

**PEMODELAN SISTEM PANAS BUMI
DAERAH TALAGO BIRU, SUMATERA BARAT**

(Skripsi)

Oleh

KHALILA WARDAH ARIANTO

NPM 2215051043



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITA LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2026**

**PEMODELAN SISTEM PANAS BUMI
DAERAH TALAGO BIRU, SUMATERA BARAT**

**Oleh
Khalila Wardah Arianto**

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

PEMODELAN SISTEM PANAS BUMI DAERAH TALAGO BIRU, SUMATERA BARAT

Oleh

KHALILA WARDAH ARIANTO

Talago Biru, Sumatera Barat, merupakan salah satu daerah prospek panas bumi yang ditandai oleh kemunculan manifestasi berupa mata air panas di permukaan. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi struktur geologi dan memodelkan sistem panas bumi menggunakan metode gayaberat. Analisis dilakukan dengan metode *First Horizontal Derivative* (FHD) dan *Second Vertical Derivative* (SVD) untuk mengidentifikasi struktur sesar, serta inversi 3D untuk mengetahui distribusi densitas bawah permukaan. Hasil analisis derivatif pada penampang A–A', B–B', dan C–C' menunjukkan adanya enam indikasi sesar dengan dominan sesar turun yang berperan sebagai jalur permeabilitas fluida hidrotermal. Hasil inversi 3D menunjukkan distribusi densitas berkisar antara 1,97 hingga 3,02 gr/cc. Zona densitas rendah (1,97–2,45 gr/cc) diinterpretasikan sebagai reservoir yang tersusun oleh batuan vulkanik teralterasi dan batuan sedimen, sedangkan zona densitas tinggi (2,98–3,02 gr/cc) diinterpretasikan sebagai sumber panas berupa intrusi batuan beku. Sistem panas bumi di daerah penelitian dikontrol oleh struktur sesar turun yang berperan sebagai jalur sirkulasi fluida hidrotermal dengan manifestasi berada pada zona *upflow*. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan gambaran kondisi bawah permukaan serta menjadi dasar dalam pengembangan dan eksplorasi sumber daya panas bumi di daerah Talago Biru.

Kata kunci: Talago Biru, gayaberat, panas bumi, FHD, SVD, inversi 3D.

ABSTRACT

GEOHERMAL SYSTEM MODELING OF THE TALAGO BIRU AREA, WEST SUMATRA

By

KHALILA WARDAH ARIANTO

Talago Biru, West Sumatra, is one of the prospective geothermal areas characterized by the presence of surface manifestations in the form of hot springs. This study aims to identify geological structures and model the geothermal system using the gravity method. The analysis was carried out using the First Horizontal Derivative (FHD) and Second Vertical Derivative (SVD) methods to identify fault structures, as well as 3D inversion to determine subsurface density distribution. The derivative analysis results on profiles A–A', B–B', and C–C' indicate six fault structures dominated by normal faults, which act as permeability pathways for hydrothermal fluid flow. The 3D inversion results show a density distribution ranging from 1.97 to 3.02 gr/cc. The low-density zone (1.97–2.45 gr/cc) is interpreted as a reservoir composed of altered volcanic rocks and sedimentary rocks, while the high-density zone (2.98–3.02 gr/cc) is interpreted as a heat source in the form of igneous intrusion. The geothermal system in the study area is controlled by normal fault structures that function as pathways for hydrothermal fluid circulation, with manifestations located in the upflow zone. This study is expected to provide an overview of subsurface conditions and serve as a basis for the development and exploration of geothermal resources in the Talago Biru area.

Keywords: Talago Biru, gravity, geothermal, FHD, SVD, 3D inversion.

Judul : **Pemodelan Sistem Panas Bumi Daerah
Talago Biru, Sumatera Barat**

Nama Mahasiswa : **Khalifa Wardah Arianto**

Nomor Pokok Mahasiswa : **2215051043**

Program Studi : **Teknik Geofisika**

Fakultas : **Teknik**

MENYETUJUI

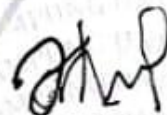
1. Komisi Pembimbing

Pembimbing 1



**Prof. Ir. Suharno, B. Sc. M.S., M.Sc., Ph.D.,
IPU. ASEAN Eng.
NIP. 196207171987031002**

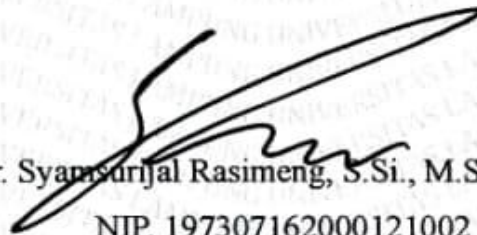
Pembimbing 2



Hesti, S.Si., M.Eng

NIP. 198606192019032014

2. Ketua Jurusan Teknik Geofisika



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

NIP. 197307162000121002

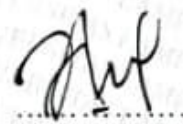
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua : Prof. Ir. Suharno, B. Sc. M.S., M.Sc., Ph.D.,
IPU. ASEAN Eng.



Sekretaris : Hesti, S.Si., M.Eng.



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



2. Dekan Fakultas Teknik



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

NIP. 196910302000031001

Tanggal Lulus Ujian Skripsi: 10 April 2026

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi dengan judul “Pemodelan Sistem Panas Bumi Daerah Talago Biru, Sumatera Barat” sepenuhnya merupakan hasil karya dan pemikiran saya sendiri, yang dibuat sebagai salah satu syarat untuk meraih gelar sarjana. Seluruh referensi yang digunakan dalam penulisan ini, baik berupa kutipan langsung maupun tidak langsung, telah disebutkan dan dicantumkan secara tepat dalam daftar pustaka sesuai dengan ketentuan serta etika penulisan ilmiah. Jika di kemudian hari terbukti terdapat pelanggaran atau ketidaksesuaian terhadap pernyataan ini, saya siap menerima seluruh konsekuensi sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

Bandar Lampung, 22 April 2026



Khalila Wardah Arianto

NPM. 2215051043

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Jakarta pada tanggal 5 Agustus 2005. Penulis merupakan anak tunggal yang berasal dari keluarga harmonis yang senantiasa memberikan dukungan dan motivasi penuh dalam menempuh pendidikan. Pendidikan dasar ditempuh di SD Dharma Karya UT pada tahun 2011 – 2017. Penulis melanjutkan pendidikan di SMP Negeri 3 Tangerang Selatan pada tahun 2017 – 2019 dengan program akselerasi.

Setelah itu, penulis melanjutkan pendidikan ke jenjang sekolah menengah atas di SMA Negeri 10 Depok pada periode 2019 hingga 2022. Penulis diterima sebagai mahasiswa di Universitas Lampung, Jurusan Teknik Geofisika, melalui jalur SBMPTN pada tahun 2022. Selama menempuh pendidikan di perguruan tinggi, penulis aktif terlibat dalam berbagai kegiatan organisasi kemahasiswaan. Adapun pengalaman organisasi tersebut meliputi keanggotaan pada Bidang Sains dan Teknologi di Himpunan Mahasiswa Teknik Geofisika, Divisi Internal HAGI *Student Chapter* Universitas Lampung, serta Divisi *Human Resource Development* pada SEG *Student Chapter* Universitas Lampung. Pada tahun 2025, penulis mengikuti program Kuliah Kerja Nyata yang dilaksanakan di Desa Sangga Buana, Kecamatan Way Seputih, Lampung Tengah. Selain itu, penulis juga melaksanakan kegiatan Kerja Praktik di Pusat Sumber Daya Mineral, Batubara, dan Panas Bumi pada divisi mineral. Setelah seluruh rangkaian kegiatan tersebut, penulis kemudian menyusun Tugas Akhir di Jurusan Teknik Geofisika Universitas Lampung sebagai salah satu persyaratan guna meraih gelar Sarjana Teknik.

PERSEMBAHAN

Penulis mengucapkan syukur ke hadirat Allah SWT atas segala rahmat, karunia, dan kekuatan yang diberikan sehingga karya ini dapat diselesaikan dengan baik. Penulis juga menyampaikan terima kasih atas kelancaran serta kemampuan yang dianugerahkan selama proses penyusunan, sehingga setiap tahapan dapat dilalui hingga tuntas. Dengan penuh ketulusan, karya ini penulis persembahkan kepada:

UMI DAN ABI TERCINTA

Yang senantiasa memberikan doa, kasih sayang, serta dukungan tanpa henti dalam setiap langkah. Terima kasih atas segala pengorbanan dan ketulusan, serta kesabaran dalam menerima penulis dengan lapang hati di setiap keadaan, bahkan ketika penulis belum mampu memenuhi harapan. Semua itu menjadi kekuatan terbesar bagi penulis hingga mampu sampai pada tahap ini.

DIRI PENULIS SENDIRI

Terima kasih atas keyakinan, konsistensi, dan usaha yang terus dijaga hingga mampu menuntaskan pendidikan ini dengan baik. Terima kasih sudah bertahan dalam setiap proses dan terus berusaha memberikan yang terbaik meskipun berada dalam kondisi yang tidak selalu mudah.

Keluarga Besar Granit Teknik Geofisika 2022

Serta

Keluarga Besar Teknik Geofisika Universitas Lampung

Yang memberikan peran penting dalam perjalanan akademik penulis sebagai tempat menimba ilmu, berbagi pengalaman, serta membangun kebersamaan yang bermakna.

MOTTO HIDUP

“Sesungguhnya Tuhanku bersamaku, Dia akan memberi petunjuk kepadaku”

(QS As-Syu'ara ayat 62)

*“Dear God, I will try my best today. But if I lose my hope, please remind me that
Your plans are better than my dreams”
“Sometimes I need to get lost to find myself”*

(Ria SW)

*“The only way to win is to try and try again. They wanna count me out, but I'll
make them count me in”*

(Sofia The First)

“Be better than others by being kinder, thinking smarter, and growing wiser”

KATA PENGANTAR

Penulis mengucapkan puji dan syukur ke hadirat Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga skripsi berjudul "*Pemodelan Sistem Panas Bumi Daerah Talago Biru, Sumatera Barat*" dapat diselesaikan dengan baik. Skripsi ini disusun sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Geofisika, Universitas Lampung. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis anomali gayaberat guna mengidentifikasi struktur geologi serta memodelkan sistem panas bumi bawah permukaan di daerah Talago Biru, Sumatera Barat, sehingga dapat memberikan gambaran kondisi bawah permukaan sekaligus mendukung pengembangan potensi panas bumi. Penulis menyadari bahwa masih terdapat keterbatasan dalam penyusunan skripsi ini, sehingga kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan untuk perbaikan di masa mendatang. Diharapkan skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi perkembangan ilmu geofisika, khususnya dalam bidang eksplorasi panas bumi.

Bandar Lampung, 22 April 2026



Khalila Wardah Arianto

NPM 2215051043

SANWACANA

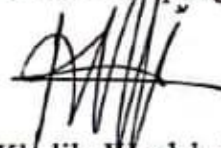
Dengan izin dan limpahan karunia Allah SWT, penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul "*Pemodelan Sistem Panas Bumi Daerah Talago Biru, Sumatera Barat.*" Proses penyusunan karya ini tidak terlepas dari rahmat, kemudahan, serta kekuatan yang senantiasa diberikan dalam setiap tahapannya. Shalawat serta salam semoga selalu tercurah kepada Nabi Muhammad SAW sebagai teladan dalam menjalani kehidupan. Selama proses penyusunan skripsi ini, penulis memperoleh banyak bantuan, dukungan, dan kontribusi dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis menyampaikan penghargaan dan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Dr. Ahmad Herison, S.T., M.T. selaku dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung.
2. Bapak Dr. Ir. Syamsurijal Rasimeng, S.Si., M.Si., C.EIA., IPM., selaku Ketua Jurusan Teknik Geofisika Universitas Lampung sekaligus dosen pembimbing akademik, yang telah memberikan bimbingan, arahan, serta dukungan kepada penulis selama menempuh pendidikan di Universitas Lampung.
3. Bapak Dr. Alimuddin Muchtar, S.Si., M.Si., C.EIA., selaku Sekretaris Jurusan Teknik Geofisika Universitas Lampung, yang telah memberikan banyak bantuan serta kemudahan kepada penulis dalam menyelesaikan studi secara tepat waktu.
4. Prof. Ir. Suharno, B.Sc. M.S., M.Sc., Ph.D., IPU. ASEAN Eng., selaku Dosen Pembimbing 1 Tugas Akhir yang telah memberikan arahan, bimbingan, dan dukungan serta kemudahan dalam penyusunan skripsi ini.

5. Ibu Hesti, S.Si., M.Eng., selaku Dosen Pembimbing 1 dan 2 dalam pengerjaan Kerja Praktik hingga Tugas Akhir yang telah memberikan bimbingan, kelancaran dan dukungan penuh sehingga penulis dapat menyelesaikan studi ini dengan baik.
6. Prof. Dr. Ir. Muh. Sarkowi, S.Si., M.Si., IPU., selaku dosen penguji Tugas Akhir yang telah memberikan berbagai kritik, saran, dan masukan yang membangun demi penyempurnaan skripsi ini.
7. Seluruh dosen dan staf Jurusan Teknik Geofisika Universitas Lampung, penulis mengucapkan terima kasih atas ilmu pengetahuan, bantuan, serta pengalaman berharga yang telah diberikan selama menjalani masa perkuliahan di Universitas Lampung.
8. Abi yang tercinta, pahlawan pertama dan utama dalam kehidupan penulis. Penulis mengucapkan terima kasih atas segala kerja keras, pengorbanan, serta perlindungan yang telah diberikan selama ini. Dukungan dan keyakinan Abi selalu menguatkan penulis bahwa penulis mampu. Terima kasih sudah menyediakan rumah yang aman dan nyaman untuk penulis selalu pulang. Semoga Abi selalu diberi kesehatan dan rezeki yang mengalir tanpa henti, seakan kehadiran Abi ingin penulis abadikan dalam setiap waktu.
9. Umi yang tersayang, sosok malaikat yang menjadi pintu pertama bagi surga penulis. Terima kasih sudah selalu melindungi dan mendoakan penulis pagi, siang, sore, dan malam. Segala pesan dan nasihat yang Umi berikan telah membentuk penulis menjadi perempuan yang tangguh dan tidak mudah direndahkan. Terima kasih atas besarnya kelapangan hati Umi dalam mendidik penulis yang banyak melakukan kesalahan dan kekacauan. Andai keabadian dapat dipanjatkan dalam doa, Umi akan menjadi permohonan utama.
10. Teruntuk kekasih hati yang bersedia meminjamkan pundaknya, terima kasih penulis ucapkan karena telah mendukung, menemani, dan kebersamai penulis selama perjalanan studi bahkan sampai masa studi penulis selesai. Terima kasih sudah menjadi rumah untuk penulis berkeluh kesah dan berdiskusi tanpa takut dihakimi. Tidak denganmu mungkin perjalanan studiku akan hampa dan kurang berwarna.

11. Sahabat seperjuangan, *my PPI sisters*. Terima kasih atas kebersamaan dan dukungan yang selalu saling menguatkan dalam segala keadaan. Perjalanan ini menjadi pengalaman berharga karena dapat dilalui bersama. *Thank you for always being there through every high and low.*
12. Teman-teman *PKM* yang penulis sayangi, terima kasih atas semua canda, tawa, dan bonus “teh” yang sangat *up to date* itu. Kebersamaan ini menjadi salah satu bagian paling berwarna dalam perjalanan penulis.
13. *My besties since we were 3*, Cariss & Pia yang telah bersedia mendengarkan keluh kesah penulis sejak 17 tahun yang lalu (maaf kalau melelahkan). Terima kasih atas kesabaran, kebersamaan, dan persahabatan yang selalu seru. *Miss you guys a lot!*
14. Pihak PSDMBP terutama Divisi Mineral yang telah memberi peluang serta menyediakan sarana bagi penulis dalam menjalankan kegiatan kerja praktik, sehingga penulis dapat menambah wawasan serta memperoleh pengalaman yang berharga.
15. Diri penulis sendiri, yang telah bertahan sejauh ini. Terima kasih sudah selalu melangkah meski diiringi keluh dan tangis. Maaf karena mimpi masa kecil itu belum sepenuhnya terwujud. Namun, dirimu yang sekarang sudah lebih dari cukup untuk dibanggakan.
16. Keluarga besar *Granit Teknik Geofisika* angkatan 2022 yang telah memberikan warna dalam perjalanan penulis, serta mengajarkan banyak hal tentang menjalani dinamika kehidupan perkuliahan.
17. Ucapan terima kasih juga penulis sampaikan kepada semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu yang telah membantu dan mendukung penyelesaian skripsi ini.

Bandar Lampung, 22 April 2026



Khalila Wardah Arianto

NPM 2215051043

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	iv
MENGESAHKAN	vi
PERNYATAAN.....	vii
RIWAYAT HIDUP.....	viii
PERSEMBAHAN.....	ix
MOTTO HIDUP.....	x
KATA PENGANTAR.....	xi
SANWACANA.....	xii
DAFTAR ISI.....	xv
DAFTAR GAMBAR	xviii
DAFTAR TABEL	xx
I. PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Tujuan Penelitian	3
1.3. Batasan Masalah	3
1.4. Manfaat Penelitian	4
II. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. Lokasi Daerah Penelitian	5
2.2. Geologi Regional Daerah Penelitian.....	7
2.3. Stratigrafi Daerah Penelitian.....	11
2.4. Sistem Panas bumi Daerah Penelitian	14
2.5. Kajian Geokimia Daerah Penelitian	16
2.6. Penelitian Terdahulu	17

III.	TEORI DASAR	20
3.1.	Konsep Metode Gayaberat.....	20
3.2.	Sesar.....	21
3.3.	Konsep Dasar Gayaberat	22
3.3.1.	Gayaberat Newton.....	22
3.3.2.	Percepatan Gayaberat.....	23
3.3.3.	Potensial Gayaberat.....	24
3.3.4.	Massa Jenis Batuan	26
3.4.	Koreksi-koreksi dalam Metode Gayaberat	27
3.4.1.	Koreksi Udara Bebas (<i>Free Air Correction</i>).....	27
3.4.2.	Koreksi Bouguer	28
3.4.3.	Koreksi Medan (<i>Terrain Correction</i>).....	29
3.4.4.	Koreksi Lintang.....	29
3.5.	Anomali Bouguer.....	30
3.6.	Analisis Spektrum.....	30
3.7.	Filter <i>Upward Continuation</i>	33
3.8.	FHD (<i>First Horizontal Derivative</i>).....	34
3.9.	SVD (<i>Second Vertical Derivative</i>).....	34
3.10.	Pemodelan Gayaberat	36
IV.	METODOLOGI PENELITIAN	37
4.1.	Waktu dan Tempat Penelitian	37
4.2.	Alat dan Bahan.....	37
4.3.	Prosedur Penelitian	38
4.3.1.	Pengumpulan Data	38
4.3.2.	Koreksi Bouguer	40
4.3.3.	Penentuan Densitas Batuan Rata-rata	41
4.3.4.	Koreksi Medan.....	41
4.3.5.	Anomali Bouguer Lengkap.....	41
4.3.6.	Pemisahan Anomali.....	43
4.3.7.	Analisis Derivatif.....	43
4.3.8.	Pemodelan Inversi Bawah Permukaan.....	43
4.4.	Jadwal Kegiatan.....	44

4.5.	Diagram Alir	45
V.	HASIL DAN PEMBAHASAN.....	46
5.1.	Hasil Penelitian	46
5.2.	Pembahasan Penelitian	47
5.2.1.	Topografi Daerah Penelitian.....	47
5.2.2.	Penentuan Densitas Rata-rata.....	48
5.2.3.	Anomali Bouguer Lengkap	49
5.2.4.	Anomali Regional	52
5.2.5.	Anomali Residual	53
5.2.6.	FHD (<i>First Horizontal Derivative</i>)	56
5.2.7.	SVD (<i>Second Vertical Derivative</i>)	57
5.2.8.	Analisis Derivatif	58
5.2.9.	Pemodelan Sistem Panas Bumi	64
5.2.10.	Analisis Geokimia Panas Bumi.....	67
5.2.11.	Model Konseptual Sistem Panas Bumi Daerah Penelitian....	67
VI.	KESIMPULAN DAN SARAN	70
6.1.	Kesimpulan	70
6.2.	Saran	71

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Peta lokasi daerah penelitian (Badan Informasi Geospasial, 2018).....	6
2. Peta geologi regional (Silitonga dan Kastowo, 1995).....	8
3. Peta geologi daerah penelitian (Silitonga dan Kastowo, 1995)	10
4. Stratigrafi regional lembar solok (Silitonga dan Kastowo, 1995).....	12
5. Sistem panas bumi (Dickson dan Fanelli, 2004).....	14
6. Diagram segitiga Cl-SO ₄ -HCO ₃ dan Na-K-Mg (KESDM, 2017).....	16
7. Jenis-jenis sesar (Ibrahim dkk., 2010)	21
8. Interaksi gayaberat antara dua objek (Grandis, 2009).....	23
9. Potensial dan intensitas medan massa 3 dimensi (Maulana, 2012).....	25
10. Grafik hubungan antara $\ln A$ dan k (Blakely, 1996)	33
11. Data <i>gravity acceleration</i> GGMplus	39
12. Data elevasi GGMplus	39
13. Pengolahan data koreksi Bouguer	40
14. Kontur Anomali Bouguer Lengkap untuk RAPS	42
15. Grafik $\ln A - k$ daerah penelitian.....	42
16. Diagram Alir.....	45
17. Peta topografi daerah penelitian	48
18. Grafik BC vs FAA.....	49
19. Peta Anomali Bouguer Lengkap.....	50
20. <i>Overlay</i> peta ABL dan geologi daerah penelitian.....	51
21. Peta anomali regional	52
22. Peta anomali residual.....	54
23. <i>Overlay</i> peta anomali residual dan geologi daerah penelitian.....	55

24. Peta <i>first horizontal derivative</i>	56
25. Peta <i>second vertical derivative</i>	58
26. Lintasan penampang derivatif pada peta anomali SVD	59
27. <i>Overlay plotting</i> sesar dengan peta FHD	61
28. <i>Overlay plotting</i> sesar dengan peta SVD	62
29. Hasil <i>plotting</i> perkiraan sesar berdasarkan analisis derivatif	63
30. Model sebaran densitas bawah permukaan yang diperoleh dari inversi 3D data gayaberat	64
31. Penampang 2D distribusi densitas hasil <i>slicing</i> model inversi 3D data gayaberat pada lintasan D – D' (arah X–Z) yang menunjukkan variasi nilai densitas terhadap kedalaman	65
32. Model konseptual sistem panas bumi Talago Biru	68

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Daftar penelitian terdahulu.....	19
2. Nilai massa jenis batuan (Telford dkk., 1990).....	26
3. Koefisin filter SVD (Sarkowi, 2014)	35
4. Data penelitian.....	37
5. <i>Hardware</i> dan <i>Software</i> yang digunakan dalam penelitian	38
6. Pelaksanaan kegiatan penelitian	44
7. Hasil analisis derivatif daerah penelitian.....	60

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Indonesia memiliki kondisi geologis yang sangat aktif karena terletak pada pertemuan tiga lempeng utama, yaitu Lempeng Indo-Australia, Lempeng Pasifik, dan Lempeng Eurasia. Kondisi ini menyebabkan Indonesia memiliki potensi panas bumi yang sangat besar, bahkan diperkirakan mencapai 40% dari total potensi panas bumi dunia (Siahaan dkk., 2011). Sepanjang zona subduksi tersebut, terbentuk jalur vulkanik yang memanjang, sehingga memberikan peluang bagi suatu wilayah untuk memiliki sumber daya panas bumi.

Salah satu wilayah yang memiliki prospek panas bumi adalah kawasan Talago Biru di Sumatera Barat, yang secara tektonik berada pada jalur busur magmatik di bagian barat Pulau Sumatera. Provinsi Sumatera Barat sendiri diperkirakan memiliki potensi energi panas bumi sebesar 1.656 MW yang tersebar di 17 lokasi. Sebaran tersebut membentang dari wilayah utara hingga selatan, meliputi Kabupaten Pasaman, Pasaman Barat, Tanah Datar, Solok, dan Solok Selatan (Refiani dkk., 2023). Namun demikian, sebagian besar titik tersebut masih memerlukan tahap eksplorasi serta penelitian lebih lanjut, termasuk kawasan Talago Biru yang berada di Kabupaten Tanah Datar.

Penentuan lokasi penelitian difokuskan pada Kabupaten Tanah Datar karena kawasan ini memiliki kondisi geologi yang mendukung, yang ditandai oleh adanya aktivitas tektonik dan vulkanik yang masih berlangsung hingga saat ini. Secara tektonik, wilayah penelitian berada pada jalur Sesar Sumatera yang aktif dengan laju pergerakan sekitar 7 cm per tahun. Dari sisi vulkanisme, daerah ini juga menunjukkan indikasi aktivitas vulkanik yang signifikan.

Ditinjau dari aspek vulkanisme, kawasan ini menunjukkan aktivitas yang berkesinambungan, yang ditandai oleh munculnya manifestasi panas bumi berupa mata air panas di lereng Gunung Marapi (Niroha dkk., 2021). Kawasan potensi panas bumi Talago Biru sendiri terbentuk sebagai akibat dari aktivitas Sesar Sumatera yang memanjang dari Banda Aceh hingga Teluk Semangko di Lampung. Menurut Hakim (2023), indikasi keberadaan potensi panas bumi di wilayah Talago Biru dapat dikenali melalui manifestasi permukaan, seperti kemunculan mata air panas dan batuan yang telah mengalami alterasi.

Pada dasarnya, sistem panas bumi terbentuk melalui siklus hidrologi air bawah permukaan yang berinteraksi dengan sumber panas bersuhu tinggi, sehingga menghasilkan fluida panas yang tersimpan dalam batuan berpermeabilitas tinggi. Fluida tersebut, yang berupa air panas dan uap, selanjutnya dapat bergerak menuju permukaan melalui jalur struktur geologi seperti rekahan dan sesar. Keberadaan struktur geologi tersebut dapat diidentifikasi dengan menggunakan metode gayaberat.

Salah satu teknik dalam geofisika pasif adalah metode Gayaberat, yang diterapkan dengan mengandalkan anomali gayaberat yang timbul akibat perbedaan kepadatan massa batuan di kedalaman bumi (Zaenudin dan Yulistiana, 2018). Teknik ini juga dikenal sangat responsif terhadap variasi baik secara horizontal maupun vertikal, sehingga sering dimanfaatkan untuk menganalisis formasi geologi, lapisan batuan bawah, penetrasi batuan, lembah sedimentasi, sisa-sisa sungai kuno, dan berbagai aspek lainnya (Sarkowi, 2014). Formasi di bawah tanah ini diperoleh melalui anomali Bouguer yang terdeteksi di permukaan, sehingga dalam praktiknya, fokus penyelidikan adalah pada perbedaan gaya gravitasi di setiap lokasi pengukuran (Sarkowi, 2014).

Dalam penelitian ini, digunakan data gayaberat yang bersumber dari satelit GGMplus (*Global Gravity Model Plus*) tahun 2013. Model GGMplus memiliki keunggulan berupa resolusi spasial yang lebih tinggi dibandingkan dengan data gayaberat satelit lainnya, seperti TOPEX dan BGI (Suprianto dkk., 2021). Dengan resolusi spasial mencapai sekitar 200 meter, GGMplus sangat efektif untuk digunakan dalam tahap survei pendahuluan guna memberikan gambaran umum kondisi geologi sebelum dilakukan pengambilan data utama pada skala regional (Hirt dkk., 2013). Penelitian tugas akhir ini berfokus pada analisis potensi panas bumi di Talago Biru, Sumatera Barat dengan menggunakan metode gayaberat, yang bertujuan untuk mengidentifikasi karakteristik bawah permukaan di wilayah tersebut.

1.2. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Mengetahui penyebaran anomali gayaberat di daerah Talago Biru, Sumatera Barat.
2. Mengidentifikasi tipe struktur geologi di daerah Talago Biru, Sumatera Barat.
3. Memodelkan sistem panas bumi bawah permukaan di daerah Talago Biru berdasarkan hasil interpretasi anomali gayaberat.

1.3. Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Area penelitian difokuskan pada daerah prospek panas bumi di Talago Biru, Sumatera Barat.
2. Metode yang digunakan adalah metode gayaberat untuk memodelkan kondisi bawah permukaan.
3. Kajian ini dibatasi pada pemodelan 3D berbasis data gayaberat serta penyusunan peta anomali regional dan residual.
4. Data yang digunakan berupa data metode geofisika, khususnya data gayaberat, yang ditunjang oleh data geologi, dan seluruh data hanya digunakan untuk keperluan akademik, bukan untuk tujuan komersial.

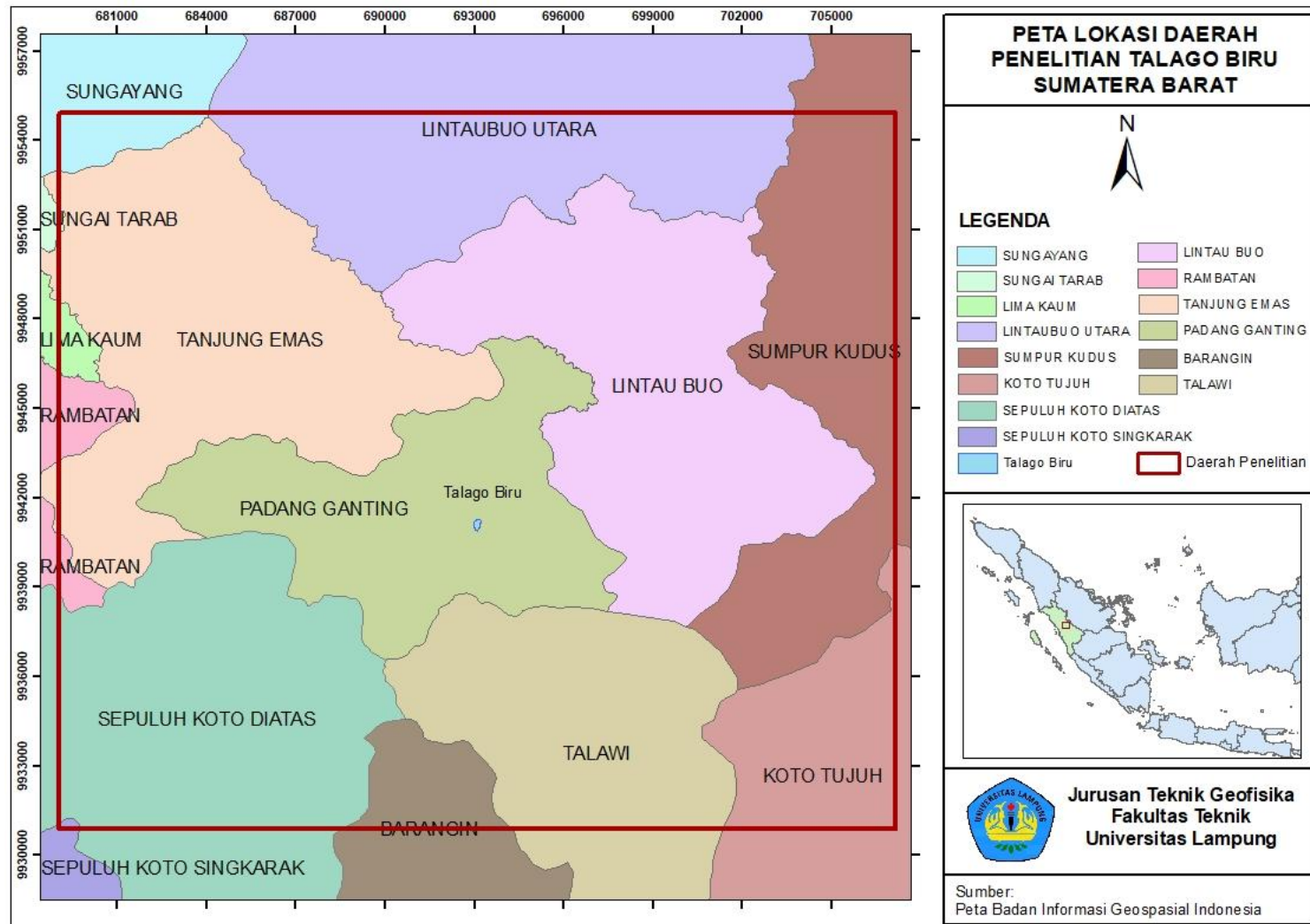
1.4. Manfaat Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk menyajikan informasi terkait kondisi bawah permukaan, karakteristik batuan, serta nilai massa jenis di kawasan prospek panas bumi Talago Biru, Sumatera Barat. Data yang diperoleh diharapkan dapat berfungsi sebagai referensi atau dasar bagi penelitian selanjutnya. Selain itu, penelitian ini diharapkan mampu memetakan potensi dan tipe sistem panas bumi di wilayah tersebut serta menjadi implementasi metode gayaberat dalam eksplorasi panas bumi.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Lokasi Daerah Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Talago Biru, yang merupakan area dengan potensi panas bumi. Dari segi administrasi, lokasi ini berada di Provinsi Sumatera Barat, tepatnya di Kabupaten Tanah Datar dan Kecamatan Padang Ganting. Ruang lingkup penelitian mencakup beberapa daerah di Sumatera Barat, termasuk Kabupaten Tanah Datar, Kabupaten Solok, Kabupaten Sijunjung, dan Kota Sawahlunto. Secara geografis, lokasi ini terletak pada koordinat $0^{\circ}25'00''$ LS hingga $0^{\circ}37'00''$ LS dan $100^{\circ}37'00''$ BT sampai $100^{\circ}52'00''$ BT, yang setara dengan 679500 hingga 707000 UTMX dan 9931000 hingga 95500 UTM Y dalam sistem UTM (*Universal Transverse Mercator*). Peta lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Peta lokasi daerah penelitian (Badan Informasi Geospasial, 2018).

2.2. Geologi Regional Daerah Penelitian

Secara morfologi, daerah Talago Biru memperlihatkan bentuk perbukitan bergelombang hingga terjal yang terbentuk akibat aktivitas vulkanik dan tektonik berulang. Bentuk morfologi ini mencerminkan dominasi proses vulkanisme kuartar dan sedimentasi tersier yang saling bertumpukan, sehingga menghasilkan bentang alam khas daerah vulkanik tropis. Keberadaan danau Talago Biru yang menempati cekungan kecil di tengah wilayah penelitian diduga terkait dengan aktivitas struktur sesar yang menciptakan zona depresi serta menjadi tempat akumulasi air permukaan.

Berdasarkan peta geologi regional yang ditampilkan pada Gambar 2, wilayah Talago Biru terutama terdiri dari batuan vulkanik dari periode Kuartar dan batuan sedimen dari periode Tersier. Urutan stratigrafi yang terlihat, dari yang paling tua hingga yang paling muda, mencakup Formasi Kuantan, Formasi Brani, Formasi Sangkarewang, Formasi Ombilin, serta batuan gunung api yang lebih muda.

1. Formasi Kuantan

Merupakan salah satu formasi tertua di daerah penelitian, tersusun oleh batugamping, serpih, dan filit yang berumur Permian – Karbon.

2. Formasi Ombilin

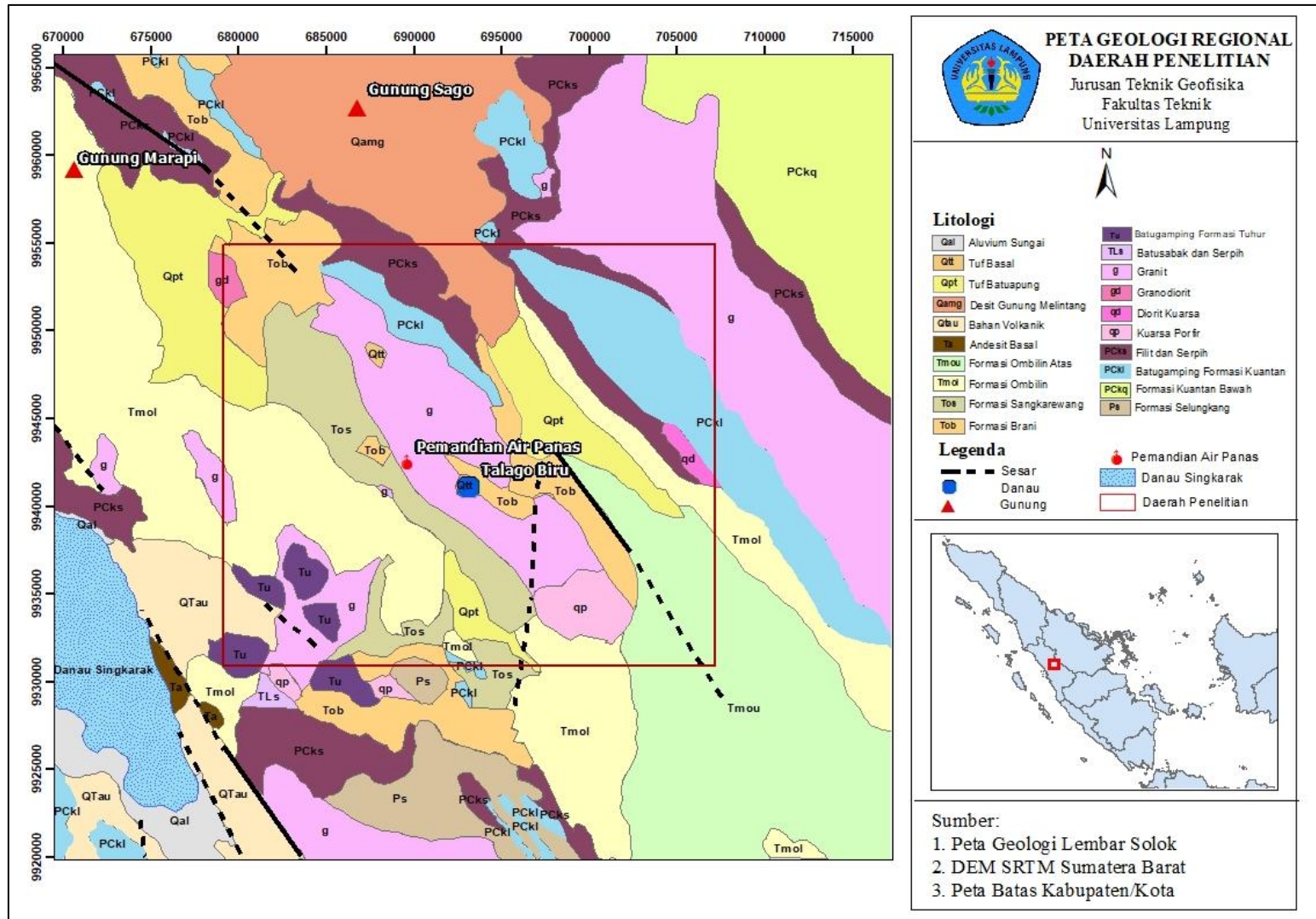
Formasi ini menguasai wilayah tengah sampai barat area studi dan tersusun dari batupasir tufan, batulempung, serta lapisan batubara. Formasi ini berusia miosen pertengahan hingga akhir dan tersimpan secara tidak selaras di atas batuan sedimen kuno dari Formasi Sangkarewang dan Brani.

3. Formasi Sangkarewang

Tersusun atas batulempung karbonatan dan serpih dengan sisipan batugamping tipis. Formasi ini berumur eosen – oligosen, merupakan hasil sedimentasi laut dangkal.

4. Formasi Brani

Ditemukan di bagian barat daya peta, tersusun atas batupasir tufan dan breksi halus yang berasosiasi dengan endapan volkanoklastik Formasi Ombilin.



Gambar 2. Peta Geologi Regional (Silitonga dan Kastowo, 1995).

5. Endapan Gunung Api Kwartir

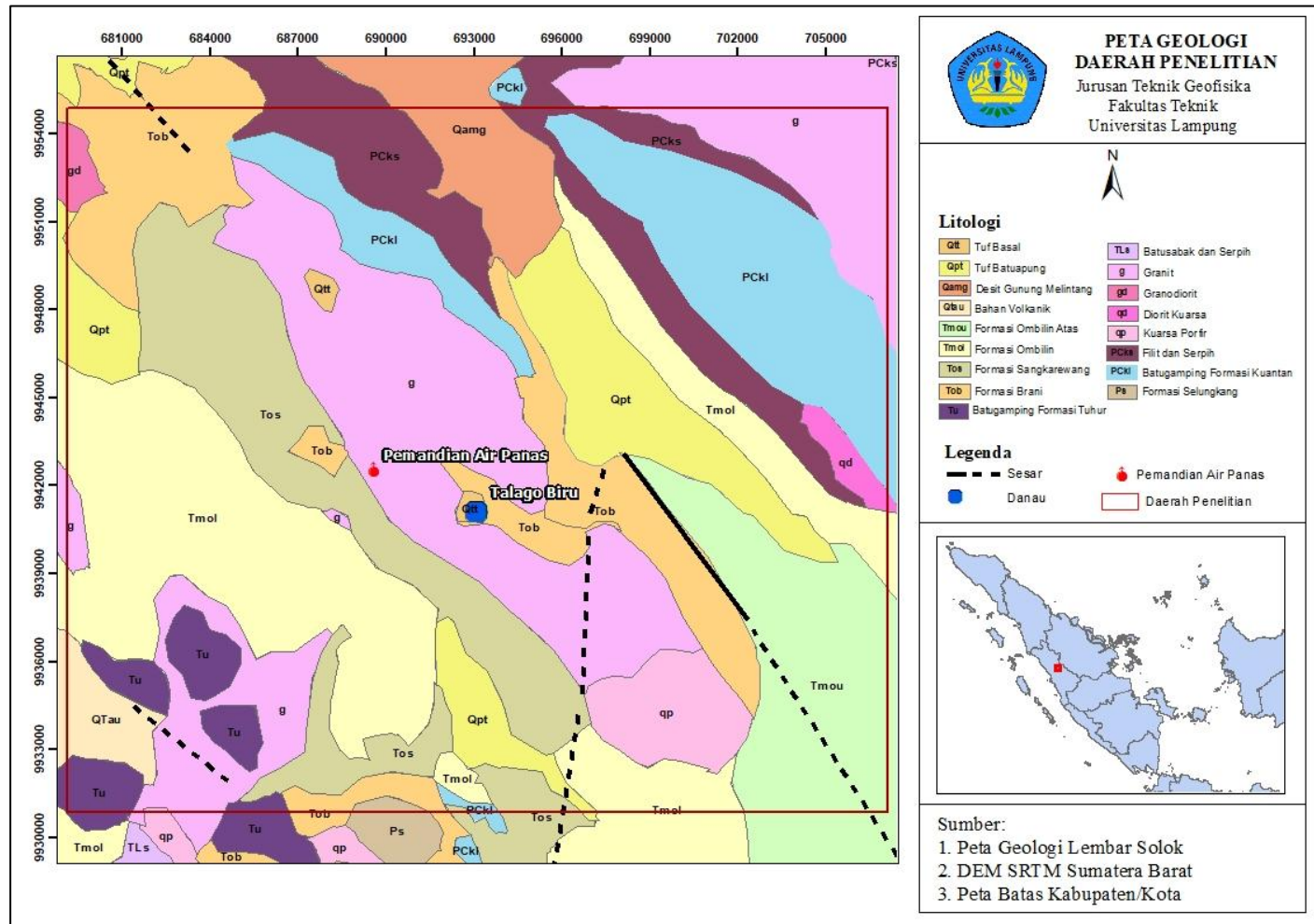
Satuan ini meliputi tuf, breksi, aglomerat, lava, dan aliran piroklastik hasil aktivitas vulkanik Kwartir dari gunung-gunung di sekitar Solok dan Talago Biru.

6. Granit dan Granodiorit

Satuan batuan beku intrusif ini tersingkap di bagian timur laut dan barat peta, berumur Tersier–Pra-Tersier, dan berperan penting dalam pembentukan struktur sesar dan rekahan pada Formasi Ombilin.

Berdasarkan Peta Geologi Daerah Penelitian pada Gambar 3, secara struktural wilayah Talago Biru dipengaruhi oleh beberapa sesar utama yang berarah Barat Laut–Tenggara (NW–SE) dan Utara–Selatan (N–S). Sesar berarah NW–SE merupakan struktur yang dominan dan memotong hampir seluruh satuan litologi, termasuk Formasi Ombilin serta endapan vulkanik muda. Struktur ini berfungsi sebagai jalur pergerakan fluida panas bumi yang kemudian memunculkan manifestasi di permukaan berupa mata air panas Talago Biru. Sementara itu, sesar N–S merupakan struktur lebih muda yang kemungkinan masih aktif secara tektonik, terlihat dari adanya kelurusan lembah dan pola aliran sungai yang terpotong.

Batuan intrusi andesit yang terlihat di bagian tenggara peta diinterpretasikan sebagai sumber panas dalam sistem geotermal Talago Biru. Diperkirakan bahwa intrusi ini terbentuk pada akhir Miosen hingga awal Pliosen, bersamaan dengan peningkatan aktivitas tektonik di kawasan tersebut. Aktivitas tektonik ini menyebabkan pengangkatan, terbentuknya sesar-sesar, serta rekahan yang berfungsi sebagai jalur untuk aliran fluida hidrotermal.



Gambar 3. Peta Geologi daerah penelitian (Silitonga dan Kastowo, 1995).

2.3. Stratigrafi Daerah Penelitian

Talago Biru termasuk ke dalam wilayah geologi busur vulkanik dan cekungan tersier Sumatera bagian Tengah-selatan, di mana kondisi tektonik dan vulkanisme sangat memengaruhi stratigrafi setempat. Kajian regional menunjukkan keterkaitan erat dengan Cekungan Ombilin yang didominasi oleh Formasi Sangkarewang dan satuan klastik lain yang mencerminkan variasi fasies pengendapan serta sumber sedimen yang berbeda (Koesoemadinata dan Matasak, 1981). Stratigrafi regional pada daerah penelitian dapat dilihat pada Gambar 4.

Menurut Romadhani (2019), susunan batuan stratigrafi di wilayah Talago Biru, Sumatera Barat, sebagian besar terdiri dari material vulkanik dan sedimen yang telah terbentuk sejak Zaman Paleozoikum sampai Kuartar. Gambar 4 menampilkan kolom stratigrafi untuk wilayah Cekungan Ombilin secara regional, sebagaimana disusun oleh Silitonga dan Kastowo (1995).

Cekungan Ombilin memiliki urutan stratigrafi batuan yang disusun dari unit paling purba ke yang lebih muda, mulai dari masa Pra-Tersier hingga Kuartar, seperti yang dijelaskan oleh Silitonga dan Kastowo (1995).

1. Batuan Pra-tersier

a. Formasi Kuantan

Formasi ini sebagian besar terdiri dari batugamping oolit yang telah mengalami rekristalisasi, disertai marmer, batusabak, filit, serta kuarsit.

b. Formasi Silungkang

Formasi ini mencakup batuan vulkanik, batugamping berfosil koral, serta aliran lava andesit, basalt, dan tuf. Dari fosil di batugampingnya, usia formasi ini diperkirakan mencapai Perm – Karbon.

c. Formasi Tuhur

Formasi ini tersusun dari batusabak, serpih, dan batugamping, yang kemungkinan terbentuk pada Periode Trias.

UMUR		NAMA FORMASI	TEBAL (M)	LINGKUNGAN PENGENDAPAN	
		PH.SILITONGA & KASTOWO (1995)			
KUARTER		Tuf Basal Tuf Batuapung		Terestial	
PLIOSEN		Vulkanik tak terpisahkan			
TERSIER	MIOSEN	AKHIR			
		TENGAH			
		AWAL	1400	Neritik	
	OLIGOSEN	AKHIR	300		
		TENGAH	600	Braided River	
		AWAL	300	Meandering	
	EOSEN	190	Meandering & Swamp (flood plain)		
	PALEOSEN	1400	Lacustrin Alliuvial Fan		
	KAPUR				
	YURA				
TRIAS		F.Tuhur			
PERM		F.Silungkang			
KARBON		F.Kuantan			
		Granit Diorit Granodiorit			

Gambar 4. Stratigrafi regional lembar solok (Silitonga dan Kastowo, 1995).

2. Batuan Tersier

a. Formasi Brani

Formasi ini didominasi oleh konglomerat polimiktik berwarna ungu kemerahan dengan ukuran fragmen mulai dari kerikil hingga kerakal, serta matriks berupa pasir dan lempung. Fragmennya berasal dari berbagai jenis batuan seperti andesit, batugamping, batusabak, dan granit. Satuan ini menumpang secara tidak selaras di atas batuan Pra-Tersier dan memiliki hubungan saling menerobos dengan Formasi Sangkarewang. Berdasarkan kajian, umur Formasi Brani diperkirakan berkisar Paleosen hingga Eosen (Silitonga dan Kastowo, 1995).

b. Formasi Sangkarewang

Formasi ini terkenal sebagai penampung fosil ikan air tawar dari Tersier Awal. Litologinya mencakup lapisan batupasir tipis (kurang dari 1 meter) berisi fragmen kuarsa, feldspar, dan material kapur berwarna abu-abu tua. Matriksnya berupa lempung bertekstur kasar yang mengandung mika serta zat karbon, dengan ciri struktur slump. Lapisan batupasir tersebut menampilkan pola gradasi yang semakin halus menuju bagian atas.

c. Formasi Ombilin

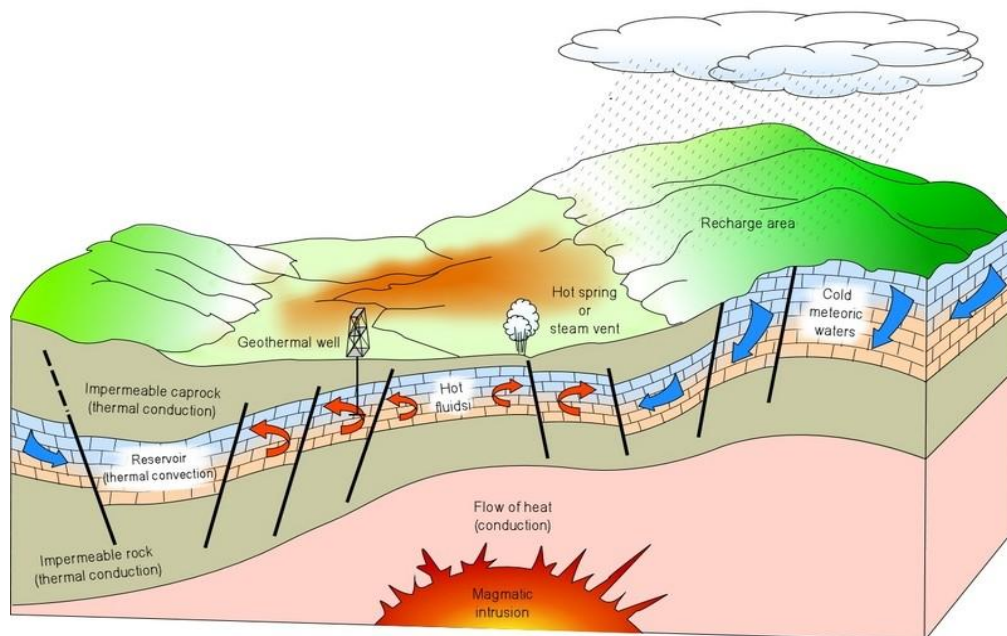
Berdasarkan Silitonga dan Kastowo (1995), formasi ini tersusun dari serpih atau napal berwarna kelabu tua yang bersifat karbonan hingga karbonatan. Apabila lapuk, warnanya memudar menjadi kelabu muda dan biasanya menunjukkan lapisan yang jelas. Formasi Ombilin diperkirakan berusia Miosen Awal, terbentuk di lingkungan laut neritik luar hingga batial atas.

Berdasarkan peta geologi area penelitian, Talago Biru berada di zona transisi antara Formasi Brani dan Formasi Sangkarewang, yaitu batuan Tersier usia Eosen hingga Oligosen Tengah. Formasi Brani terdiri dari konglomerat polimiktik berisi fragmen andesit, batugamping, serta granit, menandakan variasi material dan rekahan alami. Formasi Sangkarewang didominasi lempung mika dengan lapisan tipis batupasir mengandung kuarsa dan feldspar.

Berdasarkan karakteristik litologinya, Formasi Brani berpotensi sebagai reservoir panas bumi, karena struktur konglomeratnya memungkinkan terjadinya penyimpanan dan pergerakan fluida panas melalui pori-pori dan rekahan batuan. Formasi Sangkarewang berfungsi sebagai batuan penutup karena komposisi lempungnya cenderung kedap air dan mampu mencegah fluida bergerak langsung ke permukaan.

2.4. Sistem Panas bumi Daerah Penelitian

Panas bumi adalah energi panas alami yang tersimpan dalam lapisan bumi, terbentuk sejak awal pembentukan planet dan berkembang menjadi sistem hidrotermal. Sistem ini mencakup siklus sirkulasi air, pemanasan oleh sumber panas, serta kondisi yang memungkinkan akumulasi fluida panas di bawah permukaan. Sistem panas bumi tercipta jika ada elemen seperti fluida (air), sumber panas, batuan reservoir untuk penyimpanan, dan batuan penutup yang menjebak fluida agar tak bocor ke permukaan (Basid dkk., 2014). Ilustrasi sistem panas bumi terlihat pada Gambar 5.



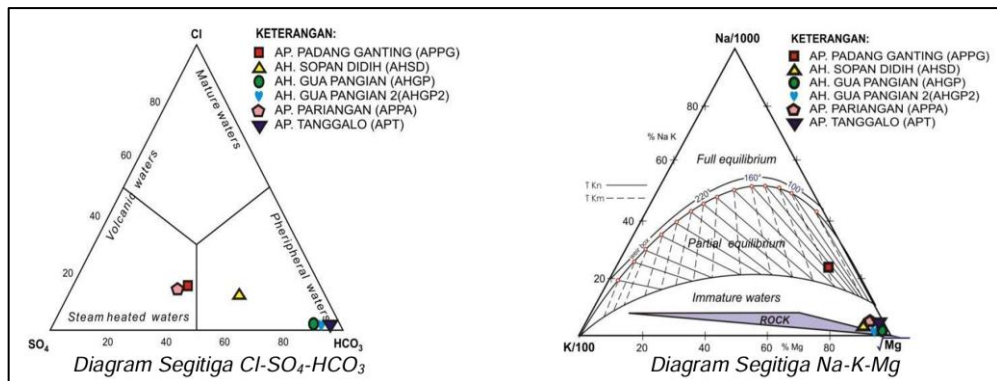
Gambar 5. Sistem panas bumi (Dickson dan Fanelli, 2004).

Sumatera Barat merupakan salah satu wilayah di Indonesia dengan potensi panas bumi yang sangat menjanjikan. Hal ini dipengaruhi oleh posisinya yang berada pada jalur busur vulkanik aktif serta keterkaitannya dengan Sistem Sesar Sumatera. Interaksi antara aktivitas vulkanik dan struktur geologi tersebut menyebabkan munculnya berbagai manifestasi panas bumi di permukaan, termasuk di wilayah Talago Biru, Kabupaten Tanah Datar. Manifestasi yang dijumpai meliputi mata air panas, alterasi batuan, serta indikasi geokimia yang menunjukkan adanya sistem hidrotermal di bawah permukaan (KESDM, 2017).

Talago Biru terletak di Tanah Datar, Kecamatan Padang Ganting, dan dikenal memiliki beberapa manifestasi permukaan berupa *hot spring* dengan suhu puluhan derajat Celcius. Indikasi ini mengarah pada sistem hidrotermal yang kemungkinan berhubungan dengan aktivitas magmatik kuarter Gunung Marapi serta struktur sesar lokal yang berfungsi jalur migrasi fluida (Romadhani, 2019). Dilihat berdasarkan geologinya, batuan vulkanik kuarter berperan sebagai reservoir, sedangkan lapisan teralterasi argilik berfungsi sebagai *cap rock*. Pola ini umum pada sistem panas bumi jalur busur vulkanik Indonesia, Di mana interaksi batuan, fluida, dan struktur geologi membentuk sistem hidrotermal (Hochstein, 1990).

Kajian geokimia di Talago Biru menunjukkan bahwa komposisi ion fluida mencerminkan interaksi insentif antara air meteorik, batuan, dan sumber panas, meskipun sebagian besar penelitian masih bersifat pendahuluan dengan keterbatasan data. Oleh karena itu, diperlukan studi lanjutan melalui survey geofisika seperti magnetik, gayaberat, resistivitas, dan seismik untuk memperkirakan kedalaman reservoir, ketebalan lapisan penutup, serta distribusi struktur bawah permukaan.

2.5. Kajian Geokimia Daerah Penelitian



Gambar 6. Diagram segitiga $\text{Cl-SO}_4\text{-HCO}_3$ dan Na-K-Mg (KESDM, 2017).

Hasil *plotting* pada diagram klasifikasi geokimia (Gambar 6) menempatkan air panas Padang Ganting dalam tipe sulfat dengan kadar HCO_3 yang cukup mencolok. Suhu permukaan tercatat $52,7^\circ\text{C}$, tergolong rendah dibandingkan estimasi suhu reservoir. Pada diagram Na-K-Mg , sampel ini berada di zona *partial equilibrium* dengan suhu perkiraan $140\text{--}160^\circ\text{C}$. Posisi ini menunjukkan bahwa fluida telah mencapai kesetimbangan kimia sebagian dengan batuan reservoir, terutama dalam sistem reaksi yang melibatkan unsur Na, K, dan Mg. Namun demikian, karena belum mencapai *full equilibrium*, komposisi kimia fluida masih dipengaruhi oleh proses pencampuran dengan air permukaan. Dengan demikian, karakteristik geokimia air panas Padang Ganting merepresentasikan sistem hidrotermal bertemperatur menengah yang telah mengalami proses pencampuran dan pendinginan sebelum termanifestasi sebagai mata air panas dengan suhu $52,7^\circ\text{C}$ di permukaan (KESDM, 2017).

2.6. Penelitian Terdahulu

Hidayat dkk. (2021) melakukan kajian untuk memetakan distribusi anomali magnetik di Nagari Aie Angek, Sumatera Barat, guna mengidentifikasi potensi sumber panas bumi di wilayah tersebut. Penelitian ini memanfaatkan metode geomagnetik dengan cakupan area sekitar $1,3 \times 1,3 \text{ km}^2$, yang terdiri dari 198 titik pengukuran pada 14 lintasan. Data yang diperoleh kemudian diolah melalui beberapa tahap koreksi, meliputi koreksi IGRF, koreksi variasi harian, serta filter *upward continuation* untuk memisahkan anomali lokal dari regional. Peta anomali magnetik hasil koreksi kemudian dianalisis dengan perangkat lunak Mag2DC guna memodelkan struktur bawah permukaan dan hubungannya dengan sistem panas bumi. Hasil penelitian menunjukkan nilai anomali magnetik berkisar antara -2800 nT hingga 1800 nT , dengan dominasi anomali negatif yang menunjukkan adanya zona demagnetisasi karena pemanasan batuan akibat aktivitas magmatik. Pemodelan 2D mengindikasikan tiga lapisan utama, yaitu lapisan atas ($\leq 1000 \text{ m}$) berupa batuan sedimen dan lempung sebagai *caprock*, lapisan tengah ($1000 - 3000 \text{ m}$) berupa batuan sabak, lava pra-Marapi, dan piroklastik tua sebagai reservoir, serta lapisan bawah ($> 3000 \text{ m}$) berupa batuan andesitik – basaltik dari Gunung Marapi sebagai *heat source*. Selain itu, ditemukan zona sesar minor yang berfungsi sebagai jalur sirkulasi fluida hidrotermal. Kesimpulan penelitian ini menunjukkan bahwa Nagari Aie Angek memiliki sistem panas bumi yang lengkap, meliputi *caprock*, reservoir, sumber panas, dan struktur sesar yang menjadi jalur fluida, sehingga wilayah ini memiliki potensi panas bumi yang signifikan dengan pengaruh langsung dari aktivitas magmatik Gunung Marapi.

Penelitian yang dilakukan oleh Niroha dkk. (2021) bertujuan untuk mengidentifikasi struktur geologi bawah permukaan di Nagari Aie Angek, Kabupaten Tanah Datar, yang dikenal sebagai daerah prospek panas bumi karena berada dalam pengaruh aktivitas tektonik dan vulkanik Gunung Marapi. Akuisisi data dilakukan dengan menggunakan metode seismik refraksi pada dua lintasan yang masing-masing memiliki panjang dan spasi *geophone* berbeda,

dimana data berupa waktu penjalaran gelombang seismik direkam di lapangan dan kemudian diolah menggunakan metode Hagiwara dalam *software* MATLAB untuk mendapatkan nilai kecepatan gelombang pada setiap lapisan serta estimasi kedalaman bidang batas bawah permukaan. Hasil interpretasi menunjukkan bahwa lapisan pertama memiliki kecepatan gelombang 1247–1820 m/s dan diinterpretasikan sebagai material aluvial dan lempung, sedangkan lapisan kedua memiliki kecepatan 1138–1293 m/s dan diinterpretasikan sebagai material lempung dan pasir dengan kedalaman yang mampu dipetakan berkisar antara 0,72 hingga 10,59 meter. Selain itu, ditemukan indikasi terjadinya penurunan muka tanah pada lintasan tertentu yang mengarah pada pengaruh aktivitas vulkanisme dan dinamika tektonik regional, sehingga memberi informasi tambahan mengenai jalur migrasi fluida panas bumi bawah permukaan. Temuan ini tidak hanya memberikan gambaran kondisi geologi dangkal di daerah penelitian, tetapi juga memperkuat bukti adanya sistem panas bumi aktif yang dapat digunakan sebagai dasar pengembangan energi panas bumi maupun mitigasi terhadap potensi bahaya geologi di masa mendatang

Tabel 1. Daftar penelitian terdahulu

No	Penulis	Judul	Data dan Metode	Kesimpulan
1	Hidayat dkk. (2021)	Identifikasi Sebaran Anomali Magnetik pada Daerah Prospek Panas bumi Nagari Aie Angek, Kabupaten Tanah Datar	Data diperoleh dari survei geomagnetik di 198 titik observasi sepanjang 14 jalur pengukuran. Pengolahan data mencakup koreksi IGRF, koreksi fluktuasi harian, kontinuasi ke atas, serta pemodelan 2D menggunakan Mag2DC untuk menafsirkan struktur bawah permukaan.	Anomali magnetik –2800 hingga 1800 nT, didominasi nilai negatif akibat alterasi batuan. Teridentifikasi <i>caprock</i> , reservoir, dan <i>hot rock</i> yang berkaitan dengan magma Gunung Marapi. Sesar minor menjadi jalur fluida hidrotermal, menunjukkan potensi panas bumi yang signifikan.
2	Niroha dkk. (2021)	Pemodelan Struktur Bawah Permukaan Menggunakan Metode Seismik Refraksi di Nagari Aie Angek	Penelitian melakukan pengukuran waktu tempujur gelombang seismik pada dua jalur dan mengolahnya dengan metode Hagiwara untuk menentukan kecepatan gelombang serta menafsirkan struktur bawah permukaan	Lapisan bawah permukaan terdiri dari material aluvial, lempung, dan pasir dengan kedalaman 0,72–10,59 m, serta mengindikasikan penurunan permukaan tanah akibat aktivitas tektonik dan vulkanik di sekitar Gunung Marapi.

III. TEORI DASAR

3.1. Konsep Metode Gayaberat

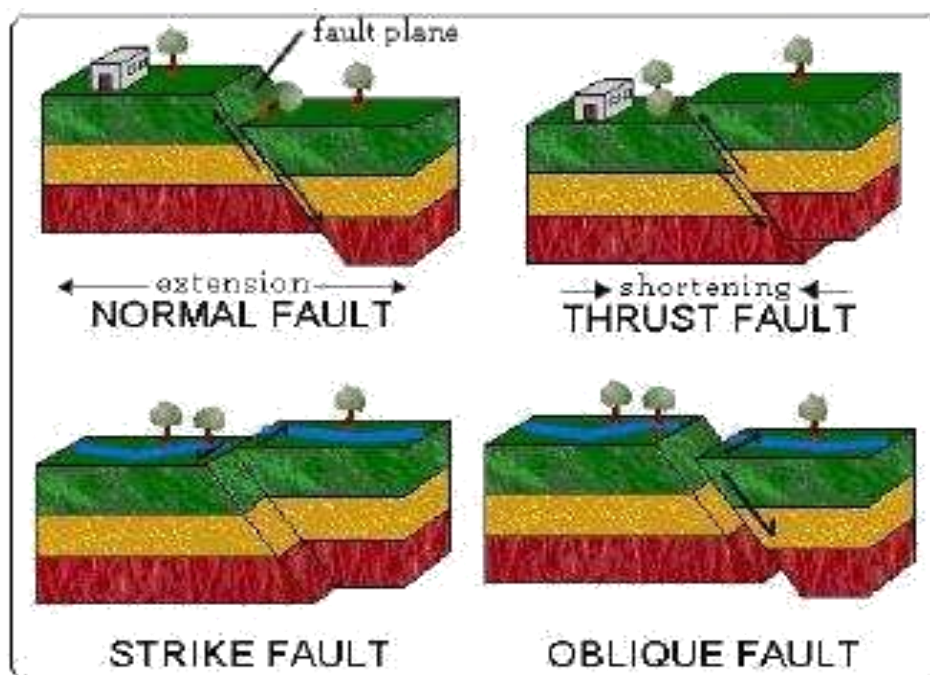
Metode gayaberat termasuk survei geofisika pasif yang mengukur dan memetakan variasi medan gravitasi di permukaan bumi guna mengetahui pola distribusinya. Variasi nilai gayaberat disebabkan oleh faktor seperti perbedaan massa jenis batuan, variasi litologi di bawah permukaan, perubahan jarak ke pusat bumi, serta kondisi topografi (Sarkowi, 2014). Keberadaan struktur geologi *subsurface* turut memengaruhi fluktuasi medan gravitasi yang terdeteksi. Pada dasarnya, seluruh kondisi geologi baik di permukaan maupun di kedalaman tercermin dalam data medan gravitasi bumi (Reynolds, 2011).

Menurut Djudjun (2005), survei gayaberat memiliki peran yang sangat krusial dalam berbagai aplikasi geofisika, khususnya untuk pemetaan struktur batuan di kedalaman bawah permukaan bumi serta mendukung penelitian geologi secara komprehensif. Kelebihan utama dari metode ini terletak pada kemampuannya untuk membedakan dengan presisi tingkat kepadatan material sumber anomali dibandingkan dengan densitas lingkungan batuan di sekitarnya, sehingga memungkinkan identifikasi yang akurat terhadap variasi material di *subsurface*. Melalui analisis mendalam terhadap perbedaan densitas tersebut, informasi detail mengenai konfigurasi dan karakteristik struktur bawah permukaan dapat diungkap secara jelas, termasuk potensi zona reservoir atau rekahan geologi (Setiadi dkk., 2014).

3.2. Sesar

Sesar adalah rekahan pada kerak bumi yang terjadi akibat pergeseran relatif antara dua blok batuan. Ukurannya sangat beragam, mulai dari skala sangat kecil hingga mencapai ribuan kilometer. Pembentukan sesar dipicu oleh gaya endogen yang bekerja dengan intensitas tinggi. Karena sifat kerak bumi yang kaku, lapisan tersebut tidak mampu mengalami pelengkungan atau pelipatan, sehingga merespons dengan membentuk retakan atau patahan (Rusmilawati dkk., 2019).

Sesar aktif merujuk pada patahan yang menunjukkan adanya pergerakan dalam kurun 10.000 tahun terakhir. Sebaliknya, suatu sesar digolongkan berpotensi aktif jika pergerakan tektoniknya telah terjadi dalam jangka waktu sekitar dua juta tahun belakangan ini. Adapun sesar tidak aktif adalah sesar yang tidak mengalami pergerakan atau belum menunjukkan aktivitas selama lebih dari 2 juta tahun (Fajriani, 2018).



Gambar 7. Jenis-jenis Sesar (Ibrahim dkk., 2010).

Berdasarkan Gambar 7 yang menunjukkan jenis-jenis sesar, Ibrahim dkk. (2010) mengelompokkan sesar menjadi tiga jenis utama sesar, yaitu sesar

mendatar, sesar naik, dan sesar turun. Selain itu, dikenal pula sesar *oblique*, yaitu kombinasi antara sesar mendatar dengan sesar naik atau turun.

1. Sesar Mendatar (*Strike-Slip Fault*)

Sesar Mendatar didefinisikan sebagai patahan di mana gerakan blok batuan terjadi sejajar dengan bidang sesar itu sendiri. Sesar mendatar diklasifikasikan menjadi dua kategori utama, berdasarkan orientasi pergerakan relatifnya:

- a. *Strike-slip Fault Right-lateral (Dextral)*: sesar dengan arah pergeseran yang mengikuti arah jarum jam.
- b. *Strike-slip Fault Left-lateral (Sinistral)*: sesar dengan arah pergeseran yang berlawanan dengan arah jarum jam.

2. Sesar Naik atau *Thrust/Reverse Fault*

Sesar Naik merupakan kategori patahan di mana salah satu massa batuan terangkat ke atas, sementara blok batuan yang lain meluncur ke bawah, mengikuti jalur sepanjang bidang sesar. Biasanya, sudut kemiringan pada bidang sesar jenis ini tidak melebihi 45 derajat.

3. Sesar Turun atau *Normal Fault*

Terbentuk akibat pergeseran blok batuan yang dipengaruhi oleh gaya gravitasi. Secara umum, sesar jenis ini terjadi karena kurangnya gaya penahan dalam kerak bumi, sehingga batuan bergerak menuju keseimbangan.

3.3. Konsep Dasar Gayaberat

3.3.1. Gayaberat Newton

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

Keterangan:

\vec{F} : Gaya tarik-menarik antara dua benda (N)

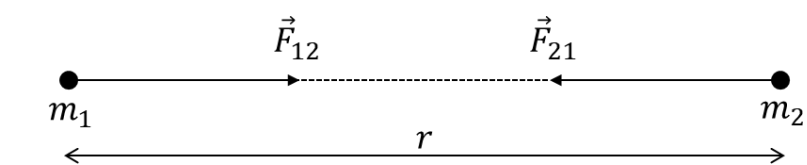
$m_1 m_2$: Massa masing-masing benda (kg)

r : Jarak antara kedua benda (m)

G : Konstanta gayaberat universal ($6,67 \times 10^{-11} \text{ m}^3\text{kg}^{-1}\text{s}^{-2}$)

Prinsip teori metode gayaberat didasarkan pada Hukum Gayaberat Newton, yang menyebutkan bahwa gaya tarik-menarik antara dua benda bermassa m_1 dan m_2 sebanding dengan hasil kali massa keduanya serta berbanding terbalik dengan kuadrat jarak antar pusat massa tersebut. Dari prinsip ini, hubungan matematisnya dapat dirumuskan dalam Persamaan (1), (Serway dan Jewett, 2009).

Ilustrasi konsep gayaberat Newton dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Interaksi gayaberat antara dua objek (Grandis, 2009).

3.3.2. Percepatan Gayaberat

Hubungan antara gaya dan percepatan dijelaskan melalui Hukum Kedua Newton, yang menyatakan bahwa pergerakan suatu benda dipengaruhi oleh gaya yang bekerja padanya, di mana gaya tersebut merupakan hasil kali antara massa benda dan percepatan yang dialami. Hubungan ini dapat dinyatakan dalam Persamaan (2).

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

Percepatan yang dialami oleh objek bermassa m_2 sebagai respons terhadap tarikan gravitasi dari objek bermassa m_1 pada jarak r dapat diuraikan secara ringkas menggunakan Persamaan (3).

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

Jika ditetapkan pada percepatan gaya tarik bumi Persamaan di atas menjadi seperti Persamaan (4).

$$\vec{g} = \frac{\vec{F}}{m} = \frac{1}{m} \vec{F} = \frac{1}{m} \left(G \frac{Mm}{r^2} \hat{r} \right) \quad (4)$$

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

Keterangan:

\vec{g} : Percepatan tarik bumi (m/s^2)

M : Massa bumi (kg)

m : Massa benda (kg)

\vec{F} : Gaya tarik bumi (N)

r : Jari-jari bumi (km)

\hat{r} : Vektor satuan arah

Upaya pertama untuk mengukur besaran percepatan gayaberat di bumi dilakukan oleh Galileo, kemudian didefinisikan pada Persamaan (6).

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

Untuk pengukuran yang lebih sensitif, percepatan gravitasi biasanya dinyatakan dalam miligal (mGal), seperti ditunjukkan pada Persamaan (7) dan (8), karena perubahan yang terdeteksi oleh alat ukur sangat kecil.

$$1 \mu\text{Gal} = 10^{-3} \text{ mGal} = 10^{-6} \text{ Gal} = 10^{-8} \text{ m/s}^2 \quad (7)$$

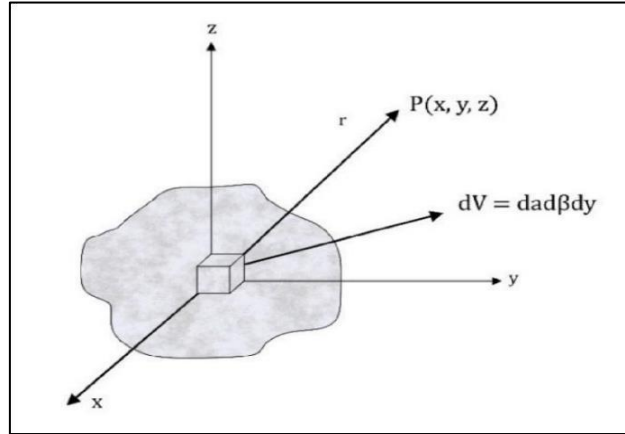
$$1 \text{ mGal} = 10 \text{ g.u.} = 10^{-5} \text{ m/s}^2 \quad (8)$$

Dalam sistem MKS, gravitasi dapat diukur dalam g.u. atau $\mu\text{m/s}^2$ (Octonovrilna dan Pudja, 2009).

3.3.3. Potensial Gayaberat

Energi yang dibutuhkan untuk memindahkan massa antar titik dikenal sebagai potensial gravitasi. Setiap objek bermassa menciptakan medan potensial konservatif di sekitarnya. Medan potensial tersebut bersifat konservatif, artinya usaha yang dilakukan dalam medan gravitasi tidak tergantung pada lintasan yang ditempuh, melainkan hanya bergantung pada posisi awal dan akhirnya (Bosy, 2016).

Gambar 9 menggambarkan visual tiga dimensi mengenai potensial dan kuat medan yang ditimbulkan oleh suatu massa.



Gambar 9. Potensial dan intensitas medan massa 3 dimensi (Maulana, 2012).

Jika terdapat massa dengan bentuk yang tidak teratur yang tersebar secara kontinu dengan kerapatan massa $\Delta\rho(\alpha, \beta, \gamma)$, maka potensial gayaberatnya di suatu titik $P(x, y, z)$ dapat ditentukan melalui Persamaan (9).

$$U(x, y, z) = G \iiint \frac{\Delta\rho(\alpha, \beta, \gamma)}{(x-\alpha)^2 + (y-\beta)^2 + (z-\gamma)^2} d\alpha d\beta d\gamma \quad (9)$$

Medan gayaberat diperoleh dengan melakukan diferensiasi dari Persamaan (9) terhadap variabel x, y dan z sehingga diperoleh Persamaan (10), (11), dan (12).

$$\Delta g_x(x, y, z) = -G \int_0^\infty \int_{-\infty}^\infty \int_{-\infty}^\infty \frac{\Delta\rho(\alpha, \beta, \gamma)(x-\alpha)}{[(x-\alpha)^2 + (y-\beta)^2 + (z-\gamma)^2]^{\frac{3}{2}}} d\alpha d\beta d\gamma \quad (10)$$

$$\Delta g_y(x, y, z) = -G \int_0^\infty \int_{-\infty}^\infty \int_{-\infty}^\infty \frac{\Delta\rho(\alpha, \beta, \gamma)(x-\beta)}{[(x-\alpha)^2 + (y-\beta)^2 + (z-\gamma)^2]^{\frac{3}{2}}} d\alpha d\beta d\gamma \quad (11)$$

$$\Delta g_z(x, y, z) = -G \int_0^\infty \int_{-\infty}^\infty \int_{-\infty}^\infty \frac{\Delta\rho(\alpha, \beta, \gamma)(x-\gamma)}{[(x-\alpha)^2 + (y-\beta)^2 + (z-\gamma)^2]^{\frac{3}{2}}} d\alpha d\beta d\gamma \quad (12)$$

Melalui Persamaan (11), diperoleh nilai medan gayaberat di permukaan bumi yang bervariasi. Keanekaragaman medan gayaberat ini disebabkan oleh pengaruh penyebaran massa di bawah permukaan, yang diwakili oleh fungsi

massa jenis (ρ). Sementara itu, bentuk permukaan bumi yang akurat dimodelkan melalui penerapan batas integral.

3.3.4. Massa Jenis Batuan

Perbandingan massa batuan terhadap volumenya membedakan setiap jenis batuan. Perbedaan densitas di bawah permukaan bumi menyebabkan variasi percepatan gravitasi di permukaan. Rentang nilai massa jenis yang bervariasi (Telford dkk., 1990) tersaji pada Tabel 2.

Tabel 2. Nilai massa jenis batuan (Telford dkk., 1990).

Tipe Batuan	Rentang Massa Jenis (gr/cc)	Rata – rata (gr/cc)
<i>Overburden</i>		1,92
<i>Soil</i>	1,20 – 2,40	1,92
<i>Clay</i>	1,63 – 2,60	2,21
<i>Gravel</i>	1,70 – 2,40	2,00
<i>Sand</i>	1,70 – 2,30	2,00
<i>Sandstone</i>	1,61 – 2,76	2,35
<i>Shale</i>	1,77 – 3,20	2,40
<i>Limestone</i>	1,93 – 2,90	2,55
<i>Dolomit</i>	2,28 – 2,90	2,70
<i>Loess</i>	1,40 – 1,93	1,64
<i>Silt</i>	1,80 – 2,20	1,93
<i>Chalk</i>	1,53 – 2,60	2,01
<i>Halite</i>	2,10 – 2,60	2,22
<i>Glacier Ice</i>	0,88 – 0,92	0,90
<i>Rhyolite</i>	2,35 – 2,70	2,52
<i>Andesit</i>	2,40 – 2,80	2,61
<i>Granite</i>	2,50 – 2,81	2,64
<i>Granodiorite</i>	2,67 – 2,79	2,73
<i>Porphyry</i>	2,60 – 2,89	2,74

Tipe Batuan	Rentang Massa Jenis (gr/cc)	Rata – rata (gr/cc)
<i>Quartz diorite</i>	2,62– 2,96	2,79
<i>Diorite</i>	2,72 – 2,99	2,85
<i>Lavas</i>	2,80 – 3,00	2,90
<i>Diabase</i>	2,50 – 3,20	2,91
<i>Basalt</i>	2,70 – 3,30	2,99
<i>Gabbro</i>	2,70 – 3,50	3,03
<i>Peridotite</i>	2,78 – 3,37	3,15
<i>Syenite</i>	2,60 – 2,95	2,77
<i>Acid igneous</i>	2,30 – 3,11	2,61
<i>Basic igneous</i>	2,09 – 3,17	2,79
<i>Quartzite</i>	2,50 – 2,70	2,60
<i>Schists</i>	2,39 – 2,90	2,64
<i>Graywacke</i>	2,60 – 2,70	2,65
<i>Marble</i>	2,60 – 2,90	2,75
<i>Serpentine</i>	2,40 – 2,10	2,78
<i>Slate</i>	2,70 – 2,90	2,79
<i>Gneiss</i>	2,59 – 3,00	2,80
<i>Amphibolite</i>	2,90 – 3,04	2,96
<i>Eclogite</i>	3,20 – 3,54	3,37
<i>Phylite</i>	2,68 – 2,80	2,74
<i>Granulite</i>	2,52 – 2,70	2,65

3.4. Koreksi-koreksi dalam Metode Gayaberat

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

Pengukuran gayaberat yang dilakukan pada ketinggian h dari permukaan laut rata-rata (*mean sea level*) menyebabkan nilai percepatan gravitasi (g) menjadi lebih kecil. Oleh karena itu, diperlukan koreksi terhadap hasil pembacaan alat. Koreksi udara bebas diterapkan untuk mendapatkan nilai gravitasi absolut pada titik pengamatan (Syamsuriadi, 2013). Sesuai dengan Brotopuspito (2001), rumus yang diterapkan untuk koreksi udara bebas adalah Persamaan (13).

$$FAC = 0,3086 h \quad (13)$$

Keterangan:

FAC : *Free air correction* (Koreksi udara bebas) (mGal)

h : Ketinggian (m)

Agar mendapatkan nilai anomali udara bebas, bisa diterapkan Persamaan (14).

$$FAA = g_{obs} - g_{\varphi} + 0,3086 h \quad (14)$$

Keterangan:

FAA : *Free air anomaly* (Anomali udara bebas) (mGal)

g_{obs} : Gayaberat observasi (mGal)

g_{φ} : Gayaberat teoritis (mGal)

h : Ketinggian (m)

3.4.2. Koreksi Bouguer (*Bouguer Correction*)

Pengaruh massa batuan di antara titik pengukuran dan bidang referensi diperhitungkan melalui penerapan koreksi Bouguer. Perhitungan besaran koreksi tersebut mengacu pada rumus yang terdapat dalam Persamaan (15).

$$BC = 2\pi G\rho h \quad (15)$$

Menurut Brotopuspito, (2001), karena nilai $2\pi G = 0,04191$ maka menjadi Persamaan (16).

$$BC = 0,04191\rho h \quad (16)$$

Keterangan:

BC : *Bouguer correction* (Koreksi Bouguer) (mGal/m)

G : Konstanta gayaberat ($6,67 \times 10^{-11} \text{ m}^3\text{kg}^{-1}\text{s}^{-2}$)

ρ : Rapat massa batuan rata-rata (2,67 gr/cc)

h : Ketinggian (m)

3.4.3. Koreksi Medan (*Terrain Correction*)

Koreksi medan diterapkan untuk mempertimbangkan dampak variasi bentang lahan di area studi. Kontur permukaan di dekat lokasi observasi bisa mempengaruhi hasil kalkulasi, sehingga nilai gayaberat yang diukur mungkin naik atau turun karena kondisi itu. Oleh karena itu, koreksi medan diperlukan untuk menghapus pengaruh topografi tersebut (Reynolds, 2011). Rumus perhitungan koreksi medan dirumuskan dalam Persamaan (17).

$$g = \frac{0,04193}{n} \rho \{ (r_2 - r_1) + \sqrt{r_2^2 + L^2} - \sqrt{r_1^2 + L^2} \} \quad (17)$$

Keterangan:

g : Nilai respons gayaberat (mGal)

n : Banyaknya bagian pada setiap zona

ρ : Nilai massa jenis (gr/cc)

r_1 : Jari-jari bagian dalam (m)

r_2 : Jari-jari bagian luar (m)

L : Perbedaan ketinggian terhadap titik pengamatan (m)

3.4.4. Koreksi Lintang

Bentuk Bumi tidak sepenuhnya bulat sempurna, melainkan sedikit pipih di kutub dan menggembung di wilayah khatulistiwa, sehingga memerlukan koreksi lintang. Perbedaan bentuk ini menyebabkan nilai gayaberat yang terukur di permukaan bumi tidak sama di setiap lintang, gayaberat cenderung lebih besar di kutub dan lebih kecil di khatulistiwa. Agar nilai gayaberat yang diperoleh dapat dibandingkan secara konsisten antara satu lokasi dengan lokasi lainnya, perlu dilakukan penyesuaian berdasarkan posisi lintangnya. Oleh karena itu, koreksi lintang diterapkan dengan Persamaan (18), Blakely (1996).

$$g_\theta = 978032,7(1 + 0,0053024\sin^2\theta - 0,0000058\sin^22\theta) \quad (18)$$

Keterangan:

g_θ : Percepatan gayaberat pada lintang θ (m/s^2)

g_0 : Percepatan gayaberat standar pada ekuator ($978032,7 m/s^2$)

θ : Lintang geografis (radian)

$\sin\theta$: Fungsi sinus dari lintang θ

3.5. Anomali Bouguer

Menurut Hinze dkk. (2013), anomali Bouguer didefinisikan sebagai perbedaan antara nilai gayaberat terobservasi dengan nilai gayaberat teoritis di lokasi pengukuran tertentu. Perbedaan ini menggambarkan variasi densitas atau distribusi massa di suatu wilayah dibandingkan area sekitarnya, baik secara vertikal maupun horizontal. Anomali Bouguer bisa ditentukan melalui Persamaan (19) (Brotopuspito, 2001):

$$BA = g_{obs} - g_{\varphi} + FAC + BC + TC \quad (19)$$

Keterangan:

- BA : *Bouguer anomaly* (Anomali Bouguer) (mGal)
 g_{obs} : Nilai gayaberat hasil pengukuran pada titik tersebut (mGal)
 g_{φ} : Gayaberat teoritis (mGal)
 FAC : *Free air correction* (Koreksi udara bebas) (mGal)
 BC : *Bouguer correction* (Koreksi bouguer) (mGal)
 TC : *Terrain correction* (Koreksi medan) (mGal)

3.6. Analisis Spektrum

Untuk memperkirakan kedalaman sumber anomali gayaberat di bawah permukaan, digunakan analisis spektrum. Teknik ini memanfaatkan transformasi Fourier guna mengubah data dari domain jarak atau waktu menjadi domain frekuensi atau bilangan gelombang (Blakely, 1996). Selain itu, analisis spektrum juga berfungsi memisahkan anomali Bouguer menjadi komponen regional dan residual di wilayah penelitian. Transformasi Fourier menguraikan suatu gelombang menjadi sejumlah komponen sinus dengan frekuensi yang berbeda-beda, yang jika digabungkan kembali akan menghasilkan gelombang semula (Kadir, 2000). Nilai potensial pada bidang horizontal digunakan untuk memperoleh spektrum. Rumus transformasi Fourier ditampilkan dalam Persamaan (20) dan (21) (Blakely, 1996).

$$F(U) = G\Delta\rho F\left(\frac{1}{r}\right) \quad (20)$$

$$F\left(\frac{1}{r}\right) = 2\Delta\rho \frac{e^{|k|(z_0-z_1)}}{|k|} \quad (21)$$

Keterangan:

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

U : Besaran potensial gayaberat (m/s^2)

$\Delta\rho$: Perbedaan massa jenis (gr/cc)

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

r : Jarak antar posisi (m)

Berdasarkan Persamaan (20) dan (21) maka diperoleh Persamaan (22).

$$F\left(\frac{1}{r}\right) = 2\pi G\Delta\rho \frac{e^{|k|(z_0-z_1)}}{|k|} \quad (22)$$

Transformasi Fourier anomali gayaberat pada lintasan dijelaskan pada persamaan (23), (24), dan (25).

$$F(g_z) = 1G\Delta\rho F\left(\frac{\partial}{\partial z} \frac{1}{r}\right) \quad (23)$$

$$F(g_z) = G\Delta\rho \frac{\partial}{\partial z} F\left(\frac{1}{r}\right) \quad (24)$$

$$F(g_z) = 2\pi G\Delta\rho e^{|k|(z_0-z_1)} \quad (25)$$

Keterangan:

g_z : Nilai anomali gayaberat (mGal)

k : Nilai bilangan gelombang (rad/m)

z_0 : Elevasi titik pengamatan (m)

z_1 : Kedalaman sumber anomali (m)

Apabila sebaran massa jenis tidak berpola dan tidak terdapat hubungan timbal balik antara setiap nilai anomali gayaberat, maka faktor magnetisasi μ akan disetarakan dengan 1. Kondisi tersebut mengubah transformasi Fourier anomali gayaberat menjadi Persamaan (26).

$$A = C e^{|k|(z_0 - z_1)} \quad (26)$$

Keterangan:

A : Amplitudo (mGal)

C : Konstanta

Untuk menetapkan kaitan antara amplitudo spektrum (A) dengan bilangan gelombang (k) serta kedalaman ($z_0 - z_1$), maka perlu menerapkan fungsi

logaritma, prosedur ini akan menunjukkan bahwa bilangan gelombang k berbanding lurus terhadap amplitudo spektral.

$$\ln A = (z_0 - z_1)|k| + \ln C \quad (27)$$

Persamaan (26) dapat diibaratkan dengan rumus garis lurus:

$$y = mx + c \quad (28)$$

$\ln A$ diposisikan sebagai sumbu y , dan k sebagai sumbu x , dan $(z_0 - z_1)$ merepresentasikan kemiringan garis (gradien). Gradien yang diperoleh dapat digunakan untuk memperkirakan kedalaman sumber anomali, baik yang berada pada lapisan dangkal maupun dalam. Nilai k pada sumbu x didefinisikan sebagai $\frac{2\pi}{\lambda}$, dengan λ merupakan panjang gelombang (*cycle/meter*). Kurva hubungan antara energi spektrum dan bilangan gelombang dimanfaatkan dalam analisis kedalaman seperti terlihat pada Gambar 10. Kedalaman rata-rata sumber anomali pun dapat dihitung berdasarkan kemiringan kurva (*slope*) melalui Persamaan (29) (Hinze dkk., 2013).

$$z(k) = \frac{|slope|}{4\pi} \quad (29)$$

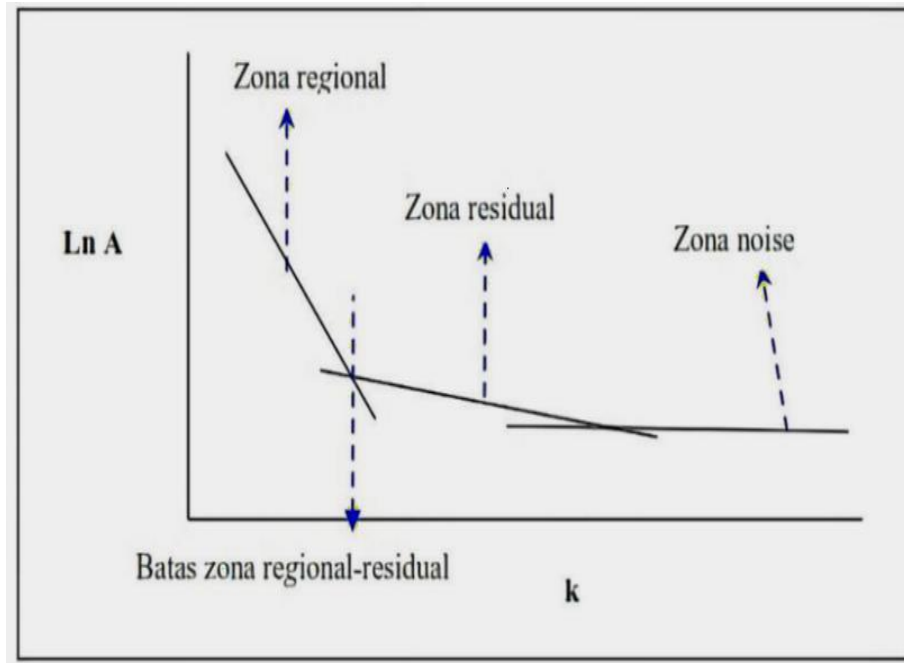
Hubungan antara nilai λ dan Δx diperoleh dari Persamaan (30)

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{2\pi}{N\Delta x} \quad (30)$$

Nilai Δx setara dengan λ . Terdapat faktor tambahan, yang dikenal sebagai konstanta pengali, yang ikut menentukan nilai Δx , oleh karena itu, rumusnya menjadi $\lambda = N\Delta x$, dimana N merupakan lebar jendela, jadi lebar jendela dapat dinyatakan melalui Persamaan (31).

$$N = \frac{2\pi}{kc\Delta x} \quad (31)$$

Jarak spasial dalam transformasi Fourier dilambangkan sebagai Δx , sedangkan kc merupakan bilangan gelombang batas. Nilai k yang semakin besar mencerminkan frekuensi lebih tinggi. Hubungan bilangan gelombang k dengan frekuensi f dinyatakan sebagai $k = 2\pi f$, di mana frekuensi sangat rendah berasal dari sumber anomali regional, sementara frekuensi tinggi menunjukkan sumber anomali residual.



Gambar 10. Grafik hubungan antara $\ln A$ dan k (Blakely, 1996).

3.7. Filter *Upward Continuation*

Prinsip *upward continuation* adalah memindahkan data anomali dari bidang pengukuran ke bidang yang lebih tinggi untuk melemahkan efek sumber dangkal dan menonjolkan respon sumber yang lebih dalam, sehingga membantu pemisahan anomali regional dan residual (Fedi dkk., 1999). Filter *upward continuation* ini dapat dijabarkan dalam Persamaan (32).

$$U(x', y', z_0 - h) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{\frac{h}{2\pi}}{\{(x-x')^2 + (y-y')^2 + h^2\}^{\frac{3}{2}}} U(x, y, z_0) dx dy \quad (32)$$

Nilai medan potensial pada titik di bidang hasil *upward continuation* dilambangkan sebagai $U(x', y', z_0 - h)$, yaitu pada ketinggian di atas bidang pengukuran awal. Nilai ini diperoleh berdasarkan medan potensial asli $U(x, y, z_0)$ yang telah diketahui terlebih dahulu pada permukaan pengukuran sebenarnya. Dalam praktiknya, *upward continuation* umumnya diterapkan pada data *grid* reguler dengan transformasi Fourier, sementara untuk data di permukaan tidak rata atau berbentuk titik-titik berserakan digunakan metode alternatif seperti *spline* yang lebih stabil terhadap ketidakteraturan data (Wang, 2006). Penerapan utamanya meliputi pemisahan anomali regional dan residual, penghalusan data dari pengaruh *noise* dangkal, serta estimasi kedalaman

sumber anomali melalui analisis perubahan amplitudo pada berbagai elevasi. Namun demikian, metode ini memiliki keterbatasan seperti efek tepi pada area data terbatas dan perlunya pemilihan elevasi yang tepat agar informasi sumber dalam tidak hilang (Zeng dkk., 2007).

3.8. FHD (*First Horizontal Derivative*)

FHD (*First Horizontal Derivative*) menggambarkan perubahan nilai anomali gayaberat secara horizontal antara dua titik yang terpisah jarak tertentu. Metode ini menghasilkan pola berupa nilai maksimum dan minimum yang umumnya berada tepat di sekitar batas luar sumber anomali. Karena karakteristik tersebut, FHD dimanfaatkan untuk menentukan batas-batas struktur geologi berdasarkan data anomali gayaberat. Nilai FHD dapat dihitung melalui Persamaan (33) (Blakely, 1996).

$$FHD = \sqrt{\left(\frac{\partial \Delta g}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial \Delta g}{\partial y}\right)^2} \quad (33)$$

Turunan pertama dari variasi gayaberat terhadap sumbu x dan y, yaitu $\frac{\partial \Delta g}{\partial x}$ dan $\frac{\partial \Delta g}{\partial y}$. Satuan yang digunakan adalah mGal/m.

3.9. SVD (*Second Vertical Derivative*)

SVD (*Second Vertical Derivative*) merupakan filter dalam metode potensial yang berfungsi untuk menonjolkan anomali residual yang berasal dari sumber dangkal. SVD umumnya memperlihatkan pola kelengkungan yang berkaitan dengan anomali sisa. Nilai SVD dapat diperoleh dari turunan FHD karena medan potensial gayaberat mengikuti Persamaan Laplace (Blakely, 1996).

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

atau:

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

Second vertical derivative dirumuskan dalam Persamaan (36).

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

Titik nol dari turunan kedua anomali Bouguer ditafsirkan sebagai batas antara batuan dengan kontras densitas yang berbeda, yang mengindikasikan adanya struktur patahan atau intrusi (Sarkowi, 2010). Koefisien *filter* SVD (Turunan Vertikal Kedua) dijabarkan lebih lanjut pada Tabel 3.

Tabel 3. Koefisin filter *Second Vertical Derivative* berdasarkan beberapa metode (Sarkowi, 2014).

Henderson dan Zietz (1949)				
0,0000	0,0000	-0,0838	0,0000	0,0000
0,0000	1,0000	-2,6667	1,0000	0,0000
-0,0838	-2,6667	17,0000	-2,6667	-0,0838
0,0000	1,0000	-2,6667	1,0000	0,0000
0,0000	0,0000	-0,0838	0,0000	0,0000
Rosenbach (1953)				
0,0000	0,0416	0,0000	0,0416	0,0000
0,0416	-0,3332	-0,7500	-0,3332	0,0416
-0,0833	-0,7500	4,0000	-0,7500	-0,0833
0,0416	-0,3332	-0,7500	-0,3332	0,0416
0,0000	0,0416	0,0000	0,0416	0,0000
Elkins (1951)				
0,0000	-0,0833	0,0000	-0,0833	0,0000
-0,0833	-0,0667	-0,0334	-0,0667	-0,0833
0,0000	-0,0334	1,0668	-0,0334	0,0000
-0,0833	-0,0667	-0,0334	-0,0667	-0,0833
0,0000	-0,0833	0,0000	-0,0833	0,0000

Untuk menentukan jenis sesar, apakah termasuk sesar normal atau sesar naik, dapat dilakukan dengan menganalisis nilai absolut SVD minimum dan SVD maksimum. Penentuan ini mengacu pada kriteria yang telah ditetapkan (Zaenudin dan Yulistina, 2018). Adapun kriteria tersebut adalah sebagai berikut.

1. Jika nilai minimum $|SVD|$ lebih kecil dari nilai maksimum $|SVD|$, maka menunjukkan sesar normal atau turun.
2. Jika nilai minimum $|SVD|$ lebih besar dari nilai maksimum $|SVD|$, maka menunjukkan sesar naik (*reverse*).
3. Jika nilai minimum $|SVD|$ sama dengan nilai maksimum $|SVD|$, maka menunjukkan sesar mendatar (*strike-slip*).

3.10. Pemodelan Gayaberat

Pemodelan gayaberat dapat dilakukan melalui pendekatan inversi atau maju (*forward*), di mana menurut Grandis (2009), hubungan rumit antara data dan parameter model sering menyulitkan proses sehingga memerlukan dukungan data geologi atau geofisika lain. Teknik inversi pada dasarnya adalah proses interpretasi otomatis yang secara sistematis mencocokkan hasil perhitungan dengan pengukuran lapangan, dengan langsung menyimpulkan parameter model dari data tersebut untuk menghasilkan simulasi yang presisi. Disebut juga sebagai proses penyesuaian data (*data fitting*), inversi ini fokus pada penemuan parameter yang paling tepat guna mereplikasi respons lapangan secara akurat, di mana derajat keselarasannya diukur lewat fungsi objektif yang terus diminimalkan demi model paling unggul, memanfaatkan titik minimumnya sebagai patokan utama penentu parameter. Model tersebut kemudian diperbaiki secara iteratif hingga hasilnya benar-benar berimpit dengan data pengamatan (Sarkowi, 2014).

IV. METODOLOGI PENELITIAN

4.1. Waktu dan Tempat Penelitian

penelitian tugas akhir ini dilakukan di:

Tempat : Laboratorium Pengolahan dan Pemodelan Data Geofisika, Jurusan
Teknik Geofisika, Universitas Lampung

Alamat : Jl. Prof. Sumantri Brojonegoro No. I, Gedong Meneng, Kecamatan
Rajabasa, Kota Bandar Lampung, Lampung 35142

Waktu : Oktober 2025 – April 2026

4.2. Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 4 dan Tabel 5.

Tabel 4. Data penelitian

Data	Fungsi
Data <i>gravity acceleration</i> GGMplus	Data ini berupa nilai Gobservasi yang digunakan dalam pengolahan.
Data elevasi ERTM2160	Data ini berupa nilai elevasi dari titik grid data gayaberat yang digunakan dalam pengolahan.
Data SRTM (<i>Shuttle Radar Topography Mission</i>)	Data DEM yang digunakan untuk melakukan <i>terrain correction</i> atau koreksi <i>terrain</i> .
Peta Lembar Geologi	Sebagai acuan geologi wilayah penelitian untuk melakukan korelasi dengan hasil SVD. Peta ini bersumber dari Peta Geologi Lembar Solok P. H. Silitonga dan Kastowo, (1995).

Tabel 5. *Hardware* dan *Software* yang digunakan dalam penelitian

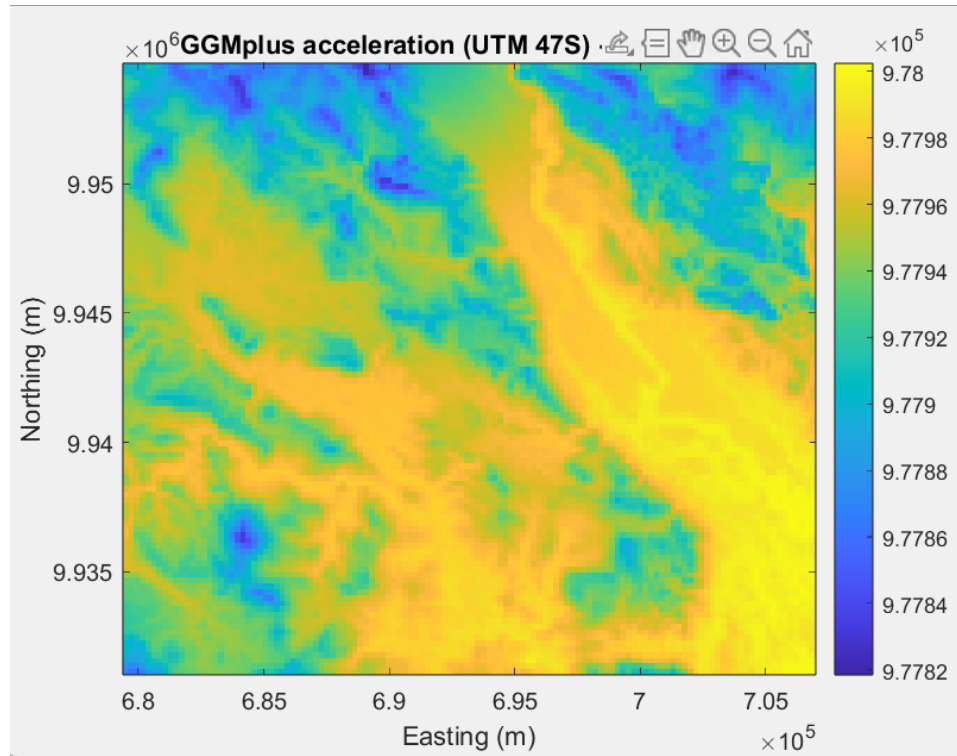
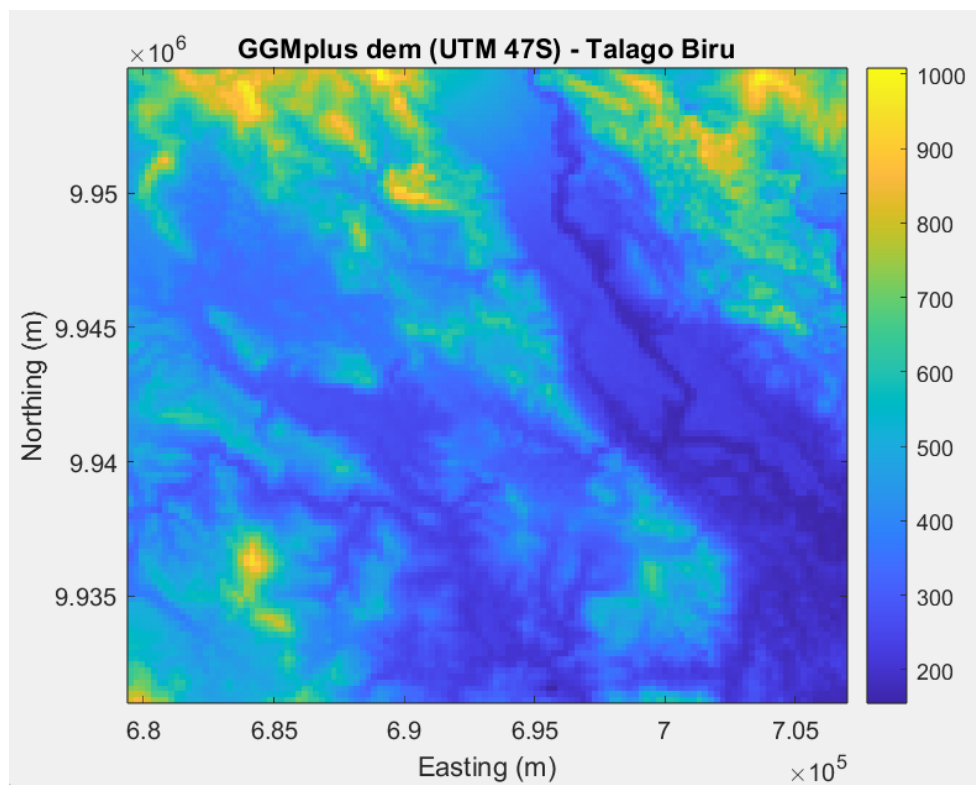
<i>Software</i>	Fungsi
Laptop	Digunakan dalam pengolahan data penelitian
Matlab R2023a	Digunakan untuk ekstraksi data GGMplus
<i>Google Earth Pro</i>	Digunakan untuk menentukan luas area penelitian sekaligus mengecek koordinat lokasi penelitian
<i>Microsoft Excel</i>	Dimanfaatkan dalam pengolahan data gayaberat, termasuk penerapan koreksi serta pembuatan grafik hubungan FHD dan SVD
<i>Oasis Montaj</i>	Digunakan untuk memilah anomali regional dari anomali residual sekaligus menjalankan analisis SVD
<i>ArcGIS 10.8</i>	Digunakan untuk menyusun peta lokasi penelitian dan peta geologi
<i>Grablox dan Bloxer</i>	Diterapkan pada tahap pemodelan tiga dimensi bawah permukaan

4.3. Prosedur Penelitian

Langkah-langkah penelitian yang diterapkan dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut.

4.3.1. Pengumpulan Data

Penelitian ini memanfaatkan data gayaberat satelit GGMplus, data DEM, serta peta geologi regional yang meliputi area Talago Biru, Sumatera Barat. Data DEM berperan penting sebagai informasi topografi dan digunakan dalam proses koreksi medan untuk memperhitungkan pengaruh relief permukaan terhadap nilai anomali gayaberat. Data gayaberat GGMplus diunduh berdasarkan koordinat geografis wilayah penelitian dalam format .ga dengan kode S05E100.ga, yang mencakup Lintang Selatan -5° hingga 0° dan Bujur Timur 100° hingga 105° . Data tersebut kemudian diekstraksi menggunakan Matlab R2023a. Data DEM dengan kode S05E100.dem juga diunduh dan diproses dengan cara serupa untuk memperoleh nilai distribusi yang diperlukan. Hasil ekstraksi berupa nilai distribusi *gravity* observasi ditampilkan pada Gambar 11 dan hasil ekstraksi data DEM ditampilkan pada Gambar 12.

Gambar 11. Data *gravity* observasi GGMplus.

Gambar 12. Data elevasi GGMplus.

Peta Geologi Lembar Solok yang disusun Silitonga dan Kastowo (1995) digunakan dalam penelitian ini. Peta tersebut menjadi rujukan utama untuk tahap interpretasi dan analisis hasil pengolahan data gayaberat.

4.3.2. Koreksi Bouguer

Koreksi Bouguer merupakan proses penyesuaian yang memperhitungkan efek gravitasi dari massa batuan yang berada di antara titik pengukuran dan permukaan laut, dengan asumsi bahwa titik observasi terletak pada bidang datar yang sangat luas, memiliki ketebalan tertentu, serta densitas batuan yang spesifik. Pengolahan koreksi ini dilakukan melalui aplikasi *Microsoft Excel*, di mana nilai densitas (ρ) sebesar 2,53 gr/cc diperoleh dari perhitungan metode Paransis, sementara nilai elevasi (h) diambil dari data *Digital Elevation Model* (DEM). Penerapan koreksi Bouguer ini bertujuan utama untuk menghasilkan Anomali Bouguer Sederhana (ABS), yang diperoleh dengan mengurangkan Anomali Udara Bebas terhadap hasil koreksi Bouguer tersebut. Hasil akhir dari proses pengolahan koreksi Bouguer dapat dilihat pada Gambar 13.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
1	No	Longitude	Latitude	X	Y	GravObs	Tinggi	TC1 (airbone)	Latitude(radians)	G-Lintang	FAC	FAA	BC	BC(2.53)	SBA	TC (2.53)	CBA
2	1	100.613	-0.623	679499.842	9931112.276	977868.1	816	1.7084	-0.010873401	978033.31	251.8176	86.6071706	34.20672	86.5430016	0.064169019	4.32	4.39
3	2	100.613	-0.621	679499.910	9931333.424	977876.4	780	1.62	-0.010838495	978033.307	240.708	83.8014835	32.6976	82.724928	1.076555466	4.10	5.18
4	3	100.613	-0.619	679499.977	9931554.573	977887.9	724	1.357	-0.010803588	978033.303	223.4264	78.0237837	30.35008	76.7857024	1.238081334	3.43	4.67
5	4	100.613	-0.617	679500.044	9931775.721	977901.8	653	1.0228	-0.010768681	978033.299	201.5158	70.0170714	27.37376	69.2556128	0.761458622	2.59	3.35
6	5	100.613	-0.615	679500.111	9931996.870	977905.6	642	0.9233	-0.010733775	978033.295	198.1212	70.4263465	26.91264	68.0889792	2.337367331	2.34	4.67
7	6	100.613	-0.613	679500.178	9932218.018	977905.2	645	1.0115	-0.010698868	978033.291	199.047	70.9560091	27.0384	68.407152	2.54885706	2.56	5.11
8	7	100.613	-0.611	679500.244	9932439.167	977910.2	617	1.1488	-0.010663962	978033.287	190.4062	67.319059	25.86464	65.4375392	1.88151981	2.91	4.79
9	8	100.613	-0.609	679500.311	9932660.316	977919.9	572	0.7554	-0.010629055	978033.283	176.5192	63.1358964	23.97824	60.6649472	2.47094918	1.91	4.38
10	9	100.613	-0.607	679500.377	9932881.464	977922.4	563	0.5719	-0.010594149	978033.279	173.7418	62.8623212	23.60096	59.7104288	3.15189237	1.45	4.60
11	10	100.613	-0.605	679500.443	9933102.613	977920.8	572	0.3969	-0.010559242	978033.276	176.5192	64.0435334	23.97824	60.6649472	3.378586181	1.00	4.38
12	11	100.613	-0.603	679500.508	9933323.761	977923.4	560	0.3388	-0.010524335	978033.272	172.816	62.944133	23.4782	59.392256	3.551877012	0.86	4.41
13	12	100.613	-0.601	679500.574	9933544.910	977923.2	562	0.3125	-0.010489429	978033.268	173.4332	63.3651201	23.55904	59.6043712	3.760748863	0.79	4.55
14	13	100.613	-0.599	679500.639	9933766.058	977925.6	551	0.3135	-0.010454522	978033.264	170.0386	62.3742945	23.09792	58.4377376	3.936556934	0.79	4.73
15	14	100.613	-0.597	679500.704	9933987.207	977930.4	528	0.3666	-0.010419616	978033.261	162.9408	60.0802564	22.13376	55.9984128	4.081843626	0.93	5.01
16	15	100.613	-0.595	679500.769	9934208.355	977931.8	521	0.338	-0.010384709	978033.257	160.7806	59.3238057	21.84032	55.2560096	4.067796138	0.86	4.92
17	16	100.613	-0.593	679500.833	9934429.504	977934.2	508	0.3926	-0.010349802	978033.253	156.7688	57.7157425	21.29536	53.8772608	3.83848167	0.99	4.83
18	17	100.613	-0.591	679500.898	9934650.652	977935.2	503	0.4666	-0.010314896	978033.249	155.2258	57.1764666	21.08576	53.3469728	3.829493822	1.18	5.01
19	18	100.613	-0.589	679500.962	9934871.801	977946.4	442	1.0279	-0.010279989	978033.245	136.4012	49.5555782	18.52864	46.8774592	2.678118994	2.60	5.28
20	19	100.613	-0.587	679501.026	9935092.949	977959.1	370	1.2477	-0.010245083	978033.242	114.182	40.0400772	15.5104	39.241312	0.798765186	3.16	3.96
21	20	100.613	-0.585	679501.089	9935314.098	977961.8	358	0.9928	-0.010210176	978033.238	110.4788	39.0405636	15.00736	37.9686208	1.071942799	2.51	3.58
22	21	100.613	-0.583	679501.153	9935535.246	977961.9	361	1.1128	-0.01017527	978033.235	111.4046	40.0700374	15.13312	38.2867936	1.783243832	2.82	4.60
23	22	100.613	-0.581	679501.216	9935756.395	977961.9	364	0.9163	-0.010140363	978033.231	112.3304	40.9994987	15.25888	38.6049664	2.394532285	2.32	4.71
24	23	100.613	-0.579	679501.279	9935977.544	977961.9	366	0.7571	-0.010105456	978033.227	112.9476	41.6203474	15.34272	38.8170816	2.803265758	1.92	4.72
25	24	100.613	-0.577	679501.342	9936198.692	977964.9	350	1.0209	-0.01007055	978033.224	108.01	39.6863835	14.672	37.12016	2.566223451	2.58	5.15
26	25	100.613	-0.575	679501.405	9936419.841	977969.1	325	1.2007	-0.010035643	978033.22	100.295	36.175007	13.624	34.46872	1.706286964	3.04	4.74

Gambar 13. Pengolahan data koreksi Bouguer.

4.3.3. Penentuan Densitas Batuan Rata-rata

Densitas batuan adalah parameter fisis penting dalam metode gayaberat, dan nilai densitas rata-rata area studi diperlukan untuk menghitung anomali Bouguer. Estimasi densitas rata-rata dalam riset ini menggunakan metode Parasnis. Prosesnya grafik dibuat di *Excel* dengan FAA di sumbu Y dan BC di sumbu X. Setelah ditarik garis regresi melalui titik nol, kemiringan garis akan mendekati nilai densitas (ρ). Dari sini, diperoleh nilai Anomali Bouguer Sederhana (ABS).

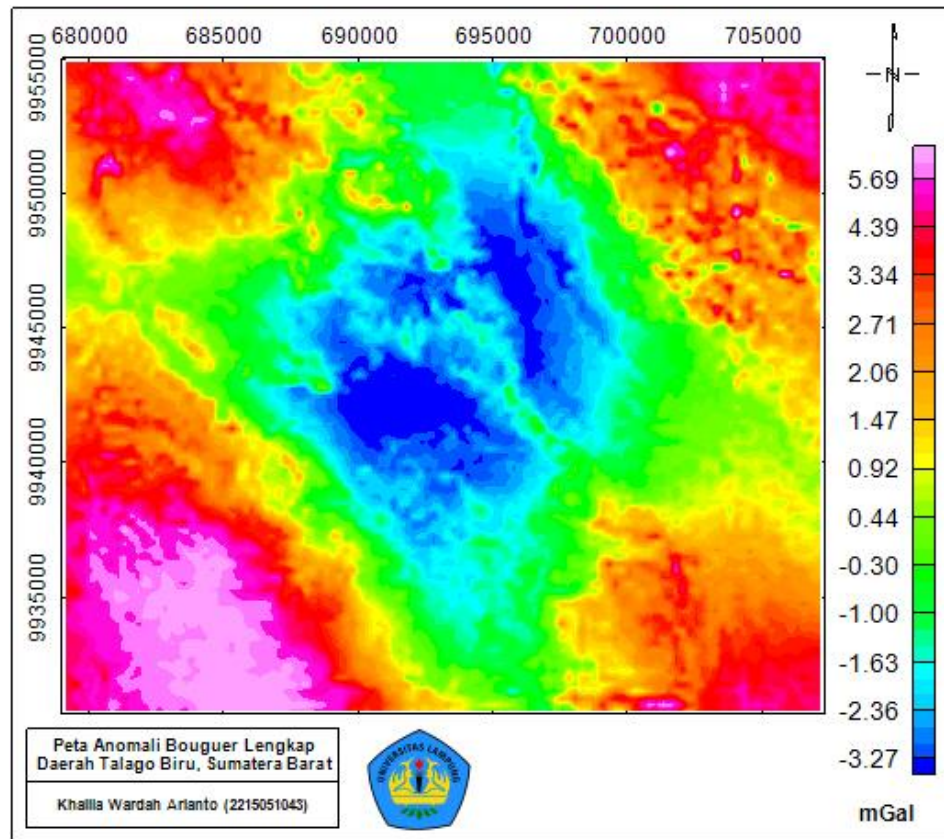
4.3.4. Koreksi Medan

Koreksi medan dilakukan untuk menghilangkan dampak dari perbedaan ketinggian yang ada di area penelitian. Perbedaan bentuk permukaan ini memengaruhi hasil pengukuran gayaberat melalui penambahan atau pengurangan gaya tarik massa batuan. Sebagai contoh, keberadaan lembah dapat menurunkan nilai percepatan gayaberat, sedangkan bukit akan meningkatkan nilainya. Koreksi medan dihitung berdasarkan data koordinat dan elevasi dari DEM menggunakan *software Global Mapper 20*.

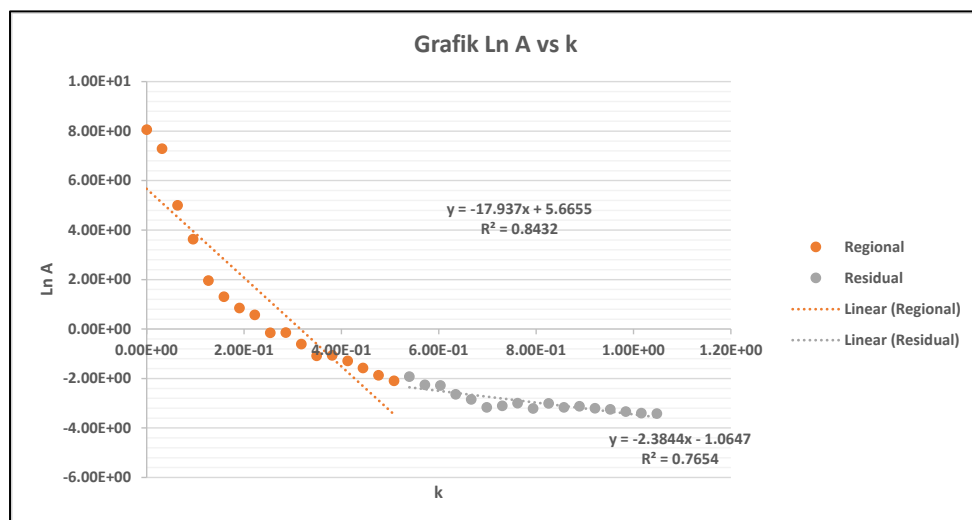
4.3.5. Anomali Bouguer Lengkap

Setelah proses koreksi gayaberat selesai dilakukan secara menyeluruh, diperoleh Anomali Bouguer Lengkap yang merupakan penjumlahan Anomali Bouguer Sederhana (ABS) dengan koreksi medan (*terrain correction*). Data lengkap tersebut kemudian diproses melalui metode *gridding* pada perangkat lunak Oasis Montaj guna menghasilkan peta kontur Anomali Bouguer Lengkap, seperti yang ditampilkan pada Gambar 14.

Tahap berikutnya analisis *Radially Average Power Spectrum* (RAPS) guna memperkirakan kedalaman sumber anomali. Evaluasi dilakukan melalui pemeriksaan grafik korelasi $\ln A$ dengan bilangan gelombang. Kedalaman objek selanjutnya diturunkan dari kemiringan (*slope*) yang muncul pada grafik tersebut.



Gambar 14. Kontur anomali Bouguer lengkap untuk RAPS.



Gambar 15. Grafik $\ln A - k$ daerah penelitian.

Grafik hubungan antara $\ln A$ dan k (Gambar 15) dimanfaatkan untuk menentukan kedalaman anomali regional serta residual berdasarkan Persamaan garis tren. Nilai gradien dari grafik tersebut mencerminkan kedalaman masing-masing anomali.

4.3.6. Pemisahan Anomali

Anomali Bouguer Lengkap masih mencakup anomali regional dan anomali residual, sehingga pemisahan keduanya wajib dilakukan. Penelitian ini memisahkan anomali dengan acuan nilai panjang gelombang menggunakan metode *upward continuation*. Metode ini membuat data potensial diolah seolah diukur di ketinggian yang lebih tinggi, yang menyebabkan anomali sumber dangkal tereduksi dan anomali sumber dalam (regional) menjadi jelas. Anomali residual kemudian dihitung dengan mengurangi anomali regional dari ABL.

4.3.7. Analisis Derivatif

Analisis ini menerapkan metode *First Horizontal Derivative* (FHD) dan *Second Vertical Derivative* (SVD) guna mendeteksi batas-batas struktur bawah permukaan. Peta serta grafik anomali dari hasil FHD digunakan untuk mengidentifikasi batas struktur sekunder berdasarkan pola distribusi nilai anomalnya. Sementara itu, analisis SVD menghasilkan grafik dan peta anomali yang digunakan untuk menginterpretasikan keberadaan struktur sekunder dari pola anomali yang terbentuk.

4.3.8. Pemodelan Inversi Bawah Permukaan

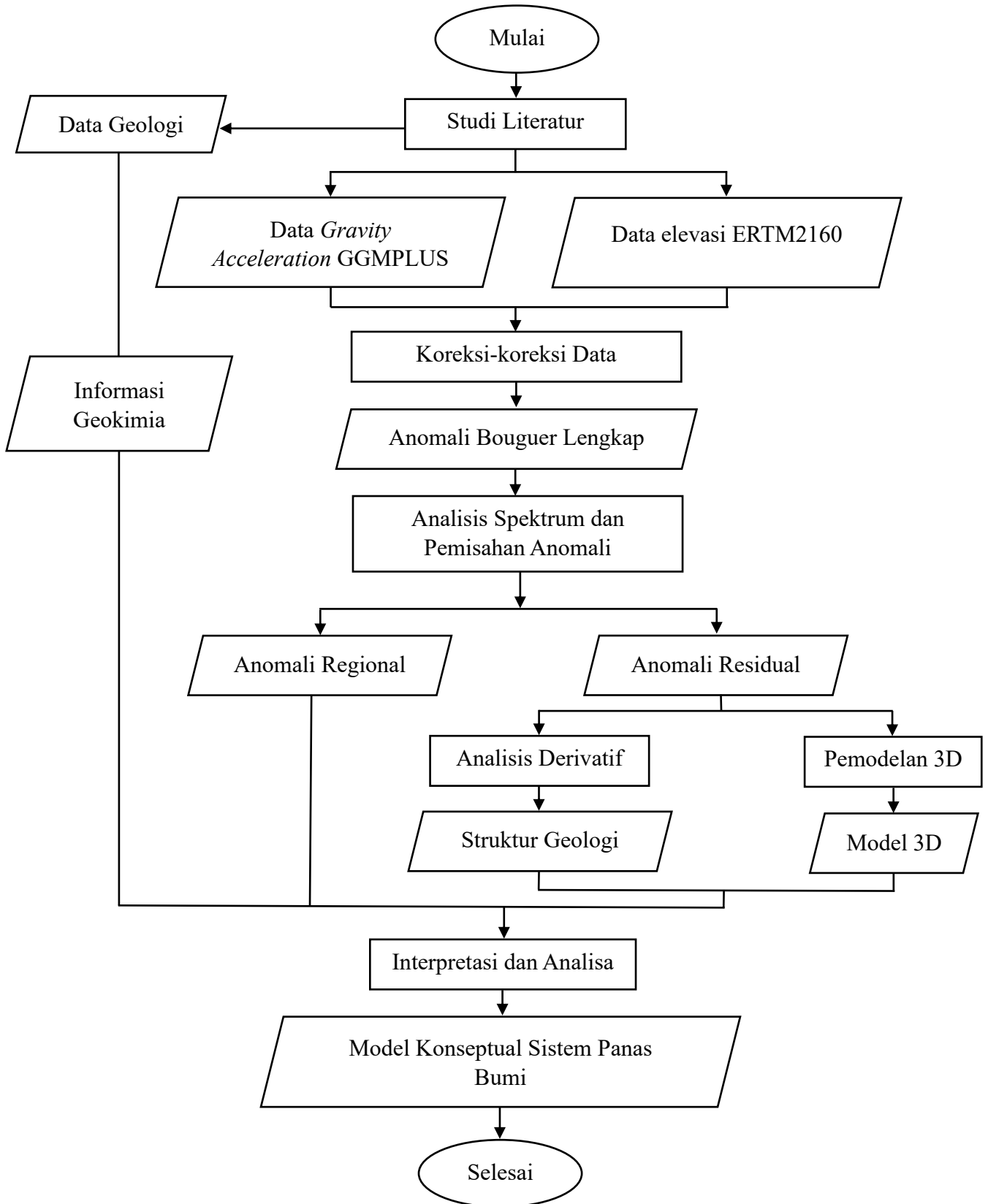
Penelitian ini melakukan pemodelan tiga dimensi struktur bawah permukaan melalui proses *inverse modeling*, dibantu oleh perangkat lunak Geosoft Oasis Montaj dan Grablox. Data yang digunakan berupa parameter serta anomali residual yang kemudian diolah untuk menghasilkan visualisasi kondisi geologi bawah permukaan dalam bentuk 3D. Model tersebut selanjutnya disesuaikan secara bertahap hingga mendekati kondisi aktual. Hasil pemodelan ini memungkinkan penentuan posisi serta sebaran zona reservoir dan sumber panas, yang menjadi elemen kunci dalam sistem panas bumi di area penelitian.

4.4. Jadwal Kegiatan

Rincian jadwal kegiatan dari penelitian tugas akhir ini dapat diamati pada Tabel 6.

4.5. Diagram Alir

Diagram alir pada penelitian ini adalah sebagai berikut pada Gambar 16.



Gambar 16. Diagram Alir

VI. KESIMPULAN DAN SARAN

6.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengolahan dan analisis data, dapat disimpulkan sebagai berikut.

1. Distribusi anomali Bouguer lengkap di daerah Talago Biru berada pada rentang -3,27 hingga 5,69 mGal. Zona anomali rendah (-3,27 hingga -1,00 mGal) terletak di sekitar manifestasi panas bumi dan diinterpretasikan sebagai batuan berdensitas rendah yang berkaitan dengan jalur struktur sesar. Sementara itu, anomali tinggi (1,65 hingga 5,69 mGal) menunjukkan keberadaan batuan berdensitas tinggi seperti batuan vulkanik atau intrusi.
2. Identifikasi struktur geologi melalui analisis FHD dan SVD pada penampang A–A', B–B', dan C–C' menunjukkan adanya enam indikasi sesar yang didominasi oleh sesar turun. Pada penampang A–A' teridentifikasi tiga sesar turun, penampang B–B' dua sesar turun, dan penampang C–C' satu sesar naik. Struktur ini berperan sebagai jalur permeabilitas yang mendukung migrasi fluida hidrotermal dalam sistem panas bumi Talago Biru.
3. Interpretasi anomali gayaberat dalam pemodelan sistem panas bumi yang ditunjukkan dengan Gambar 32 menunjukkan adanya zona berdensitas rendah (1,97–2,45 gr/cc) yang diinterpretasikan sebagai reservoir, tersusun oleh batuan vulkanik teralterasi seperti tuf basal, tuf batuapung, serta satuan sedimen Formasi Brani, Sangkarewang, dan Ombilin. Sementara itu, zona berdensitas tinggi (2,98–3,02 gr/cc) tidak lagi berperan sebagai sumber panas aktif, melainkan sebagai batuan dasar (*basement*) berupa intrusi tua seperti granit, kuarsa porfir, diorit kuarsa, dan granodiorit yang telah

mengalami pendinginan. Sistem panas bumi ini dikontrol oleh struktur sesar, terutama sesar turun yang berfungsi sebagai jalur sirkulasi fluida hidrotermal, dengan manifestasi yang muncul pada zona *upflow*.

6.2. Saran

Hasil penelitian ini menunjukkan perlunya penelitian lanjutan yang mengintegrasikan metode geofisika lain seperti magnetotellurik atau geolistrik untuk memperoleh gambaran kondisi bawah permukaan yang lebih komprehensif, khususnya untuk mengidentifikasi zona *caprock*. Selain itu, penelitian lanjutan juga dapat difokuskan pada pemodelan bawah permukaan yang lebih rinci dan integrasi dengan data geologi regional, sehingga interpretasi sistem panas bumi di daerah Talago Biru dapat dipahami dengan lebih menyeluruh.

DAFTAR PUSTAKA

- Basid, A., Andrini, N., dan Arfiyaningsih, S. (2014). Pendugaan reservoir sistem panas bumi dengan menggunakan survey geolistrik, resistivitas dan self potensial (studi kasus: daerah manifestasi panas bumi di desa lombang, kecamatan batang-batang, sumenep). *Jurnal Neutrino: Jurnal Fisika dan Aplikasinya*, 7(1), 57-70. <https://doi.org/10.18860/neu.v7i1.2640>
- Blakely, R. J. (1996). *Potential Theory in Gravity and Magnetic Applications*. Cambridge University Press.
- Bosy, R. S. (2016). Analisis gravitasi untuk menentukan struktur geologi dan analisis petroleum system cekungan Barito, daerah Tanjung area, Kalimantan Selatan. *Bachelor's Thesis*. Universitas Trisakti.
- Brotopuspito, K.S. (2001). *Teori dan Aplikasi Metode Gravitasi*. Universitas Gadjah Mada.
- Dickson, M. H., dan Fanelli, M. (2004). *What is geothermal energy?* Istituto di Geoscienze e Georisorse.
- Djudjun, A. (2005). Penyelidikan Gayaberat Daerah Panas bumi Sipoholon Tarutung Kabupaten Tapanuli Utara Provinsi Sumatera Utara. *Pemaparan Hasil Kegiatan Lapangan Subdit Panas bumi*. Pusat Sumber Daya Geologi.
- Fajriani, N. (2018). Analisis Pola-Pola Sesar Di Pulau Sulawesi Dengan Menggunakan Data Gempa (Studi Kasus 1977-2017). *Skripsi*. Fakultas Sains Dan Teknologi Uin Alauddin Makassar.
- Fedi, M., Rapolla, A., dan Russo, G. (1999). *Upward continuation of scattered potential field data*. *Geophysics*, 64(2), 463-469. <https://doi.org/10.1190/1.1444549>
- Grandis, H. (2009). *Pengantar Pemodelan Inversi Geofisika*. Himpunan Ahli Geofisika Indonesia.
- Hakim, A. F., Krismadiana, K., Sholihah, F., Ismawati, R., & Dewantari, N. (2023). Potensi dan pemanfaatan energi panas bumi di Indonesia. *Indonesian Journal of Conservation*, 11(2), 71-77. <https://doi.org/10.15294/ijc.v11i2.40599>

- Hidayat, H., Putra, A., dan Pujiastuti, D. (2021). Identifikasi sebaran anomali magnetik pada daerah prospek panas bumi Nagari Aie Angek, Kabupaten Tanah Datar. *Jurnal Fisika Unand*, 10(1), 48-54. <https://doi.org/10.25077/jfu.10.1.48-54.2021>
- Hinze, W. J., von Frese, R. R. B., & Saad, A. H. (2013). *Gravity and magnetic exploration: Principles, practices, and applications*. Cambridge University Press
- Hirt, C., Claessens, S., Fecher, T., Kuhn, M., Pail, R., dan Rexer, M. (2013). New ultrahigh-resolution picture of Earth's gravity field. *Geophysical research letters*, 40(16), 4279-4283. <https://doi.org/10.1002/grl.50838>
- Hochstein, M. P. (1990). *Classification and assessment of geothermal resources*. Small Geothermal Resources: A Guide to Development and Utilization.
- Ibrahim, G., Subardjo, Sendjaja P. (2010). *Tektonik Dan Mineral Di Indonesia*. Badan Meteorologi Klimatologi Dan Geofisika.
- Jumransyah, Sunaryo, dan Wasis. (2014). Pendugaan Struktur Bawah Permukaan Gunungapi Kelud Berdasarkan Survei Gayaberat. *Physics Student Journal*, 2(1), 38-42.
- Kastowo, L. G., Gafoer, S., dan Amin, T. C. (1996). *Geological map of the Padang quadrangle, Sumatra*. Geological Survey of Indonesia.
- KESDM (Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral). (2017). *Potensi Panas Bumi Indonesia Jilid 1*. Direktorat Panas Bumi.
- Koesoemadinata, R. P., dan Matasak, T. (1981). *Stratigraphy and sedimentation: ombilin basin, central sumatra (west sumatra province)*. American Association of Petroleum Geologists.
- Longman, I. M. (1959). Formulas for computing the tidal accelerations due to the Moon and the Sun. *Journal of Geophysical Research*, 64(12), 2351-2355. <https://doi.org/10.1029/JZ064i012p02351>
- Lontoh, T., Taunamang, H., dan Polii, J. (2022). Analisis karakteristik fluida dan estimasi temperatur reservoir menggunakan geoindikator Na–K–Mg di Kecamatan Tompasso Baru. *Jurnal FisTa: Fisika dan Terapannya*, 3(2), 80–86.
- Maulana, I. (2012). Analisis 4D mikrogravity dan gradien vertikal 4D mikrogravity (Studi kasus amblesan semarang). *Tesis*. Universitas Indonesia.
- Niroha, O., Putra, A., dan Pohan, A. F. (2021). Pemodelan Struktur Bawah Permukaan Menggunakan Metode Seismik Refraksi Pada Prospek Panas bumi Nagari Aie Angek, Kabupaten Tanah Datar. *Jurnal Fisika Unand*, 10(4), 525-531.

- Octonovrilna, L., dan Pudja, I. P. (2009). Analisa Perbandingan Anomali Gravitasi dengan persebaran intrusi air asin (Studi kasus Jakarta 2006-2007). *Jurnal Meteorologi dan Geofisika*, 10(1), 39 – 57. <https://doi.org/10.31172/jmg.v10i1.32>
- Polanunu, K. K., Hutabarat, J., Haryanto, D., dan Gentana, D. (2021). Karakteristik dan temperatur bawah permukaan fluida panas bumi Gunung Slamet dan sekitarnya, Jawa Tengah. *Jurnal Geominera*, 6(2), 87–97.
- Refiani, S. A., Pohan, A. F., dan Putra, A. (2023). Interpretasi Sebaran Anomali Magnetik di Daerah Prospek Panas bumi Sumani, Sumatera Barat. *Jurnal Fisika Unand*, 12(3), 388-394. <https://doi.org/10.25077/jfu.12.3.387-393.2023>
- Reynolds, J. M. (2011). *An Introduction to Applied dan Environmental Geophysics*. John Wiley dan Sons.
- Romadhani, R. D. (2019). Geologi Daerah Bukitbual Dan Sekitarnya Kecamatan Koto Vii Kabupaten Sijunjung Sumatera Barat Dan Potensi Sumberdaya Panas bumi Daerah Talago Biru Kecamatan Padang Ganting Kabupaten Tanah Datar Sumatera Barat. *Skripsi*. Universitas Pakuan.
- Rusmilawati, D., Djayus, D., dan Lepong, P. (2019). Studi Mekanisme Sumber Gempabumi di Wilayah Kalimantan Berdasarkan Gerak Awal Gelombang P. *Geosains Kutai Basin*, 2(2), 1 – 9.
- Sarkowi, M. (2010). Identifikasi Struktur Daerah Panas bumi Ulubelu Berdasarkan Analisa Data SVD Anomali Bouguer. *Jurnal Sains MIPA*. 16(2), 111-118.
- Sarkowi, M. (2014). *Eksplorasi Gayaberat*. Graha Ilmu.
- Setiadi, I., Diyanti, A., dan Ardi, N. D. (2014). Interpretasi struktur geologi bawah permukaan daerah Leuwidamar berdasarkan analisis spektral data gayaberat. *Jurnal Geologi dan Sumberdaya Mineral*, 15(4), 205-214.
- Serway, R., dan Jewett, J. (2009). *Physics for scientists and engineers*. Brooks.
- Siahaan, M. N., Soebandrio, Andri., dan Wikantika, K. (2011). *Geothermal Potential Exploration Using Remote Sensing Technique (Case Study: Patuha Area, West Java)*. Asia Geospatial Forum.
- Silitonga, P. H., dan Kastowo. (1995). *Peta geologi lembar Solok, Sumatera* (Skala 1:250.000). Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.
- Suprianto, A., Priyantari, N., dan Cahyono, B. E. (2021). Correlation between GGMPlus, TOPEX and BGI gravity data in volcanic areas of Java Island. *Journal of Physics: Conference Series*, 1825(1), 1 – 6. IOP Publishing.
- Syamsuriadi. (2013). Penentuan Struktur Bawah Permukaan Kota Makassar dengan Menggunakan Metode Gayaberat (Gravity). *Skripsi*. Universitas Hasanudin.

- Untung, M. (2001). *Seri Geofisika: Dasar-Dasar Magnet dan Gayaberat Serta Beberapa Penerapannya*. Himpunan Ahli Geologi Indonesia.
- Wahyudi, E. J., Kynantoro, Y., dan Alawiyah, S. (2017). Second Vertical Derivative Using 3-D Gravity Data for Fault Structure Interpretation. *Journal of Physics: Conference Series*, 877(1), 1– 8. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/877/1/012039>
- Wang, B. (2006). 2D and 3D potential-field upward continuation using splines. *Geophysical Prospecting*, 54(3), 333–347. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2478.2006.00526.x>
- Wibowo, B. R., Yatini, Y., dan Hamdalah, H. (2017). Interpretasi Struktur Bawah Permukaan Berdasarkan Pemodelan Data Gravitasi 3D (Studi Kasus Lapangan Panas bumi Coso, California). *Unnes Physics Journal*, 6(1), 7-11.
- Zaenudin, A., dan Yulistina, S. (2018). Studi Identifikasi Struktur Geologi Bawah Permukaan Untuk Mengetahui Sistem Sesar Berdasarkan Analisis First Horizontal Derivative (FHD), Second Vertical Derivative (SVD), Dan 2, 5D Forward Modeling Di Daerah Manokwari Papua Barat. *JGE (Jurnal Geofisika Eksplorasi)*, 4(2), 173-186. <https://doi.org/10.23960/jge.v4i2.15>
- Zeng, H., Xu, D., dan Tan, H. (2007). A model study for estimating optimum upward-continuation height for gravity separation with application to a Bouguer gravity anomaly over a mineral deposit, Jilin province, northeast China. *Geophysics*, 72(4), I45-I50. <https://doi.org/10.1190/1.2719497>