

**IDENTIFIKASI POTENSI AREA TERAKUMULASI AIR TANAH PADA
KOMPLEKS GRANITOID TANJUNG BINTANG BERDASARKAN
ANALISIS DAN INVERSI 3D ANOMALI GAYABERAT**

(Skripsi)

Oleh
Yazid Pangaloan Lubis
2115051062



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2026**

**IDENTIFIKASI POTENSI AREA TERAKUMULASI AIR TANAH PADA
KOMPLEKS GRANITOID TANJUNG BINTANG BERDASARKAN
ANALISIS DAN INVERSI 3D ANOMALI GAYABERAT**

**Oleh
YAZID PANGALOAN LUBIS**

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

IDENTIFIKASI POTENSI AREA TERAKUMULASI AIR TANAH PADA KOMPLEKS GRANITOID TANJUNG BINTANG BERDASARKAN ANALISIS DAN INVERSI 3D ANOMALI GAYABERAT

Oleh

Yazid Pangaloan Lubis

Geologi dari wilayah Lampung termasuk zona tinggian batuan alas yang didominasi batuan kristalin. Batuan kristalin yang berkembang di wilayah Lampung adalah batuan granitoid yang terbentuk melalui proses intrusi di bawah permukaan bumi sebelum akhirnya tersingkap ke permukaan. Kemunculan tubuh Granitoid Tanjung Bintang dipengaruhi oleh gaya endogen berupa pengangkatan tektonik yang menyebabkan batuan mengalami pematahan sehingga terbentuk zona lemah dalam massa batuan. Setelah tersingkap ke permukaan tubuh granitoid dipengaruhi oleh gaya eksogen berupa erosi dan pelapukan intensif yang berlangsung sangat lama. Penelitian ini bertujuan mengidentifikasi zona yang berpotensi sebagai area terakumulasi air tanah pada Kompleks Granitoid Tanjung Bintang menggunakan metode gayaberat. Pemisahan anomali regional dan residual dilakukan menggunakan filter *moving average*, identifikasi struktur geologi dilakukan dengan analisis *derivative* serta inversi 3D untuk memperoleh distribusi densitas bawah permukaan. Hasil penelitian menunjukkan 11 area berpotensi sebagai zona akuifer air tanah yang tersebar pada Formasi QTl, Formasi Qat, Formasi Pzgs, Formasi Tejg, Formasi Kds dan Formasi Kgdsn dengan rentang densitas 1,8 hingga 2,27 gr/cc. Keberadaan struktur geologi dan zona yang terekahkan pada area tersebut berfungsi sebagai jalur peresapan yang memungkinkan masuknya air ke dalam tubuh granitoid yang telah mengalami pelapukan.

Kata kunci: Granitoid, Tanjung Bintang, Air Tanah, Pelapukan.

ABSTRACT

IDENTIFICATION OF POTENTIAL GROUNDWATER ACCUMULATION AREAS IN THE TANJUNG BINTANG GRANITOID COMPLEX BASED ON ANALYSIS AND 3D INVERSION OF GRAVITY ANOMALIES

By

Yazid Pangaloan Lubis

The geology of the Lampung region is part of a basement high zone dominated by crystalline rocks, which mainly consist of granitoid rocks formed through intrusive processes beneath the Earth's surface before being exposed at the surface, and the occurrence of the Tanjung Bintang Granitoid body is influenced by endogenic forces in the form of tectonic uplift that cause rock fracturing and the formation of weak zones within the rock mass, while after exposure the granitoid body is affected by long-term and intensive erosion and weathering; this study aims to identify zones with potential groundwater accumulation in the Tanjung Bintang Granitoid Complex using the gravity method, where regional and residual anomaly separation is performed using a moving average filter, geological structures are identified using derivative analysis, and 3D inversion is applied to obtain subsurface density distribution, and the results show 11 potential groundwater aquifer zones distributed in the QTl, Qat, Pzgs, Tejg, Kds, and Kgdsn formations with density values ranging from 1.8 to 2.27 g/cc, in which geological structures and fractured zones act as infiltration pathways allowing water to enter the weathered granitoid body.

Keywords: Granitoid, Tanjung Bintang, Groundwater, Weathered.

Judul Laporan

**Identifikasi Potensi Area Terakumulasi Air
Tanah pada Kompleks Granitoid Tanjung
Bintang berdasarkan Analisis dan Inversi 3D
Anomali Gayabarat**

Nama Mahasiswa

Yazid Pangaloan Lubis

Nomor Pokok Mahasiswa

2115051062

Program Studi

Teknik Geofisika

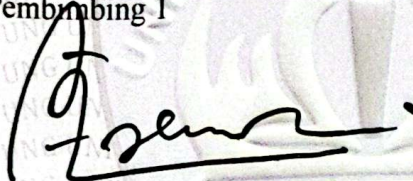
Fakultas

Teknik

MENYUTUJUI

1. Komisi Pembimbing

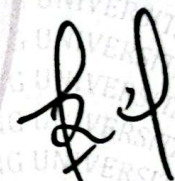
Dosen Pembimbing 1



Prof. Dr. Ir. Ahmad Zaenudin S. Si., M.T.

NIP. 197209281999031001

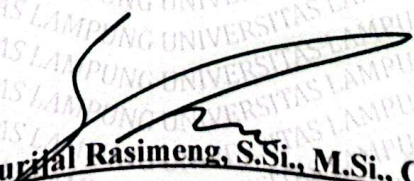
Dosen Pembimbing 2



Rahmi Mulyasari, M. T.

NIP. 199102072018032001

2. Ketua Jurusan Teknik Geofisika



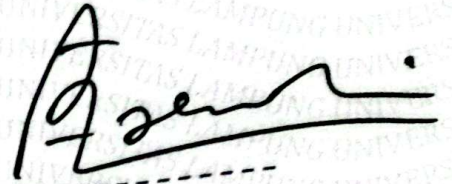
Dr. Ir. Syamsurrijal Rasimeng, S.Si., M.Si., C.EIA., IPM.

NIP. 197307162000121002

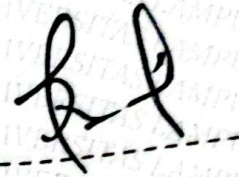
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

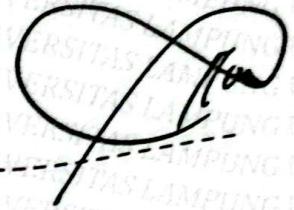
Ketua : Prof. Dr. Ir. Ahmad Zaenudin S. Si., M.T.



Sekretaris : Rahmi Mulyasari, M. T.



Anggota : Ir. Rahmat Catur Wibowo, S.T., M.Eng.,
IPM.



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 “**IDENTIFIKASI POTENSI AREA TERAKUMULASI AIR TANAH PADA KOMPLEKS GRANITOID TANJUNG BINTANG BERDASARKAN ANALISIS DAN INVERSI 3D ANOMALI GAYABERAT**” Merupakan hasil karya orisinal penulis dan bukan salinan atau duplikasi dari karya pihak lain. Seluruh isi skripsi ini telah ditulis berdasarkan ketentuan penulisan ilmiah Universitas Lampung. Apabila di kemudian hari pernyataan ini terbukti tidak sesuai dengan fakta, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan ketentuan hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, 29 Januari 2026

Penulis,



Yazid Pangaloan Lubis

NPM. 2115051062

RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama lengkap Yazid Pangaloan Lubis yang dilahir di Depok pada tanggal 13 November 2002 sebagai anak ke dua dari empat bersaudara, putra dari Bapak Syuhyar Efendi Lubis dan Ibu Fatimah Anni Lubis. Riwayat pendidikannya dimulai dari Taman Kanak-kanak di TK Islam Karya Insani dan lulus di tahun 2009, Sekolah Dasar di SD Negeri Cilangkap 2 dan lulus pada tahun 2015, Sekolah Menengah Pertama di SMP Islam Raden Patah dan Lulus pada tahun 2018, dan menempuh Sekolah Menengah Akhir di SMA PGRI Plus Cibinong dan Lulus pada tahun 2021. Penulis menempuh pendidikan pada Perguruan Tinggi Negeri, yaitu Universitas Lampung, Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Geofisika melalui jalur Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SBMPTN) pada tahun 2021.

Selama menempuh pendidikan di perguruan tinggi, penulis aktif dalam berbagai kegiatan akademik maupun nonakademik. Penulis berkontribusi sebagai; Asisten Laboratorium untuk Praktikum Metode Gayaberat tahun 2025 dan Asisten Laboratorium untuk Praktikum Eksplorasi *Geothermal* tahun 2025. Penulis juga pernah mengikuti lomba poster nasional di acara FTI-EXPO yang diadakan oleh Fakultas Teknologi Industri ITERA tahun 2023 dan mendapat juara ke 2, penulis juga terlibat dan berkontribusi dalam publikasi karya ilmiah, dengan judul **“Identifikasi Area Potensi Deposit Mineralisasi Emas Sesar Semangko Daerah Ngambur Provinsi Lampung Berdasarkan Analisis *Derivative* Data Gaya Berat GGM Plus”** pada *Jurnal Online of Physics* Vol. 9, No. 2, April 2024: 87-93. Selain itu, penulis aktif di beberapa organisasi; Anggota Kaderisasi dalam Himpunan Mahasiswa Teknik Geofisika Bhuwana (HIMA TG Bhuwana) tahun 2023-2024, Anggota Bidang Manajemen Sumber Daya Manusia pada Himpunan Mahasiswa Geofisika Indonesia (HMGI) tahun 2024, Anggota Divisi *Human Resources Development* dalam *Society Exploration of Geophysicist* Unila SC pada tahun 2024 kemudian diamanahkan menjadi Presiden pada tahun 2025. Adapun

penulis melaksanakan Kerja Praktik (KP) di Pertamina Geothermal Energy, Tbk (PGE), Jakarta pada bulan September-Oktober tahun 2024 dengan judul **“Pemetaan Anomali *Time-Lapse Microgravity* untuk Monitoring Reservoir Panasbumi Lumut Balai Sumatera Selatan Periode 2019, 2021 dan 2023”**. Selanjutnya, pada bulan Agustus 2025-Januari tahun 2026 penulis melanjutkan kegiatan Tugas Akhir/Skripsi secara mandiri di kampus dengan judul **“Identifikasi Potensi Area Terakumulasi Air Tanah pada Kompleks Granitoid Tanjung Bintang berdasarkan Analisis dan Inversi 3D Anomali Gayabarat”**. Dengan demikian, penulis telah menyelesaikan penelitian sebagai Tugas Akhir/Skripsi guna memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Geofisika pada Kamis, 29 Januari 2025.

MOTTO

“Kemerdekaan bukanlah hadiah, melainkan hasil dari perjuangan”

-Tan Malaka

“Hari yang berat untuk orang yang hebat”

-Hilmi Maulana

“Teruslah menjadi orang baik”

-Maria Nofa NafTalita

*“Lebih baik tenggelam dalam danau prasejarah daripada menjadi penjahat
seumur hidup”*

-Spongebob Squarepants

“Apabila menginginkan bantuan dari seseorang, maka sebaiknya juga bersedia membantu. Jika tidak ingin diganggu seseorang, hendaknya tidak mengganggu”

HALAMAN PERSEMBAHAN

Pertama dan yang utama puji serta syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT atas segala karunia yang telah diberikan, sehingga skripsi ini dapat terselesaikan. Skripsi ini masih jauh dari kata sempurna, tetapi cukup untuk mendapatkan gelar Sarjana Teknik (S.T.). Dengan segala kerendahan hati, karya sederhana ini saya persembahkan kepada:

Bapak dan Ibu Tersayang

Syuhyar Efendi Lubis & Fatimah Anni Lubis

Kepada Bapak dan Ibu yang telah memberikan segalanya, penulis sering kali merasa kehabisan kata untuk mengungkapkan rasa terima kasih, karena memang segalanya telah diberikan tanpa syarat. Penulis ingin menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya atas setiap pengorbanan, doa, dan kasih sayang yang tak pernah putus. Meskipun penulis tidak akan pernah mampu membalas seluruh pengorbanan tersebut, penulis senantiasa mendoakan agar Bapak dan Ibu selalu dikaruniai kesehatan, kekuatan, serta umur yang panjang.

Kakak & Adik-adikku Tersayang

Fenny Azizi Lubis, Yanni Saidah Lubis & Aisyah Mora Lubis

Yang senantiasa menjadi penopang dan penguat bagi penulis. Terima kasih atas doa yang tak pernah terputus, semangat yang selalu menguatkan dan menjadi sumber inspirasi dalam setiap perjalanan. Semoga kita kelak senantiasa dapat membahagiakan orang tua kita di dunia maupun di akhirat.

KATA PENGANTAR

Rasa syukur penulis panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa, sebab atas kasih, rahmat, dan bimbingan-Nya, skripsi dengan judul “Identifikasi Potensi Area Terakumulasi Air Tanah pada Kompleks Granitoid Tanjung Bintang berdasarkan Analisis dan Inversi 3D Anomali Gayaberat” akhirnya dapat diselesaikan dengan baik. Penelitian ini merupakan bagian dari Tugas Akhir penulis sekaligus salah satu syarat akademik untuk meraih gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Geofisika, Universitas Lampung.

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan tambahan pengetahuan terutama terkait bidang geofisika dan penerapan metode yang menunjang pengelolaan lingkungan secara berkelanjutan. Penulis menyadari bahwa dalam penyusunannya masih terdapat sejumlah kekurangan, sehingga masukan berupa kritik dan saran yang membangun sangat diperlukan untuk penyempurnaan ke depannya. Semoga penelitian ini dapat memberikan manfaat pada masa kini maupun masa mendatang.

Bandar Lampung, 29 Januari 2026

Penulis,

Yazid Pangaloan Lubis

NPM. 2115051062

SANWACANA

Dengan penuh rasa syukur, penulis memanjatkan puji syukur ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa, karena berkat kasih, rahmat, serta karunia-Nya, penulis akhirnya dapat menyelesaikan skripsi ini. Karya ilmiah dengan judul “Identifikasi Potensi Area Terakumulasi Air Tanah pada Kompleks Granitoid Tanjung Bintang berdasarkan Analisis dan Inversi 3D Anomali Gayaberat” disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Geofisika, Universitas Lampung. Pada kesempatan yang berbahagia ini, penulis dengan tulus menyampaikan terima kasih 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. Ahmad Zaenudin S. Si., M.T. sebagai Pembimbing I yang dengan penuh kesabaran telah memberikan arahan, bimbingan, serta masukan berharga sepanjang proses penyusunan skripsi ini.
4. Ibu Rahmi Mulyasari, M. T. sebagai Pembimbing II yang telah meluangkan waktu, tenaga, serta pemikiran untuk memberikan bimbingan dan koreksi dalam penulisan skripsi ini.
5. Bapak Ir. Rahmat Catur Wibowo, S.T., M.Eng., IPM. sebagai dosen penguji yang telah memberikan masukan, saran, serta arahan berharga sehingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik.
6. Bapak Dr. Rustadi, S.Si, M.T. selaku dosen pembimbing akademik yang senantiasa membimbing serta memberikan motivasi kepada penulis.
7. Ibu Astha Dandari, selaku pembimbing Kerja Praktik di PGE, Ibu telah membagikan begitu banyak ilmu yang sangat berharga bagi penulis, serta membagikan pengalaman yang luar biasa.
8. Seluruh dosen Teknik Geofisika Universitas Lampung atas ilmu, dedikasi dan pengabdian yang telah membekali sejak awal hingga akhir masa perkuliahan.

9. Kedua orang tua penulis tercinta, Bapak Syuhyar Efendi Lubis dan Ibu Fatimah Anni Lubis, yang merupakan anugerah terindah yang Tuhan berikan dalam kehidupan penulis. Penulis mengucapkan terima kasih atas segala doa, nasihat, perhatian, perjuangan, kerja keras serta dukungan tulus yang senantiasa diberikan dalam setiap langkah perjalanan penulis.
10. Kakak dan Adik-adikku tercinta, Fenny Azizi Lubis, Yanni Saidah Lubis & Aisyah Mora Lubis, yang senantiasa menjadi penopang dan penguat bagi penulis. Kehadiran kalian membuat penulis menjadi semangat untuk menyelesaikan tanggung jawab penulis sebagai mahasiswa.
11. “Warnet Bukan Sirkel” dan teman-teman kuliah angkatan 2021 Kevin, Fabian, Aziz, Farrell, Farhan, Fadhil, Geo, Taufiq, Sandika, David, Ferdio, Rizky, Makki, Fahri, Kadek, Hilmi, Reza, Andro, Nabila, Ivana, Prana, Soraya, Nani, Maria Terimakasih untuk sudah selalu ada dan mau bertukar pengalaman bersama penulis.
12. Kawan seperjuangan penulis, Farhan Rizky Alfiandy, yang telah memberikan semangat dan menjadi teman berproses dalam meraih tujuan masing-masing.
13. Penulis juga menyampaikan terima kasih kepada kepada Bapak dan Ibu warjok, abang angkatan kuliah, Bang Jefri dan Bang Pandu, serta adik-adik angkatan Dzakki, Joshua, Rafael, Algi, Syaqib, dan adik-adik angkatan lainnya yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu. Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya atas dukungan, bantuan, serta kebersamaan yang telah diberikan, terutama pada masa-masa akhir perjalanan penulis dalam menyelesaikan studi dan meraih gelar sarjana.
14. Terakhir, penulis dengan penuh kesadaran dan rasa syukur menyampaikan terima kasih kepada diri sendiri yang telah berjuang dan bertahan dalam menyelesaikan tanggung jawab sebagai mahasiswa. Penulis menyadari bahwa ilmu yang diperoleh mungkin belum seberapa, namun penulis ingin menyampaikan kepada diri sendiri bahwa setiap proses yang telah dilalui adalah bentuk perjuangan yang patut dihargai. Untuk itu, penulis ingin berkata kepada diri sendiri, *“kamu sudah berusaha dengan sebaik mungkin, dan itu sudah cukup—kamu keren”*.

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	iv
PERSETUJUAN.....	v
PENGESAHAN	vi
PERNYATAAN.....	vii
RIWAYAT HIDUP	viii
MOTTO	x
HALAMAN PERSEMBAHAN.....	xi
KATA PENGANTAR.....	xii
SANWACANA	xiii
DAFTAR ISI.....	xv
DAFTAR TABEL.....	xviii
DAFTAR GAMBAR.....	xix
I. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Tujuan Penelitian.....	3
1.3. Batasan Masalah.....	3
1.4. Manfaat Penelitian.....	3
II. TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1. Lokasi Daerah Penelitian.....	4
2.2. Geologi Regional.....	5
2.3. Stratigrafi.....	6
2.4. Fisiografi dan Morfologi	10
2.5. Struktur Geologi	12
2.6. Penelitian Terdahulu	12
III. TEORI DASAR.....	15
3.1. Metode Gayaberat.....	15
3.2. Konsep Dasar Metode Gayaberat	16

3.2.1. Gayaberat Newton	16
3.2.2. Percepatan Gaya Berat	17
3.2.3. Potensial Gayaberat	18
3.3. Rapat Massa Batuan	19
3.4. Koreksi – koreksi dalam Metode Gayaberat	21
3.4.1. Koreksi Pasang Surut (<i>Tidal Correction</i>)	21
3.4.2. Koreksi Apungan (<i>Drift Correction</i>)	21
3.4.3. Koreksi Lintang (<i>Latitude Correction</i>)	22
3.4.4. Koreksi Udara Bebas (<i>Free Air Correction</i>)	23
3.4.5. Koreksi Bouguer (<i>Bouguer Correction</i>)	23
3.4.6. Koreksi Medan (<i>Terrain Correction</i>)	24
3.5. Penentuan Rapat Massa Permukaan	25
3.5.1. Metode Nettleton	25
3.5.2. Metode Parasnis	26
3.6. Anomali Bouguer Lengkap	28
3.7. Analisis Spektrum	29
3.8. Filter <i>Moving Average</i>	31
3.9. Teknik Gradien	32
3.9.1. Gradien Horizontal	32
3.9.2. Gradien Vertikal	33
3.10. Pemodelan Inversi (<i>Inversion Modelling</i>)	35
3.11. Batuan Granitoid	36
3.12. Pelapukan Batuan Induk	37
3.13. Karakteristik Batuan Beku terhadap Potensi Akuifer	38
IV. METODOLOGI PENELITIAN	40
4.1. Waktu dan Tempat Penelitian	40
4.2. Alat dan Bahan	42
4.3. Prosedur Penelitian	43
4.3.1. Nilai Anomali Bouguer Lengkap (ABL)	43
4.3.2. Analisis Spektrum	43
4.3.3. Pemisahan Anomali Regional dan Residual	43
4.3.4. <i>Analisis Derivative</i>	44
4.3.5. Pemodelan Bawah Permukaan	44

4.4. Diagram Alir	45
V. HASIL DAN PEMBAHASAN	46
5.1 Data dan Elevasi Daerah Penelitian.....	46
5.2 Anomali Bouguer Lengkap	47
5.3 Analisis Spektrum.....	48
5.3.1. Lintasan A-A'	49
5.3.2. Lintasan B-B'	49
5.3.3. Lintasan C-C'	50
5.3.4. Lintasan D-D'	50
5.3.5. Lintasan E-E'	51
5.4 Pemisahan Anomali Regional dan Residual	53
5.4.1. Anomali Regional.....	53
5.4.2. Anomali Residual	54
5.5 Analisis <i>Derivative</i>	55
5.5.1. <i>First Horizontal Derivative</i> (FHD)	56
5.5.2. <i>Second Vertikal Derivative</i>	57
5.5.3. Lintasan Analisis <i>Derivative</i>	58
5.5.4. Lintasan A-A'	59
5.5.5. Lintasan B-B'	59
5.5.6. Lintasan C-C'	60
5.5.7. Lintasan D-D	60
5.6 Pemodelan Inversi 3D	61
5.7 Pemodelan Inversi 2D	64
5.7.1. Lintasan A-A'	64
5.7.2. Lintasan B-B'	64
5.7.3. Lintasan C-C'	65
5.7.4. Lintasan D-D'	66
5.8 Analisis Area Berpotensi sebagai Zona Terakumulasi Air Tanah.....	66
VI. KESIMPULAN	72
6.1. Kesimpulan.....	72
6.2. Saran	73
DAFTAR PUSTAKA	

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Nilai densitas batuan Telford.....	20
2. Parameter SVD Henderson & Zeits	35
3. Parameter SVD Elkins	35
4. Parameter SVD Rosenbach.....	35
5. Pelaksanaan kegiatan penelitian.....	41
6. Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian.....	42
7. Hasil perhitungan analisis spektrum pada setiap lintasan	52

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Peta Topografi dan Lokasi daerah penelitian	4
2. Peta Geologi Lembar Tanjung Karang	6
3. Peta penafsiran Geologi Lembar Tanjungkarang	7
4. Peta Fisiografi dan Morfologi Lampung	11
5. Model konseptual dari profil pelapukan purba (<i>paleo-weathering</i>) yang sebagian telah tererosi pada batuan keras	13
6. Gaya tarik menarik antara dua benda	16
7. Potensial dan kuat arus medan massa 3 dimensi	18
8. Grafik korelasi antara sebaran nilai anomali Bouguer dengan topografi	26
9. Grafik hubungan antara ($G_{\text{obs}} - G_{\text{lintang}} + 0,308765h$) dan $\rho(2\pi Gh)$	27
10. Kurva $\ln A$ terhadap k	29
11. Anomali gayaberat dan gradien horizontal pada model tabular	33
12. Analisis struktur cekungan dan intrusi menggunakan SVD	34
13. Tahapan proses <i>inverse modelling</i>	36
14. Model geologi tinggian granit Tejg	38
15. Hubungan densitas dan porositas batuan beku	38
16. Diagram alir pengolahan data.	45
17. Peta Elevasi daerah penelitian	46
18. Peta Anomali Bouguer Lengkap daerah penelitian	47
19. Lintasan analisis spektrum.	48
20. Grafik $\ln A$ terhadap k pada lintasan A-A'	49
21. Grafik $\ln A$ terhadap k pada lintasan B-B'	50
22. Grafik $\ln A$ terhadap k pada Lintasan C-C'	50
23. Grafik $\ln A$ terhadap k pada lintasan D-D'	51
24. Grafik $\ln A$ terhadap k pada lintasan E-E'	51
25. Peta Anomali Regional daerah penelitian.	54
26. Peta Anomali Residual daerah penelitian	55
27. Peta <i>First Horizontal Derivative</i> (FHD) daerah penelitian	56

28. Peta <i>Second Vertical Derivative</i> (SVD) daerah penelitian.	57
29. Peta lintasan analisis <i>derivative</i> FHD dan SVD.	58
30. Grafik residual, FHD dan SVD lintasan A-A'	59
31. Grafik residual, FHD dan SVD lintasan B-B'	60
32. Grafik residual, FHD dan SVD lintasan C-C'	60
33. Grafik residual, FHD dan SVD lintasan D-D'	61
34. Model 3D inversi anomali residual.	62
35. Model 3D inversi anomali residual <i>slicing</i> setiap lintasan.	63
36. Model <i>slicing</i> 3D dan penampang <i>derivative</i> lintasan A-A'	64
37. Model <i>slicing</i> 3D dan penampang <i>derivative</i> lintasan B-B'	65
38. Model <i>slicing</i> 3D dan penampang <i>derivative</i> lintasan C-C'	65
39. Model <i>slicing</i> 3D dan penampang <i>derivative</i> lintasan D-D'	66
40. Peta <i>overlay</i> Geologi dengan anomali residual daerah penelitian.	67
41. Model <i>slicing</i> 3D dan penampang <i>derivative</i> setiap lintasan.	68
42. Area berpotensi tempat terakumulasi air tanah pada model <i>slicing</i> 3D lintasan B-B' dan D-D'	70

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Pulau Sumatra terletak di bagian barat daya *Sundaland* yang merupakan zona tektonik aktif yang dipengaruhi oleh interaksi antara Lempeng Samudra Hindia dan Lempeng Benua Eurasia. Aktivitas tektonik di wilayah ini telah berlangsung sejak periode Mesozoikum dan menghasilkan proses subduksi di sepanjang zona barat Pulau Sumatra. Proses ini memicu interaksi antara batuan kerak samudra dan kerak benua yang membentuk struktur geologi beragam. Pulau Sumatra dibentuk dari beberapa *terrain* atau pecahan benua yang menjadi satu kesatuan. *Terrain* utama penyusun Pulau Sumatera meliputi Blok Indo-China, *Terrain* Sibumasu (Siam, Burma, Malaysia, dan Sumatra), *Terrain* Sumatra Barat, dan *Terrain* Woyla (Metcalf, 2017). Penyatuan *terrain-terrain* ini memainkan peran penting dalam pembentukan struktur geologi regional, aktivitas seismik, serta potensi *georesources* yang beragam di Pulau Sumatera, salah satunya Provinsi Lampung.

Wilayah Lampung secara geologi berada pada zona tinggian batuan alas, yang didominasi oleh batuan kristalin. Salah satu batuan kristalin yang berkembang di wilayah ini adalah batuan granitoid, yang terbentuk melalui proses intrusi plutonik sebelum akhirnya tersingkap di permukaan (Gasparon dkk., 1995). Persebaran batuan granitoid di Provinsi Lampung dapat dijumpai pada peta geologi regional Lembar Tanjungkarang (Mangga dkk., 1993), dengan satuan utama meliputi Granodiorit Sulan (Kgdsn), Granit Kalimangan (Kgk), Granodiorit Branti (Kgdb), Granit Jatibaru (Tejg), Diorit Sekampung Terfoliasi (Kds), Batuan Granit Tak Terpisahkan (Tmgr), serta Granit Kapur (Kgr). Granitoid merupakan batuan beku intrusif yang dicirikan oleh kandungan silika tinggi, bertekstur faneritik dan memiliki ukuran butir sedang hingga kasar. Mineral utama pada batuan granitoid tersusun atas feldspar, muskovit, biotit, hornblenda, dan kuarsa (Gill, 2010).

Penelitian yang dilakukan oleh Widiatama dkk, (2022) menunjukkan granitoid berumur Kapur Awal tersingkap di Way Sulan, Lampung Selatan dan juga Tanjung Bintang yang terdiri dari granodiorit, monzogranit, dan tonalit yang mengandung

mineral seperti kalium, feldspar, kuarsa, dan sedikit biotit. Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Mulyasari (2018) didapatkan bahwa kemunculan tubuh granitoid di daerah Tanjung Bintang ke permukaan bumi dipengaruhi oleh gaya endogen, di mana selama proses pengangkatannya, batuan granit mengalami pematahan dan peretakan. Ketika muncul ke permukaan bumi, granit dipengaruhi oleh gaya eksogen (gaya dari luar bumi) yang menyebabkan terjadinya proses erosi dan pelapukan yang intensif selama ratusan hingga ribuan tahun. Keberadaan retakan-retakan pada batuan granit yang terbentuk akibat pengaruh gaya endogen maupun eksogen berperan sebagai jalur masuk bagi air ke dalam batuan, sehingga mempercepat pelapukan kimia dan fisik pada tubuh batuan. Mineral seperti kuarsa cenderung resisten terhadap pelapukan ini, sedangkan feldspar lebih mudah lapuk yang membentuk mineral baru seperti mineral lempung (Earle, 2015).

Pada penelitian yang dilakukan oleh Hidayat (2016), ditemukan sejumlah anomali gravitasi rendah yang tersebar dari arah barat daya menuju timur laut di daerah penelitian, serta di sekitar zona intrusi batuan granit. Anomali rendah tersebut mengindikasikan adanya zona pelapukan yang cukup intensif pada tubuh granitoid. Proses pelapukan diferensial pada granitoid tidak hanya membentuk depresi lokal, tetapi juga menciptakan kondisi yang mendukung akumulasi air. Kehadiran mineral lempung hasil pelapukan tersebut meningkatkan kapasitas penahanan air akibat sifat impermeabelnya yang dapat berperan sebagai perangkap alami bagi air hujan maupun air tanah.

Penelitian terkait pemetaan cekungan dalam eksplorasi airtanah pada lingkungan batuan granit yang keras telah dilakukan sebelumnya oleh Murty dan Raghavan, (2002). Pemanfaatan anomali gayabarat memungkinkan pembedaan antara batuan beku terlapukkan dan tidak terlapukkan, membantu interpretasi kelurusan struktur sesar, serta mengidentifikasi lapisan yang berpotensi menjadi akuifer. Area granit yang lebih lapuk dapat mengandung cebakan dengan hasil air tanah lebih dalam yang ditunjukkan oleh nilai gravitasi negatif.

Berdasarkan latar belakang tersebut maka penelitian ini dilakukan untuk memperlihatkan daerah yang berpotensi sebagai zona akumulasi air tanah menggunakan pemodelan inversi 3D data gayabarat, sementara analisis *derivative*

diterapkan untuk mengidentifikasi struktur bawah permukaan Formasi Granitoid Tanjung Bintang. Anomali densitas tinggi menunjukkan keberadaan batuan dengan kerapatan tinggi seperti batuan beku (granit), sedangkan anomali rendah mengindikasikan zona keberadaan perangkap untuk air tanah. Untuk mengurangi ambiguitas pada model yang dihasilkan, peneliti juga mencocokkan data geologi yang ada untuk dijadikan sebagai acuan dalam pemodelan 3D.

1.2. Tujuan Penelitian

Adapun Tujuan Penelitian berdasarkan latar belakang masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui pola sebaran nilai anomali gravitasi daerah penelitian.
2. Mengidentifikasi struktur patahan berdasarkan analisis *derivative*.
3. Mendapatkan model distribusi densitas bawah permukaan dari hasil inversi 3D anomali gayaberat di Komplek Granitoid Tanjung Bintang.
4. Mendapatkan daerah yang diduga berpotensi sebagai area terakumulasi air tanah berdasarkan hasil pemodelan gayaberat.

1.3. Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah pemodelan struktur bawah permukaan berdasarkan filter *moving average*, analisis *derivative* menggunakan FHD dan SVD, serta model 3D menggunakan *software* Grav3D berdasarkan data anomali gayaberat.

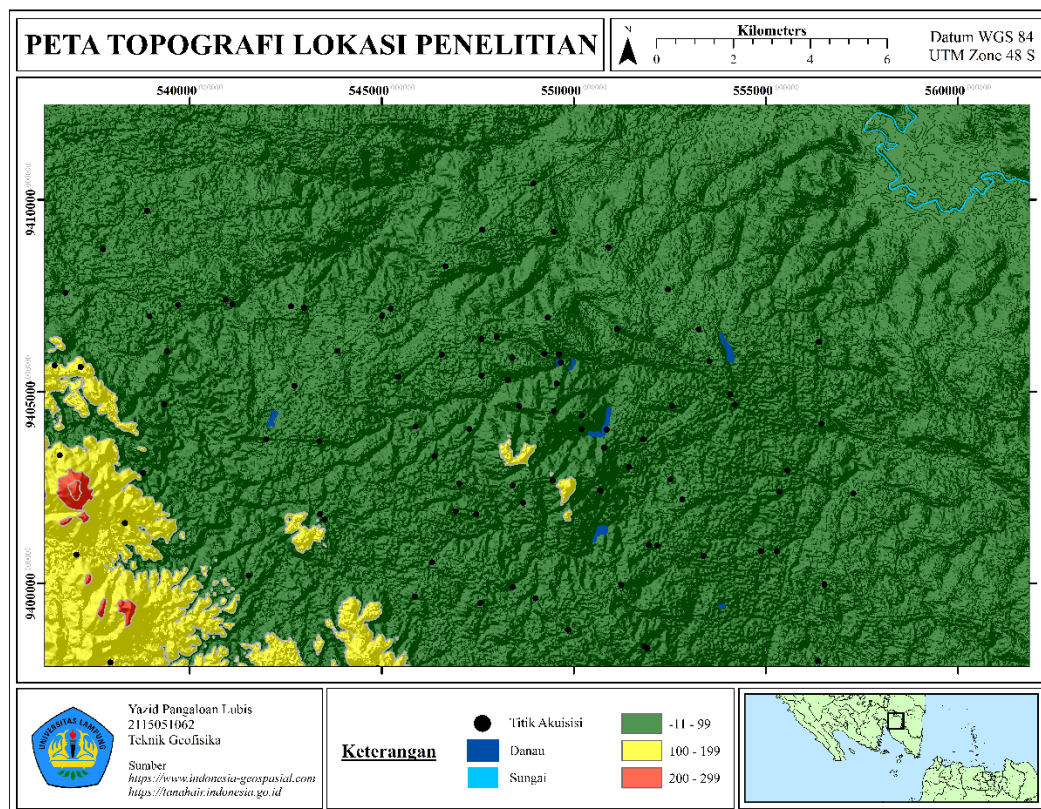
1.4. Manfaat Penelitian

Manfaat dilakukannya penelitian ini adalah memberikan informasi mengenai area yang diduga sebagai zona yang berpotensi untuk tempat akuifer air tanah pada kompleks Granitoid Tanjung Bintang dan diharapkan juga penelitian ini dapat dijadikan suatu referensi ataupun acuan pada penelitian selanjutnya di daerah Lampung.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Lokasi Daerah Penelitian

Lokasi penelitian terletak di daerah Kompleks Granitoid Tanjung Bintang yang dapat dilihat pada Gambar 1. Secara geografis daerah penelitian berada sekitar UTM-X 536250 sampai 556250 UTM-Y 9398150 sampai 9410000 meliputi daratan dengan luasan area sekitar 20 km x 12 km. Wilayah penelitian ini secara administratif terletak di Kecamatan Tanjung Bintang dan sedikit area di Kecamatan Merbau Mataram. Lokasi penelitian tersusun oleh topografi yang datar dengan rentang -11 sampai 300 mdpl.



Gambar 1. Peta Topografi dan Lokasi daerah penelitian.

2.2. Geologi Regional

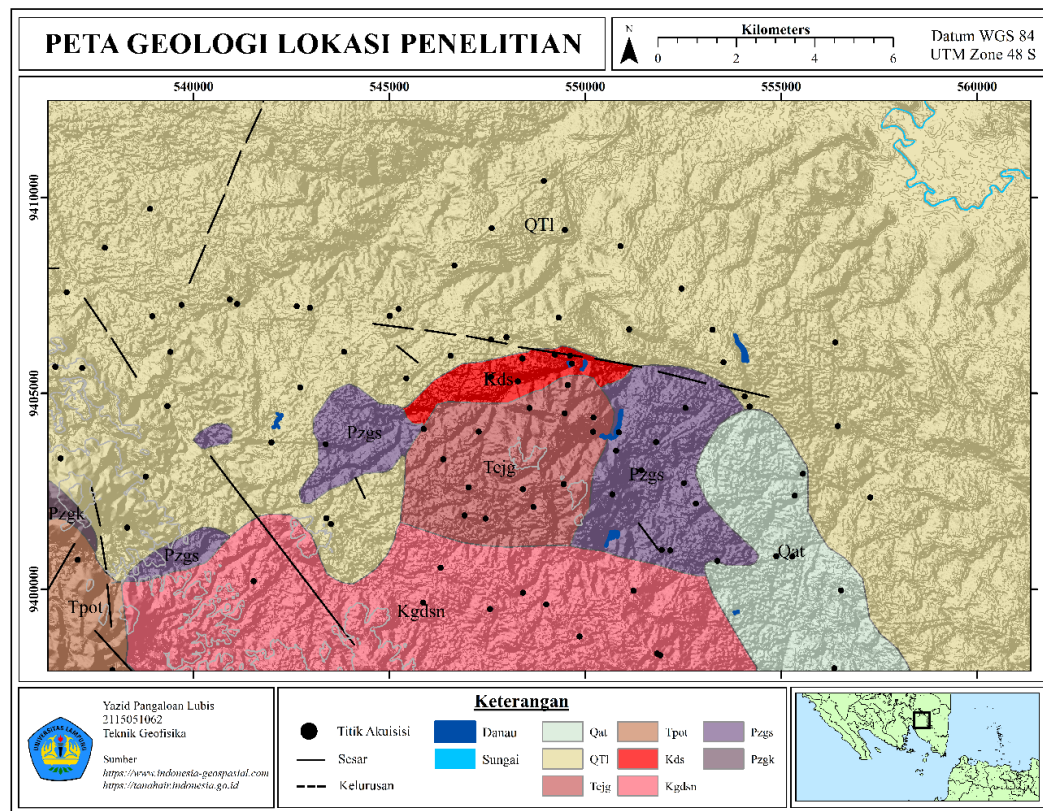
Tatanan Tektonika

Pulau Sumatra berada di sepanjang sisi barat daya dari Paparan Sunda dan secara tektonik merupakan bagian dari sistem Busur Sunda yang termasuk dalam wilayah Lempeng Eurasia. Di sepanjang pantai barat Sumatra, kerak samudra yang membentuk dasar Samudra Hindia sebagai bagian dari Lempeng Indo-Australia mengalami subduksi secara miring ke bawah Lempeng Eurasia melalui zona penunjaman Palung Sunda. Proses tektonik ini menggambarkan dinamika batas lempeng konvergen aktif yang berperan penting dalam pembentukan morfologi dan aktivitas geologi regional (Hamilton, 1979). Proses subduksi ini telah berlangsung sejak kala Tersier (sekitar 66 hingga 5,3 juta tahun yang lalu) dan menjadi pemicu terbentuknya busur magmatik yang luas di sepanjang Pegunungan Barisan. Secara geologis, wilayah ini didominasi oleh batuan dasar malihan (pra-Mesozoikum), batuan beku berumur Mesozoikum hingga Kenozoikum, serta runtunan batuan vulkanik dan sedimen yang berumur Tersier hingga Kuartar. Kombinasi litologi tersebut mencerminkan sejarah geodinamika yang kompleks dan aktif yang masih berlangsung hingga saat ini.

Geologi Lembar Tanjung Karang

Merujuk Peta Geologi pada Lembar Tanjung Karang Mangga dkk, (1993) pada Gambar 2, menunjukkan keberadaan Kompleks Gunung Kasih (Pzg) yang tersusun atas batuan malihan yang diinterpretasikan sebagai satuan batuan tertua di wilayah tersebut. Kompleks ini mencakup jenis-jenis batuan metamorf seperti sekis, gneis, kuarsit, dan marmer yang tersingkap di antara lapisan batuan penutup Kuartar. Berdasarkan karakteristik dan posisinya, satuan batuan ini diperkirakan berumur Karbon Awal atau bahkan lebih tua, dan kemungkinan besar merepresentasikan batuan alas kristalin yang membentuk dasar dari cekungan sedimen berumur Tersier di atasnya. Formasi Lampung (QTI), yang diperkirakan mendominasi sebagian besar wilayah dalam Lembar Tanjung Karang, tersusun atas batuan riolit-tufan serta material vulkanoklastik bertipe tufan. Aktivitas vulkanik yang berkaitan dengan mekanisme penunjaman Lempeng Samudra Hindia telah berlangsung intensif

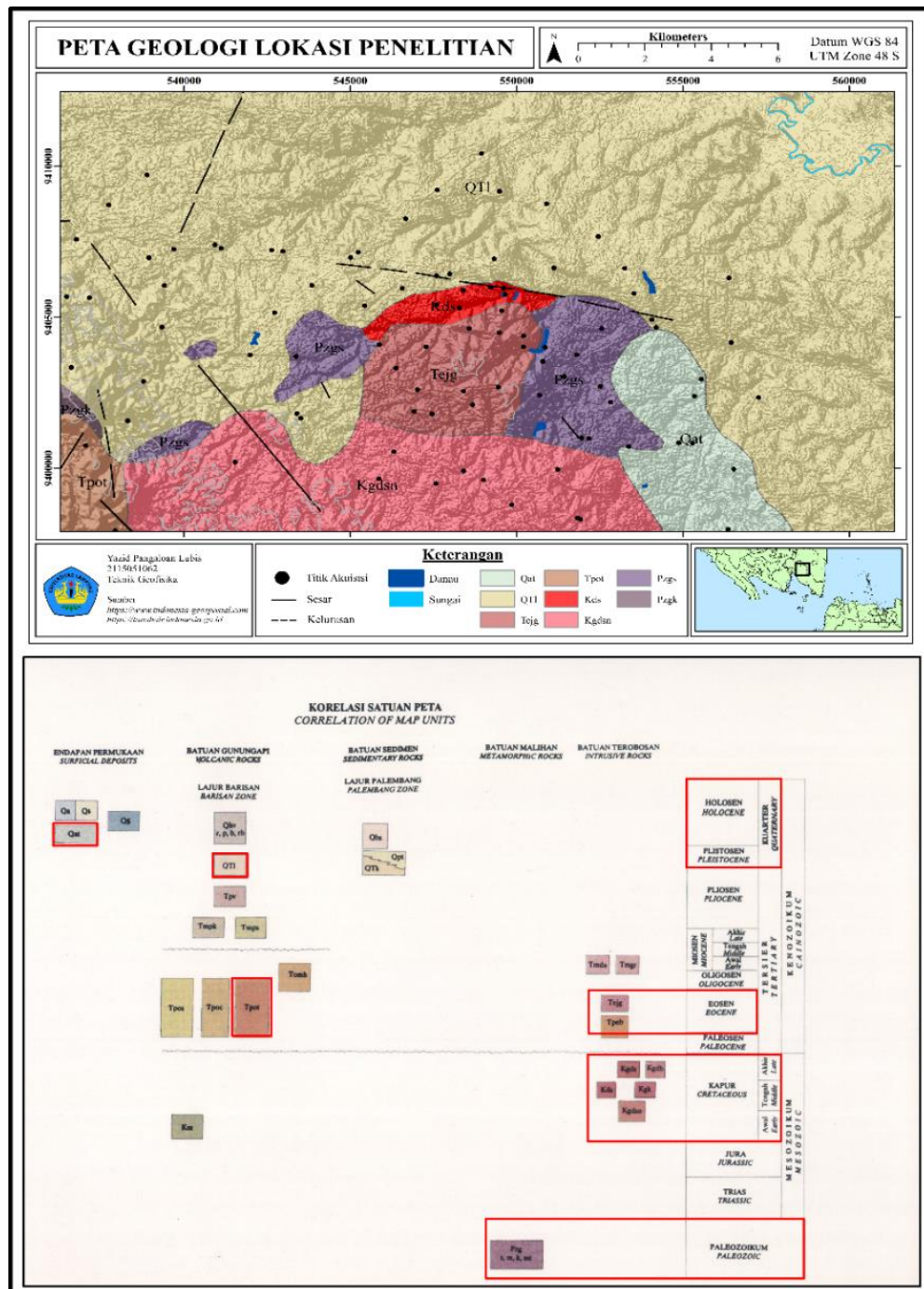
sepanjang jalur Busur Pegunungan Barisan selama kala Tersier. Aktivitas ini menghasilkan beragam produk vulkanik, termasuk batuan tuf, aliran lava, dan breksi gunungapi dengan komposisi riolit hingga basalt. Proses sedimentasi yang terjadi selama Periode Holosen membentuk endapan-endapan aluvium, batugamping, dan material rawa yang tersebar di daerah dataran rendah dan lembah-lembah sungai.



Gambar 2. Peta Geologi Lembar Tanjung Karang (Modifikasi dari Mangga dkk., 1993).

2.3. Stratigrafi

Susunan geologi regional wilayah Tanjung Karang terdiri atas empat kelompok utama satuan batuan, yaitu Urutan Pra-Tersier, Urutan Tersier, Urutan Kuarter, serta Urutan Batuan Terobosan yang dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Peta penafsiran Geologi Lembar Tanjungkarang (Mangga dkk., 1993).

Urutan Pra-Tersier, Urutan Tersier, Urutan Kuartar, serta Urutan Batuan Terobosan merepresentasikan perkembangan stratigrafi regional dari waktu ke waktu dan dapat diamati secara sistematis pada kolom stratigrafi pada Peta Geologi Regional Lembar Tanjung Karang.

Urutan Pra-Tersier

Urutan Pra-Tersier mencakup satuan batuan tertua yang secara dominan tersingkap pada Kompleks Gunung Kasih (Pzg), terdiri dari beragam litologi metamorf, termasuk sekis kuarsa pelitik, grafitik, pualam, sekis gampingan, kuarsit, serisit, migmatit, sekis amfibol, dan ortogneis. Keberadaan jenis batuan tersebut mencerminkan jalinan yang rumit pada geologi kawasan tersebut dan diduga merupakan hasil dari proses tektonik serta magmatik yang intens di masa lalu. Berdasarkan karakteristik dan distribusi litologinya, dapat diasumsikan bahwa batuan beku metamorf pada Kompleks Gunung Kasih merupakan sisa-sisa dari busur magmatik Paleozoikum dan endapan sedimen/metamorf yang berasal dari zona parit atau zona muka busur yang berkaitan dengan sistem subduksi kuno. Selain Kompleks Gunung Kasih, Runtunan Pra-Tersier juga mencakup Formasi Menanga (Km), yang berumur Mesozoikum dan tidak menunjukkan bukti transformasi metamorfik. Formasi ini terdiri atas batulempung dan batupasir tufan serta batu gampingan yang berselingan dengan lapisan serpih, sisipan batugamping, rijang, dan sedikit batuan basaltik.

Urutan Tersier

Urutan Tersier di wilayah ini terdiri atas sejumlah formasi utama, yaitu Formasi Sabu (Tpos), Formasi Campang (Tpoc), Formasi Tarahan (Tpot), dan Formasi Hulusimpang (Tomh). Keseluruhan formasi ini menunjukkan ciri khas batuan gunungapi dari busur benua serta sedimen yang terakumulasi di lingkungan tepi busur gunungapi. Berdasarkan umur batumannya, satuan-satuan ini umumnya berasal dari kala Paleosen hingga Oligosen.

Formasi Sabu (Tpos) terendapkan dalam lingkungan fluvial dan secara stratigrafi menindih secara tidak selaras pada satuan Pra-Tersier, serta kemudian ditutupi oleh batuan gunungapi Formasi Hulusimpang yang berumur Oligosen Akhir hingga Miosen Awal. Litologi Formasi Sabu pada bagian bawah tersusun atas breksi konglomerat dan batupasir, yang kemudian secara bertahap bergradasi ke arah atas menjadi batu lempung tufan dan batupasir.

Formasi Campang (Tpoc) dan Formasi Tarahan (Tpot) yang terendapkan dalam rentang waktu relatif bersamaan menunjukkan kesamaan karakter berupa kehadiran batuan tuf dan breksi polimik. Formasi Campang didominasi oleh batulempung, tuf, serta breksi konglomerat polimik, sementara Formasi Tarahan tersusun atas breksi polimik dengan sisipan rijang, tuf masif, dan lava yang umumnya berkomposisi andesit hingga basal.

Formasi Hulusimpang (Tomh) menindih secara tidak selaras Formasi Sabu, yang menandakan adanya gangguan tektonik regional pada masa itu. Formasi ini didominasi oleh litologi breksi vulkanik dan tuf, yang mencerminkan aktivitas vulkanisme intens sebagai respons terhadap proses tektonik yang berlangsung di wilayah Sumatera.

Pada kala Miosen Akhir hingga Pliosen, terbentuklah Formasi Surungbatang (Tmps), Formasi Kantur (Tmpk), serta satuan Lava Andesit (Tpv). Pada periode ini berkembang endapan berupa tuf, breksi vulkanik, batulempung karbonatan, dan batulanau karbonatan yang umumnya disertai oleh sisipan batuan tuf dan lava andesitik. Litologi ini mencerminkan fase evolusi magmatik dan sedimentasi yang lebih lanjut sebagai kelanjutan dari dinamika tektonik regional di kawasan tersebut.

Urutan Quarter

Urutan Kuarter pada wilayah Tanjungkarang mencakup beberapa satuan geologi utama, yaitu Formasi Lampung (Qtl), Formasi Kasai (Qtk), Formasi Terbanggi (Qpt), Formasi Basalt Sukadana (Qbs), Endapan Gunungapi Muda (Qhv), serta Endapan Aluvial. Secara umum, runtunan ini tersusun atas batuan vulkanik klastik yang didominasi oleh tuf, batulempung tufan, dan batupasir tufan dan mencerminkan aktivitas vulkanisme Kuarter yang masih cukup aktif. Formasi Lampung dan Formasi Kasai dicirikan oleh keberadaan batuan tuf, batulempung tufan, batupasir, serta batupasir tufan, yang mengindikasikan proses pengendapan dari material piroklastik hasil erupsi gunungapi. Pada Formasi Terbanggi mengandung batupasir dengan sisipan batulempung dan mungkin bersifat fluvial atau danau. Formasi Basalt Sukadana dan Endapan Gunungapi Muda didominasi oleh batuan lava dengan komposisi andesit hingga basalt, disertai oleh breksi

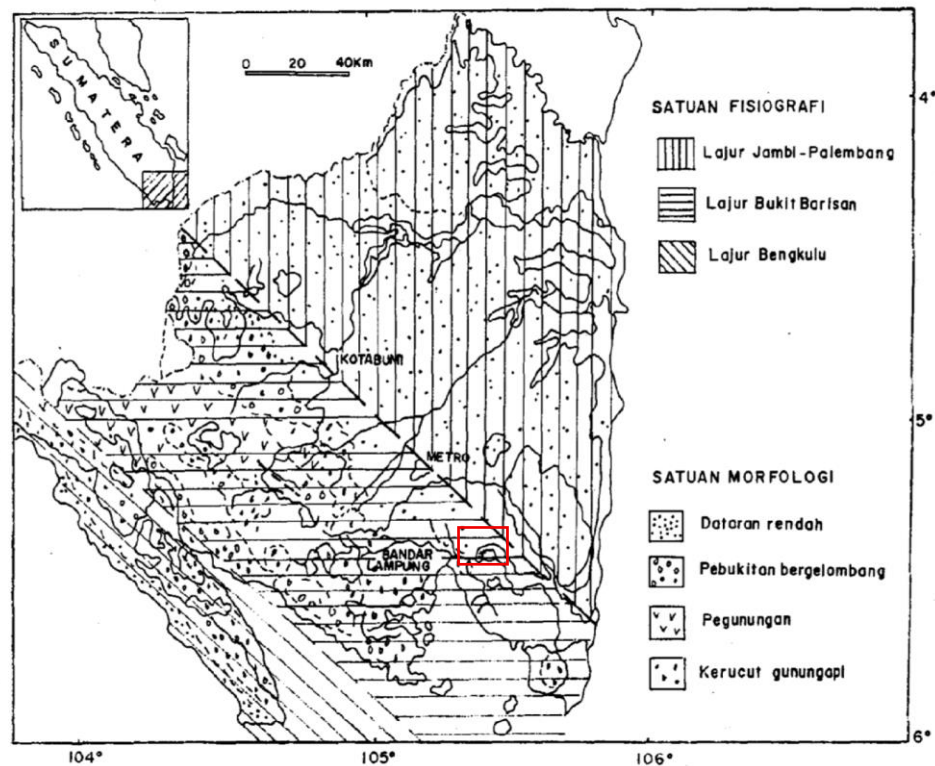
vulkanik dan tuf. Kehadiran batuan-batuan ini mencerminkan aktivitas vulkanisme Kuarter yang relatif muda dan masih aktif pada masa geologi terakhir, serta berperan penting dalam membentuk morfologi dan karakteristik geotektonik regional saat ini.

Urutan Terobosan

Urutan Terobosan mencakup berbagai batuan hasil intrusi yang berasal dari aktivitas magmatik berumur relatif muda dibandingkan dengan batuan yang diterobosnya. Satuan ini terdiri dari beberapa formasi, antara lain Satuan batuan yang dijumpai meliputi Formasi Granodiorit Sulan (Kgdsn), Diorit Sekampung Terfoliasi (Kds), Granodiorit Seputih (Kgds), Granit Kalimantan (Kgk), Granodiorit Branti (Kgdb), Dasit Piabung (Tmda), Granit Tak Terpisahkan (Tmgr), Granit Jatibaru (Tejg), serta Sumbat Basalt (Tpeb). Secara petrogenetik, runtunan ini menunjukkan keberagaman litologi intrusif mulai dari batuan mafik seperti basalt dan diorit, hingga batuan felsik seperti granit dan granodiorit, serta komposisi menengah seperti dasit. Variasi ini merefleksikan aktivitas magmatik dari magma mafik hingga felsik yang menerobos ke dalam kerak dan mengintrusi satuan batuan yang lebih tua. Proses-proses intrusi ini berkaitan erat dengan evolusi tektonik regional, khususnya aktivitas subduksi dan pembentukan busur magmatik yang berlangsung sejak masa Mesozoikum hingga Kenozoikum.

2.4. Fisiografi dan Morfologi

Wilayah Sumatera adalah perpanjangan dari daratan Asia Tenggara yang termasuk dalam Lempeng Eurasia dan merupakan bagian integral dari sistem Busur Sunda. Di sebelah barat Pulau Sumatra terdapat kerak samudra yang membentuk dasar Samudra Hindia sebagai bagian dari Lempeng Indo-Australia mengalami penunjaman secara miring ke bawah Lempeng Eurasia melalui zona subduksi (Mangga dkk., 1993). Proses ini memainkan peran penting dalam pembentukan struktur geologi regional dan aktivitas magmatik di sepanjang busur pegunungan Sumatera.



Gambar 4. Peta Fisiografi dan Morfologi Lampung (Mangga dkk., 1993).

Secara umum wilayah ini dapat diklasifikasikan ke dalam tiga satuan morfologi utama, yaitu: dataran bergelombang yang terletak di bagian Timur dan Timur Laut, zona pegunungan dengan morfologi terjal di bagian tengah hingga barat daya, serta kawasan pesisir dengan topografi yang bervariasi dari perbukitan hingga dataran. Gambar 4. Daerah dataran bergelombang menempati lebih dari 50% dari keseluruhan area peta lembar yang tersusun atas endapan vulkanoklastik berumur Tersier hingga Kuarter, serta material aluvial dengan elevasi mencapai beberapa puluh meter di atas permukaan laut. Pegunungan Bukit Barisan mencakup sekitar 25% hingga 30% dari luas wilayah lembar yang terdiri dari batuan beku dan malihan sebagai batuan dasar dan disertai dengan batuan gunung api muda. Daerah penelitian berada pada dataran rendah yang ditunjukkan pada area yang berwarna merah. ditunjukkan pada daerah. Topografi di kawasan ini umumnya curam, dengan elevasi berkisar antara 500 hingga 1.680 meter di atas permukaan laut. Zona pantai memiliki morfologi yang lebih bervariasi, sering kali ditandai oleh perbukitan kasar

dengan ketinggian hingga 500 meter di atas permukaan laut. Satuan ini didominasi oleh batuan gunung api berumur Tersier dan Kuartar serta intrusi batuan terobosan.

2.5. Struktur Geologi

Struktur geologi regional pada Lembar Tanjung Karang memiliki keterkaitan yang sangat erat dengan proses pembentukan Pulau Sumatera secara keseluruhan. Di bagian barat pantai Sumatera, kerak samudera Samudera Hindia mengalami penunjaman secara miring sepanjang Parit Sunda. Proses penunjaman atau subduksi tersebut menghasilkan tekanan yang sangat besar sehingga secara bertahap membentuk pola sesar yang sejajar dengan lempeng benua. Akibatnya, Sesar Sumatera berkembang sebagai rangkaian segmen sesar berukuran relatif kecil yang memanjang di sepanjang sisi barat Pulau Sumatera (Hamilton, 1979).

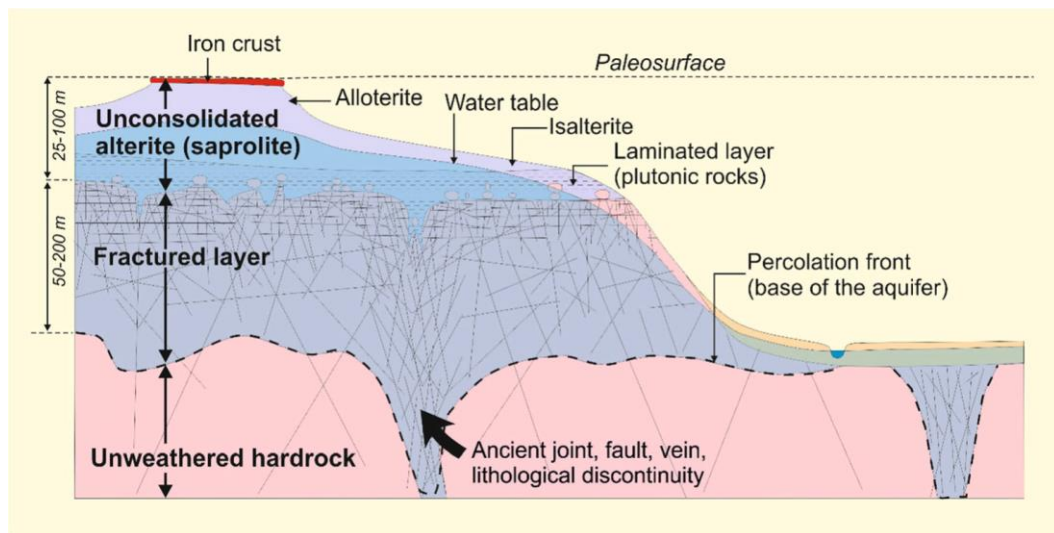
Pada barat daerah penelitian terdapat sesar Lampung – Panjang yang terbentang dari daerah Tarahan hingga Tanjung Karang yang merupakan sesar mendatar mengiri. Selain itu, di daerah penelitian juga dijumpai beberapa sesar minor. Struktur geologi yang dapat berupa patahan, rekahan, perlipatan, ketidakselarasan atau *collapse* yang berperan sebagai sistem lolos air (area rembesan) (Mulyani dkk., 2022).

2.6. Penelitian Terdahulu

Murty dan Raghayan (2002), Pada penelitian yang berjudul “*The gravity method in groundwater exploration in crystalline rocks: A study in the peninsular granitic region of Hyderabad, India*” yang telah memanfaatkan dengan metode dan target penelitian yang sama, menggunakan data pengukuran akuisisi. Hasil penelitian yaitu Anomali Bouguer dapat mencerminkan zona transisi lateral antara batuan granit yang masih segar dan telah lapuk. Granit yang sudah lapuk memiliki densitas lebih rendah dibandingkan granit yang belum lapuk, dan hal ini tercermin dari nilai gravitasi yang relatif lebih rendah. Sesar dan rekahan besar pada batuan kristalin dapat dipetakan melalui gradien gravitasi serta peta turunan (*derivative maps*), yang sekaligus memperjelas keberadaan kelurusan (*lineament*) yang berpotensi berperan sebagai zona akuifer. Pada Penelitian tersebut juga

menjelaskan untuk batuan beku segar (dari asam hingga ultrabasa) menunjukkan bahwa porositas primer menurun seiring dengan meningkatnya densitas.

Hidayat (2016), Pada penelitian yang berjudul “Pemetaan dan Estimasi Volume Batuan Granit menggunakan Data Anomali Gayabarat dan Magnetik Daerah Lampung bagian Timur” yang telah memanfaatkan metode pada daerah yang sama, menggunakan data pengukuran akuisisi. Dari hasil penelitian diketahui bahwa batuan Granit pada daerah Tanjung Bintang diduga terbentuk pada zona intrusi dalam Formasi Tejg (Granit merah jambu). Intrusi terjadi pada batas kedalaman moho yang menerobos sampai pada kedalaman dari residual. Batas-batas kedalaman ini memiliki kesesuaian terhadap nilai dari analisis spektrum. Pada penelitian ini terdapat beberapa model densitas rendah yang diduga sebagai sedimen dari hasil pelapukan tinggian Formasi Tejg.



Gambar 5. Model konseptual dari profil pelapukan purba (*paleo-weathering*) yang sebagian telah tererosi pada batuan keras (Lachassagne dkk., 2021)

Lachassagne dkk, (2021), Pada penelitian yang berjudul “*Review: Hydrogeology of weathered crystalline/hard-rock aquifers—guidelines for the operational survey and management of their groundwater resources*” yang telah memanfaatkan dengan target penelitian yang sama dijelaskan *Hard Rock Aquifers* (HRA) tersusun atas dua lapisan, yaitu pada lapisan saprolit dan *fractured layer* seperti Gambar 5. Kemampuan hantar air batuan dikontrol oleh permeabilitas

rekahan sekunder yang terbentuk akibat proses pelapukan, terutama karena tegangan yang dihasilkan oleh pengembangan beberapa mineral. Lapisan yang bersifat transmisif ini, yang disebut *Stratiform Fractured Layer* (SFL), berfungsi sebagai akuifer. Zona permukaan akuifer yang belum terkonsolidasi (saprolit) tidak memiliki permeabilitas yang cukup untuk menghasilkan debit yang signifikan pada sumur bor umum dengan diameter kecil. Namun demikian, zona ini dicirikan oleh porositas yang tinggi, sehingga memungkinkan terjadinya rembesan air ke arah lapisan terekahkan (*fractured layer*). Oleh karena itu, lapisan atas ini berperan utama dalam menyediakan sifat kapasitasif (penyimpanan air) dari keseluruhan akuifer.

III. TEORI DASAR

3.1. Metode Gayaberat

Metode gayaberat merupakan salah satu metode geofisika yang bekerja berdasarkan pengukuran perubahan medan gravitasi bumi. Perubahan nilai gayaberat di permukaan bumi dipengaruhi oleh variasi densitas batuan bawah permukaan, perbedaan jenis batuan, variasi jarak antara permukaan bumi dan pusat bumi, serta kondisi topografi di permukaan (Sarkowi, 2014). Lapisan terluar bumi tersusun atas kerak benua dan kerak samudera yang masing-masing memiliki nilai densitas berbeda, sehingga turut memengaruhi medan gravitasi bumi. Untuk mengidentifikasi lapisan bawah permukaan berdasarkan perbedaan rapat massa batuan pada suatu wilayah penelitian, salah satu metode geofisika yang dapat digunakan adalah metode gravitasi. Metode gravitasi merupakan metode eksplorasi geofisika yang dilakukan dengan mengukur percepatan gravitasi bumi yang dihasilkan oleh adanya perbedaan densitas batuan pada suatu daerah (Blakely, 1996).

Metode gayaberat dinilai efektif untuk menentukan zona target tertentu yang selanjutnya dapat ditindaklanjuti dengan survei menggunakan metode geofisika lain yang memiliki tingkat ketelitian lebih tinggi. Keberadaan suatu sumber berupa massa bawah permukaan, baik berbentuk masif, lensa, maupun bongkah berukuran besar, dapat menimbulkan gangguan relatif pada medan gayaberat yang dikenal sebagai anomali gayaberat. Mengingat besarnya perbedaan medan gayaberat tersebut relatif kecil, maka diperlukan instrumen pengukuran dengan ketelitian tinggi agar variasi medan gayaberat di permukaan bumi dapat terdeteksi dan dibandingkan antar titik observasi (Jamaluddin dkk., 2019). Percepatan gravitasi di suatu lokasi dipengaruhi oleh beberapa faktor, di antaranya perbedaan garis lintang serta variasi ketinggian atau kondisi topografi, kedudukan bumi dalam tata surya, variasi rapat massa batuan bawah permukaan bumi, perbedaan elevasi tempat pengukuran dan hal lain yang dapat memberikan kontribusi nilai gravitasi, misalnya bangunan dan lain-lain (Taufiquddin, 2014).

3.2. Konsep Dasar Metode Gayaberat

Metode gayaberat merupakan salah satu metode geofisika yang digunakan untuk mengkaji kondisi bawah permukaan berdasarkan perbedaan rapat massa suatu lapisan batuan ($\rho = \text{gram/cm}^3$). Metode ini memiliki sensitivitas yang tinggi terhadap perubahan vertikal, sehingga sering dimanfaatkan dalam studi kontak intrusi, batuan dasar, struktur geologi, endapan sungai purba, rongga dalam massa batuan, shaft terpendam, serta objek bawah permukaan lainnya. Kegiatan eksplorasi umumnya dilakukan dalam bentuk lintasan penampang. Pemisahan anomali yang disebabkan oleh perbedaan rapat massa pada kedalaman yang berbeda dilakukan dengan menerapkan filter matematis atau filter geofisika (Sarkowi, 2009).

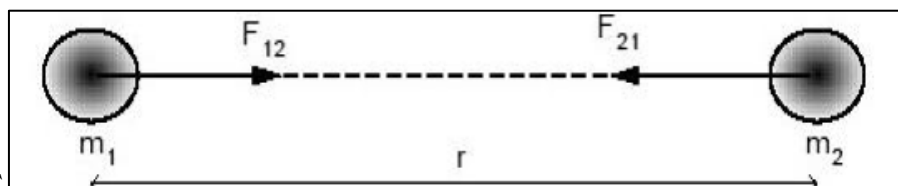
3.2.1. Gayaberat Newton

Teori gayaberat Newton didasarkan pada Hukum Newton yang menjelaskan adanya gaya tarik-menarik antara dua massa, yaitu m_1 dan m_2 , yang dipisahkan oleh jarak r , sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 6, dan hubungan tersebut dinyatakan dalam Persamaan 1 (Serway dkk., 2009).

$$\vec{F}_{21} = G \frac{m_1 m_2}{r^2} \hat{r}_{12} \quad (1)$$

Keterangan:

- $\hat{F}_{21}$: Gaya tarik menarik (N)
- $m_1 m_2$: Massa benda 1 dan massa benda 2 (kg)
- r^2 : Jarak antara dua buah benda (m)
- $\hat{r}_{12}$: Jarak Arah dari partikel 1 menuju partikel 2 (m)
- G : Konstanta Gravitasi Universal ($6,67 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg s}^{-2}$)



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

Gaya yang bekerja pada massa m_2 akibat pengaruh massa m_1 dinyatakan sebagai F_{21} dan arahnya berlawanan dengan vektor perpindahan m_2 terhadap m_1 , yaitu r_{12} . Sebaliknya, gaya yang bekerja pada massa m_1 akibat massa m_2 dinyatakan sebagai F_{12} dan arahnya berlawanan dengan vektor perpindahan m_1 terhadap m_2 , yaitu r_{21} . Oleh karena itu, berlaku hubungan $F_{21} = -F_{12}$ karena kedua gaya tersebut merupakan pasangan aksi dan reaksi. Nilai konstanta gravitasi G adalah sebesar $6,67 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg s}^{-2}$ yang merepresentasikan besarnya gaya dalam satuan meter.

3.2.2. Percepatan Gaya Berat

Newton juga mengemukakan hubungan antara gaya dan percepatan. Hukum II Newton secara khusus menyatakan bahwa gerak suatu benda ditentukan oleh gaya yang besarnya sebanding dengan hasil kali massa benda dan percepatan gravitasi bumi yang bekerja pada benda tersebut dan dapat dirumuskan dengan Persamaan 2,

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

Percepatan sebuah benda bermassa m_2 yang disebabkan oleh tarikan benda bermassa m_1 pada jarak r secara sederhana dapat dinyatakan pada Persamaan 3:

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

dengan g adalah percepatan gravitasi. Maka jika Persamaan 2 disubstitusikan ke dalam Persamaan 3, maka akan didapat Persamaan 4:

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

Keterangan:

g : Percepatan gravitasi bumi (m/s^2)

M : Massa bumi (kg)

m : Massa benda (kg)

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

$\vec{r}^2$: Jari-Jari bumi (m)

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

Persamaan 4 menunjukkan bahwa besarnya percepatan yang disebabkan oleh gaya gravitasi bumi adalah berbanding lurus dengan massa bumi (M) dan berbanding terbalik dengan kuadrat jari-jari bumi (R) (Santoso, 2002). Pengukuran percepatan gayaberat pertama kali dilakukan oleh Galileo, sehingga untuk menghormati Galileo, kemudian didefinisikan:

$$1 \text{ Gal} = 1 \text{ cm/s}^2 = 10^{-2} \text{ m/s}^2 \text{ (dalam cgs)} \quad (5)$$

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

$$1 \text{ mGal} = 10^{-3} \text{ Gal}$$

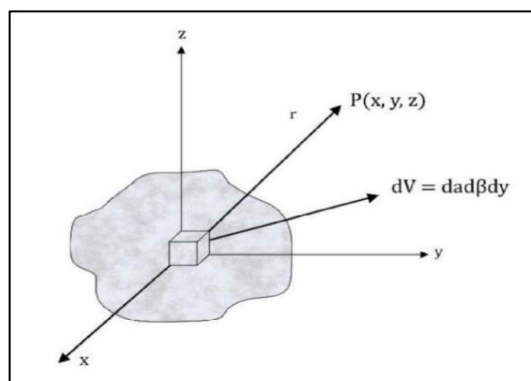
$$1 \text{ } \mu\text{Gal} = 10^{-3} \text{ mGal} = 10^{-6} \text{ Gal} = 10^{-8} \text{ m/s}^2 \quad (6)$$

$$1 \text{ mGal} = 10 \text{ gu} = 10^{-5} \text{ m/s}^2 \quad (7)$$

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

3.2.3. Potensial Gayaberat

Potensial gayaberat merupakan bentuk energi yang berkaitan dengan pemindahan suatu massa dari satu titik ke titik lainnya. Keberadaan suatu benda bermassa dalam suatu sistem ruang akan menimbulkan medan potensial di sekitarnya, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 7. Medan potensial yang terbentuk bersifat konservatif, yang berarti bahwa usaha yang dilakukan di dalam medan gayaberat tidak bergantung pada lintasan yang dilalui, melainkan hanya ditentukan oleh posisi awal dan posisi akhir (Rosid, 2005).



Gambar 7. Potensial dan kuat arus medan massa 3 dimensi (Maulana, 2012).

Potensial serta percepatan gravitasi pada suatu titik di bagian terluar dapat ditentukan dengan cara membagi massa menjadi elemen-elemen kecil (dm), kemudian menjumlahkan kontribusi masing-masing elemen untuk memperoleh pengaruh keseluruhannya. Potensial yang dihasilkan oleh elemen massa dm pada titik (x, y, z) dengan jarak r terhadap titik $P(0,0,0)$ dapat dirumuskan dengan Persamaan 8:

$$dU = G \frac{dm}{r} = G\rho \, dx \, dy \, \frac{dz}{r} \quad (8)$$

Dimana $\rho(x, y, z)$ adalah rapat massa, dan $r^2 = x^2 + y^2 + z^2$. Maka massa m potensial totalnya dapat dilihat pada Persamaan 9:

$$U = G \int_X \int_Y \int_Z \left(\frac{\rho}{r^2} \right) dx \, dy \, dz \quad (9)$$

Karena g adalah percepatan gravitasi dalam arah z , dan menganggap ρ konstan, maka dihasilkan Persamaan 11:

$$g = - \frac{\partial U}{\partial z} \quad (10)$$

$$g = G\rho \int_X \int_Y \int_Z \left(\frac{z}{r^3} \right) dx \, dy \, dz \quad (11)$$

3.3. Rapat Massa Batuan

Batuan merupakan komponen alami utama penyusun Bumi. Berdasarkan asal pembentukan, komposisi penyusun, dan karakter teksturnya, batuan dikelompokkan ke dalam tiga jenis utama, yakni batuan sedimen, batuan beku, dan batuan metamorf. Salah satu parameter fisika penting dari batuan adalah densitas atau rapat massa, yang didefinisikan sebagai rasio antara massa terhadap volume suatu material. Densitas batuan memberikan informasi tentang sifat fisik internal batuan tersebut (Sucipto dkk., 2014). Nilai densitas batuan dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain densitas matriks penyusunnya, tingkat porositas, kedalaman batuan di bawah permukaan, derajat pelapukan, serta kandungan fluida dalam pori-pori batuan dan dapat dihitung dengan Persamaan 12.

$$\rho = \frac{m}{v} \quad (12)$$

Keterangan:

ρ : Densitas (kg/m^3)

m : Massa suatu benda (kg)

v : Volume suatu Benda (m^3)

Anomali gravitasi muncul akibat adanya variasi densitas pada batuan. Perbedaan densitas tersebut dapat disebabkan oleh perubahan material yang mengisi ruang pori dalam batuan. Mengingat batuan tersusun atas berbagai jenis, masing-masing batuan memiliki nilai densitas yang berbeda-beda. Berikut disajikan kisaran nilai densitas batuan menurut Telford dkk, (1990):

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

Jenis Batuan	Batas (g/cc)	rata-rata (g/cc)
Batuan Sedimen		
Aluvium	1,96-2,00	1,98
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
Dolomit	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 Beku		
Riolit	2,35-2,70	2,52
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
Gabro	2,70-3,50	3,03

Jenis Batuan	Batas (g/cc)	rata-rata (g/cc)
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

3.4. Koreksi – koreksi dalam Metode Gayaberat

Dalam proses pengolahan data gravitasi, diperlukan penerapan sejumlah koreksi untuk meminimalkan pengaruh *noise* yang muncul. Koreksi data gravitasi tersebut mencakup beberapa tahapan, antara lain:

3.4.1. Koreksi Pasang Surut (*Tidal Correction*)

Koreksi Pasang Surut (*tidal*) merupakan koreksi yang timbul akibat pengaruh gaya tarik massa benda-benda langit, terutama Bulan dan Matahari. Besarnya nilai koreksi ini bersifat periodik dan berubah seiring waktu, bergantung pada posisi relatif benda-benda langit tersebut. Apabila gaya tarik Bulan dan Matahari bekerja searah terhadap permukaan bumi, maka nilai koreksi ditambahkan pada hasil pembacaan dan pengamatan, sedangkan jika arahnya berlawanan, nilai koreksi tersebut harus dikurangkan. Perhitungan koreksi pasang surut dilakukan berdasarkan formulasi Longman (1959) yang diimplementasikan dalam suatu program komputer. Pada grafik hasil koreksi pasang surut, nilai dapat bersifat positif maupun negatif, di mana nilai positif menunjukkan adanya tarikan bumi dari posisi normalnya, dan sebaliknya untuk nilai negatif.

3.4.2. Koreksi Apungan (*Drift Correction*)

Gravimeter dirancang menggunakan sistem keseimbangan pegas yang dilengkapi dengan massa yang tergantung bebas pada ujungnya. Karena sifat pegas yang tidak sepenuhnya elastis, sistem tersebut tidak selalu kembali ke posisi awal. Guncangan yang sering terjadi selama proses pengukuran, khususnya saat

transportasi, dapat menyebabkan pergeseran titik nol pembacaan alat. Kondisi ini dikenal sebagai *drift* (apungan), yang besarnya bergantung pada waktu. Koreksi apungan diterapkan untuk menghilangkan kesalahan pembacaan gravimeter saat pengukuran nilai gayabarat di suatu lokasi. Penerapan koreksi ini dilakukan dengan prinsip lintasan tertutup pada titik-titik pengukuran (*loop* tertutup), yaitu dengan melakukan pengukuran ulang pada stasiun awal sebagai titik ikat setiap *loop* setelah pengukuran mencapai titik akhir. Besarnya nilai koreksi *drift* selanjutnya dapat dihitung menggunakan Persamaan 13 (Brotospuspito, 2001):

$$Dn = \left\{ \frac{g_b - g_a}{t_b - t_a} t_n - t_a \right\} \quad (13)$$

Keterangan:

- Dn : Koreksi *drift* pada waktu pembacaan titik ikat (mGal)
 g_a : Pembacaan gravimeter di titik awal (mGal)
 g_b : Pembacaan gravimeter di titik akhir (mGal)
 t_a : Waktu pembacaan di titik awal (s)
 t_b : Waktu pembacaan di titik akhir (s)
 t_n : Waktu pembacaan di titik pengamatan (s)

3.4.3. Koreksi Lintang (*Latitude Correction*)

Koreksi lintang merupakan koreksi yang diterapkan pada hasil pembacaan gaya berat dengan mempertimbangkan posisi lintang geografis bumi. Besarnya nilai gayabarat pada setiap lintang berbeda-beda karena bentuk bumi yang tidak sepenuhnya bulat, melainkan *elipsoid* dan mengalami pemipihan di daerah kutub. Nilai percepatan gravitasi di wilayah khatulistiwa lebih kecil dibandingkan di daerah kutub, karena jari-jari bumi di khatulistiwa (R_e) lebih besar daripada jari-jari di kutub (R_k). Kondisi tersebut menyebabkan adanya pengaruh gaya sentrifugal akibat bentuk *spheroid* dan *geoid* bumi yang menarik massa ke arah luar. Koreksi lintang dapat dilakukan dengan menggunakan diferensi IGRF 67 pada Persamaan 15 atau menggunakan IGRF 84 pada Persamaan 16.

$$g(\varphi) = g_e \left[1 + \left(\frac{5}{2}m - f - \frac{17}{14}mf \right) \sin^2 \varphi + \left(\frac{f^2}{8} - \frac{5}{8}mf \right) \sin^2 2\varphi \right] \quad (14)$$

IGRF 67:

$$g_{\theta} = 978031,8 (1 + 0,0053294 \sin^2 \theta - 0,0000059 \sin^2 2\theta) \quad (15)$$

IGRF 84:

$$g(\varphi) = 978032,7 (1 + 0,0053024 \sin^2 \varphi + 0,0000058 \sin^2 2\varphi) \quad (16)$$

3.4.4. Koreksi Udara Bebas (*Free Air Correction*)

Pengukuran gayaberat yang dilakukan pada ketinggian h di atas *mean sea level* menyebabkan nilai percepatan gravitasi lebih kecil dan diperlukan penerapan koreksi terhadap hasil pembacaan alat. Koreksi udara bebas digunakan untuk memperoleh nilai gravitasi absolut pada titik observasi (Syamsuriadi dkk., 2013). Berdasarkan Brotopuspito (2001), FAA dapat dihitung dengan Persamaan 17.

$$FAC = 0,3086 h \quad (17)$$

Keterangan

FAC : *Free Air Corecction* (m/sec²)

h : Ketinggian dari permukaan laut (m)

Untuk memperoleh nilai *Free Air Anomaly* (FAA) atau anomali udara bebas, dapat menggunakan Persamaan 18:

$$FAA = g_{obs} - (g_{\varphi} + FAC) \quad (18)$$

Keterangan

FAA : *Free Air Anomaly*

g_{obs} : Gravitasi Observasi (m)

g_{φ} : Gravitasi normal/*geoid*

FAC : *Free Air Corecction* (m/sec²)

3.4.5. Koreksi Bouguer (*Bouguer Correction*)

Koreksi ini digunakan untuk mengatasi pengaruh perbedaan elevasi dan tetap mempertimbangkan keberadaan massa, sehingga kontribusi massa yang berada di antara bidang referensi muka air laut dan titik pengukuran menyebabkan nilai gayaberat teramati (g_{obs}) bertambah. Adapun persamaan koreksi Bouguer dapat dilihat pada Persamaan 19 dan dihasilkan pada Persamaan 20:

$$BC = 2\pi G\rho mGal \quad (19)$$

$$BC = 0.04193\rho h \text{ mGal} \quad (20)$$

Nilai massa jenis tersebut dapat diasumsikan sementara sebesar 2,67 gr/cc. Selanjutnya, melalui penerapan metode Parasnis dan Nettleton, diharapkan dapat dilakukan estimasi rapat massa untuk memperoleh nilai massa jenis yang sebenarnya, sehingga koreksi Bouguer dan koreksi medan (*terrain*) dapat diterapkan dan nilai anomali Bouguer lengkap dapat diperoleh.

3.4.6. Koreksi Medan (*Terrain Correction*)

Kondisi topografi di sekitar titik pengamatan sering kali tidak seragam, seperti keberadaan lembah atau bukit, yang turut memengaruhi nilai gayaberat pada titik tersebut. Keberadaan bukit memberikan efek berupa penurunan percepatan gayaberat, sehingga diperlukan penambahan koreksi medan untuk bukit, yang berarti lembah di sekitar titik pengamatan dianggap seolah-olah terisi oleh massa batuan (Dobrin dkk., 1988). Koreksi medan digunakan untuk mengevaluasi kembali pengaruh distribusi massa yang tidak teratur di sekitar lokasi pengukuran. Dalam koreksi Bouguer, titik akuisisi diasumsikan berada pada bidang datar yang sangat luas, sedangkan kondisi lapangan umumnya memiliki variasi topografi berupa perbukitan atau pegunungan. Penggunaan koreksi Bouguer saja tanpa memperhitungkan koreksi medan dapat menghasilkan data yang kurang akurat. Apabila kondisi topografi di area pengukuran relatif datar, maka koreksi medan dapat diabaikan. Berikut Persamaan 21 untuk koreksi medan:

$$TC = G\rho\theta(r_2 - r_1) + \sqrt{r_1^2 + L^2} - \sqrt{r_2^2 + L^2} \quad (21)$$

Keterangan:

- TC : Gravitasi terkoreksi medan
- G : Konstanta gravitasi universal ($6,67 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg s}^{-2}$)
- ρ : Densitas Batuan
- θ : Sudut sektor (radian)
- r_1 : Jari-jari radius dalam (m)
- r_2 : Jari-jari radius luar (m)
- L^2 : Selisih ketinggian dari titik pengukuran (m)

3.5. Penentuan Rapat Massa Permukaan

Rapat massa batuan merupakan salah satu parameter fisik yang memiliki peranan penting dalam metode gayaberat. Dalam proses perhitungan anomali Bouguer, dibutuhkan nilai rapat massa rata-rata yang dapat mewakili karakteristik batuan permukaan di wilayah survei. Oleh sebab itu, penentuan nilai rapat massa rata-rata yang akurat pada daerah penelitian menjadi sangat krusial guna menghasilkan interpretasi data gravitasi yang tepat.

3.5.1. Metode Nettleton

Metode Nettleton dilakukan dengan menyusun grafik anomali Bouguer untuk beberapa nilai densitas yang berbeda, kemudian hasilnya dibandingkan dengan profil topografi pada lintasan yang sama. Nilai densitas yang menunjukkan variasi paling kecil terhadap profil topografi dianggap sebagai densitas rata-rata yang mewakili wilayah tersebut. Secara kuantitatif, penentuan densitas permukaan yang paling representatif dapat dilakukan melalui penerapan korelasi silang antara perubahan elevasi terhadap suatu referensi tertentu dengan anomali gayaberat yang dihasilkan (Martha, 2017). Dengan demikian, rapat massa terbaik ditentukan oleh nilai korelasi silang terkecil sesuai dengan Persamaan 22. Dari persamaan tersebut, maka diperoleh grafik korelasi sebaran nilai Anomali Bouguer dengan topografi Gambar 8.

$$K = - \frac{\sum_{i=1}^N \delta(\Delta g)_i \delta h_i}{\sum_{i=1}^N (\delta h_i)_i} \quad (22)$$

Keterangan:

K : Gradien Anomali Bouguer terhadap elevasi

$\delta(\Delta g)_i$: Selisih nilai Anomali Bouguer pada titik -i (mGal)

δh_i : Selisih nilai Elevasi pada titik -i (m)

N : Sudut sektor (radian)

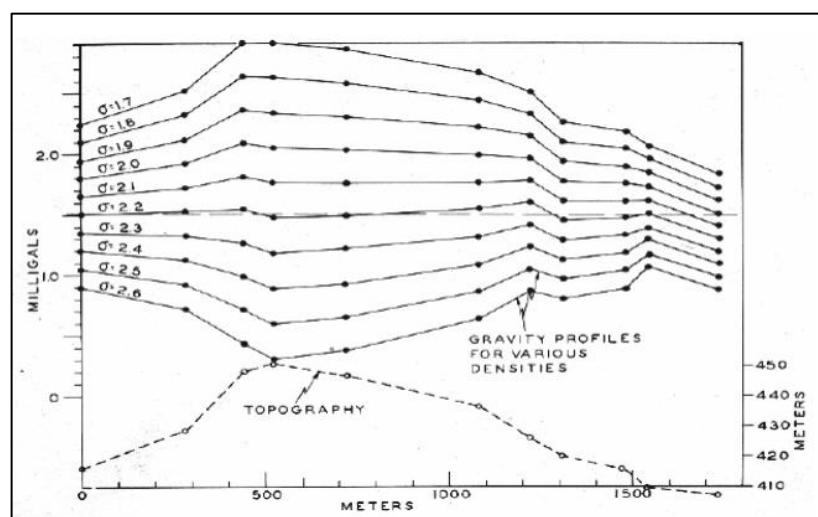
r_1 : Jari-jari radius dalam (m)

r_2 : Jari-jari radius luar (m)

L^2 : Selisih ketinggian dari titik pengukuran (m)

Tahapan penentuan rapat massa permukaan Bouguer dengan metode Nettleton adalah sebagai berikut:

1. Melakukan pemetaan sebaran titik-titik pengukuran gaya berat di daerah penelitian.
2. Menyusun peta topografi wilayah studi berdasarkan data elevasi yang tersedia.
3. Menentukan titik-titik pengukuran gaya berat yang relatif sejajar, kemudian menggunakan titik-titik tersebut sebagai lintasan penampang.
4. Menyusun penampang topografi berdasarkan lintasan titik yang telah dipilih pada tahap sebelumnya.
5. Menghitung nilai anomali Bouguer lengkap pada titik-titik tersebut dengan menggunakan variasi rapat massa tertentu (umumnya berkisar antara 2,0 hingga 3,0 gr/cc).
6. Membuat penampang anomali Bouguer berdasarkan hasil perhitungan pada tahap kelima.
7. Menganalisis hubungan atau korelasi antara penampang topografi dan penampang anomali Bouguer untuk setiap variasi rapat massa yang digunakan.



Gambar 8. Grafik korelasi antara sebaran nilai anomali Bouguer dengan topografi (Sarkowi, 2014).

3.5.2. Metode Parasnis

Metode Parasnis merupakan salah satu pendekatan yang digunakan untuk menentukan densitas batuan dengan memplot nilai koreksi Bouguer yang telah

dikurangi koreksi medan ($BC/\rho - TC/\rho$) pada sumbu X terhadap nilai anomali udara bebas (FAA) pada sumbu vertikal. Selanjutnya, dari hubungan tersebut dibuat garis regresi linier untuk memperoleh nilai gradien. Gradien yang dihasilkan kemudian dimanfaatkan dalam penentuan nilai rapat massa rata-rata batuan di wilayah penelitian. Estimasi rapat massa menggunakan metode ini diturunkan dari hubungan anomali gaya berat yang dinyatakan dalam Persamaan 23:

$$B_{anomali} = G_{obs} - G_{lintang} + FAC - G_{bouguer} \quad (23)$$

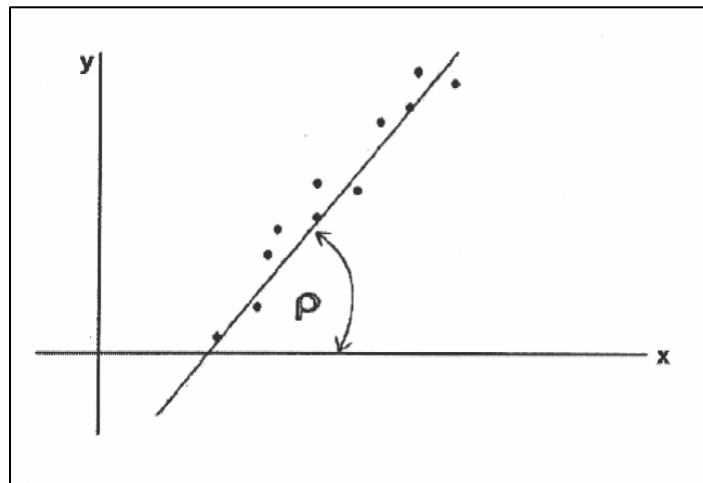
Dimana suku terakhir bagian kanan adalah koreksi medan dengan nilai koreksi medan sebelum dikalikan dengan rapat massa dan dihasilkan pada Persamaan 25:

$$(G_{obs} - G_{lintang} + FAC) = (G_{bouguer} + B_{anomali}) \quad (24)$$

$$FAA = \rho (0,4193 h + B_{anomali}) \quad (25)$$

$$y = m x + C$$

Berdasarkan persamaan tersebut, nilai rapat massa ρ ditentukan dari gradien garis lurus terbaik yang ditunjukkan pada Gambar 9, dengan anomali Bouguer diasumsikan sebagai deviasi terhadap garis lurus tersebut.



Gambar 9. Grafik hubungan antara $(G_{obs} - G_{lintang} + 0,308765h)$ dan $\rho(2\pi Gh)$ (Sarkowi, 2014)

Tahapan penentuan rapat massa permukaan Bouguer dengan metode Parasnis:

1. Persiapkan data gayaberat yang digunakan untuk perhitungan rapat massa.
2. Hitung nilai $(G_{obs} - gR + 0,3085h)$ dan jadikan sebagai sumbu Y.
3. Hitung nilai $(2\pi\gamma h)$ yang akan digunakan dalam analisis.

4. Buatlah grafik hubungan antara $(G_{obs} - g_R + 0,3085h)$ pada sumbu Y dan $(2\pi\gamma h)$ pada sumbu X.
5. Tentukan gradien dari grafik yang telah dibuat pada langkah sebelumnya.
6. Nilai rapat massa permukaan diperoleh dari gradien grafik tersebut.

3.6. Anomali Bouguer Lengkap

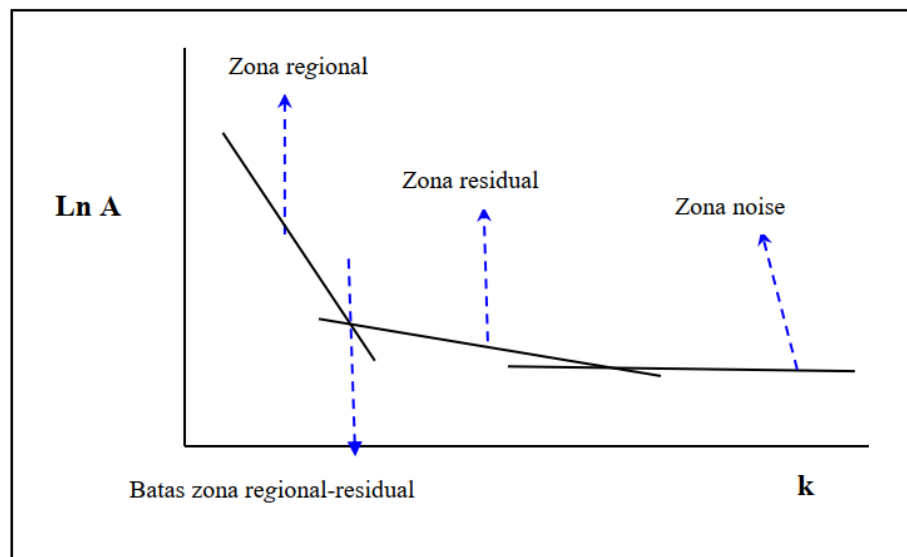
Anomali Bouguer merupakan selisih antara nilai gravitasi yang diukur di lapangan (G_{obs}) dengan nilai gravitasi teoritis (G_N), yang dihitung pada titik pengamatan, bukan pada bidang referensi seperti elipsoid atau permukaan laut rata-rata. Anomali Bouguer Lengkap (ABL) diperoleh dengan mengurangi anomali udara bebas terhadap koreksi lempeng Bouguer, kemudian dikurangi lagi dengan koreksi medan (*terrain*), sebagaimana dinyatakan pada Persamaan 29:

$$\Delta g(x, y, z) = g_{obs} - (g_{(\varphi)} - FAC + BC - TC) \quad (26)$$

Anomali Bouguer dapat bersifat positif maupun negatif. Nilai positif mengindikasikan adanya perbedaan densitas massa yang cukup besar di bawah permukaan, yang biasanya ditemui pada survei di dasar laut. Sebaliknya, anomali negatif menunjukkan kontras densitas yang lebih kecil, umumnya muncul pada survei di wilayah daratan. Peta Anomali Bouguer Lengkap (ABL) sering dimanfaatkan dalam eksplorasi sumber daya alam, seperti pencarian jebakan mineral, minyak, dan gas bumi, serta untuk menganalisis pola mineralisasi dan struktur cekungan sedimen. Kontur anomali Bouguer memberikan petunjuk adanya gangguan gravitasi, meskipun nilainya masih merupakan kombinasi dari komponen regional dan residual (lokal). Oleh karena itu, pemisahan anomali regional perlu dilakukan terlebih dahulu agar anomali residual lebih representatif terhadap struktur bawah permukaan lokal. Salah satu metode yang umum digunakan untuk menentukan anomali regional adalah *Trend Surface Analysis*. Tujuan utama penerapan metode gayaberat ini adalah untuk memperoleh dan menganalisis anomali lokal yang mendukung interpretasi geologi bawah permukaan.

3.7. Analisis Spektrum

Analisis spektrum merupakan teknik berbasis transformasi Fourier yang mengubah sinyal dari domain waktu menjadi domain frekuensi. Dalam proses ini, sinyal diuraikan menjadi kombinasi beberapa gelombang sinusoidal dengan frekuensi berbeda. Hasil transformasi menghasilkan spektrum amplitudo dan fase, yang selanjutnya digunakan untuk memperkirakan kedalaman sumber anomali melalui perhitungan bilangan gelombang (*wavenumber*, k) dan amplitudo (A). Parameter-parameter tersebut kemudian digunakan untuk menentukan lebar jendela, yang menjadi bagian penting dalam proses penyaringan (*filtering*) serta pemisahan anomali regional dan residual. Analisis spektrum diterapkan pada data anomali gayabarat yang telah diproyeksikan ke bidang horizontal dengan tujuan memperkirakan kedalaman sumber anomali di bawah permukaan. Metode ini memanfaatkan transformasi Fourier untuk mengubah fungsi dalam domain ruang atau waktu menjadi fungsi dalam domain bilangan gelombang atau frekuensi (Karunianto dkk., 2017). Hasil transformasi biasanya disajikan dalam bentuk grafik, dengan sumbu Y berupa logaritma natural amplitudo ($\ln A$) dan sumbu X berupa bilangan gelombang (k), sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 10.



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

Blakely (1996) menurunkan spektrum dari potensial gayaberat yang teramati pada bidang horizontal dengan menggunakan Persamaan 27, yang kemudian dikembangkan lebih lanjut pada Persamaan 28.

$$F(U) = \gamma\mu F\left(\frac{1}{r}\right) \quad (27)$$

$$F\left(\frac{1}{r}\right) = 2\pi \frac{e^{|k|(z_0 - z)}}{|k|} \quad (28)$$

Keterangan:

U : Potensial gayaberat (m^2/s^2)

μ : Anomali rapat massa (kg/m^3)

γ : Konstanta gayaberat ($\text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$)

r : Jarak (m)

Berdasarkan kedua Persamaan 27 dan 28 maka diperoleh Persamaan 29:

$$F(U) = 2\pi \frac{e^{|k|(z_0 - z)}}{|k|} \quad (29)$$

Sehingga Transformasi Fourier pada lintasan yang diinginkan dinyatakan pada Persamaan 31:

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

$$F(g_z) = 2\pi\gamma\mu e^{|k|(z_0 - z)} \quad (31)$$

Keterangan:

g_z : Anomali gayaberat (mGal)

k : Bilangan gelombang (m^{-1})

z_0 : Ketinggian titik amat (m)

z : Kedalaman benda anomali (m)

Bila distribusi densitas bersifat acak dan tidak ada korelasi antara setiap nilai gaya berat, maka $\mu=1$. Sehingga hasil transformasi Fourier anomali gaya berat menjadi Persamaan 32.

$$A = C e^{|k|(z_0 - z)} \quad (32)$$

Keterangan:

A : Amplitudo (m^2/s^2)

C : Konstanta (m^2/s^2)

Estimasi lebar jendela dilakukan untuk menentukan ukuran jendela yang akan digunakan dalam pemisahan data anomali regional dan residual. Penentuan lebar jendela yang optimal diperoleh dengan menghitung logaritma spektrum amplitudo hasil transformasi Fourier pada Persamaan 32, sehingga diperoleh garis lurus sebagai hasilnya. Dalam hal ini, K menjadi berbanding lurus dengan spektrum amplitudo.

$$\ln A = (z_0 - z')|K| \quad (33)$$

Dari persamaan garis lurus di atas, melalui regresi linier diperoleh batas antara orde satu (regional) dengan orde dua (residual), sehingga nilai K pada batas tersebut digunakan sebagai penentu lebar jendela. Hubungan panjang gelombang (λ) dengan K diperoleh dari Persamaan 34 dan Persamaan 35 (Blakely, 1996):

$$K = \frac{2\pi}{\lambda} \quad (34)$$

$$\lambda = (N - 1)\Delta x \quad (35)$$

Komponen N merupakan nilai lebar jendela yang digunakan sebagai estimasi lebar jendela.

3.8. Filter *Moving Average*

Filter *moving average* merupakan salah satu filter yang paling umum digunakan pada DSP (*Digital Signal Processing*) karena kesederhanaannya dalam penerapan dan kemudahan dalam pemahaman konsepnya. Dalam pengolahan data gaya berat, khususnya anomali Bouguer, metode ini sering diterapkan untuk memperoleh komponen anomali regional (Nugraha, 2016). Pemisahan antara anomali Bouguer menjadi anomali regional dan anomali residual bertujuan untuk mempermudah proses interpretasi secara kualitatif. Metode *moving average* bekerja dengan cara menghitung nilai rata-rata dari sejumlah titik data anomali, di mana hasil rata-rata ini merepresentasikan anomali regional. Selanjutnya, anomali residual diperoleh dengan mengurangkan anomali Bouguer terukur terhadap nilai

anomali regional tersebut. Secara matematis, metode ini dinyatakan dalam Persamaan 36.

$$\Delta g_{reg}(i) = \frac{\Delta g(i-n) + \dots + \Delta g(i) + \dots + \Delta g(i+n)}{N} \quad (36)$$

Keterangan:

Δg_{reg} : Besarnya anomali regional

i : Nomor stasiun

N : Lebar jendela

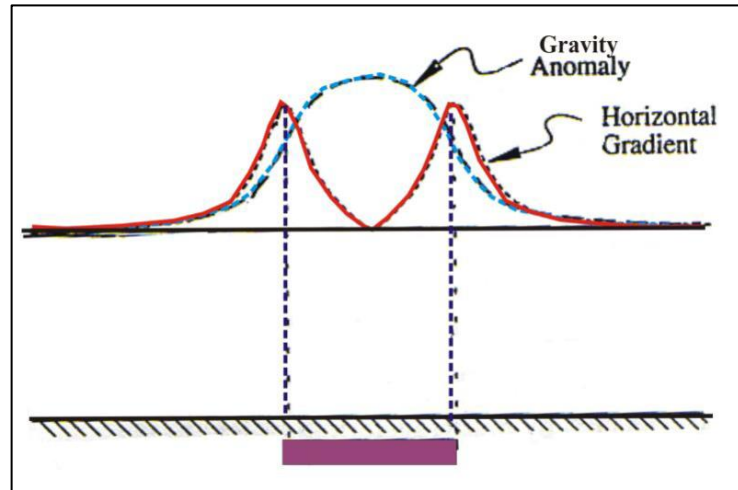
3.9. Teknik Gradien

Interpretasi anomali gayaberat bersifat tidak unik, artinya satu penampang anomali gayaberat dapat menghasilkan berbagai kemungkinan interpretasi (ambiguitas). Untuk meminimalkan ambiguitas dalam interpretasi anomali gayaberat, dikembangkan sejumlah teknik tambahan.

3.9.1. Gradien Horizontal

First Horizontal Derivative (FHD) adalah turunan horizontal pertama yang digunakan untuk mengidentifikasi batas kontak akibat perbedaan densitas secara horizontal berdasarkan data gayaberat (Zaenudin dkk., 2013). *Derivative* horizontal dari data anomali gayaberat menunjukkan perubahan nilai anomali dari satu titik ke titik lainnya dalam jarak tertentu. Horizontal *derivative* dari suatu anomali gayaberat yang dihasilkan oleh sebuah gelombang cenderung menonjolkan tepi gelombang tersebut. Nilai FHD dihitung menggunakan Persamaan 37, yaitu sebagai berikut:

$$FHD = \frac{\Delta g}{\Delta x} = \frac{g_{(i+1)} - g_{(i)}}{\Delta x} \quad (37)$$



Gambar 11. Anomali gayaberat dan gradien horizontal pada model tabular (Blakely, 1996).

3.9.2. Gradien Vertikal

Persamaan gravitasi dapat diturunkan ke berbagai arah, namun turunan terhadap arah vertikal z lebih sering digunakan. Metode *Second Vertical Derivative* (SVD) dimanfaatkan untuk mendeteksi keberadaan sesar. Secara teoritis, SVD diturunkan dari persamaan Laplace untuk anomali gayaberat di permukaan bumi. Nilai turunan terhadap z diperoleh berdasarkan Persamaan Laplace, sebagaimana ditunjukkan pada Persamaan 39 dan 40 sebagai berikut.

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

atau

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

Sehingga *Second Vertical Derivative* diberikan oleh Persamaan 41

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

Selanjutnya, Persamaan 42 untuk data 1-D (data penampang) yaitu sebagai berikut.

$$\frac{\partial^2 \Delta g}{\partial z^2} + \frac{\partial^2 \Delta g}{\partial x^2} = 0 \quad (41)$$

Keterangan:

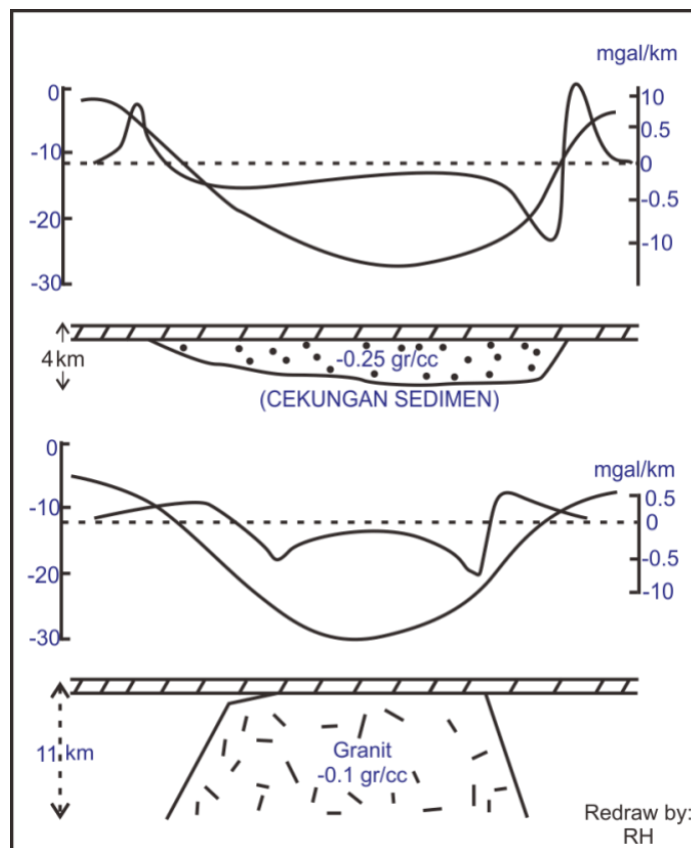
∇^2 : Operator Laplace

Δg : Nilai Bouguer gravitasi total (mGal)

Δy : Nilai turunan sumbu y (m)

Δx : Nilai turunan sumbu x (m)

Persamaan SVD satu dimensi 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. Titik nol pada turunan kedua anomali Bouguer diinterpretasikan sebagai batas kontak akibat kontras densitas antara dua lapisan batuan, yang dapat mengindikasikan keberadaan struktur patahan atau intrusi (Sarkowi, 2010). Gambar 12 memperlihatkan hasil analisis nilai SVD pada struktur cekungan dan intrusi berdasarkan data anomali gayaberat.



Gambar 12. Analisis struktur cekungan dan intrusi menggunakan SVD (Blakely, 1996).

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 & Zietz., 1949).

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

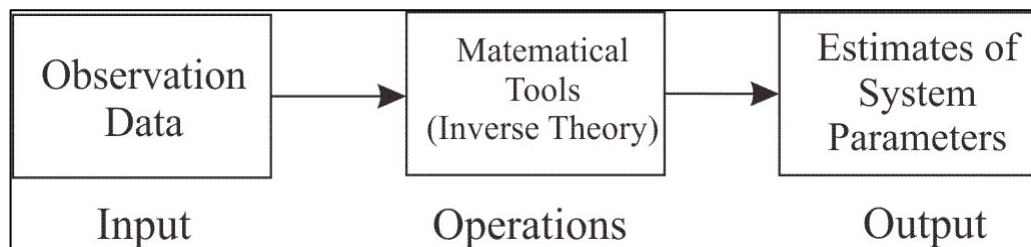
Tabel 4. Parameter SVD (Rosenbach, 1953).

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 Modelling*)

Inverse Modelling merupakan pendekatan pemodelan yang berlawanan dengan pemodelan maju (*forward modeling*). Pada pemodelan inversi, model dibentuk secara langsung berdasarkan data yang tersedia, dengan tahapan pemodelan yang ditentukan sesuai pengolahan data. Pemodelan jenis ini sering disebut data *fitting*

atau pencocokan data karena proses di dalamnya dicari parameter model yang menghasilkan respon yang cocok dengan data pengamatan. Diharapkan untuk respon model dan data pengamatan memiliki kesesuaian yang tinggi, dan ini akan menghasilkan model yang optimum (Supriyanto, 2007).



Gambar 13. Tahapan proses *inverse modelling* (Grandis, 2009).

3.11. Batuan Granitoid

Batuan beku intrusif, atau yang juga disebut batuan beku plutonik, terbentuk jauh di dalam kerak bumi. Pendinginan yang berlangsung lambat memberikan waktu bagi mineral-mineral untuk tumbuh dengan baik, sehingga terbentuk kristal dengan ukuran sedang hingga kasar (Maulana, 2019; Gill, 2010). Berdasarkan klasifikasi batuan beku plutonik (Le Maitre dkk., 2002), batuan granitoid dibagi menjadi beberapa jenis sesuai dengan kandungan mineral potasium feldspar dan kuarsanya, antara lain:

- Granit adalah batuan plutonik yang mengandung kuarsa lebih dari 20%, potassium feldspar sekitar 30%, dan plagioklas, dengan mineral tambahan berupa biotit, muskovit, dan hornblenda.
- Granodiorit adalah batuan beku plutonik yang komposisinya mirip dengan granit, namun memiliki proporsi plagioklas yang lebih tinggi dibanding potassium feldspar dan umumnya mengandung mineral mafik lebih banyak.
- Tonalit adalah batuan granitoid yang memiliki komposisi kuarsa >20%, plagioklas, mineral mafik dan potassium feldspar 10%.
- Monzogranit dan Sienogranit adalah kelompok batuan granit yang memiliki komposisi sama dengan granit, namun berbeda kandungan potassium feldspar dan plagioklas.

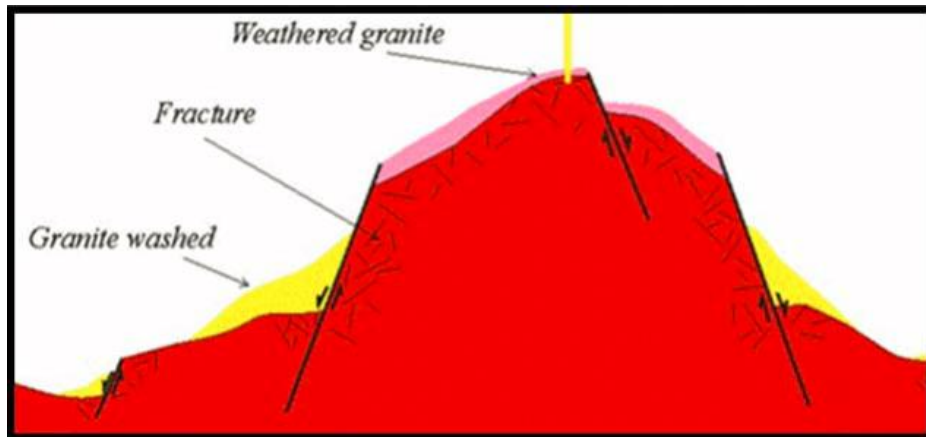
Beberapa literatur (Best, 2003; Gill, 2010; Winter, 2014) menyebutkan berbagai tipe batuan granitoid, antara lain:

- a. Tipe I merupakan batuan granitoid yang berasal dari peleburan batuan beku. Granitoid tipe I juga dikenal sebagai Metaluminous, dengan mineral utama berupa biotit dan hornblenda.
- b. Tipe S adalah batuan granitoid yang terbentuk dari peleburan batuan sedimen. Granitoid tipe S dikenal sebagai Peraluminous, dengan mineral alumina utama seperti muskovit dan biotit.
- c. Granitoid tipe A termasuk tipe Metaluminous hingga Peralkalin, dengan mineral utama berupa mineral mafik seperti piroksen alkali, hornblenda alkali, dan biotit, di mana kandungan hornblenda lebih dominan dibanding biotit.

3.12. Pelapukan Batuan Induk

Pelapukan atau *weathering* dalam geomorfologi merupakan proses disintegrasi dan dekomposisi batuan hingga batuan tersebut terpecah menjadi fragmen-fragmen kecil, dimana proses tersebut belum mengalami perpindahan massa (pelepasan atau pengangkutan material) yang dilihat pada Gambar 14. Pelapukan dibagi kedalam dua tipe, yaitu pelapukan mekanis (disintegrasi) dan pelapukan kimia (dekomposisi). Pelapukan mekanis bekerja dengan memecah batuan menjadi ukuran yang lebih kecil tanpa mengubah komposisi kimianya (Rachman, 2008).

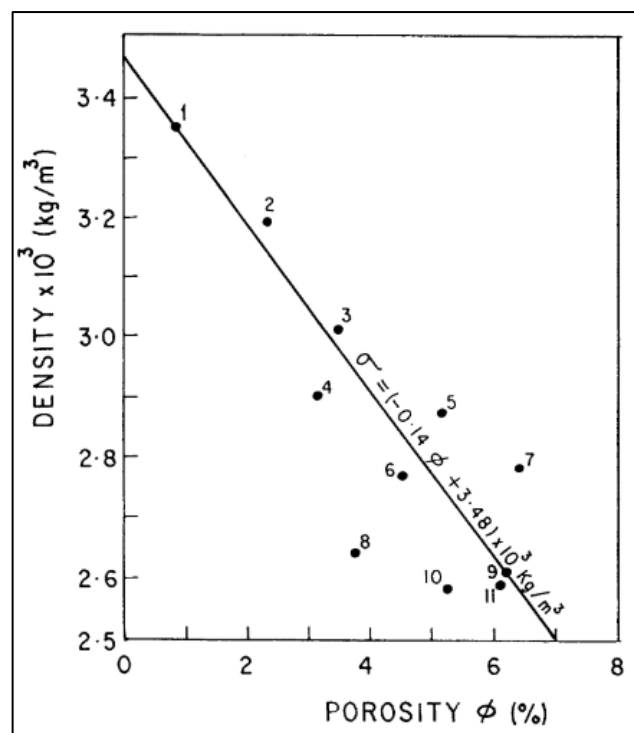
Pelapukan mekanis dapat terjadi akibat pengaruh air, pertumbuhan akar tumbuhan, aktivitas cacing, perubahan suhu yang menyebabkan pemuaian dan penyusutan, sambaran petir, maupun aktivitas manusia. Sementara itu, pelapukan kimia menyebabkan perubahan komposisi kimia batuan dan membentuk mineral-mineral baru. Proses pelapukan ini berperan penting dalam pembentukan endapan sekunder, yaitu endapan yang terbentuk dari hasil konsentrasi mineral yang berasal dari pelapukan batuan asal, kemudian mengalami proses pengendapan kembali melalui tahapan pelapukan (baik kimia maupun mekanis), transportasi, pengkonsentrasian (pengkayaan), serta penyortiran (*leaching*) (Foster, 1969).



Gambar 14. Model geologi tinggian granit Tejg (Bachtiar, 2011).

3.13. Karakteristik Batuan Beku terhadap Potensi Akuifer

Batuan beku plutonik, seperti granit, umumnya memiliki porositas primer yang rendah (kurang dari 7%) karena terbentuk dari kristal-kristal yang saling mengunci (Davis dkk., 1966; Fetter, 1988). Data sifat fisik yang tersedia (Kobranova, 1989) untuk batuan beku segar (dari asam hingga ultrabasa) menunjukkan bahwa porositas primer menurun seiring dengan peningkatan densitas.



Gambar 15. Hubungan densitas dan porositas batuan beku (Kobranova, 1989).

Pada Gambar 15 menunjukkan hubungan terbalik antara densitas dan porositas pada batuan beku segar, yaitu: 1. Eklugit, 2. Piroksenit, 3. Dunite, 4. Gabro, 5. Peridotit, 6. Sienit, 7. Serpentin, 8. Alaskit, 9. Labradorit, 10. Porfiri kuarsa, 11. Granit. Terlihat bahwa semakin tinggi nilai porositas, densitas batuan justru semakin rendah. Berdasarkan grafik, batuan beku asam seperti granit dan granodiorit memiliki porositas sekitar 4–6% dengan densitas lebih rendah, sedangkan batuan beku basa seperti gabro atau basalt memiliki porositas kecil (kurang dari 1%) dengan densitas lebih tinggi. Namun, porositas batuan beku ini dapat meningkat secara signifikan akibat proses pelapukan dan pembentukan rekahan. Pelapukan menyebabkan mineral-mineral penyusun batuan, seperti feldspar dan mika pada granit, terurai menjadi mineral lempung sehingga menghasilkan ruang-ruang pori baru. Selain itu, rekahan yang terbentuk akibat aktivitas tektonik memperluas jalur aliran air dan sering kali membentuk semacam perangkap tempat air dapat terakumulasi. Zona pelapukan dan rekahan pada batuan beku tersebut kemudian menjadi tempat berkembangnya akuifer yang cukup potensial untuk menyimpan serta mengalirkan air tanah (Murty dkk., 2002).

IV. METODOLOGI PENELITIAN

4.1. Waktu dan Tempat Penelitian

Waktu dan tempat penelitian ini dilakukan pada:

Waktu : Agustus 2025 – November 2025.

Tempat : Laboratorium Geofisika Geothermal, Teknik Geofisika, Universitas Lampung.

Alamat : Gedung Teknik Geofisika, Universitas Lampung, Jl. Prof. Sumantri Brojonegoro No. 1, Gedong Meneng, Kec. Rajabasa, Kota Bandar Lampung, Lampung 35142.

4.2. Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini seperti pada Tabel 6.

Tabel 6. Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian.

No	Alat dan Bahan	Fungsi
1	Data Akuisisi Gayaberat	Data yang digunakan dalam pengolahan.
2	<i>Softfile</i> Peta Lembar Geologi	Referensi geologi daerah penelitian, digitasi struktur, serta korelasi dengan analisis <i>derivative</i> dan 3D, oleh: (Mangga dkk., 1993)
3	Data DEMNAS Lampung	Referensi Peta Topografi dan Geologi daerah penelitan (https://tanahair.indonesia.go.id)
4	Data Batas Kabupaten	Refrensi Peta Topografi dan Geologi daerah penelitian (https://www.indonesia-geospasial.com)
5	Laptop	<i>Hardware</i> untuk pengolahan data dan penyusunan laporan
6	<i>Software</i> ArcGIS 10.8	<i>Software</i> unutkan membuat peta topografi dan peta geologi
7	<i>Software</i> Surfer 23	<i>Software</i> untuk memetakan anomali Bouguer, pemisahan anomali regional dan residual, dan analisis <i>derivative</i>
8	<i>Software</i> Numeri	<i>Software</i> untuk mendapatkan nilai $Ln A$ dan K dalam analisis spektrum
10	<i>Software</i> Grav3D	<i>Software</i> pengolahan inversi 3 dimensi
11	<i>Software</i> Excel	<i>Software</i> untuk melakukan koreksi-koreksi gayaberat, mencari nilai densitas, dan analisis spektrum

4.3. Prosedur Penelitian

Adapun prosedur penelitian dalam melaksanakan Kerja Praktik adalah sebagai berikut:

4.3.1. Nilai Anomali Bouguer Lengkap (ABL)

Anomali Bouguer Lengkap (ABL) dihitung melalui tahapan-tahapan koreksi terhadap data gaya berat, yang mencakup koreksi lintang, koreksi udara bebas, koreksi topografi (*terrain*), dan koreksi Bouguer. Nilai ABL diperoleh dengan menambahkan nilai Anomali Bouguer Sederhana dengan hasil koreksi *terrain* yang telah dihitung sebelumnya. Setelah nilai ABL diperoleh, langkah selanjutnya adalah melakukan proses *gridding*, yakni menyusun data menjadi bentuk *grid* terstruktur dengan meng-input data Anomali Bouguer Lengkap ke dalam *software* Surfer 23 untuk mendapatkan model kontur anomali Bouguer daerah penelitian.

4.3.2. Analisis Spektrum

Metode analisis spektrum menggunakan transformasi Fourier untuk mengubah data dari domain spasial (jarak) ke domain frekuensi dengan bantuan *software* Numeri. Selanjutnya, perhitungan dilakukan menggunakan Excel untuk memperoleh nilai bilangan gelombang (K) dan $\ln A$. Tujuan perhitungan ini adalah untuk memperkirakan lebar jendela yang digunakan dalam *moving average* serta estimasi kedalaman sumber anomali. Frekuensi rendah, yang berhubungan dengan panjang gelombang panjang, menunjukkan fitur geologi regional yang lebih dalam dan luas, sedangkan frekuensi tinggi dengan panjang gelombang pendek mengindikasikan struktur dangkal yang relatif kecil. Frekuensi yang sangat tinggi biasanya berkaitan dengan *noise* yang disebabkan oleh berbagai faktor eksternal. Proses ini bertujuan untuk memisahkan anomali regional dan residual, serta mengurangi *noise* pada data.

4.3.3. Pemisahan Anomali Regional dan Residual

Pemisahan anomali regional dan residual menggunakan Filter *moving average*. Filter *moving average* adalah metode untuk memisahkan anomali dengan sinyal frekuensi tinggi menggunakan teknik *low pass filter*. Proses ini menghasilkan sinyal

frekuensi rendah yang telah disaring sesuai dengan batasan tertentu, yang kemudian mengungkapkan anomali regional. Kemudian untuk mendapatkan anomali residual yaitu dengan mengurangi nilai anomali Bouguer lengkap dengan nilai anomali regional. Dalam penelitian ini, untuk melihat struktur yang disebabkan oleh sumber anomali dangkal menggunakan nilai anomali residual.

4.3.4. Analisis Derivative

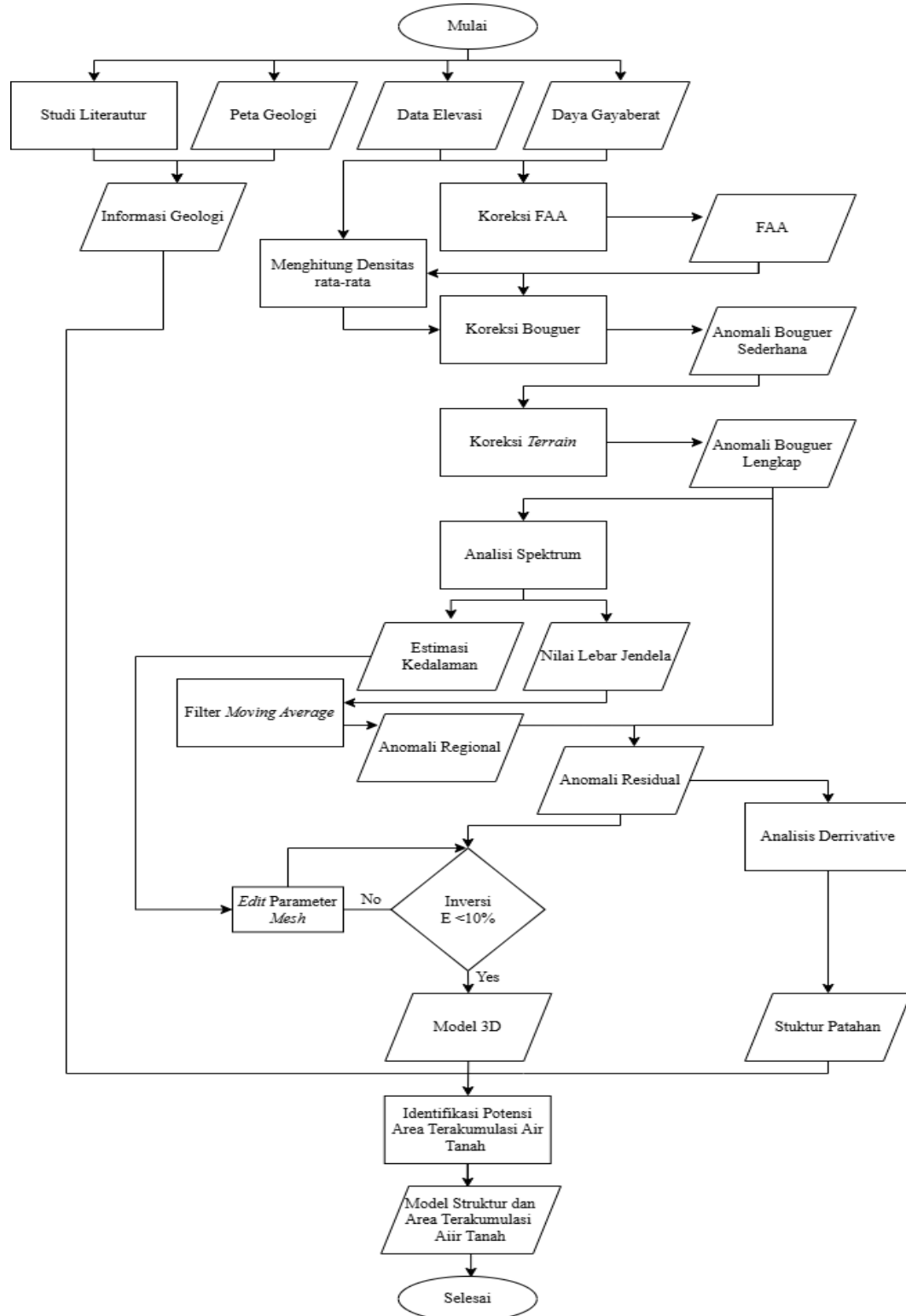
Analisis *Derivative* yang dilakukan untuk mengidentifikasi struktur dangkal bawah permukaan yaitu SVD. SVD dilakukan dengan *software* Surfer dengan *input* nilai anomali residual dan nilai operator Henderson & Zietz (1949), Elkins (1951), Rosenbach (1953) dengan acuan hasil yang paling mendekati kontur anomali residual itu yang akan digunakan. Hasil dari pengolahan analisis *derivative* ini digunakan sebagai menginterpretasikan kondisi struktur bawah permukaan, supaya dapat memperoleh pemahaman mengenai distribusi struktur geologi di wilayah penelitian. Untuk mengidentifikasi potensi keberadaan sesar atau patahan, dapat diterapkan metode *First Horizontal Derivative* (FHD) dengan mengamati keberadaan nilai maksimum atau minimum pada hasil analisis.

4.3.5. Pemodelan Bawah Permukaan

Metode pemodelan bawah permukaan yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Inverse Modeling*. Pemodelan inversi 3D digunakan untuk menginterpretasikan distribusi densitas bawah permukaan daerah penelitian. Pemodelan inversi 3D dilakukan menggunakan *software* Grav3D, yang mencakup tiga program terintegrasi, yaitu gm DataViewer, MeshTools3D, dan Grav3D gui. Dalam proses pemodelan ini, digunakan satu mesh utama berbentuk prisma segi empat besar yang terbagi ke dalam sejumlah sel atau prisma kecil, yang berfungsi untuk merepresentasikan variasi densitas berdasarkan data anomali gaya berat yang terukur. Adapun data yang dibutuhkan dalam pemodelan inversi ini mencakup anomali gaya berat, data topografi, dan informasi struktur *mesh*.

4.4. Diagram Alir

Diagram alir yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:



Gambar 16. Diagram alir pengolahan data.

VI. KESIMPULAN

6.1. Kesimpulan

Adapun kesimpulan dari hasil dan pembahasan yang telah dilakukan pada penelitian ini sebagai berikut:

1. Peta Anomali Bouguer Lengkap daerah penelitian menunjukkan nilai anomali yang berkisar antara 35 hingga 110 mGal. Kontur anomali tinggi terdapat di bagian utara dan memanjang ke arah selatan daerah penelitian, sedangkan kontur anomali rendah berada di bagian barat laut dan timur laut yang memanjang ke arah timur. Perbedaan nilai anomali tersebut disebabkan oleh keberadaan Kompleks Granitoid Tanjung Bintang yang berkaitan dengan zona anomali tinggi.
2. Analisis *derivative* dalam penelitian ini menggunakan metode *First Horizontal Derivative* (FHD) dan *Second Vertical Derivative* (SVD). Berdasarkan analisis *derivative* yang dilakukan terhadap empat lintasan di wilayah penelitian, menunjukkan bahwa struktur geologi daerah penelitian dominan berarah barat laut-tenggara dan timur laut-barat daya yang terbentuk akibat pengaruh gaya tektonik regional yang bekerja pada batuan di daerah penelitian.
3. Berdasarkan hasil pemodelan distribusi densitas dengan kedalaman 3.560 m di bawah *mean sea level* (msl) memiliki nilai antara 1,8 gr/cc hingga 3,2 gr/cc. Densitas rendah pada model 3D berada pada rentang nilai 1,8 gr/cc sampai dengan 2,5 gr/cc dan densitas tinggi berada pada rentang nilai 2,73 gr/cc sampai dengan 3,2 gr/cc di mana nilai densitas tinggi tersebut mencerminkan keberadaan batuan granitoid pada Kompleks Granitoid Tanjung Bintang.
4. Terdapat 11 area yang diduga berpotensi sebagai tempat akuifer air tanah dengan 7 area tersebar pada Formasi QTL, Formasi Qat dan Formasi Pzgs serta 4 area tersebar pada Formasi batuan granitoid yang masuk ke dalam Kompleks Granitoid Tanjung Bintang, yaitu Formasi Kds, Formasi Tejb dan Formasi Kgdsn. Zona tersebut dicirikan oleh nilai densitas rendah berkisar antara 1,8

hingg 2,27 gr/cc. Zona dengan densitas rendah pada kompleks batuan Granitoid diinterpretasikan sebagai hasil pelapukan dan telah terekahkan. Keberadaan struktur geologi berupa sesar dan batas litologi diduga berperan penting dalam mengontrol distribusi zona berdensitas rendah tersebut, di mana struktur geologi dapat berfungsi sebagai jalur peresapan yang memungkinkan masuknya air ke dalam tubuh granitoid yang telah terekahkan.

6.2. Saran

Saran pada penelitian ini adalah perlu dilakukan penelitian lanjutan yang lebih mendalam, mengingat model gayaberat memiliki keterbatasan dalam merepresentasikan variasi bawah permukaan secara vertikal. Oleh karena itu, disarankan untuk mengombinasikan data gayaberat dengan data geofisika lainnya untuk memperluas cakupan analisis serta mengurangi ambiguitas pada model yang dihasilkan, sehingga potensi akuifer yang tersimpan di wilayah penelitian dapat dievaluasi lebih lanjut.

DAFTAR PUSTAKA

- Bachtiar, A. (2011). *Geological Study in Tanjung Bintang & B. Kunyit*. Bandar Lampung: FT Universitas Lampung.
- Best, M. G. (2003). *Igneous And Metamorphic Petrology (2nd ed.)*. Oxford: Blackwell Science Ltd. <https://doi.org/10.1180/minmag.1983.047.344.33>
- Blakely, R. J. (1996). *Potential Theory in Gravity and Magnetic Applications*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Brotopuspito, K. S. (2001). *Teori dan Aplikasi Metode Gravitasi*. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.
- Davis, S., & De Wiest, J. (1966). *Hydrogeology*. New York: John Wiley & Sons.
- Dobrin, M. B., & Savit, C. H. (1988). *Introduction to Geophysical Prospecting (4th ed.)*. New York: Mc-Graw-Hill Book Company.
- Earle, S. (2015). *Physical Geology*. Victoria, B.C: BCcampus.
- Elkins, T. A. (1951). The second derivative method of gravity interpretation. *Geophysics*, 16(1), 29–50. <https://doi.org/10.1190/1.1437648>
- Fetter, C. W. (1988). *Applied Hydrogeology (3rd ed.)*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall. Inc.
- Foster, J. (1969). *General Geology (4th ed.)*. Ohio: A Bell & Howell Company.
- Gasparon, M., & Varne, R. (1995). Sumatran Granitoids and their Relationship to Southeast Asian Terranes. *Tectonophysics* 251, 277–299. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0040-1951\(95\)00083-6](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0040-1951(95)00083-6)
- Gill, R. (2010). *Igneous Rocks and Processes: A Practical Guide*. Chichester, UK: A John Wiley & Sons, Ltd.
- Grandis, H. (2009). *Pengantar Pemodelan Inversi Geofisika*. Bandung: Himpunan Ahli Geofisika Indonesia (HAGI).
- Hamilton, W. B. (1979). *Tectonic of the Indonesian Region*. Washington, D.C: United Stated Geological Survey.

- Henderson, R. G., & Zietz, I. (1949). The computation of second vertical derivatives of geomagnetic fields. *Geophysics*, 14(4), 508–516. <https://doi.org/10.1190/1.1437558>
- Hidayat, R. (2016). Pemetaan dan Estimasi Volume Batuan Granit Menggunakan Data Anomali Gayaberat dan Magnetik Daerah Lampung Bagian Timur. *Skripsi*. Universitas Lampung.
- Jamaluddin., Maria., Ryka, H., & Afifah, R. (2019). Pemodelan Bawah Permukaan Bantar Karet, Jawa Barat Menggunakan Metode Gravitasi. *Jurnal Geoelebes*, 3(2), 59–65. <https://doi.org/10.20956/geoelebes.v3i2.6689>
- Karunianto, A. J., Haryanto, D., Hikmatullah, F., & Laensapura, A. (2017). Penentuan Anomali Gayaberat Regional dan Residual Menggunakan Filter Gaussian Daerah Mamuju, Sulawesi Barat. *Eksplorium*, 38(2), 89–98. <https://doi.org/10.17146/eksplorium.2017.38.2.3921>
- Kobranova, V. (1989). *Petrophysics*. Moscow: Mir Publisher.
- Lachassagne1, P., Dewandel, B., & Wyns, R. (2021). Review: Hydrogeology of weathered crystalline/hard-rock aquifers—guidelines for the operational survey and management of their groundwater resources. *Hydrogeology Journal* 29, 2561–2594. <https://doi.org/10.1007/s10040-021-02339-7>
- Le Maitre, R. W., Streckeisen, A., & Zanetti, B. (2002). *Igneous Rocks: A Classification and Glossary of Terms (2nd ed.)*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Longman, I. (1959). Formulas for computing the tidal accelerations due to the moon and the sun. *Journal of Geophysical Research*, 64(12), 2351–2356. <https://doi.org/https://doi.org/10.1029/JZ064i012p02351>
- Mangga, S. A., Amirudin, T., Suwarti, S., Gafoer., & Sidarto. (1993). *Peta Geologi Lembar Tanjung karang, Sumatera*. Bandung: Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.
- Martha, A. A. (2017). Pemodelan 3D Data Gayaberat Lapangan Panasbumi Ulubelu, Tanggamus, Lampung. *Skripsi*. Institut Teknologi Bandung.
- Maulana, A. (2019). *Petrologi*. Yogyakarta: Penerbit Ombak.

- Maulana, I. (2012). Analisis 4D Mikrogravity dan Gradien Vertikal 4D Mikrogravity (Studi Kasus Amblesan Semarang). *Tesis*. Universitas Indonesia.
- Metcalf, I. (2017). Tectonic Evolution of Sundaland. *Bulletin of the Geological Society of Malaysia*, 63, 27–60. <https://doi.org/10.7186/bgsm63201702>
- Mulyani, S., Daud, Y., Pasiki, G., & Siagian, H. (2022). Karakterisasi Struktur Patahan Pada Lapangan Panas Bumi X (Sumatra) Berdasarkan Pemetaan Geologi, Penginderaan Jauh, Dan Data Gaya Berat. *Buletin Sumber Daya Geologi*, 17(2), 109–124. <https://doi.org/10.47599/bsdg.v17i2.327>
- Mulyasari, R. (2018). Morfologi monadnock Granit Indah-daya tarik Geowisata Lampung. *Warta Pariwisata*, 16(3), 32–34.
- Murty, B. V. S., & Raghavan, V. K. (2002). The Gravity Method in Groundwater Exploration in Crystalline Rocks: A Study in the Peninsular Granitic Region of Hyderabad, India. *Hydrogeology Journal*, 10(3), 307–321. <https://doi.org/10.1007/s10040-001-0184-2>
- Nugraha, P. (2016). Penentuan Kedalaman Optimum Anomali Gaya Berat dengan Metode Korelasi Antara Analisis Spektrum dan Continuation Studi Kasus Semarang Jawa Tengah. *Skripsi*. Universitas Negeri Semarang.
- Octonovrilna, L., & Pudja, I. (2009). Analisa Perbandingan Anomali Gravitasi Dengan Persebaran Intrusi Air Asin (Studi Kasus Jakarta 2006-2007). *Jurnal Meteorologi Dan Geofisika*, 10(1), 39–57. <https://doi.org/10.31172/jmg.v10i1.32>
- Rachman, S. (2008). Pengaruh Air Tanah terhadap Pembentukan Endapan Nikel Laterit di Daerah Pomalaa, Sulawesi Tenggara. *Skripsi*. Institut Teknologi Bandung.
- Rosenbach, O. (1953). A contribution to the computation of the "second derivative" from gravity data. *Geophysics*, 18(4), 894–907. <https://doi.org/10.1190/1.1437943>
- Rosid, S. (2005). Gravity Method in Exploration Geophysics. Depok: Universitas Indonesia.
- Santoso, D. (2002). *Pengantar Teknik Geofisika*. Bandung: ITB.

- Sarkowi, M. (2009). *Modul Praktikum Metode Gayaberat edisi (1st ed.)*. Bandar Lampung: FMIPA Universitas Lampung.
- Sarkowi, M. (2010). Identifikasi Struktur Daerah Panasbumi Ulubelu Berdasarkan data SVD Anomali Bouguer. *J. Sains MIPA*, 16(2), 111–118.
- Sarkowi, M. (2014). *Eksplorasi Gaya Berat*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Serway, R., & Jewett, J. (2009). *Fisika Untuk Sains dan Teknik (6th ed.)*. Jakarta: Salemba Teknik.
- Sucipto, D., Saroja, G., & Nuriyah, L. (2014). *Pengukuran Densitas Bahan Organik berskala Milli-liter (mL) dengan Metode Magneto-Archimedes menggunakan Sumber Magnet Tunggal*. Malang: FMIPA Universitas Brawijaya.
- Supriyanto. (2007). *Analisis Data Geofisika : Memahami Teori Inversi*. Depok: FMIPA Universitas Indonesia.
- Syamsuriadi, Hamzah, M., & Aswad, S. (2013). *Penentuan Struktur Bawah Permukaan Kota Makassar dengan Menggunakan Metode GayaBerat (Gravity)*. Makassar: FMIPA Universitas Hasanuddin.
- Taufiquddin. (2014). Identifikasi Struktur Bawah Permukaan daerah Potensi Panas Bumi Dengan Metode Gravity (Studi Kasus Di Daerah Sumber Air Panas Desa Lombang Kecamatan Batang-Batang Kabupaten Sumenep). *Skripsi*. Universitas Islam Maulana Malik Ibrahim.
- Telford, W. M., Geldart, L. P., & Sheriff, R. E. (1990). *Applied geophysics (2nd ed.)*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Widiatama, A. J., & Hendrawan, R. N. (2022). Reinterpretasi Genesa Pembentukan Granitoid lampung Berumur Kapur-Paleogen dan implikasi Tektoniknya. *Jurnal Geoelebes*, 6(2). <https://doi.org/10.20956/geoelebes.v6i2.19633>
- Winter, J. D. (2014). *Principles of Igneous and Metamorphic Petrology (2nd ed.)*. Boston, MA: Pearson Education Limited.
- Zaenudin, A., Sarkowi, M., & Suharno. (2013). Pemodelan Sintetik Gradien Gayaberat Untuk Identifikasi Sesar. *Seminar Nasional Sains & Teknologi V, November*, 269–279. Bandar Lampung: Lembaga Penelitian Universitas Lampung.