arifianto, I. (2021). Identification of hydrocarbons sub-basin based on gravity data analysis in Lampung area. *Jurnal Penelitian Fisika dan Aplikasinya*, 11(2), 106-113.
- Serway, Raymond dan John, W. (2009). *FISIKA Untuk Sains dan Teknik Buku 1* Edisi 6. Salemba Teknika. Jakarta.
- Setiadi, I., Setyanta, B., & Widijono, B. S. (2010). Delineasi cekungan sedimen Sumatra Selatan berdasarkan analisis data gaya berat. *Geo-Sciences: Jurnal Sumber Daya Geologi*, 20(2)
- Sieh, K., & Natawidjaja, D. (2000). Neotectonics of the Sumatran fault, Indonesia. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 105(B12).
- Siringoringo, L. P., Paembonan, A. Y., & Rahmanda, V. (2021). Fault reassessment in Way Huwi area, South Lampung using gravity method. *Jurnal Geofisika*, 19(1), 36-40.
- Sumintadireja, P., Dahrin, D., & Grandis, H. (2018). A note on the use of the second vertical derivative (SVD) of gravity data with reference to Indonesian cases. *Journal of Engineering and Technological Sciences*, 50(1), 127-139.
- Stein, S., & Wysession, M. (2003). *An Introduction to Seismology, Earthquakes, and Earth Structure*. Oxford: Blackwell Publishing.
- Syamsuriadi. (2013). Penentuan Struktur Bawah Permukaan Kota Makassar dengan Menggunakan Metode Gaya Berat (Gravity). Skripsi, Universitas Hasanuddin, Makassar.
- Telford, W. M., Geldart, L. P., & Sheriff, R. E. (1990). *Applied geophysics* (2nd ed.). Cambridge: Cambridge University Press.
- Twiss, R. J., & Moores, E. M. (2007). *Structural Geology* (2nd ed.). New York: W.H. Freeman and Company.

Wuenschel, P. C. & Nettleton, L. . (1971). *Elementary gravity and magnetics for geologists and seismologists*. Society of Exploration Geophysicists.