

**DELINEASI SUB CEKUNGAN HIDROKARBON PADA BLOK
SUMBAGSEL AREA -1 BERDASARKAN ANALISIS DATA GAYABERAT**

(Skripsi)

Oleh

David Valasso

2155051001



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG**

2026

**DELINEASI SUB CEKUNGAN HIDROKARBON PADA BLOK
SUMBAGSEL AREA -1 BERDASARKAN ANALISIS DATA
GAYABERAT**

**Oleh
DAVID VALASSO**

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNIK**

Pada

**Jurusan Teknik Geofisika
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG**

2026

ABSTRAK

DELINEASI SUB CEKUNGAN HIDROKARBON PADA BLOK SUMBAGSEL AREA -1 BERDASARKAN ANALISIS DATA

Oleh

David Valasso

Penelitian ini bertujuan untuk mendelineasi sub-cekungan dan memetakan pola migrasi hidrokarbon di Blok Sumbagsel Area-1, Cekungan Sumatera Selatan, menggunakan metode gayaberat berbasis data satelit GGMPlus. Proses analisis melibatkan pembuatan peta anomali Bouguer lengkap, pemisahan anomali regional dan residual melalui filter *moving average*, serta penerapan analisis *gradient gravity* untuk mengidentifikasi struktur geologi. Pola migrasi hidrokarbon diestimasi menggunakan analisis vektor berdasarkan anomali residual, sementara pemodelan inversi 2D dan 3D dilakukan menggunakan *software* Grav3D untuk mendapatkan gambaran distribusi densitas bawah permukaan. Hasil penelitian menunjukkan keberadaan lima sub-cekungan yang berasosiasi dengan anomali rendah dan kemungkinan sebagai zona akumulasi hidrokarbon. Analisis *gradient gravity* (FHD, SHD, SVD) berhasil mendeteksi sesar turun dan sesar naik yang membentuk struktur cekungan. Pola migrasi fluida menunjukkan arah pergerakan dari zona beranomali rendah ke tinggi, mengindikasikan potensi jalur migrasi hidrokarbon. Pemodelan inversi 3D memperkuat interpretasi adanya zona densitas rendah pada kedalaman tertentu yang diduga sebagai batuan reservoir.

Kata kunci: Anomali Bouguer, Blok Sumbagsel Area-1, Cekungan Sumatera Selatan, Filter *Moving Average*, *Gradient Gravity*, Gayaberat, Migrasi Hidrokarbon, Sub-cekungan.

ABSTRACT

DELINEATION OF SUB-BASIN IN THE SUMBAGSEL AREA-1 BLOCK BASED ON GRAVITY DATA ANALYSIS

By

David Valasso

This study aims to delineate sub-basins and map hydrocarbon migration patterns in the Sumbagsel Area-1 Block, South Sumatra Basin, using the GGMPlus satellite-based gravity method. The analysis process involves creating a complete Bouguer anomaly map, separating regional and residual anomalies through a moving average filter, and applying gravity gradient analysis to identify geological structures. Hydrocarbon migration patterns are estimated using vector analysis based on residual anomalies, while 2D and 3D inversion modeling is performed using Grav3D software to obtain an overview of subsurface density distribution. The results of the study indicate the presence of five sub-basins associated with low anomalies and the possibility of hydrocarbon accumulation zones. Gravity gradient analysis (FHD, SHD, SVD) successfully detected downthrown and uplifted faults forming basin structures. Fluid migration patterns indicate movement from low-anomaly zones to high-anomaly zones, suggesting potential hydrocarbon migration pathways. 3D inversion modeling reinforces the interpretation of low-density zones at specific depths, which are suspected to be reservoir rocks.

Keywords: Bouguer Anomaly, Sumbagsel Area-1 Block, South Sumatera Basin, Filter Moving Average, Gradient Gravity, Gravity, Hydrocarbon Migration, Sub-basin.

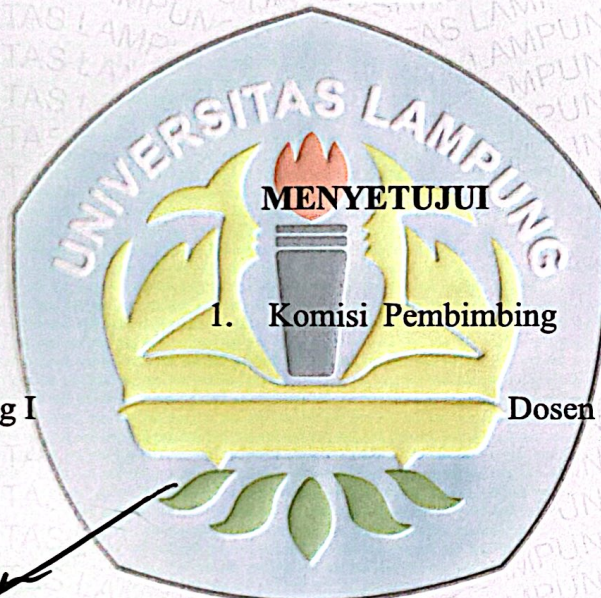
Judul Skripsi : Delineasi Sub Cekungan Pada Blok Sumbagsel Area-1 Berdasarkan Analisis Data Gayaberat

Nama Mahasiswa : David Valasso

Nomor Pokok Mahasiswa : 2155051001

Program Studi : Teknik Geofisika

Fakultas : Teknik



Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

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

NIP. 197112101997021001

Ir. Akroma Hidayatika, S.T., M.Eng.

NIP. 199008052019032014

2. Ketua Jurusan Teknik Geofisika

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

NIP. 197307162000121002

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

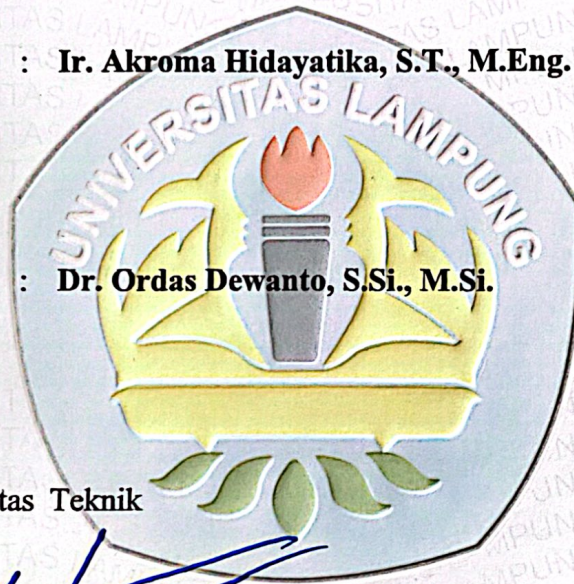
Ketua : **Prof. Dr. Ir. Muh Sarkowi, S.Si., M.Si., IPU.**



Sekretaris : **Ir. Akroma Hidayatika, S.T., M.Eng.**



Anggota : **Dr. Ordas Dewanto, S.Si., M.Si.**



2. Dekan Fakultas Teknik



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

NIP. 196910302000031001

Tanggal Lulus Ujian Skripsi: **29 Januari 2026**

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi saya yang berjudul **“DELINEASI SUB CEKUNGAN HIDROKARBON PADA BLOK SUMBAGSEL AREA-1 BERDASARKAN ANALISIS DATA GAYABERAT”** 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, 29 Januari 2026

Penulis,



David Valasso

NPM. 2155051001

RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama lengkap David Valasso, lahir di Blambangan Umpu pada tanggal 20 November 2002. Penulis merupakan anak ketiga dari tiga bersaudara, putra dari pasangan Bapak Sailan dan Ibu Eva Yanie. Penulis memulai pendidikan formal di TK IKI PTPN 7 Bandar Lampung 2008, SDN 1 Labuhan Ratu Bandar Lampung pada tahun 2009, SMPN

5 Blambangan Umpu pada tahun 2015, dan SMAN 1 Blambangan Umpu pada tahun 2018. Pada tahun 2021, penulis melanjutkan pendidikan tinggi di Jurusan Teknik Geofisika, Fakultas Teknik, Universitas Lampung melalui jalur Seleksi Mandiri Masuk Perguruan Negeri Tinggi (SMMPTN).

Selama menempuh pendidikan di perguruan tinggi, penulis aktif dalam berbagai kegiatan baik di bidang akademik maupun non-akademik. Pada tahun 2023, penulis menjadi anggota Himpunan Mahasiswa Teknik Geofisika Bhuwana (HIMA TG Bhuwana) menjadi pengurus di Bidang Kaderisasi selama dua periode. Pada tahun yang sama, penulis menjadi peserta lomba *Paper and Poster Competition* dalam *The 9th Geophysics Whiz Event and Seminar* (GWESS). Selain itu, pada tahun yang sama juga penulis menjadi anggota Divisi *Fieldtrip* dalam Himpunan Ahli Geofisika Indonesia (HAGI) *Student Chapter* Universitas Lampung. Pada tahun 2024, penulis menjadi Koordinator Kuliah Kerja Nyata (KKN) di desa Bangun Rejo, Tulang Bawang. Penulis menjalankan kegiatan Kerja Praktik (KP) di bulan Agustus 2024 di PT. Bukit Asam Tbk Tanjung Enim dengan judul “**Analisis Respon Log *Gamma Ray* dan Log Densitas Terhadap Variasi Kecepatan Perekaman Metode *Well Logging* Menggunakan Alat Robertson Geologging**”. Selanjutnya penulis melanjutkan Tugas Akhir mandiri di kampus dengan judul “**Delineasi Sub Cekungan Hidrokarbon pada Blok Sumbagsel Area-1 Berdasarkan Analisis Data Gayaberat**”.

MOTTO

“Ketika kamu telah berusaha, serahkan hasilnya kepada Allah, karena Dia sebaik-baik penolong (Cukuplah Allah Menjadi Penolong Kami dan Dia Sebaik-baik Pelindung)”

(Q.S. Ali Imron: 173)

“Aku membahayakan nyawa ibuku untuk lahir ke dunia, jadi tidak mungkin aku tidak ada artinya, dan aku membuat ayaku bekerja setiap hari hingga lelah, jadi aku pastikan lelahnya tidak sia-sia”

(Penulis)

“Mimpi yang mendukung sukses itu bukan mimpi yang kita temui pada saat kita tidur, tetapi mimpi yang mendukung kita sukses itu adalah mimpi yang membuat kita tidak bisa tidur”

(Cristiano Ronaldo)

*“Nobody knows the troubles
I see nobody knows my sorrow”*

(Soe Hok Gie)

*“So for once in my life
Let me get what i want
Lord knows, it would be the
First time”*

(The Smith)

HALAMAN PERSEMBAHAN

Dengan penuh rasa syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, skripsi ini penulis persembahkan sepenuhnya untuk kedua orang tua tercinta.

Papa dan Mama tercinta,
Sailan & Eva Yanie

Terima kasih atas kasih sayang yang tak pernah bertepi, doa yang senantiasa terucap dalam setiap sujud, serta pengorbanan yang tak terhitung sejak awal hingga penulis berada di titik ini. Setiap langkah yang penulis tempuh adalah cerminan dari ketulusan, kesabaran, dan kekuatan yang telah Papa dan Mama tanamkan.

Semoga karya sederhana ini menjadi salah satu bukti bakti, sekaligus harapan agar penulis mampu membalas segala pengorbanan dengan kebahagiaan dan kebanggaan di masa mendatang.

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT atas rahmat, taufik, dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “**Delineasi Sub Cekungan Hidrokarbon pada Blok Sumbagsel Area-1 Berdasarkan Analisis Data Gayaberat**” sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Geofisika, Fakultas Teknik, Universitas Lampung. Dalam penyusunan skripsi ini tidak terlepas dari bantuan, bimbingan, dan dukungan berbagai pihak. Oleh karena itu, dengan segala kerendahan hati penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang terlibat.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan demi perbaikan karya ilmiah ini di masa mendatang. Semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi penulis sendiri, pembaca, dan pihak-pihak yang berkepentingan, khususnya dalam pengembangan ilmu geofisika dan eksplorasi sumber daya alam.

Bandar Lampung, 29 Januari 2026

Penulis,

David Valasso

NPM. 2155051001

SANWACANA

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadiran Allah Subhanahu wa Ta'ala atas rahmat, karunia, dan petunjuk-Nya sehingga skripsi berjudul **“Delineasi Sub Cekungan Hidrokarbon pada Blok Sumbagsel Area-1 Berdasarkan Analisis Data Gayaberat”** dapat diselesaikan dengan baik. Penyusunan skripsi ini merupakan tahap akhir perkuliahan yang penuh tantangan sekaligus pembelajaran berharga. Keberhasilan ini tidak lepas dari dukungan, arahan, dan bantuan banyak pihak. Untuk itu, penulis menyampaikan 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 Prof. Dr. Ir. Muh Sarkowi, S.Si., M.Si., IPU., selaku dosen pembimbing I tugas akhir saya yang telah membimbing, selalu meluangkan waktu, 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. Ibu Ir. Akroma Hidayatika, S.T., M.Eng., selaku dosen pembimbing II tugas akhir saya yang telah memberikan arahan, saran, masukan dan koreksi, serta selalu membimbing penulis selama proses penyelesaian skripsi ini.
5. Bapak Dr. Ordas Dewanto, S.Si., M.Si. selaku dosen penguji tugas akhir saya yang telah memberikan masukan, saran, serta motivasi kepada penulis, sehingga dapat membangun dalam penyempurnaan skripsi ini.
6. Bapak Ir. Rahmat Catur Wibowo, S.T., M.Eng., IPM., selaku dosen pembimbing akademik yang senantiasa membimbing serta memberikan motivasi kepada penulis.
7. 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.

8. Kedua kakak tercinta, Adin Dio Saputra, S.H., M.H., dan Minak Roy Adji Darma, S.T., terima kasih atas doa, dukungan, dan semangat yang selalu diberikan di setiap langkah perjuangan adik bungsu kalian ini. Terima kasih atas kehangatan keluarga yang membuat penulis tetap kuat dan termotivasi hingga skripsi ini terselesaikan.
9. Satu kakak iparku, Pinan Yulita Atikah, S.Pd., yang turut serta dalam memberikan doa, dukungan, dan semangat.
10. Pemilik NPM 2115051006 yang menjadi *partner in everything*, terima kasih untuk selalu ada didekat penulis, membantu penulis dalam berbagai hal termasuk dalam membantu dan *support* untuk penulis menyelesaikan perkuliahan ini. Terimakasih telah sabar dalam menghadapi kepusingan yang dialami penulis selama ini karna berbagai hal yang telah terjadi pada kemarin-kemarin.
11. Kedua kucing kesayanganku, Kuki dan Marko yang menjadi *mood booster* penulis saat proses pengerjaan skripsi terasa berat. Terima kasih sudah hadir menjadi kucing yang pintar dan menggemaskan.
12. Teman-teman dari Way Kanan, Wendi, Demo, Deden, Sandi dan Farhan yang sudah mau berbaik hati dalam berteman yang dimana kita sama-sama sedang merantau untuk melaksanakan kuliah di Bandar Lampung.
13. Sahabat sejak awal perkuliahan hingga skripsi selesai, Warnet Bukan Circle (Fabian, Kevin, Sandika, Farhan, Geofhary, Pangal, Aziez, Farrell, Taufiq, Fadil, Ferdio, Anung, dan Fachri). Terimakasih atas kebersamaan, solidaritas, kesenangan dan juga kesedihan yang kita rasakan selama ini. Semoga kita semua bisa bertemu lagi di titik tertinggi dalam pencapaian di hidup kita masing-masing, namun yang terpenting bagi penulis adalah kita semua selalu diberikan kesehatan dan umur yang panjang.
14. “Pembimbing 3” sebutan untuk Hilmi Maulana, Reza, Fadhil, dan Rizky J Sianturi, terima kasih untuk segala bantuan yang diberikan pada saat penulis mengalami kesulitan.

15. Abang-abang TG, Bang Ikram, Bang Nanda, Bang Andiko, Bang Eet, Bang Jefry, Bang Cuyung, Bang Fiko, Bang Rifan, Bang Rakim, Bang Fahmi, Bang Damar, Bang Rayya, dan Bang Rezky yang sudah seperti abang kandung, terima kasih karena selalu mendukung, dan selalu menjadi tempat bertukar pikiran.
16. Keluarga besar Teknik Geofisika 2021 “Breksi”, terima kasih atas kebersamaan, dukungan, dan semangat yang kita bagi selama perjalanan ini. Setiap cerita, tawa, dan perjuangan yang kita lalui bersama telah menjadi bagian berharga yang membentuk kenangan indah di masa kuliah. Semoga setiap langkah kita ke depan selalu diberkahi kesuksesan dan kebahagiaan.
17. Terakhir, diri sendiri, David Valasso yang telah bertahan dalam kondisi apapun selama hidup di dunia ini. Walaupun diri sendiri selalu tidak percaya akan kemampuan yang dimiliki, tapi alhamdulillah-nya kita bisa sampai di titik yang ditunggu-tunggu dari awal melakukan Tugas Akhir. Dan mari berjanji pada diri sendiri untuk selalu kuat dalam segala hal kedepannya, karna kita tau perjalanan di depan akan lebih menantang lagi. Selalu *mengtrigger* diri sendiri bahwasannya kamu suka tantangan dan yakin bahwa tantangan itu bisa dan akan terlewati sehingga menjadi cerita yang bisa dibanggakan untuk anak-anak penulis nanti.

Bandar Lampung, 29 Januari 2026

David Valasso

NPM. 2155051001

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK	xv
ABSTRACT	iv
PERSETUJUAN	v
PENGESAHAN	vi
PERNYATAAN	vii
RIWAYAT HIDUP	viii
MOTTO	ix
HALAMAN PERSEMBAHAN	x
KATA PENGANTAR	xi
SANWACANA	xii
DAFTAR ISI	xv
DAFTAR GAMBAR	xix
DAFTAR TABEL	xxi
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan Penelitian	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Manfaat Penelitian	2
II. TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Lokasi Daerah Penelitian	4
2.2 Geologi Cekungan Sumatera Selatan	5
2.3 Fisiografi Cekungan Sumatera Selatan	6
2.4 Stratigrafi	7
2.4.1 Batuan Dasar (<i>Basement</i>)	8
2.4.2 Formasi Lahat	9
2.4.3 Formasi Talang Akar	9
2.4.4 Formasi Baturaja	10
2.4.5 Formasi Gumai (Telisa)	10

2.4.6	Formasi Air Bekanat (<i>Lower Palembang</i>).....	10
2.4.7	Formasi Muara Enim (<i>Middle Palembang</i>).....	11
2.4.8	Formasi Kasai (<i>Upper Palembang</i>).....	11
2.5	<i>Petroleum System</i> Cekungan Sumatera Selatan.....	12
2.5.1	Batuan Induk (<i>Source Rock</i>).....	12
2.5.2	Reservoar.....	13
2.5.3	Batuan Penutup (<i>Seal</i>).....	13
2.5.4	<i>Trap</i>	14
2.5.5	Migrasi.....	14
2.6	Penelitian Terdahulu.....	14
III.	TEORI DASAR.....	17
3.1	Data Global Gayaberat Model Plus (GGMPlus).....	17
3.2	Metode Gayaberat.....	18
3.3	Konsep Metode Gayaberat.....	18
3.3.1	Hukum Newton.....	18
3.3.2	Percepatan Gravitasi.....	18
3.3.3	Potensial Gayaberat.....	19
3.4	Rapat Massa Batuan.....	20
3.5	Koreksi-koreksi Metode Gayaberat.....	22
3.5.1	Koreksi Udara Bebas (<i>Free Air Correction</i>).....	22
3.5.2	Koreksi Bouguer.....	22
3.5.3	Koreksi Medan (<i>Terrain Corection</i>).....	23
3.5.4	Anomali Bouguer.....	24
3.6	Rapat Massa Batuan Bawah Permukaan Rata-rata.....	25
3.7	Analisis Spektrum.....	26
3.8	Filter <i>Moving Average</i>	28
3.9	Analisis <i>Derivative</i>	28
3.10	Pemodelan Inversi (<i>Inversion Modeling</i>).....	31
3.11	Sesar.....	32
3.12	Pola Arah Migrasi.....	33
IV.	METODOLOGI PENELITIAN.....	35
4.1	Tempat dan Waktu Peneltian.....	35

4.2	Alat dan Bahan	35
4.3	Prosedur Penelitian.....	35
4.3.1	Membuat Peta Anomali Bouguer Lengkap	35
4.3.2	Analisis Spektrum	35
4.3.3	Pemisahan Anomali Regional dan Residual	36
4.3.4	Analisis <i>Derivative</i>	36
4.3.5	Analisis Vektor.....	36
4.3.6	Pemodelan Bawah Permukaan	37
4.4	Jadwal Kegiatan	38
4.5	Diagram Alir	39
V.	HASIL DAN PEMBAHASAN.....	40
5.1	Anomali Bouguer Lengkap	40
5.2	Analisis Spektrum	41
5.2.1	Lintasan 1 Analisis Spektrum.....	42
5.2.2	Lintasan 2 Analisis Spektrum.....	43
5.2.3	Lintasan 3 Analisis Spektrum.....	43
5.2.4	Lintasan 4 Analisis Spektrum.....	44
5.2.5	Lintasan 5 Analisis Spektrum.....	44
5.3	Anomali Regional.....	46
5.4	Anomali Residual	47
5.5	Analisis <i>Derivative</i>	49
5.5.1	<i>Second Vertical Derivative</i>	49
5.5.2	<i>First Horizontal Derivative</i>	53
5.5.3	<i>Second Horizontal Derivative</i>	53
5.6	Analisis Vektor.....	53
5.7	Pemodelan Inversi 3D	56
5.8	Pemodelan Inversi 2D	58
5.8.1	Lintasan A – A'	58
5.8.2	Lintasan B – B'	59
VI.	KESIMPULAN DAN SARAN.....	61
6.1	Kesimpulan.....	61
6.2	Saran.....	62

DAFTAR PUSTAKA	63
-----------------------------	-----------

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Peta lokasi daerah penelitian.....	4
2. Geologi daerah penelitian	5
3. Sub Cekungan di Sumatera Selatan	6
4. Fisiografi Cekungan Sumatera Selatan.....	7
5. Kolom stratigrafi Cekungan Sumatera Selatan.....	8
6. <i>Petroleum system</i> Cekungan Sumatera Selatan.....	12
7. Ilustrasi cara kerja satelit GRACE.....	17
8. Ilustrasi cara kerja satelit GOCE	17
9. Gaya tarik menarik anatar dua benda	19
10. Kurva $Ln A$ terhadap k	26
11. Migrasi hidrokarbon	33
12. Diagram alir	39
13. Peta anomali Bouguer lengkap	40
14. Lintasan <i>slicing</i> analisis spektrum	42
15. Lintasan 1 analisis spektrum.....	43
16. Lintasan 2 analisis spektrum.....	43
17. Lintasan 3 analisis spektrum.....	44
18. Lintasan 4 analisis spektrum.....	44
19. Lintasan 5 analisis spektrum.....	45
20. Peta anomali regional	47
21. Peta anomali residual	48
22. Peta SVD	49
23. Peta delineasi sub cekungan	51
24. Korelasi <i>forward modeling</i> bagian B dengan seismik bagian LPG-A	52
25. Korelasi <i>forward modeling</i> bagian C dengan seismik bagian LPG-B.....	52
26. Analisis vektor	54
27. Pola migrasi hidrokarbon.....	55
28. Model 3D	57

29.	Lintasan A - A' inversi 2D	58
30.	Lintasan B - B' inversi 2D	59

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Nilai rapat massa batuan batuan	22
2. Parameter SVD Henderson and Zietz.....	32
3. Parameter SVD Elkins	32
4. Parameter SVD Rosenbach.....	32
5. <i>Software</i>	35
6. Data penelitian	35
7. Jadwal kegiatan penelitian.....	39
8. Kedalaman diskontinuitas Blok SUMBAGSEL Area-1 berdasarkan analisis spektrum	46
9. Nilai SHD dan jenis sesar pada lintasan 2D inversi	61

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sektor migas (minyak dan gas bumi) merupakan komponen vital dalam perekonomian Indonesia, dengan kontribusi yang signifikan terhadap pendapatan negara dan penyediaan energi domestik. Indonesia memiliki sejumlah cekungan geologi yang kaya akan potensi hidrokarbon, termasuk di wilayah Sumatera Selatan yang dikenal sebagai salah satu daerah penghasil migas terbesar di Indonesia. Menurut data dari Badan Pengatur Hulu Minyak dan Gas Bumi (BPH Migas) dan SKK Migas, Sumatera Selatan memiliki beberapa blok migas yang telah berproduksi dan sebagian besar terletak di dalam Cekungan Sumatera Selatan yang merupakan kawasan produktif bagi eksplorasi migas (SKK Migas, 2021). Di antara blok migas yang ada, Blok Sumbagsel Area-1 menjadi salah satu kawasan yang memiliki potensi besar, baik untuk minyak bumi maupun gas alam. Pengetahuan yang lebih mendalam mengenai struktur geologi bawah permukaan di kawasan ini menjadi sangat penting untuk meningkatkan efisiensi dan akurasi dalam eksplorasi hidrokarbon. Oleh karena itu, penelitian untuk memahami formasi geologi dan sub cekungan yang ada di wilayah ini melalui metode geofisika sangat diperlukan untuk menentukan potensi akumulasi hidrokarbon yang tersembunyi.

Salah satu metode geofisika yang dapat digunakan untuk mendalami struktur geologi bawah permukaan adalah metode gayaberat. Metode ini bekerja dengan memanfaatkan perbedaan rapat massa batuan di bawah permukaan yang menghasilkan anomali gravitasi, yang dapat digunakan untuk mengidentifikasi struktur geologi seperti lipatan, sesar, dan sub cekungan, yang berpotensi menjadi tempat *trap* hidrokarbon (Telford et al., 1990). Di cekungan Sumatera Selatan, termasuk Blok Sumbagsel Area-1, metode gayaberat telah terbukti efektif untuk mendeteksi anomali gravitasi yang berhubungan dengan formasi geologi yang kaya akan hidrokarbon (Juwita et al., 2023). Dengan menganalisis anomali gayaberat di wilayah ini, diharapkan dapat diperoleh informasi lebih mendalam mengenai struktur

bawah permukaan dan sub cekungan yang dapat mengindikasikan keberadaan akumulasi hidrokarbon. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengeksplorasi potensi hidrokarbon di Blok Sumbagsel Area 1 melalui analisis gayabarat, serta memberikan pemahaman lebih lanjut mengenai karakteristik geologi yang dapat menjadi target eksplorasi. Penelitian ini diharapkan dapat mendukung upaya eksplorasi migas yang lebih efisien dan efektif di cekungan Sumatera Selatan serta memberikan kontribusi pada ketahanan energi nasional.

1.2 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Mendapatkan nilai anomali Bouguer daerah penelitian dari data GGMPPlus.
2. Mengidentifikasi sub cekungan dan batas sub cekungan berdasarkan analisis anomali Bouguer residual dan analisis gradien *gravity*.
3. Mendapatkan pola migrasi hidrokarbon pada daerah penelitian berdasarkan analisis vektor anomali Bouguer residual.
4. Mendapatkan model struktur bawah permukaan daerah penelitian berdasarkan analisis gradien *gravity* dan pemodelan 3D anomali Bouguer residual.

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah pemodelan struktur bawah permukaan berdasarkan *filter moving average*, analisis gradien *gravity* menggunakan FHD, SHD, dan SVD. Analisis vektor berdasarkan perhitungan *software* Surfer 13 pada data anomali residual, serta *inverse modelling* 3D menggunakan *software* Grav3D pada anomali Bouguer residual data gravitasi satelit GGMplus.

1.4 Manfaat Penelitian

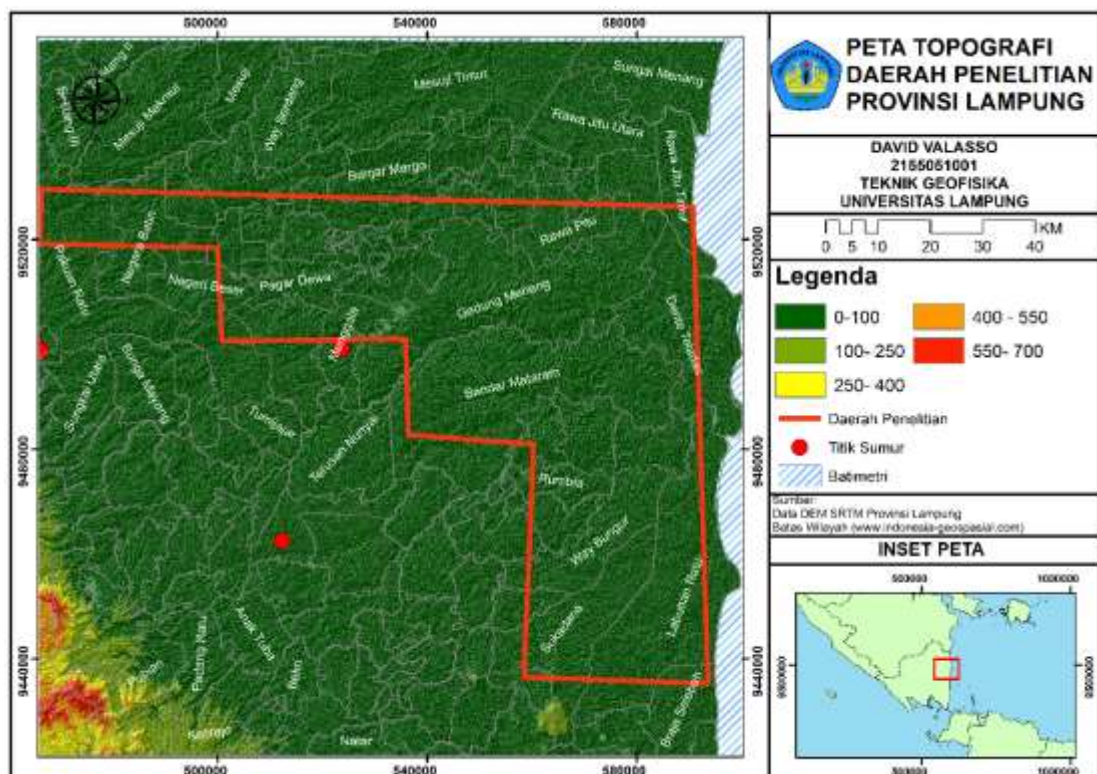
Penelitian ini memberikan manfaat penting dalam meningkatkan efisiensi eksplorasi migas di Blok Sumbagsel Area 1 dengan memanfaatkan metode gayabarat untuk mengidentifikasi struktur geologi bawah permukaan dan

sub cekungan yang berpotensi mengandung hidrokarbon. Selain itu, penelitian ini juga dapat berkontribusi pada pengelolaan sumber daya migas yang lebih berkelanjutan, mendukung ketahanan energi nasional, dan memberikan referensi bagi pengembangan teknologi eksplorasi migas.

II. TINJAUAN PUSTAKA

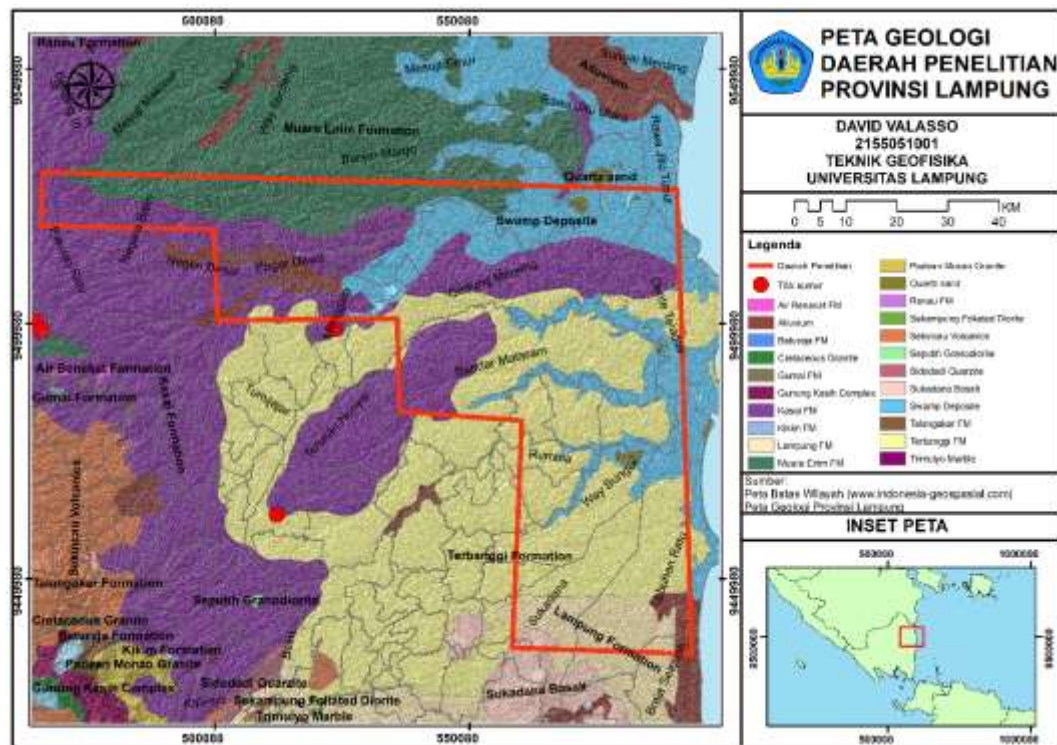
2.1 Lokasi Daerah Penelitian

Lokasi daerah penelitian terletak di Blok SUMBAGSEL Area-1, Provinsi Lampung yang masuk dalam Cekungan Sumatera Selatan bagian Sub Cekungan Palembang Selatan. Blok SUMBAGSEL Area-1 mencakup beberapa daerah di Lampung seperti Negara Batin, Negeri Besar, Pagar Dewa, Menggala, Rawa Pitu, Gedung Meneng, Bandar Mataram, Dente Teladas, Rumbia, Way Bungur, Sukadana, dan Labuhan Ratu. Daerah penelitian tersebut memiliki luas sekitar 4000 km, dengan data gayaberat yang mempunyai spasi antar titik sekitar 200m.



Gambar 1. Peta lokasi daerah penelitian

2.2 Geologi Cekungan Sumatera Selatan

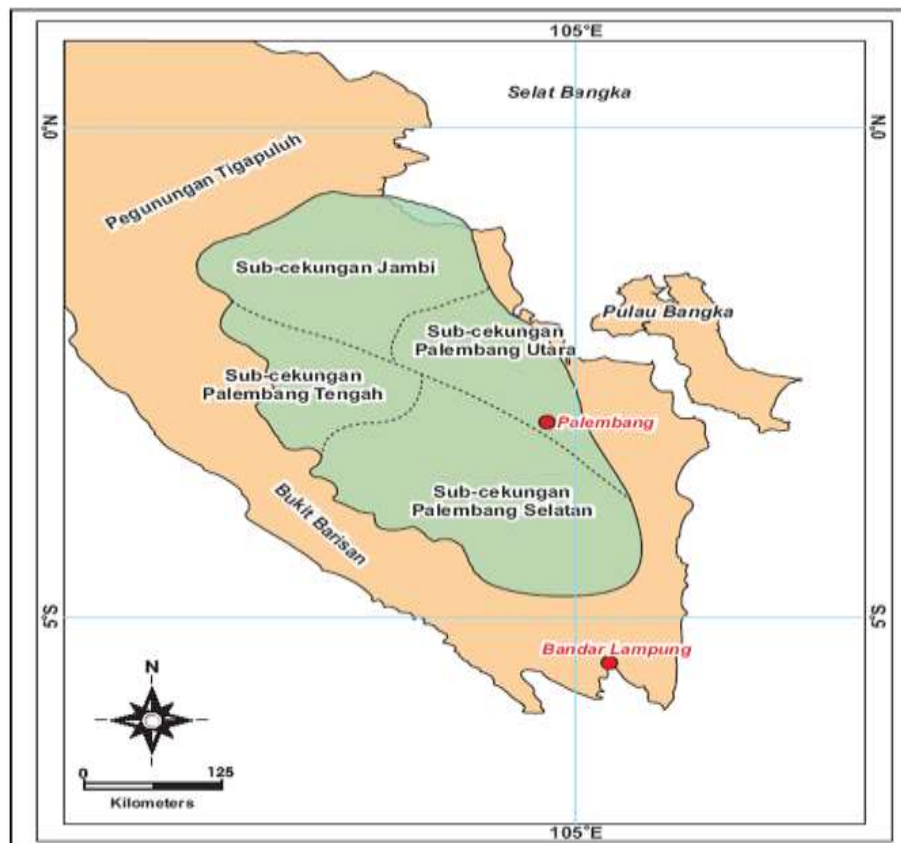


Gambar 2. Geologi daerah penelitian

Geologi di Cekungan Sumatera Selatan terbentuk akibat aktivitas tektonik yang erat kaitannya dengan proses subduksi Lempeng Indo-Australia yang bergerak ke arah utara hingga timur laut terhadap Lempeng Eurasia yang relatif stabil. Zona subduksi tersebut meliputi daerah di sebelah barat Pulau Sumatera dan selatan Pulau Jawa. Di antara area interaksi ini terdapat beberapa mikro-lempeng yang juga mengalami pergerakan, sehingga membentuk zona konvergensi dengan berbagai bentuk dan arah. Pergerakan subduksi Lempeng Indo-Australia ini berdampak pada karakteristik batuan, bentuk morfologi, serta struktur tektonik di wilayah Sumatera Selatan. Sebagai dampak dari benturan tektonik di Pulau Sumatera, terbentuklah tiga jalur busur utama, yaitu busur depan, busur magmatik, dan busur belakang (Bishop, 2000).

Cekungan Sumatera Selatan merupakan bagian dari cekungan busur belakang (*Back Arc Basin*) yang terbentuk akibat interaksi antara Lempeng Indo-Australia dan Lempeng Mikro-Sunda. Berdasarkan Pulunggono dan Cameron (1984), cekungan ini terbagi menjadi empat sub-cekungan, yaitu Sub Cekungan

Jambi, Sub Cekungan Palembang Utara, Sub Cekungan Palembang Selatan, dan Sub Cekungan Palembang Tengah. Formasi cekungan ini tersusun atas sedimen Tersier yang tidak selaras (*unconformity*) di atas batuan metamorf dan batuan beku Pra-Tersier.



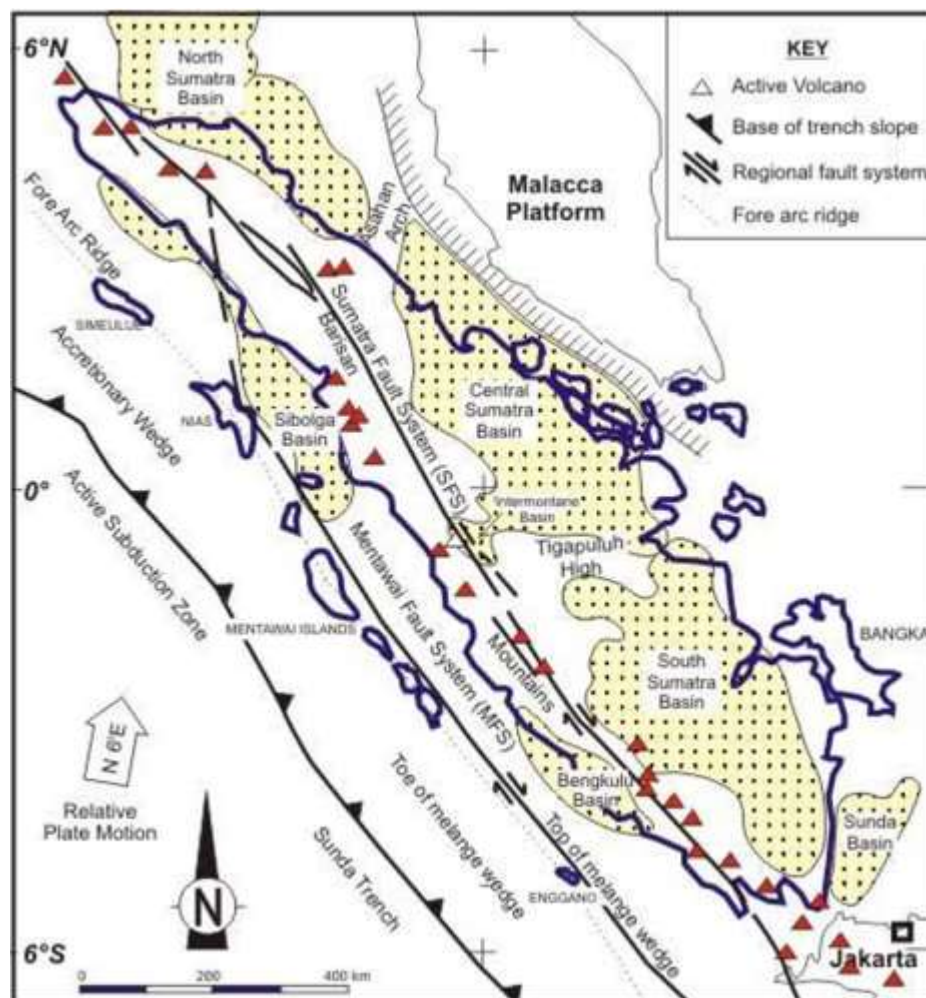
Gambar 3. Sub Cekungan di Sumatera Selatan (Ningrum, 2015)

2.3 Fisiografi Cekungan Sumatera Selatan

Berdasarkan kondisi tektoniknya, Cekungan Sumatera Selatan terbagi menjadi daerah tinggi dan daerah rendah. Daerah tinggi meliputi Tinggian Meraksa (termasuk Kuang), Tinggian Palembang, Tinggian Tamiang, bagian utara Tinggian Palembang, dan Tinggian Sembilang. Sedangkan daerah rendah terdiri dari Depresi Lematang (Muara Enim Dalam), Antiklinorium Pendopo–Limau, dan bagian utara Antiklinorium Palembang.

Cekungan Sumatera Selatan terletak di bagian selatan Pulau Sumatera dan memanjang dari barat laut ke tenggara (NW–SE). Cekungan ini memiliki luas

sekitar $\pm 85.670 \text{ km}^2$ dan terbagi menjadi dua sub-cekungan: Sub Cekungan Jambi yang membentang dari timur laut ke barat daya (NE–SW) dan Sub Cekungan Palembang yang membentang dari utara barat laut ke selatan tenggara (NNW–SSE), yang dipisahkan oleh sesar normal berarah NE–SW. Cekungan ini dibatasi oleh Pegunungan Barisan di sebelah barat, Pegunungan Tigapuluh dan Pegunungan Duabelas di utara, Pulau Bangka–Belitung di timur, serta Tinggian Lampung di selatan (Pulonggono, 1984).

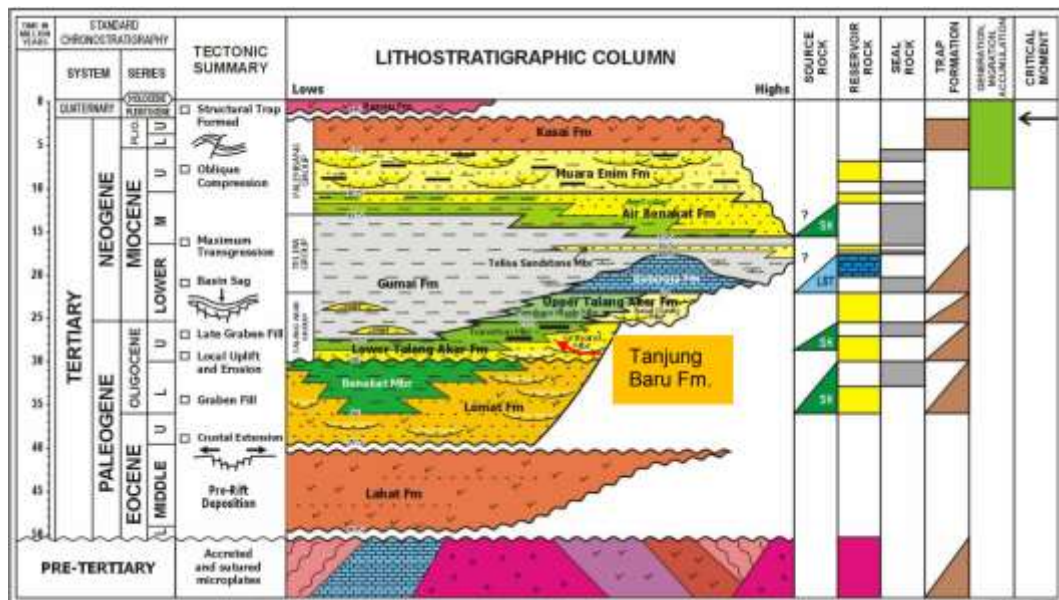


Gambar 4. Fisiografi Cekungan Sumatera Selatan (Mertosono & Nayoan, 1974)

2.4 Stratigrafi

Stratigrafi Cekungan Sumatra Selatan menurut (de Coster, 1974) adalah sebagai berikut. Secara umum, stratigrafi Cekungan Sumatra Selatan

menunjukkan satu *megacycle* (daur besar) yang diawali dengan fase transgresi dan diikuti oleh fase regresi. Formasi yang terbentuk pada fase transgresi digolongkan ke dalam Kelompok Telisa, yang meliputi Formasi Talang Akar, Formasi Baturaja, dan Formasi Gumai (Pulunggono & Cameron, 1984). Pada fase regresi, terbentuklah Kelompok Palembang yang mencakup Formasi Air Benakat, Formasi Muara Enim, dan Formasi Kasai. Sementara itu, Formasi Lemat dan *Older* Lemat terbentuk sebelum fase transgresi utama terjadi. Menurut de Coster (1974), stratigrafi Cekungan Sumatera Selatan disusun sebagai berikut.



Gambar 5. Kolom stratigrafi Cekungan Sumatera Selatan, (Panggabean & Santy, 2012)

2.4.1 Batuan Dasar (Basement)

Batuan dasar (Pra-Tersier) di Cekungan Sumatera Selatan terdiri dari batuan kompleks dari zaman Paleozoikum dan Mesozoikum, termasuk batuan metamorf, batuan beku, dan batuan karbonat. Batuan dasar tertua, yang mengalami deformasi paling ringan, diduga merupakan bagian dari Lempeng Mikro Malaka dan berada di bagian utara serta timur cekungan. Di sisi selatan, terdapat Lempeng Mikro Mergui yang mengalami deformasi lebih kuat dan kemungkinan merupakan fragmen kontinental yang lebih rapuh. Kedua lempeng mikro ini dipisahkan oleh fragmen terdeformasi akibat tumbukan dari material

selatan. Selain itu, batuan granit, vulkanik, dan metamorf dari Kapur Akhir yang terdeformasi kuat juga menjadi bagian dari alas cekungan. Bentuk batuan dasar ini diperkirakan memengaruhi bentuk *rift* pada Eosen–Oligosen, menentukan lokasi dan luasnya inversi atau sesar mendatar pada Plio–Pleistosen, menimbulkan konsentrasi lokal karbon dioksida yang tinggi pada gas hidrokarbon, dan berperan dalam pembentukan rekahan pada batuan dasar (Ginger & Fielding, 2005).

2.4.2 Formasi Lahat

Batuan tertua di Cekungan Sumatera Selatan berasal dari akhir zaman Mesozoikum. Formasi ini terdiri dari batupasir tufan, konglomerat, breksi, dan lempung. Bahan-bahan tersebut diperkirakan terbentuk dari siklus sedimentasi daratan, yang disebabkan oleh aktivitas vulkanik, erosi, dan pengaruh tektonik pada akhir Kapur hingga awal Tersier di wilayah cekungan ini (Ginger & Fielding, 2005).

2.4.3 Formasi Talang Akar

Formasi Talang Akar diperkirakan terbentuk pada akhir Oligosen hingga awal Miosen. Formasi ini diendapkan tidak selaras di atas Formasi Lahat, mungkin bersifat *paraconformable*, dan selaras di bawah Formasi Gumai atau anggota Basal Telisa/Formasi Baturaja. Di Cekungan Sumatera Selatan, Formasi Talang Akar terdiri dari batulanau, batupasir, dan sisipan batubara yang terbentuk di lingkungan laut dangkal hingga zona transisi. Bagian bawah formasi didominasi batupasir kasar, serpih, dan batubara, sedangkan bagian atasnya merupakan perselingan batupasir dan serpih. Ketebalan formasi ini berkisar antara 460–610 meter di beberapa wilayah. Lingkungan pengendapannya beragam, mulai dari sistem fluvial-deltaik dengan *braided stream* dan *point bar* di paparan (*shelf*), yang secara bertahap berubah menjadi *delta front*, *marginal marine*, dan prodelta, menandakan pergeseran pengendapan ke arah cekungan. Sedimen batupasir di bagian bawah formasi ini bersumber dari dua tinggian pada akhir Oligosen, yaitu dari sebelah timur (wilayah Sunda) dan sebelah barat (Pegunungan Barisan dan tinggian di sekitarnya) (Ginger & Fielding, 2005).

2.4.4 Formasi Baturaja

Formasi Baturaja terbentuk secara selaras di atas Formasi Talang Akar pada awal Miosen. Formasi ini tersebar luas dan terutama terdiri dari platform karbonat setebal 20–75 meter, dengan tambahan *carbonate build-up* dan *reef* setebal 60–120 meter. Batuan karbonatnya mengandung *shale* dan *calcareous shale* yang terbentuk di laut dalam, baik di area platform maupun di tinggian (Bishop, 2001). Hingga sekarang, proses pengendapan karbonat masih berlangsung dan menghasilkan batugamping. Endapan karbonat ini terbentuk di *platform* yang berada di tepi cekungan dan di *reef* yang ada pada tinggian intra-basinal. Karbonat dengan kualitas reservoir terbaik biasanya ditemukan di bagian selatan cekungan, meskipun lebih jarang di bagian utara Sub Cekungan Jambi (Ginger & Fielding, 2005). Fasies batugamping Formasi Baturaja mencakup *mudstone*, *wackestone*, dan *packstone*. Bagian bawah formasi didominasi batugamping kristalin yang tersusun dari *wackestone* bioklastik dengan sedikit planktonik foraminifera, dan di beberapa lokasi terdapat *vein*.

2.4.5 Formasi Gumai (Telisa)

Formasi Gumai terbentuk secara selaras di atas Formasi Baturaja pada periode Oligosen hingga Miosen Tengah. Formasi ini terdiri dari *fossiliferous marine shale* dan lapisan batugamping yang mengandung mineral glaukonit (Bishop, 2001). Bagian bawahnya didominasi serpih yang bercampur dengan *calcareous shale*, serta terdapat sisipan batugamping, napal, dan batulanau. Bagian atas formasi lebih banyak terdiri dari perselingan batupasir dan *shale*. Ketebalan Formasi Gumai diperkirakan mencapai sekitar 2.700 meter di tengah cekungan, tetapi menipis di tepi cekungan dan saat melewati zona tinggian (Ginger & Fielding, 2005).

2.4.6 Formasi Air Bekanat (*Lower Palembang*)

Formasi Air Benakat terbentuk pada fase regresi yang menandai berakhirnya pengendapan Formasi Gumai pada Miosen Tengah (Bishop, 2001). Pada fase ini, sedimentasi terjadi di lingkungan laut dangkal (neritik) dan kemudian

beralih menjadi delta plain dan lahan rawa pantai (coastal swamp) pada akhir siklus regresi pertama. Formasi ini tersusun dari batulempung putih keabu-abuan dengan sisipan batupasir halus, batupasir abu-abu kebiruan kehitaman, serta bagian lokal yang mengandung glaukonit dan lignit. Bagian atas formasi mengandung tufan, sedangkan bagian tengah kaya fosil foraminifera. Ketebalan Formasi Air Benakat diperkirakan antara 1000 hingga 1500 meter.

2.4.7 Formasi Muara Enim (*Middle Palembang*)

Formasi ini terbentuk pada Miosen Akhir hingga Pliosen sebagai bagian dari siklus regresi kedua, yang ditandai oleh pengendapan laut dangkal hingga pasir daratan, delta, dan batulempung. Siklus regresi kedua berbeda dari siklus pertama (Formasi Air Benakat) karena tidak mengandung batupasir glaukonitan dan memiliki lapisan batubara yang tebal. Pengendapan awal terjadi di lingkungan rawa pantai, terutama di bagian selatan Cekungan Sumatera Selatan, membentuk endapan batubara yang luas. Selanjutnya, sedimentasi berlanjut di *delta plain* dengan pembentukan setempat lapisan serpih dan batupasir tebal. Siklus regresi kedua ini berakhir pada Miosen Akhir dengan munculnya tanda awal aktivitas tektonik Plio–Pleistosen, yang menutup cekungan dan memulai pengendapan di lingkungan *non-marine*. Batupasir di formasi ini kadang mengandung glaukonit dan material vulkanik, serta ditemukan oksida besi berbentuk konkresi dan kayu yang tersilikakan (*silicified wood*). Batubara yang terbentuk umumnya berupa lignit. Ketebalan formasi ini tipis di bagian utara dan mencapai sekitar 750 meter di bagian selatan (Bishop, 2001).

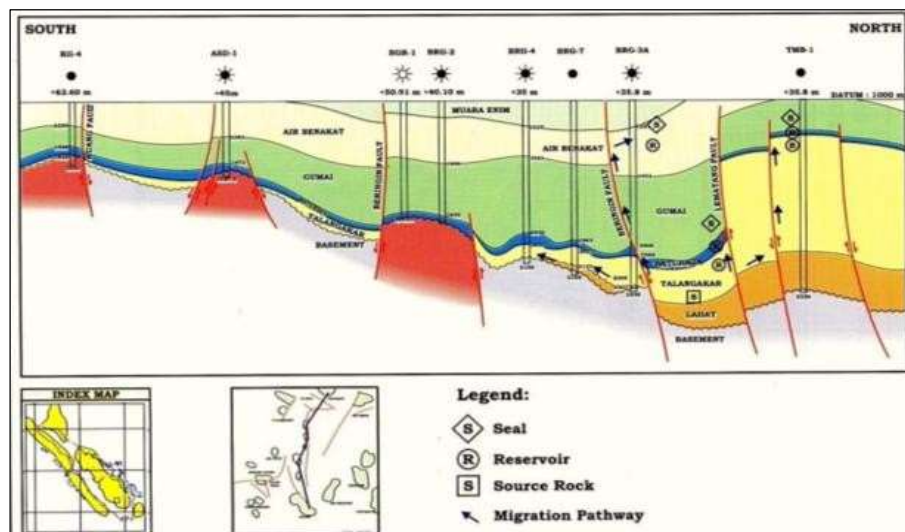
2.4.8 Formasi Kasai (*Upper Palembang*)

Formasi ini terbentuk pada Pliosen hingga Pleistosen akibat erosi dari pengangkatan Pegunungan Bukit Barisan dan Pegunungan Tigapuluh, serta proses pengangkatan dan pelipatan di dalam cekungan. Pengendapan dimulai setelah muncul tanda awal pengangkatan terakhir Pegunungan Barisan sejak Miosen Akhir. Perbatasan formasi ini dengan Formasi Muara Enim ditandai oleh kemunculan batupasir tufaan pertama. Ciri khas dari siklus regresi ketiga ini

adalah dominasi material vulkanik. Formasi Kasai terdiri dari batupasir kontinental, lempung, dan material piroklastik, sekaligus menutup siklus susut laut. Bagian bawah formasi didominasi batupasir tufaan dengan sisipan *claystone tufaan* dan batupasir lepas, sedangkan bagian atasnya mengandung lapisan tuf, batu apung dengan sisa tumbuhan, dan kayu yang menunjukkan struktur sedimen silang-siur. Lignit ditemukan sebagai lensa-lensa di dalam batupasir dan batulempung yang mengandung tuf (Ginger & Fielding, 2005).

2.5 Petroleum System Cekungan Sumatera Selatan

Cekungan Sumatera Selatan merupakan salah satu cekungan yang produktif dalam menghasilkan minyak dan gas bumi. Hal ini terlihat dari banyaknya rembesan minyak dan gas yang terkait dengan struktur antiklin, terutama di kaki Bukit Gumai dan Pegunungan Barisan. Rembesan ini bisa menjadi petunjuk awal adanya potensi hidrokarbon di bawah permukaan, yang kemudian dapat dianalisis lebih lanjut menggunakan konsep *petroleum system* (Ariyanto, 2011).



Gambar 6. *Petroleum system* Cekungan Sumatera Selatan (Patra Nusa Data, 2006)

2.5.1 Batuan Induk (Source Rock)

Hidrokarbon di Cekungan Sumatera Selatan berasal dari batuan induk *lacustrine* pada Formasi Lahat serta batuan induk *terrestrial* berupa batubara dan

coaly shale pada Formasi Talang Akar. Batuan *lacustrine* terbentuk di dalam kompleks *half graben*, sedangkan batubara dan *coaly shale* tersebar di sepanjang tepi half graben. Selain itu, batugamping dari Formasi Baturaja dan serpih dari Formasi Gumai juga berpotensi menghasilkan hidrokarbon secara lokal (Bishop, 2000). Gradien temperatur di cekungan ini sekitar 49°C/km, lebih rendah dibandingkan Cekungan Sumatera Tengah, sehingga akumulasi minyak cenderung berada pada kedalaman lebih besar. Formasi Baturaja dan Formasi Gumai berada pada tingkat kematangan hingga awal kematangan untuk generasi gas termal di beberapa bagian cekungan, sehingga memiliki potensi menghasilkan gas dalam sistem perminyakan (Bishop, 2000).

2.5.2 Reservoir

Di Cekungan Sumatera Selatan, beberapa formasi berperan sebagai reservoir hidrokarbon yang efektif, termasuk *basement*, Formasi Lahat, Talang Akar, Baturaja, dan Gumai. Di Sub Cekungan Palembang Selatan, sebagian besar produksi hidrokarbon berasal dari Formasi Talang Akar dan Baturaja. *Basement* yang berpotensi sebagai reservoir biasanya terdapat di daerah *uplifted* atau *paleo high* yang mengalami rekahan dan pelapukan, tersusun dari granit dan kuarsit dengan porositas efektif sekitar 7%. Formasi Talang Akar umumnya terdiri dari batupasir kuartitik, batulanau (*siltstone*), dan endapan serpih (*shale*), di mana batupasirnya memiliki kualitas reservoir yang sangat baik dengan porositas 15–30% dan permeabilitas sekitar 5 Darcy. Diperkirakan Formasi Talang Akar menyumbang sekitar 75% dari total produksi minyak di cekungan ini (Bishop, 2000). Sedangkan pada reservoir karbonat Formasi Baturaja, bagian atas formasi memiliki porositas lebih tinggi dibandingkan bagian bawah yang lebih padat. Porositasnya berkisar 10–30% dengan permeabilitas sekitar 1 Darcy (Ariyanto, 2011).

2.5.3 Batuan Penutup (*Seal*)

Di Cekungan Sumatera Selatan, batuan penutup umumnya berupa lapisan *shale* yang cukup tebal, yang menutupi reservoir di Formasi Talang Akar dan

Formasi Gumai (sebagai intraformational seal). Pada reservoir karbonat di Formasi Baturaja, *seal* juga terdiri dari lapisan *shale* dari Formasi Gumai. Sedangkan untuk reservoir batupasir di Formasi Air Benakat dan Formasi Muara Enim, *shale intraformational* berfungsi sebagai *seal rock* yang efektif untuk menahan hidrokarbon (Ariyanto, 2011).

2.5.4 Trap

Jebakan hidrokarbon utama di Cekungan Sumatera Selatan terbentuk oleh antiklin yang memanjang dari barat laut ke tenggara dan menjadi fokus eksplorasi pertama. Antiklin ini muncul akibat proses kompresi yang dimulai pada awal Miosen, sekitar 2–3 juta tahun lalu (Bishop, 2000). Selain itu, struktur geologi juga memengaruhi terbentuknya jebakan hidrokarbon. Jebakan struktural di cekungan ini biasanya dikontrol oleh gabungan struktur tua dan struktur muda. Jebakan pada struktur tua terkait dengan sesar normal regional atau sesar naik dari sistem *wrench fault* yang lebih muda, sedangkan jebakan pada struktur muda terbentuk akibat pengangkatan akhir Pegunungan Barisan pada periode Pliosen hingga Pleistosen (Ariyanto, 2011).

2.5.5 Migrasi

Migrasi hidrokarbon di Cekungan Sumatera Selatan terjadi baik secara horizontal maupun vertikal dari batuan induk, yaitu serpih dan batubara pada Formasi Lahat dan Talang Akar. Migrasi horizontal berlangsung sepanjang lereng, memindahkan hidrokarbon dari batuan induk ke reservoir di Formasi Lahat dan Talang Akar. Sementara itu, migrasi vertikal terjadi melalui rekahan dan sesar turun utama. Keberadaan hidrokarbon di Formasi Muara Enim dan Air Benakat menunjukkan adanya migrasi vertikal melalui zona sesar yang aktif pada periode Pliosen hingga Pleistosen (Ariyanto, 2011).

2.6 Penelitian Terdahulu

Beberapa penelitian telah menganalisis potensi hidrokarbon di cekungan menggunakan data gayabarat. Mirnanda et al. (2023) memanfaatkan *Second*

Vertical Derivative (SVD) untuk memetakan struktur patahan dan sesar di daerah Palembang, serta melakukan *forward* dan *inverse modeling* terhadap anomali residual hasil *filter moving average*. Pemodelan menunjukkan densitas batuan antara 2,31–2,53 gr/cm³, dengan cekungan hidrokarbon pada kedalaman 2.000–5.000 meter.

Setiawan & Mulyatno (2020) menggunakan SVD untuk memetakan struktur patahan dan pemodelan 3D anomali Bouguer serta residual. Analisis menunjukkan empat patahan pada anomali Bouguer lengkap dan residual, serta tiga patahan pada anomali regional. Berdasarkan inversi 3D anomali residual, cekungan batupasir berada pada kedalaman 1.500–3.300 meter dengan densitas 2,24–2,32 gr/cm³.

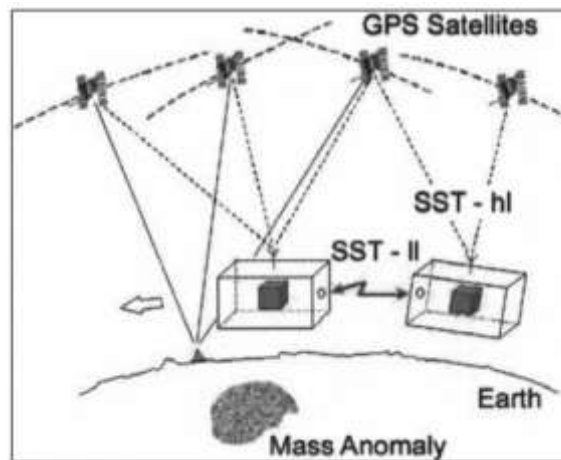
Mulya (2023) melakukan identifikasi patahan dan tipe patahan di Sub Cekungan Palembang Selatan menggunakan *First Horizontal Derivative* (FHD) dan SVD, serta *forward modeling* 2D. Hasil analisis menunjukkan banyak struktur patahan dan lipatan, terutama patahan naik, serta perangkap hidrokarbon berupa antiklin yang dikontrol oleh sistem sesar.

III. TEORI DASAR

3.1 Data Global Gayaberat Model Plus (GGMPlus)

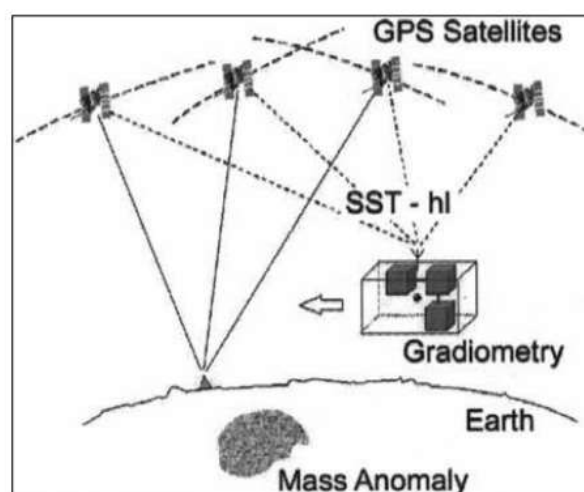
GGMPlus adalah model medan gravitasi yang dikembangkan menggunakan data satelit GRACE (ITG2010), satelit GOCE (TIM-4), EGM2008, dan data topografi gravitasi. GGMPlus menyediakan lima fungsi medan gravitasi, yaitu percepatan gravitasi, gangguan gravitasi, defleksi vertikal utara-selatan, defleksi timur-barat, dan tinggi kuasigeoid. Metode yang digunakan dalam pengembangan GGMPlus menggabungkan data dari satelit GRACE dan GOCE dengan model EGM2008. Proses yang dilakukan meliputi sintesis harmonik bola medan gravitasi, pemodelan maju, dan perhitungan gravitasi normal di permukaan, yang digabungkan untuk menghasilkan model gravitasi beresolusi tinggi (Suprianto et al., 2021). Jika dibandingkan dengan data gravitasi satelit lainnya seperti Topex dan BGI, GGMPlus menunjukkan keunggulan yang signifikan dalam hal kepadatan data dan resolusi spasial. Jarak antar titik gayaberat sekitar 200 meter, sehingga data GGMPlus tingkat detail yang jauh lebih tinggi, memungkinkan pemetaan yang lebih akurat dan komprehensif dari medan gravitasi Bumi (Hirt et al., 2013).

Satelit GRACE mengukur percepatan gravitasi Bumi menggunakan sepasang satelit identik yang terhubung dan berada di orbit yang sama, dengan jarak antar satelit sekitar 220 meter. Satelit depan akan mendekati sumber anomali gravitasi lebih dulu dibanding satelit belakang, sehingga mengalami gaya tarik gravitasi lebih besar. Akibatnya, jarak antara kedua satelit bertambah, yang digunakan untuk mendeteksi perubahan medan gravitasi Bumi (Bettadpur et al., 2016)



Gambar 7. Ilustrasi cara kerja satelit GRACE (Johannessen et al., 2003)

Satelit GOCE mengukur percepatan gravitasi Bumi menggunakan gradiometer, seperti terlihat pada Gambar 8. Gradiometer ini terdiri dari tiga pasang akselerometer identik yang dipasang pada tiga lengan saling tegak lurus, sehingga memungkinkan pengukuran simultan enam komponen medan gravitasi yang independen namun saling melengkapi. Sinyal yang dihasilkan berupa perbedaan percepatan gravitasi di dalam pesawat, yang mencerminkan gaya tarik akibat variasi medan gravitasi yang disebabkan oleh fitur geologi seperti pegunungan, lembah, zona subduksi, ketidakseragaman mantel, dan faktor lainnya (Dinkwater et al., 2003).



Gambar 8. Ilustrasi cara kerja satelit GOCE (Johannessen et al., 2003)

3.2 Metode Gayaberat

Metode gayaberat (gravitasi) merupakan metode yang dapat mengukur dan menyelidiki variasi medan gravitasi bumi yang disebabkan oleh perbedaan massa jenis (rapat massa batuan) dari batuan-batuan yang ada di bawah permukaan bumi. Sehingga, struktur bawah permukaan bawah permukaan dapat diketahui (Manrulu & Nurfalaq, 2017).

3.3 Konsep Metode Gayaberat

3.3.1 Hukum Newton

Metode gayaberat menggunakan prinsip hukum Newton. Hukum ini menyatakan bahwa gaya tarik-menarik antara dua partikel sebanding dengan hasil kali massa kedua partikel dan berbanding terbalik dengan kuadrat jarak di antara keduanya (Telford et al., 1990), seperti ditunjukkan pada Gambar 9. Pernyataan ini dapat dirumuskan dalam bentuk persamaan berikut:

$$\vec{F} = G \left(\frac{Mm}{r^2} \right) \hat{r} \quad (1)$$

Dengan:

$\vec{F}$ = Gaya yang bekerja pada m_2 (N)

G = Konstanta gravitasi ($6,672 \times 10^{-11}$ N)

$\hat{r}$ = Vektor satuan yang diarahkan dari m_2 menuju m_1

Mm = Massa partikel 1 dan 2 (Kg)

r^2 = Jarak antar massa partikel (m)

3.3.2 Percepatan Gravitasi

Dalam pengukuran gayaberat yang diukur bukanlah gaya gayaberat F , melainkan percepatan gravitasi g . Hubungan antara keduanya dijelaskan oleh Hukum Newton II yang menyatakan bahwa sebuah gaya adalah hasil perkalian dari massa dengan percepatan.

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

Interaksi antara Bumi (dengan massa M) dan suatu benda di permukaan Bumi (dengan massa m) yang berjarak r dari pusat Bumi juga mengikuti hukum ini. Dari persamaan (1) dan (2), didapatkan:

$$\vec{g} = \frac{\vec{F}}{m} = G \frac{mM}{mr^2} \vec{r} = G \frac{M}{r^2} \vec{r} \quad (3)$$

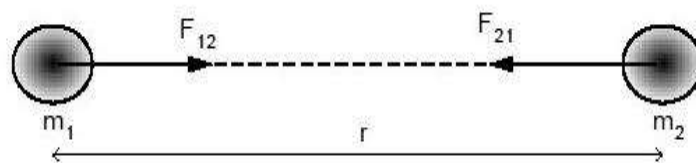
Persamaan (3) menunjukkan bahwa besarnya percepatan yang disebabkan oleh gaya gravitasi bumi adalah berbanding lurus dengan massa bumi (m_2) dan berbanding terbalik dengan kuadrat jari-jari bumi (r^2) (Santoso, 2002).

$$\rho = \frac{M}{V} \rightarrow M = \rho V \quad (4)$$

Subtitusikan persamaan (3) dengan (4) dimana massa suatu benda sama dengan hasil kali massa jenis/rapat massa dengan volume, sehingga kita bisa mendapatkan persamaan rapat massa atau densitas.

$$\vec{g} = G \frac{Mm}{mr^2} \vec{r} = G \frac{m}{r^2} \vec{r} \rightarrow \rho = \frac{\vec{g}r^2}{GV} \quad (5)$$

Berikut merupakan ilustrasi dari gaya tarik menarik yang ada pada hukum Newton.



Gambar 9. Gaya tarik menarik anatar dua benda (Grandis, 2009)

3.3.3 Potensial Gayaberat

Jika usaha untuk memindahkan sebuah partikel dalam medan gravitasi hanya tergantung pada posisi awal dan akhirnya, tanpa memperdulikan jalur yang ditempuh, maka medan gravitasi tersebut disebut medan konservatif. Vektor yang

arahnya sejajar dengan garis yang menghubungkan pusat kedua massa disebut vektor gravitasi (Sota, 2011). Untuk suatu massa tiga dimensi berbentuk sembarang yang terdistribusi secara kontinu dengan rapat massa $\Delta\rho(\alpha, \beta, \gamma)$, potensial gravitasi di titik P (x, y, z) dapat dinyatakan sebagai:

$$U(x, y, z) = G \iiint \frac{\Delta\rho(\alpha, \beta, \gamma)}{[(x-\alpha)^2 + (y-\beta)^2 + (z-\gamma)^2]^{3/2}} d\alpha d\beta d\gamma \quad (6)$$

Medan gayaberat akibat distribusi rapat massa diatas diperoleh dengan mendiferensialkan persamaan (6) terhadap x, y dan z yang hasilnya adalah:

$$\Delta g_x(x, y, z) = \frac{\partial U(x, y, z)}{\partial x} = -G \int_0^\infty \int_{-\infty}^\infty \int_{-\infty}^\infty \frac{\Delta\rho(\alpha, \beta, \gamma)(x-\alpha)}{[(x-\alpha)^2 + (y-\beta)^2 + (z-\gamma)^2]^{3/2}} d\alpha d\beta d\gamma \quad (7)$$

$$\Delta g_y(x, y, z) = \frac{\partial U(x, y, z)}{\partial y} = -G \int_0^\infty \int_{-\infty}^\infty \int_{-\infty}^\infty \frac{\Delta\rho(\alpha, \beta, \gamma)(y-\beta)}{[(x-\alpha)^2 + (y-\beta)^2 + (z-\gamma)^2]^{3/2}} d\alpha d\beta d\gamma \quad (8)$$

$$\Delta g_z(x, y, z) = \frac{\partial U(x, y, z)}{\partial z} = -G \int_0^\infty \int_{-\infty}^\infty \int_{-\infty}^\infty \frac{\Delta\rho(\alpha, \beta, \gamma)(z-\gamma)}{[(x-\alpha)^2 + (y-\beta)^2 + (z-\gamma)^2]^{3/2}} d\alpha d\beta d\gamma \quad (9)$$

Dari persamaan (7), (8), dan (9), diperoleh variasi medan gayaberat Δg di permukaan Bumi. Variasi ini disebabkan oleh distribusi massa di bawah permukaan, yang digambarkan melalui fungsi densitas. Sementara itu, bentuk permukaan Bumi yang sebenarnya ditentukan oleh batas integral. (Sarkowi, 2007).

3.4 Rapat Massa Batuan

Dalam perhitungan percepatan gravitasi, salah satu parameter utama yang digunakan adalah rapat massa batuan, atau densitas. Densitas ini memberikan informasi tentang sifat fisik dari material tersebut (Sucipto et al., 2014). Densitas adalah sifat fisik yang menunjukkan seberapa padat ikatan antara material penyusun batuan. Besarnya densitas dipengaruhi oleh jenis dan jumlah mineral, persentase masing-masing mineral, porositas batuan, serta kandungan fluida di dalam rongga batuan. Porositas sendiri adalah perbandingan antara volume rongga pori dan volume total batuan,

dinyatakan dalam persentase. (Ridha & Darminto, 2016). Nilai variasi densitas dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Nilai rapat massa batuan batuan (Telford et al., 1990)

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

3.5 Koreksi-koreksi Metode Gayaberat

Pengolahan data gayaberat memerlukan koreksi-koreksi untuk mengurangi besarnya *noise* yang ditimbulkan saat pengukuran dan secara alami. Berikut merupakan koreksi pada data gayaberat.

3.5.1 Koreksi Udara Bebas (*Free Air Correction*)

Pengukuran gayaberat yang dilakukan pada ketinggian h di atas permukaan laut rata-rata akan menghasilkan nilai g yang lebih kecil, sehingga perlu dilakukan koreksi pada data yang diperoleh. Koreksi *free-air* digunakan untuk mendapatkan nilai gravitasi absolut pada titik pengamatan. (Syamsuriadi, 2013). Menurut Brotopuspito (2001), persamaan (10) digunakan untuk melakukan koreksi *free-air* tersebut.

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

Keterangan:

FAC : *Free Air Correction*

h : Ketinggian (m)

Untuk memperoleh nilai *Free Air Anomaly* (FAA) atau anomali udara bebas, dapat menggunakan persamaan (11).

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

Keterangan:

FAA : *Free Air Anomaly*

g_{obs} : Gravitasi Observasi

3.5.2 Koreksi Bouguer

Koreksi Bouguer digunakan untuk menghilangkan pengaruh akan keberadaan massa batuan yang menempati ruang antara titik pengukuran dan

bidang acuan. Besar koreksi ini dapat dihitung berdasarkan persamaan (12) (Brotopuspito, 2001)

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

Karena $2\pi G = 0,04191$ maka nilai BC seperti pada persamaan (13)

$$BC = 0,04191\rho h \quad (13)$$

Keterangan :

BC : *Bouguer Correction* (mGal/m)

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

ρ : Rapat massa batuan rata-rata ($2,67 \text{ g/cm}^3$)

h : Ketinggian (m)

3.5.3 Koreksi Medan (*Terrain Corerction*)

Kondisi topografi di sekitar titik pengamatan seringkali tidak rata, seperti adanya lembah atau bukit, yang turut mempengaruhi nilai gayaberat di titik tersebut. Bukit cenderung menurunkan percepatan gravitasi, sehingga koreksi medan untuk bukit perlu ditambahkan, dengan asumsi bahwa lembah di sekitar memiliki massa batuan (Dobrin & Sayit, 1960). Koreksi medan digunakan untuk menyesuaikan pengaruh distribusi massa yang idak rata di sekitar titik. Koreksi Bouguer mengasumsikan titik pengukuran berada pada bidang datar yang luas, sedangkan di lapangan sering terdapat topografi berbukit. Jika hanya menggunakan koreksi ini, data yang diperoleh dapat kurang akurat (Susilawati, 2005). Apabila topografi area pengukuran datar, koreksi medan dapat diabaikan. Persamaan (14) digunakan untuk menghitung koreksi medan.

$$g = \frac{0,04193}{n} \rho \left\{ (r_2 - r_1) + \sqrt{r_2^2 + L^2} - \sqrt{r_1^2 + L^2} \right\} \quad (14)$$

Keterangan:

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

3.5.4 Anomali Bouguer

Anomali Bouguer merupakan selisih antara nilai gayaberat hasil observasi (gobs) dengan jumlah aljabar dari berbagai koreksi, meliputi koreksi drift, koreksi pasang surut, koreksi lintang, koreksi *free-air*, koreksi Bouguer, dan koreksi topografi. Variasi Anomali Bouguer mencerminkan perbedaan densitas lateral; misalnya, benda dengan densitas tinggi dalam medium berdensitas rendah menghasilkan nilai Anomali Bouguer positif, sedangkan benda berdensitas rendah dalam medium berdensitas tinggi menghasilkan nilai negatif (Reynolds, 1997). Menurut Hinze & Von Frese (2013), Anomali Bouguer adalah selisih antara nilai gravitasi pengamatan dengan nilai gravitasi teoritis pada titik tertentu. Perbedaan ini mencerminkan variasi densitas atau rapat massa di suatu daerah dibandingkan sekitarnya, baik secara vertikal maupun lateral. Tujuan utama metode gayaberat dalam eksplorasi sumber daya alam maupun studi geologi adalah memperoleh gambaran bawah permukaan berdasarkan variasi distribusi densitas. Dalam pengolahan data gayaberat, setelah diperoleh nilai *Free Air Anomaly* (FAA), dapat dihitung *Simple Bouguer Anomaly* (SBA) dengan mengurangi koreksi Bouguer (BC), serta *Complete Bouguer Anomaly* (CBA) dengan menambahkan koreksi topografi (TC), sesuai persamaan (15) dan (16). Nilai anomali yang dihasilkan merupakan nilai pada ketinggian titik pengukuran.

$$SBA = FAA - BC \quad (15)$$

$$CBA = SBA + TC \quad (16)$$

Keterangan:

SBA : *Simple Bouguer anomaly*

FAA : *Free air anomaly*

BC : *Bouguer correction*

CBA : *Complete Bouguer anomaly*

TC : *Terrain correction*

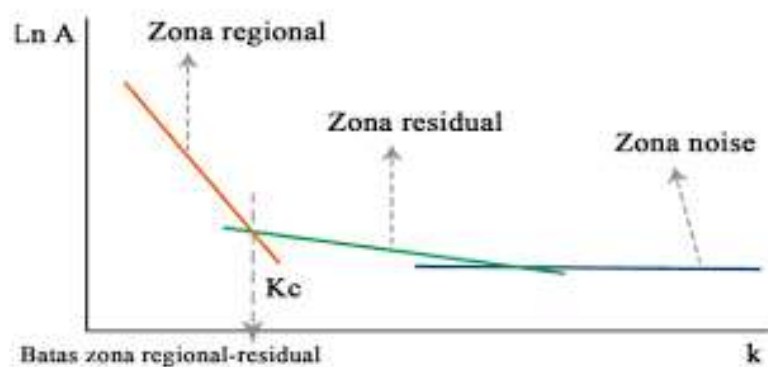
3.6 Rapat Massa Batuan Bawah Permukaan Rata-rata

Densitas batuan merupakan parameter fisik penting dalam metode *gravity*. Untuk menghitung anomali Bouguer, dibutuhkan nilai densitas rata-rata di daerah penelitian yang harus ditentukan secara akurat. Penentuan densitas rata-rata ini dapat dilakukan dengan metode parsnis atau metode Nettleton. Metode parsnis digunakan untuk menentukan densitas batuan rata-rata dengan asumsi topografi relatif datar. Penggunaan metode ini kurang efektif di wilayah dengan distribusi titik pengukuran yang rendah di dekat permukaan laut, karena variasi elevasi yang kecil akan menghasilkan gradien regresi linier yang bergantung pada titik pengukuran dengan elevasi lebih tinggi (Kadir, 2000). Prinsip metode parsnis adalah memplot nilai koreksi Bouguer dikurangi koreksi topografi ($BC/\rho - TC/\rho$) pada sumbu X terhadap nilai *Free Air Anomaly* (FAA) pada sumbu Y. Setelah kurva terbentuk, dibuat garis linier untuk menghitung gradiennya, yang kemudian digunakan untuk menentukan densitas rata-rata batuan di daerah penelitian.

Metode Nettleton dilakukan dengan membuat grafik anomali Bouguer untuk berbagai nilai densitas, kemudian membandingkannya dengan profil topografi sepanjang lintasan yang sama. Nilai densitas yang menghasilkan perbedaan terkecil dengan profil topografi dianggap sebagai densitas rata-rata yang mewakili daerah tersebut. Secara kuantitatif, estimasi densitas permukaan terbaik dapat diperoleh dengan melakukan korelasi silang antara perubahan elevasi terhadap referensi tertentu dan anomali gayaberat yang diukur (Martha, 2017).

3.7 Analisis Spektrum

Analisis spektrum merupakan proses transformasi fourier yang mengubah sinyal dari domain waktu menjadi domain frekuensi, sehingga sinyal dapat direpresentasikan sebagai penjumlahan beberapa sinyal sinusoidal dengan frekuensi berbeda. Hasil transformasi ini berupa spektrum amplitudo dan fase, yang digunakan untuk memperkirakan kedalaman melalui estimasi bilangan gelombang (k) dan amplitudo (A). Nilai-nilai tersebut selanjutnya digunakan untuk menghitung lebar jendela, yang menjadi masukan dalam proses *filtering* serta pemisahan anomali regional dan residual. Analisis spektrum dari potensial gayaberat yang teramati pada bidang horizontal bertujuan untuk memperkirakan kedalaman sumber anomali gayaberat di bawah permukaan. Metode ini memanfaatkan transformasi fourier untuk mengubah fungsi dalam jarak atau waktu menjadi fungsi dalam bilangan gelombang atau frekuensi (Hidayat, 2011). Hasil transformasi fourier biasanya disajikan dalam grafik dengan $\ln A$ pada sumbu Y dan k pada sumbu X, seperti ditunjukkan pada Gambar 10.



Gambar 10. Kurva $\ln A$ terhadap k (Blakely, 1996)

Blakely (1996) menurunkan spektrum dari potensial gayaberat yang teramati pada suatu bidang horizontal.

$$F(U) = \gamma \mu F\left(\frac{1}{r}\right) \quad (17)$$

$$F\left(\frac{1}{r}\right) = 2\pi \frac{e^{|k|(z_0-z)}}{|k|} \quad (18)$$

Keterangan :

- U : Potensial gayaberat
 μ : Anomali Rapat massa
 γ : Konstanta gayaberat
 r : Jarak

Berdasarkan kedua persamaan (17) dan (18) maka diperoleh persamaan (19).

$$F(U) = 2\pi\gamma\mu \frac{e^{|k|(z_0-z)}}{|k|} \quad (19)$$

Sehingga Transformasi Fourier anomali gayaberat pada lintasan yang diinginkan pada persamaan (21).

$$F(g_z) = \gamma\mu F\left(\frac{\partial}{\partial z} \frac{1}{r}\right) = \gamma\mu \frac{\partial}{\partial z} F\frac{1}{r} \quad (20)$$

$$F(g_z) = 2\pi\gamma\mu e^{|k|(z_0-z)} \quad (21)$$

Keterangan :

- g_z : Anomali gayaberat
 k : Bilangan Gelombang
 z_0 : Ketinggian titik amat
 z : Kedalaman benda anomali

Bila distribusi rapat massa batuan bersifat *random* dan tidak ada korelasi antara masing-masing nilai gayaberat, maka $\mu=1$. Sehingga hasil transformasi Fourier anomali gayaberat menjadi persamaan (22).

$$A = Ce^{|k|(z_0-z)} \quad (22)$$

Keterangan :

- A : Amplitudo
 C : Konstanta

Selanjutnya dengan melogaritmakan hasil transformasi fourier tersebut di atas, maka diperoleh hubungan antara Amplitudo (A) dengan bilangan gelombang (k) dan kedalaman (z_0-z') pada persamaan (23) (Sarkowi, 2011).

$$\ln A = (z_0-z') |k| \quad (23)$$

3.8 Filter Moving Average

Filter moving average sangat umum digunakan untuk *filter* pada DSP (*Digital Signal Processing*), secara umum dikarenakan *filter moving average* sangat mudah digunakan untuk dan mudah untuk dimengerti. Hasil akhir dari pengolahan anomali Bouguer menggunakan *filter moving average* adalah anomali regional (Nugraha, 2016). Pemisahan anomali Bouguer menjadi anomali regional dan anomali residual bertujuan untuk mempermudah interpretasi kualitatif. Salah satu metode yang digunakan untuk pemisahan ini adalah *filter moving average*, yang menghitung rata-rata nilai anomali. Hasil rata-rata ini menggambarkan anomali regional, sementara anomali residual diperoleh dengan mengurangi anomali Bouguer yang terukur dengan anomali regional yang sudah dihitung. *Filter moving average* dirumuskan pada persamaan (24).

$$\Delta g_{reg}(i) = \frac{\Delta g(i-n) + \dots + \Delta g(i) + \dots + \Delta g(i+n)}{N} \quad (24)$$

Keterangan :

Δg_{reg} : Besarnya anomali regional

i : Nomor stasiun

N : Lebar jendela

3.9 Analisis Derivative

First Horizontal Derivative (FHD) atau biasa dikenal *horizontal gradient* dilakukan pada data gayaberat untuk menentukan lokasi batas kontak kontras rapat massa batuan secara horizontal. *Horizontal derivative* data anomali gayaberat adalah suatu perubahan nilai anomali gayaberat dari satu titik ke titik lain dengan jarak tertentu. *Horizontal derivative* dari suatu anomali gayaberat yang

disebabkan oleh suatu gelombang cenderung untuk menunjukkan tepi dari gelombang tersebut. Persamaan (25) digunakan untuk menghitung nilai FHD, yaitu sebagai berikut (Elvarani, 2022).

$$FHD = \sqrt{\left(\frac{\partial g}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial g}{\partial y}\right)^2} \quad (25)$$

Keterangan :

$\left(\frac{\partial g}{\partial x}\right)$: Turunan horizontal pada arah x

$\left(\frac{\partial g}{\partial y}\right)$: Turunan horizontal pada arah y

g : Respon Gayaberat (mGal)

Second Horizontal Derivative (SHD) atau turunan kedua horizontal adalah metode yang menghitung gradien horizontal kedua. SHD berfungsi sebagai filter *highpass*, yang memungkinkan metode ini untuk mengungkap anomali residual terkait struktur dangkal, serta membantu dalam mengidentifikasi batas kontak kontras rapat massa batuan secara horizontal dan jenis sesar. Persamaan (26) digunakan untuk menghitung nilai SHD, yaitu sebagai berikut:

$$SHD = \sqrt{\left(\frac{\partial^2 g}{\partial x^2}\right)^2 + \left(\frac{\partial^2 g}{\partial y^2}\right)^2} \quad (26)$$

Keterangan :

$\left(\frac{\partial g}{\partial x}\right)$: Turunan horizontal pada arah x

$\left(\frac{\partial g}{\partial y}\right)$: Turunan horizontal pada arah y

g : Respon Gayaberat (mGal)

Persamaan gravitasi dapat diturunkan terhadap beberapa arah, tetapi turunan terhadap arah vertikal z lebih sering digunakan. Selain menggunakan metode *Second Vertical Derivative* (SVD) untuk menentukan keberadaan sesar. Secara teoritis, *Second Vertical Derivative* (SVD) diturunkan dari persamaan

Laplace untuk anomali gayaberat di permukaan bumi. Besarnya nilai (z) diturunkan dari persamaan Laplace, pada persamaan (27) dan (28) sebagai berikut.

$$\nabla^2 \Delta g \quad (27)$$

atau

$$\frac{\partial^2 \Delta g}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \Delta g}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \Delta g}{\partial z^2} = 0 \quad (28)$$

Sehingga *Second Vertical Derivative* diberikan oleh persamaan (29).

$$\frac{\partial^2 \Delta g}{\partial z^2} = - \frac{\partial^2 \Delta g}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \Delta g}{\partial y^2} \quad (29)$$

Selanjutnya, persamaan (30) untuk data 1-D (data penampang) yaitu sebagai berikut.

$$\frac{\partial^2 \Delta g}{\partial z^2} + \frac{\partial^2 \Delta g}{\partial x^2} = 0 \quad (30)$$

Keterangan :

- ∇^2 : Operator Laplace
- Δg : Nilai Bouguer gravitasi total
- ∂y : Nilai turunan sumbu y
- ∂x : Nilai turunan sumbu x

Persamaan SVD data 1-D di atas menunjukkan bahwa *Second Vertical Derivative* (SVD) dari anomali gayaberat permukaan sama dengan negatif dari turunan orde kedua horizontal. Dengan kata lain, anomali SVD dapat diperoleh melalui *derivative* horizontal, yang secara praktis lebih mudah dilakukan. Nilai nol pada turunan kedua anomali Bouguer diinterpretasikan sebagai batas kontak kontras rapat massa batuan antara dua lapisan batuan, yang bisa menunjukkan adanya struktur sesar atau intrusi (Sarkowi, 2010). Untuk menghitung nilai SVD dapat menggunakan beberapa operator *filter* 2D seperti pada Tabel 2, Tabel 3, dan Tabel 4 berikut.

Tabel 2. Parameter SVD (Henderson and Zietz, 1994)

Operator Filter SVD Henderson & Zietz (1949)				
0,0000	0,0000	-0,0833	0,0000	0,0000
0,0000	1,0000	-2,6667	1,0000	0,0000
-0,0833	-2,6667	17,0000	-2,6667	-0,0833
0,0000	1,0000	-2,6667	1,0000	0,0000
0,0000	0,0000	-0,0833	0,0000	0,0000

Tabel 3. Parameter SVD (Elkins, 1951)

Operator Filter SVD Elkins (1951)				
0,0000	-0,0833	0,0000	-0,0833	0,0000
-0,0833	-0,6667	-0,0334	-0,0667	-0,0833
0,0000	-0,0334	1,0668	-0,0334	0,0000
-0,0833	-0,6667	-0,0334	-0,6667	-0,0833
0,0000	-0,0833	0,0000	-0,0833	0,0000

Tabel 4. Parameter SVD (Rosenbach, 1953)

Operator Filter SVD 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 Pemodelan Inversi (*Inversion Modeling*)

Pemodelan inversi (*inverse modeling*) merupakan kebalikan dari pemodelan ke depan, di mana parameter model ditentukan langsung dari data yang ada. Secara dasar, pemodelan inversi adalah proses modifikasi model untuk mencapai kecocokan yang lebih baik antara data hasil perhitungan dan data pengamatan, yang dilakukan secara otomatis (Rahma, 2012). Menurut Grandis

(2009), Pemodelan inversi sering dianggap sebagai "kebalikan" dari pemodelan ke depan, karena parameter model diperoleh langsung dari data. Inversi adalah teknik matematis dan statistik untuk mendapatkan informasi tentang sistem fisika berdasarkan observasi. Sistem fisika yang dimaksud adalah fenomena yang diamati, dan informasi yang dicari berupa model atau paratrameter model. Pemodelan inversi juga disebut pencocokan data (*data fitting*), karena tujuannya adalah menemukan parameter model yang menghasilkan respons sesuai dengan data pengamatan.

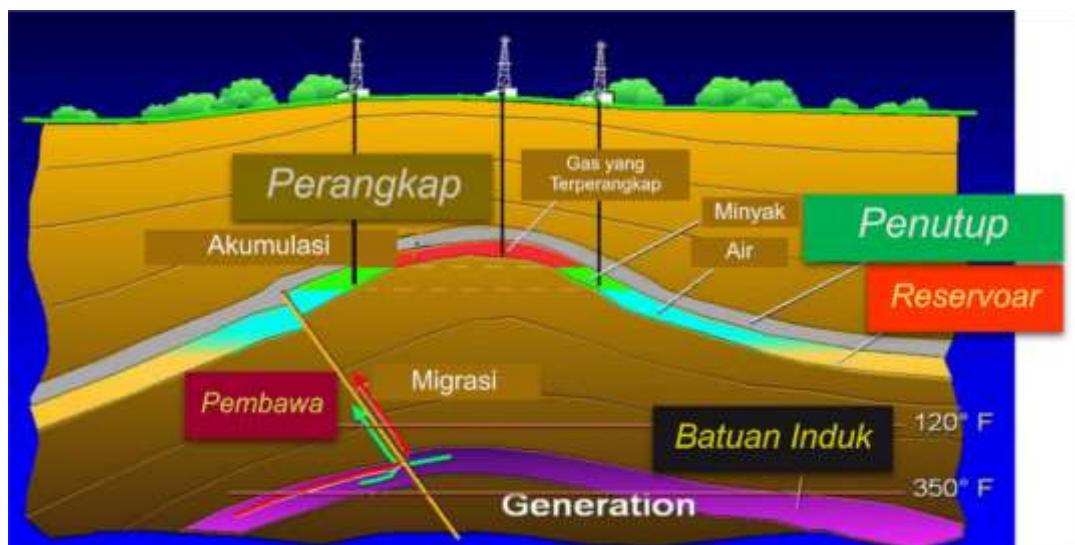
3.11 Sesar

Sesar merupakan mekanisme yang terjadi akibat akumulasi tegangan besar pada lapisan litosfer bumi sehingga menyebabkan pergerakan pada permukaan batuan. Keberadaan patahan dapat memengaruhi arah aliran fluida bawah permukaan, memodifikasi transmisi gelombang seismik, serta menghasilkan variasi topografi di daerah tersebut (Scholz, 2019). Menurut Erviawan (2011), sesar dapat terbentuk karena tenaga endogen bekerja lebih cepat, sehingga lapisan kerak bumi yang kaku tidak sempat membentuk lipatan dan akhirnya menghasilkan sesar. Rahmania et al. (2013) membagi sesar menjadi dua jenis utama, yakni sesar mendatar dan sesar tidak mendatar.

Sesar mendatar adalah patahan yang bergerak secara horizontal dan dibagi menjadi dua jenis, yaitu *right lateral* dan *left lateral*. *Right lateral* bergerak searah jarum jam, sedangkan *left lateral* bergerak berlawanan arah jarum jam. Sedangkan sesar tidak mendatar bergerak secara vertikal dan terdiri dari tiga jenis, yaitu patahan turun, patahan naik, dan patahan miring. Patahan turun adalah patahan di mana bloknnya bergerak lebih rendah dibanding blok dasar. Patahan naik terjadi ketika bloknnya bergerak lebih tinggi relatif terhadap blok dasar. Sementara itu, patahan miring memiliki perpaduan gerakan vertikal dan horizontal pada bloknnya.

3.12 Pola Arah Migrasi

Proses migrasi hidrokarbon dibagi menjadi empat tahap, yaitu primer, sekunder, tersier, dan remigrasi. Migrasi primer terjadi saat hidrokarbon berpindah dari batuan sumber ke batuan sedimen yang permeabel, dengan laju yang lambat karena permeabilitas batuan induk yang rendah. Migrasi sekunder berlangsung di dalam batuan reservoir, dari *carrier bed* menuju jebakan atau *trap*. Migrasi tersier adalah pergerakan hidrokarbon ke permukaan, sedangkan remigrasi terjadi ketika hidrokarbon berpindah dari satu reservoir ke reservoir lainnya (Makhrani, 2012). Supriyana et al. (2021) melakukan identifikasi arah migrasi menggunakan data gayabarat, dan hasilnya menunjukkan indikasi migrasi hidrokarbon ke arah selatan. Analisis SVD memperkuat temuan ini dengan menunjukkan keberadaan sesar naik, yang membentuk jebakan yang ditandai oleh batas antiklin atau punggung.



Gambar 11. Migrasi hidrokarbon (Craig & Quagliaroli, 2020)

IV. METODOLOGI PENELITIAN

4.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Adapun kegiatan penelitian Tugas Akhir ini dilakukan di:

Tempat : Laboratorium Geofisika Geothermal, Teknik Geofisika,
Universitas Lampung
Alamat : Gedung Teknik Geofisika – Jl. Prof. Sumantri Brojonegoro
No. 1, Gedong Meneng, Kec. Rajabasa, Kota Bandar Lampung,
Lampung 35142
Tanggal : Juli 2025 – Januari 2026

4.2 Alat dan Bahan

Adapun alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 5 dan Tabel 6 sebagai berikut.

Tabel 5. *Software*

No.	<i>Software</i>	Fungsi
1	Laptop	Digunakan dalam pengolahan data dan penulisan laporan
2	ArcGIS	Digunakan dalam pembuatan peta
3	Numeri	Digunakan untuk melakukan transformasi fourier
4	Surfer 16	Digunakan dalam pengolahan data gayaberat, yaitu untuk membuat peta kontur, <i>filtering</i> , dan peta SVD
5	Grav3D	Digunakan untuk membuat model inversi 3D distribusi rapat massa batuan bawah permukaan

6	Microsoft Excel	Digunakan untuk menganalisis nilai $\ln A$ dan k dari hasil transformasi fourier
---	-----------------	--

Tabel 6. Data penelitian

No.	Data	Keterangan
1	Data Gayabarat	Data yang digunakan merupakan data GGMPPlus.
2	Peta Lembar Geologi	Lembar geologi

4.3 Prosedur Penelitian

Dalam melakukan pengolahan data, prosedur pengolahan terbagi menjadi 6 (enam) bagian yaitu:

4.3.1 Membuat Peta Anomali Bouguer Lengkap

Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data sekunder dari hasil pengukuran berupa data Anomali Bouguer Lengkap (ABL) di area blok Bimasakti. Pembuatan peta dilakukan dengan *software* Surfer 16 yang kemudian dilakukan identifikasi pola anomali tinggi dan rendahnya. Setelah di identifikasi, pola anomali tersebut akan menjadi target untuk dilakukan analisis spektrum yang dilakukan menggunakan *software* Surfer 16.

4.3.2 Analisis Spektrum

Selanjutnya, dilakukan analisis spektrum dengan tujuan mengestimasi kedalaman sumber anomali serta menentukan lebar jendela optimal untuk memisahkan anomali regional dan residual. Analisis ini memanfaatkan transformasi fourier untuk mengubah fungsi jarak atau waktu menjadi fungsi dalam bilangan gelombang atau frekuensi, menggunakan perangkat lunak Numeri. Dari hasil identifikasi pola anomali, diperoleh enam lintasan yang dapat memberikan informasi tentang kedalaman sumber anomali melalui grafik hubungan antara (k) dan ($\ln A$) yang dianalisis menggunakan Microsoft Excel. Frekuensi rendah terkait dengan panjang gelombang yang panjang, mencerminkan

struktur regional yang dalam dan luas, sedangkan frekuensi tinggi terkait dengan panjang gelombang yang pendek, menunjukkan struktur residual yang dangkal.

4.3.3 Pemisahan Anomali Regional dan Residual

Anomali Bouguer lengkap (ABL) merupakan nilai anomali gravitasional yang timbul akibat perbedaan densitas batuan baik pada lapisan dangkal maupun lapisan yang lebih dalam di bawah permukaan. Pengaruh dari batuan dangkal disebut anomali residual, sedangkan pengaruh dari batuan dalam disebut anomali regional. Untuk itu, pemisahan antara anomali regional dan residual perlu dilakukan. Pemisahan ini dilakukan dengan menggunakan filter *moving average* (perataan bergerak), yang menghasilkan anomali regional. Selanjutnya, anomali residual diperoleh dengan mengurangkan anomali regional dari Anomali Bouguer lengkap.

4.3.4 Analisis *Derivative*

Analisis derivatif dilakukan setelah di peroleh anomali regional dan residual dari filter *moving average*. Analisis derivatif merupakan analisis yang digunakan untuk mengetahui sebaran patahan pada daerah penelitian dengan menghitung nilai turunan dari anomali residual. Metode yang digunakan pada analisis derivatif ini adalah metode *Second Vertical Derivative*. Metode *Second Vertical Derivative* akan mendelineasi Sub Cekungan pada daerah penelitian.

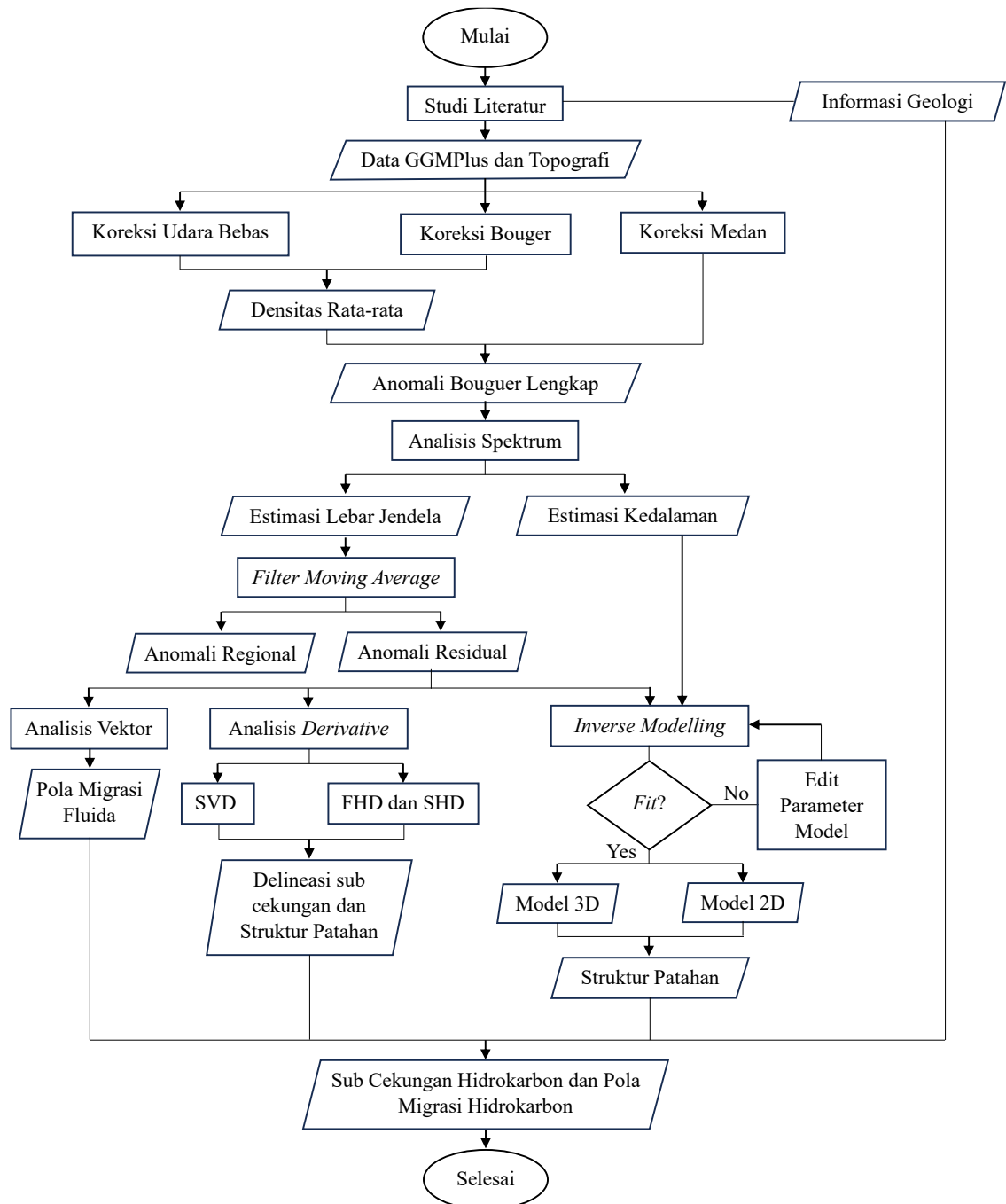
4.3.5 Analisis Vektor

Fluida memiliki sifat alamiah yaitu berpindah dari anomali rendah menuju anomali tinggi. Untuk melihat arah migrasi fluida dapat dilakukan dengan menggunakan analisis vektor yaitu dengan melakukan *grid vector layer* pada *software* Surfer 16 yang menghasilkan peta kebalikan dari peta anomali residual. Peta tersebut kemudian di *overlay* pada peta anomali residual.

4.3.6 Pemodelan Bawah Permukaan

Pada penelitian ini digunakan metode *inverse modeling* untuk pemodelan 3D dengan menggunakan data anomali residual dengan *software* Grav3D. Untuk melakukan *inverse modeling* pada *software* Grav3D diperlukan model awal dan data anomali residual. Pemodelan ini didasarkan pada model yang dihasilkan langsung dari data dengan menggabungkan informasi geologi seperti permukaan geologi, struktur geologi, dan stratigrafi di daerah penelitian. Hasil dari pemodelan tersebut nantinya akan digunakan dalam analisis sub cekungan hidrokarbon.

4.5 Diagram Alir



Gambar 12. Diagram alir

VI. KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, didapatkan Kesimpulan sebagai berikut:

1. Berdasarkan pengolahan data GGMPlus, nilai anomali Bouguer di daerah penelitian berada pada kisaran 30 – 84 mGal. Nilai ini terbagi menjadi tiga kategori, yaitu anomali rendah 30 – 45 mGal, nilai anomali sedang 46 – 60 mGal, dan anomali tinggi 61 – 84 mGal, dengan sebaran lokasi sebagaimana telah diidentifikasi pada hasil penelitian.
2. Jumlah sub cekungan hidrokarbon yang berhasil didelineasi berdasarkan hasil analisis-analisis anomali Bouguer residual dan analisis gradien *gravity* sebanyak lima sub cekungan. Sub cekungan pertama yang berada di daerah Way Kanan, sub cekungan kedua yang berada di daerah Tulang Bawang Barat, sub cekungan ketiga yang berada di daerah Tulang Bawang, sub cekungan keempat yang berada di daerah Lampung Tengah (Sub Cekungan Padang Ratu), dan sub cekungan kelima yang berada di daerah Lampung Timur (Sub Cekungan Raman).
3. Hasil analisis vektor anomali Bouguer residual menunjukkan bahwa pola migrasi hidrokarbon cenderung bergerak dari arah barat (Sub Cekungan Way Kanan) ke arah Tenggara (Sub Cekungan Tulang Bawang Barat), dan Sub Cekungan Raman yang bermigrasi ke arah utara dan timur laut.
4. Berdasarkan pemodelan inversi anomali residual yang dikorelasikan dengan analisis gradien horizontal, diidentifikasi terdapat sesar turun dan sesar naik. Lintasan A – A' terdapat 4 sesar turun, dan 1 sesar naik. Lintasan B – B' terdapat 3 sesar turun, dan 1 sesar naik.

6.2 Saran

Adapun saran dalam penelitian ini yaitu dilakukan penelitian geofisika lebih lanjut pada area sub cekungan yang sudah didelineasi dengan menggunakan metode yang lebih detail seperti metode seismik untuk mendapatkan struktur lapisan dan sifat fisis batuan yang lebih detail.

DAFTAR PUSTAKA

- Ariyanto, Y. (2011). *Pemodelan Impedansi Akustik untuk Karakterisasi Reservoir pada Daerah "X", Sumatra Selatan*. Skripsi. Universitas Indonesia.
- Bishop, M. G. (2000). Petroleum Systems of The Northwest Java Province, Java and Offshore Southeast Sumatra, Indonesia. USA. *United States Geological Survey*.
- Bishop, M. G. (2001). South Sumatra Basin Province, Indonesia: The Lahat/Talang Akar-Cenozoic Total Petroleum System. *USGS Open File Report, 99-50-S*, 22.
- Bettadpur, S., Tapley, B. D., & Save, H. (2016). High resolution CSR GRACE RL05 mascons. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 121(10).
- Blakely, R. J. (1995). *Potential Theory in Gravity and Magnetic Applications*. Cambridge. Cambridge University Press.
- Brotopuspito, K. S. (2001). *Teori dan Aplikasi Metode Gravitasi*. Universitas Gajah Mada.
- Craig, J., & Quagliaroli, F. (2020). The oil & gas upstream cycle: Exploration activity. *EPJ Web of Conferences*, 246(8), 14.
- De Coster, G. L. (1974). The geology of the Central and South Sumatra basins. *Proceedings Indonesian Petroleum Association*, 77–110.
- Dinkwater, 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.

Direktorat Jenderal Minyak dan Gas Bumi. (2021). *Statistik Migas Semester I 2021*. Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia.

Dobrin, M. B., & Savit, C. H. (1960). *Introduction to Geophysical Prospecting 4th Edition*. Mc Graw-Hill Companies.

Elkins, T. A. (1951). The Second Derivative Method of Gravity Interpretation. *Geophysics*, 16(1), 29–50.

Elvarani, A. Y. (2022). *Identifikasi Daerah Prospek Reservoir Panasbumi Pada Daerah Lapangan Panasbumi Malingping - Lebak Banten Berdasarkan Analisis Data Gravity*. Skripsi. Universitas Lampung.

Erviawan, I. (2011). *Lipatan*. Makassar. UIN Makassar.

Febriansanu, D. R., Husein, S., & Surjono, S. S. (2025). Identification of Lampung Sedimentary Basin (SE Sumatera) Using Gravity Forward Modeling and Seismic Interpretation. *Geodynamics & Tectonophysics*, 16(3), 1 – 15.

Ginger, D., & Fielding, K. (2005). The Petroleum System and Future Potential of The South Sumatra Basin. *Proceedings Indonesian Petroleum Association 30th Annual Convention*, 1, 67.

Grandis, H. (2009). *Pengantar Pemodelan Inversi Geofisik*. Jakarta. Himpunan Ahli Geofisika Indonesia.

Henderson, R. G., & Zietz, I. (1949). The Upward Continuation of Anomalies in Total Magnetic Intensity Fields. *Geophysics*, 14(4), 517–534.

Hidayat, F. S. (2011). *Penyelidikan Gravity untuk Pemetaan Struktur Bawah Permukaan Di Daerah Karanganyar Bagian Barat*. Skripsi. Universitas Sebelas Maret.

- Hinze, W., & VonFrese, R. R. B. (2013). *Gayaberat and Magnetic Exploration, Principles, Practices, and Applications*. Cambridge. Cambridge University Press.
- Hirt, C., Claessens, S., Fecher, T., Kuhn, M., Pail, R., & Rexer, M. (2013). New ultrahigh-resolution picture of Earth's gayaberat field. *Geophysical Research Letters*, 40(16), 4279–4283. <https://doi.org/10.1002/grl.50838>
- Johannessen, J. A., Balmino, G., Provost, C. Le, Rummel, R., Sabadini, R., Sünkel, H., Tscherning, C. C., Visse, P., Woodworth, P., Hughes, C., Legrand, P., Sneeuw, N., Perosanz, F., Aguirre-Martinez, M., Rebhan, H., & Drinkwater, M. (2003). The European Gayaberat Field and Steady-State Ocean Circulation Explorer Satellite Mission Its Impact on Geophysics. *Surveys in Geophysics*, 24, 339–386.
- Juwita, W., Juventa, J., Setiawan, A. M., Martha, A. A., Hudayat, N., & Sutedja, B. (2024). Identification of Potential Hydrocarbon Traps Using the Gayaberat Method in the Bengkulu Basin. *Iranian Journal of Geophysics*, 18(3), 69–83. <https://doi.org/10.30499/ijg.2023.409882.1535>
- Kadir, W. G. A. (2000). *Eksplorasi Gayaberat dan Magnetik*. Bandung. Jurusan Teknik Geofisika Fakultas Ilmu Kebumihan dan Teknologi Mineral ITB.
- Makhrani. (2012). *Buku Ajar Geologi Minyak dan Gas Bumi*. Makassar.
- Manrulu, R. H., & Nurfalaq, A. (2017). *Metode Geofisika (Teori dan Aplikasi)*. Palopo: UNCP Press.
- Martha, A. (2017). *Pemodelan 3D Data Gayaberat Lapangan Panasbumi Ulubelu, Tanggamus, Lampung*. Skripsi. Institut Teknologi Bandung.
- Mertosono, S., & Nayoan, G. A. S. (1974). The Tertiary Basinal Area of Central Sumatra. *Proceedings Indonesian Petroleum Association Third Annual*

Convention.

- Mirnanda, E., Saputra, A. A., & Arifin, L. (2023). Identifikasi Struktur Bawah Permukaan berdasarkan Analisis Data Gayaberat di Daerah Palembang dan sekitarnya sebagai Cekungan Potensi Hidrokarbon. *Indonesian Journal of Applied Physics*, 13(1), 60–76. <https://doi.org/10.13057/ijap.v13i1.65447>
- Mulya, N. D. (2023). *Analisis Potensi Hidrokarbon Menggunakan Data Gayaberat di Sub Cekungan Palembang Selatan*. Skripsi. Universitas Jambi.
- Ningrum, I. K. (2015). *Karakterisasi Reservoir Menggunakan Metode Inversi Acoustic Impedance pada Lapangan “IK” Formasi Talang Akar Cekungan Sumatera Selatan*. Skripsi. Universitas Lampung.
- Nugraha, P. (2016). Penentuan Kedalaman Optimum Anomali Gayaberat Dengan Metode Korelasi Antara Analisis Spektrum dan Continuation Studi Kasus Semarang Jawa Tengah. *Skripsi*. Universitas Negeri Semarang.
- Panggabean, H., & Santy, L. D. (2012). Sejarah Penimbunan Cekungan Sumatera Selatan dan Implikasinya Terhadap Waktu Generasi Hidrokarbon. *Jurnal Sumber Daya Geologi*, 22(4), 225–235.
- Patra Nusa Data. (2006). *Indonesian Basin Summaries*.
- Pulunggono, A., & Cameron, N. . (1984). Sumatran Microplates, their characteristics and their role in the evolution of the Central and South Sumatra Basins. *13th Annual IPA Proceedings*.
- Rahma, M. (2012). Pemodelan Bawah Permukaan Gunungapi Merapi Berdasarkan Anomali Gravitasi Setelah Letusan Besar 2010. *Skripsi*. UGM Jogjakarta.
- Rahmania, M. T. F., Niyartama, & Maryanto, S. (2013). Studi Potensi Energi Geothermal Blawan-Ijen, Jawa Timur Berdasarkan Metode Gayaberat. *Jurnal*

Neutrino Jurnal Fisika Dan Aplikasinya, 31–39.

Reynolds, J. M. (1997). *An Introduction to Applied and Environmental Geophysics*. Chichester. John Wiley & Son.

Ridha, M., & Darminto, D. (2016). Analisis Rapat massa batuan, Porositas, dan Struktur Mikro Batu Apung Lombok dengan Variasi Lokasi menggunakan Metode Archimedes dan Software Image-J. *Jurnal Fisika Dan Aplikasinya*, 12(3), 124–130. <http://rsb.info.nih.gov/ij/>.

Rosenbach, O. (1953). A Contribution to the Computation of the " Second Derivative" from Gayaberat Data. *Geophysics*, 18(4), 769–973.

Santoso, D. (2002). *Diktat Kuliah TG-424 Eksplorasi Energi Panas Bumi*. Bandung. Institut Teknologi Bandung.

Sarkowi, M. (2007). *Gayaberat Mikro Antar Waktu untuk Analisa Perubahan Kedalaman Muka Air Tanah (Studi Kasus Dataran Aluvial Semarang)*. Bandung. Institut Teknologi Bandung.

Sarkowi, M. (2010). Identifikasi Struktur Daerah Panasbumi Ulubelu Berdasarkan Analisa Data SVD Anomali Bouguer. *Jurnal Sains Mipa*, 16(2), 111–118.

Sarkowi, M. (2011). *Metode Eksplorasi Gayaberat: Diktat Kuliah*. Lampung. Universitas Lampung.

Setiawan, A., & Mulyatno, B. S. (2020). Identifikasi Bawah Permukaan Lapangan Minyak “Huf” Sumatera Selatan Untuk Mendeliniasi Struktur Cekungan Hidrokarbon Berdasarkan Data Gayaberat. *JGE (Jurnal Geofisika Eksplorasi)*, 4(1), 18–30. <https://doi.org/10.23960/jge.v4i1.4>

Scholz, C. H. (2019). *The Mechanics of Earthquakes and Faulting: Third Edition*. Cambridge. Cambridge University Press.

- Sota, I. (2011). Penentuan Arah Sedimentasi Berdasarkan Interpretasi Kualitatif Anomali residual. *Prosiding Semirata BKS-PTN B*.
- Sucipto, D. A., Saroja, G., & Nuriyah, L. (2014). Pengukuran Rapat massa batuan Bahan Organik Berskala Milli-Liter (ML) Dengan Metode Levitasi Magneto-Archimedes Menggunakan Sumber Magnet Tunggal. *Brawijaya Physics Student Journal*, 2(1), 1–4.
- Suprianto, A., Supriyadi, Priyantari, N., & Cahyono, B. E. (2021). Correlation between GGMPlus, topex and BGI gayaberat data in volcanic areas of Java Island. *Journal of Physics: Conference Series*, 1825(1), 1–6. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1825/1/012023>
- Supriyana, E., Padmawidjaja, T., & Akbar, R. (2021). DeFormasi dan Kedalaman Batuan Sedimen Daerah Banjarnegara Berdasarkan Analisis Gayaberat. *Lembaran Publikasi Minyak Dan Gas Bumi*, 55(3), 9–21. <https://doi.org/10.29017/lpmgb.57.1.1307>
- Susilawati. (2005). *Pemodelan Metode Gayaberat*. Depok. Universitas Indonesia.
- Syamsuriadi. (2013). *Penentuan Struktur Bawah Permukaan Kota Makassar dengan Menggunakan Metode Gayaberat (Gayaberat)*. Skripsi. Universitas Hasanudin.
- Telford, W. M., Geldart, L. P., & Sheriff, R. E. (1990). *Applied Geophysics (Second Edition)*. Cambridge. Cambridge University Press.