

**IDENTIFIKASI STRUKTUR BAWAH PERMUKAAN DAN
PEMODELAN 3D BERDASARKAN ANALISIS DATA
GAYABERAT PADA DAERAH PANAS BUMI WKP RANAU**

(Skripsi)

Oleh
Andiko Pratama
1815051018



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2024**

**IDENTIFIKASI STRUKTUR BAWAH PERMUKAAN DAN
PEMODELAN 3D BERDASARKAN ANALISIS DATA
GAYABERAT PADA DAERAH PANAS BUMI WKP RANAU**

**Oleh
Andiko Pratama**

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

Pada

**Jurusan Teknik Geofisika
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2024**

ABSTRAK

IDENTIFIKASI STRUKTUR BAWAH PERMUKAAN DAN PEMODELAN 3D BERDASARKAN ANALISIS DATA GAYABERAT PADA DAERAH PANAS BUMI WKP RANAU

Oleh
ANDIKO PRATAMA

Perkembangan struktur geologi di Pulau Sumatera dipengaruhi oleh aktivitas tektonik antara Lempeng Hindia-Australia dan Lempeng Eurasia, yang menghasilkan subduksi dan gaya kompresi. Proses ini membentuk pola gunung api aktif dan kompleksitas geologi di Pulau Sumatera. Potensi panas bumi di Pulau Sumatera, khususnya di WKP Danau Ranau, dipengaruhi oleh struktur geologi di daerah tersebut. Penelitian ini menggunakan metode second vertical derivative (SVD) dan pemodelan 3D data gaya berat untuk mengidentifikasi struktur bawah permukaan. Tujuan penelitian ini adalah menentukan kedalaman anomali regional dan residual, menganalisis struktur patahan dari hasil FHD dan SVD, serta menganalisis struktur geologi bawah permukaan berdasarkan pemodelan 3D. Hasil penelitian menunjukkan nilai rata-rata anomali Bouguer regional sebesar 2.741 meter dan residual sebesar 271,59 meter. Analisis derivative mengidentifikasi enam patahan pada jarak tertentu, dengan perubahan bidang kontak pada kurva anomali FHD yang mencerminkan nilai maksimum dan minimum. Lokasi reservoir panas bumi ditemukan di antara Danau Ranau dan Gunung Seminung pada kedalaman 1000 m - 2500 m dengan densitas rendah 1,74 - 2,56 gr/cc, sedangkan heat source berada di bawah kaki Gunung Seminung dengan densitas 2,63 – 3,38 gr/cc. Kesimpulan penelitian ini memberikan pemahaman yang lebih baik tentang struktur geologi dan potensi panas bumi di WKP Danau Ranau, serta relevansinya dalam eksplorasi sumber daya geotermal.

Kata Kunci : Data Gayaberat, Pemodelan 3D, Struktur Lapisan Bawah Permukaan.

ABSTRACT

IDENTIFICATION OF SUBSURFACE STRUCTURES AND 3D MODELING BASED ON GRAVITY DATA ANALYSIS IN THE GEOTHERMAL AREA OF WKP RANAU

By

ANDIKO PRATAMA

The development of geological structures on Sumatra Island is influenced by tectonic activity between the Indian-Australian Plate and the Eurasian Plate, which results in subduction and compression forces. This process forms active volcanic patterns and geological complexity on Sumatra Island. The geothermal potential on Sumatra Island, especially in the Lake Ranau WKP, is influenced by the geological structure in the area. This study uses the second vertical derivative (SVD) method and 3D modeling of gravity data to identify subsurface structures. The objectives of this study were to determine the depth of regional and residual anomalies, analyze fault structures from FHD and SVD results, and analyze subsurface geological structures based on 3D modeling. The results showed an average regional Bouguer anomaly value of 2,741 meters and a residual of 271.59 meters. Derivative analysis identified six faults at a certain distance, with changes in the contact area on the FHD anomaly curve reflecting the maximum and minimum values. The geothermal reservoir location was found between Lake Ranau and Mount Seminung at a depth of 1000 m - 2500 m with a low density of 1.74 - 2.56 gr / cc, while the heat source is under the foot of Mount Seminung with a density of 2.63 - 3.38 gr / cc. The conclusion of this study provides a better understanding of the geological structure and geothermal potential in the Lake Ranau WKP, as well as its relevance in the exploration of geothermal resources.

Keywords : Gravity Data, 3D Modeling, Subsurface Layer Structure.

Judul Skripsi

**: IDENTIFIKASI STRUKTUR BAWAH
PERMUKAAN DAN PEMODELAN 3D
BERDASARKAN ANALISIS DATA
GAYABERAT PADA DAERAH PANAS
BUMI WKP RANAU**

Nama Mahasiswa

: Andiko Pratama

Nomor Pokok Mahasiswa

: 1815051018

Program Studi

: Teknik Geofisika

Fakultas

: Teknik



MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing

Pembimbing 1

Pembimbing 2

Dr. Alimuddin Muchtar, S.Si., M.Si.
NIP. 197206262000121001

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

2. Ketua Jurusan Teknik Geofisika

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

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua : Dr. Alimuddin Muchtar, S.Si., M.Si.

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

Anggota : Dr. Karyanto, S.Si., M.T.

2. Dekan Fakultas Teknik

Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc.)
NIP. 197509282001121002

Tanggal Ujian Skripsi : 08 Mei 2024

PERNYATAAN

Saya menyatakan bahwa skripsi yang saya tulis ini bukan merupakan karya dari orang lain melainkan berdasarkan pemikiran saya sendiri, sebagai syarat memperoleh gelar sarjana. Adapun kutipan tertentu dalam penulisan skripsi ini terdapat karya atau pendapat orang lain yang ditulis menurut sumbernya sebagaimana disebutkan dalam daftar pustaka secara jelas sesuai dengan norma, kaidah dan etika penulisan.

Apabila pernyataan ini tidak benar, maka saya bersedia dikenakan sanksi sesuai dengan hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, 17 Agustus 2024



Andiko Pratama

NPM. 1815051018

RIWAYAT HIDUP



Penulis memiliki nama lengkap Andiko Pratama, lahir di Suliki, 21 September 1999, merupakan anak pertama dari tiga bersaudara dari pasangan Bapak Elfizon dan Ibu Fitria Nilda. Riwayat pendidikan formal penulis di mulai dari Taman Kanak-Kanak (TK), yakni TK Aisyah Kec. Suliki pada tahun 2005 hingga 2006. Kemudian, dilanjutkan ke jenjang Sekolah Dasar (SD) pada tahun 2006 hingga 2012 di SD Negeri 01 Kec. Suliki. Lalu melanjutkan pada jenjang Sekolah Menengah Pertama (SMP) Negeri 1 Kec. Suliki pada tahun 2012 hingga 2015, dan kemudian melanjutkan ke Sekolah Menengah Atas (SMA) Negeri 1 Suliki pada tahun 2015 hingga 2018. Pada tahun 2018, Penulis terdaftar sebagai mahasiswa Jurusan Teknik Geofisika Fakultas Teknik Universitas Lampung melalui jalur SNMPTN.

Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif di berbagai kegiatan organisasi baik secara internal pada lingkungan jurusan, fakultas dan universitas maupun secara organisasi eksternal, antara lain: sebagai anggota dari Biro Dana dan Usaha Himpunan Mahasiswa Teknik Geofisika Bhuwana (Hima TG Bhuwana) periode 2019/2020, kemudian dipercaya sebagai anggota Biro Dana dan Usaha Hima TG Bhuwana periode 2020/2021. Aktif sebagai *Education Division Staff* periode 2020 dan *Head of Education Division* periode 2021 di *Society Exploration Geophysics (SEG) Student Chapter* Universitas Lampung. Pada tahun 2020 dan 2021, penulis juga turut aktif sebagai *Human Resource Development Division Staff* di *American Association of Petroleum Geologist*.

Dalam bidang keilmuan dan akademik penulis aktif dalam hal spesifikasi keilmuan seperti terlibat dalam Kuliah Lapangan Teknik Geofisika 2023 dan 2024 sebagai Asisten Dosen, lalu menjadi asisten praktikum Geomagnetik pada tahun 2021. Serta menjadi tim dalam proyek penelitian maupun pengabdian oleh kampus sesuai dengan keilmuan Teknik Geofisika.

Pada tahun 2021 penulis melaksanakan kegiatan Kuliah Kerja Nyata (KKN) oleh Universitas Lampung sehingga dapat menerapkan salah satu Tri Dharma Perguruan Tinggi yaitu Pengabdian Kepada Masyarakat dengan mengadakan program yang bermanfaat bagi masyarakat di Suliki, Kabupaten Lima Puluh Kota, Provinsi Lampung.

Dalam penerapan ilmu keprofesian, penulis telah melaksanakan kegiatan Kerja Praktik (KP) pada daerah prospek geothermal WKP Ranau dengan judul penelitian **“Identifikasi Daerah Panas Bumi dengan Metode Gayaberat Pada Daerah WKP Ranau”** pada tahun 2022. Kemudian, Pada tahun 2023 Penulis juga kemudian melakukan kegiatan penelitian Tugas Akhir dengan judul penelitian **“Identifikasi Struktur Bawah Permukaan dan Pemodelan 3D Berdasarkan Analisis Data Gayaberat pada Daerah Panas Bumi WKP Ranau”**.

PERSEMBAHAN

Puji syukur saya panjatkan pada Allah SWT atas terselesaikannya skripsi ini dengan baik dan lancar. Skripsi ini saya persembahkan untuk:

AYAH DAN IBU TERCINTA

Yang tiada hentinya memberikan kasih sayang, doa, dukungan, motivasi, semangat dan segala dukungan lainnya yang tidak terhingga

ADIK KEMBAR TERCINTA

Terimakasih atas segala doa, semangat dan dukungannya.

KELUARGA TG'18 (T-GASAK)

Terimakasih sudah menjadi rumah untuk penulis di tanah rantau ini.

Keluarga Besar Teknik Geofisika Universitas Lampung

Semua pihak yang terlibat dalam proses pembuatan dan penyusunan skripsi ini. saya ucapkan terimakasih banyak.

MOTO

“Maka sesungguhnya bersama kesulitan selalu ada kemudahan”.

(QS. Al-Insyirah: 5)

“Nikmati Segala Proses Yang Kamu Sedang Jalani Saat Ini Karena Dari Proses
Tersebut Kita Akan Belajar Banyak Hal, Baik Tentang Kebahagiaan,
Maupun Kegagalan Dan Jangan Pernah Takut Untuk Memulai
Sesuatu, Serta Selesaikan Yang Sudah Kamu Mulai
Dengan Baik. Hal Itulah Yang Akhirnya Akan
Menuntun Menuju *Goals* Kita”

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan atas kehadiran Allah SWT, karena berkat rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Skripsi dengan judul **“Identifikasi Struktur Bawah Permukaan dan Pemodelan 3D Berdasarkan Analisis Data Gayaberat pada Daerah Panas Bumi WKP Ranau”**. Adapun maksud dan tujuan dari penulisan Skripsi ini adalah untuk memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar sarjana teknik pada Jurusan Teknik Geofisika, Fakultas Teknik Universitas Lampung. Selama penulisan Skripsi ini banyak sekali terdapat hambatan yang dialami. Namun berkat adanya bantuan, serta bimbingan dari berbagai pihak, hingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik. Penulis menyadari bahwa tidak tertutup kemungkinan di dalam Skripsi ini terdapat kekurangan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun demi kesempurnaan Skripsi ini. Semoga Skripsi ini dapat berguna dan bermanfaat bagi penulis khususnya dan bagi para pembaca pada umumnya, serta bagi perkembangan ilmu pengetahuan.

Bandar Lampung, 17 Agustus 2024

Penulis



Andiko Pratama

NPM. 1815051018

SANWACANA

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadiran Allah Subhanahu Wa Ta'ala, karena berkat rahmat dan karunianya penulis dapat menyelesaikan Skripsi ini. Tak lupa shalawat seta salam penulis selalu tercurahkan kepada Nabi Muhammad Shallallahu 'alaihi wasallam yang menjadi suri tauladan bagi kita semua.

Skripsi ini berjudul **“IDENTIFIKASI STRUKTUR BAWAH PERMUKAAN DAN PEMODELAN 3D BERDASARKAN ANALISIS DATA GAYABERAT PADA DAERAH PANAS BUMI WKP RANAU”** merupakan syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik.

Adapun dalam proses pelaksanaan hingga penyusunan Skripsi ini penulis sangat menyadari bahwa banyak sekali pihak yang terlibat, untuk itu dalam kesempatan ini penulis ingin mengucapkan rasa terimakasih kepada :

1. Allah SWT, yang selalu memberikan karunia dan anugerah-Nya baik berupa kesehatan dan kemudahan dalam setiap langkah serta jalan yang dilalui oleh penulis.
2. Kedua orang tua yang tidak henti – hentinya memberikan kasih sayang, semangat, motivasi, do'a, saran, masukan, dan dukungan baik secara langsung maupun tidak langsung.
3. Keluarga besar penulis lainnya yang tidak dapat diucapkan satu-persatu selalu memberikan dukungan, mencintai dan menyayangi penulis dengan sepenuh hati.
4. Adik kembar penulis yang senantiasa menjadi penyemangat penulis dalam mencapai cita-cita.

5. Bapak Dr. Alimuddin Muchtar. S.Si., M.Si. selaku dosen Pembimbing 1 Skripsi yang telah membimbing, membantu, memotivasi, menyediakan tempat dan lingkungan yang nyaman. Terimakasih atas ilmu yang Bapak berikan, semoga menjadi amal jariyah sebagai pemberat amal kebaikan di akhirat
6. Bapak Prof. Dr. Ir. Muh. Sarkowi, S.Si., M.Si., IPU. selaku dosen Pembimbing 2 Skripsi yang telah banyak memberikan waktunya untuk memberi kritik dan saran serta masukan dan pengarahan dalam penulisan Skripsi ini.
7. Bapak Karyanto. S.Si., M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Geofisika Universitas Lampung dan dosen Penguji yang telah meluangkan waktunya dan senantiasa memberikan masukan, kritik dan saran agar penulisan Skripsi ini menjadi lebih baik.
8. Bapak Dr. Ir. Syamsurijal Rasimeng, S.Si., M.Si., IPM. Dan Rudy Zefrianto Sinambela, S.T., M.T. selaku mentor saya dalam Skripsi yang selalu memberi arahan, *sharing* ilmu.
9. Bapak Dr. Ordas Dewanto, S.Si., M.Si. selaku dosen Pembimbing Akademik (PA) yang telah memberikan arahan dalam pengambilan keputusan selama perkuliahan.
10. Bapak Pujono, S.T. yang selalu memberikan motivasi, arahan dan *support printer* untuk penulis selama satu tahun terakhir ini.
11. Dosen-dosen Jurusan Teknik Geofisika Universitas Lampung yang saya hormati, telah mengajarkan banyak ilmu dan wawasan dan civitas akademik Jurusan Teknik Geofisika.
12. Warga Kontrakan (Nurul, Tecto, Arnas, Farhan, Nanda, Eet, Ikram, Joy, Taufiq, Herlian dan Arsy yang selalu memberikan semangat dan motivasi serta terimakasih telah menjadi unsur cerita dalam kehidupan penulis.
13. Febriyan Ananda, S.T. dan Arnas Hardianto, S.T. selaku teman seperjuangan penulis di negeri rantau ini.
14. Keluarga Besar Teknik Geofisika 2018 yang tidak dapat disebutkan satu persatu, terimakasih banyak karena telah menjadi motivasi dan memberikan semangat serta doa selama pembuatan Skripsi ini berlangsung.

15. Ikram, Nanda, Tecto, Eet, Joy, Cuyung selaku pasukan pemberani yang telah saling menyemangati dan mengingatkan satu sama lain tentang tujuan kita menjadi mahasiswa di masa dua digit ini.
16. Warga laboratorium PPDG (Nanda, Tecto, Ikram, Eet, Joy, Taufiq, Arsy, Wayan, Naira, Pegita, Cuyung, Damar Atek, Langnanda, Rinda, Lopia, Intan, Ratu, Rezky, Raihan, Rayya, Fiko, Fahmi, Teguh, Ridho, Harsya, Edu) yang telah menemani, menjadi tempat aman dan nyaman penulis *survive* selama satu tahun terakhir yang sangat berat ini. Terimakasih atas segala rasa kekeluargaan dan bantuan yang diberikan, kita semua pasti sukses kaya raya hingga dapat berkumpul kembali di PPDG tempat yang penuh dengan kenangan atau dimanapun itu.
17. Semua pihak yang terlibat selama pelaksanaan kegiatan Tugas Akhir ini dimana telah memberikan kesempatan, bantuan dan pengalaman yang sangat luar biasa, sekali lagi penulis ucapkan terimakasih banyak. Dosen-dosen Jurusan Teknik Geofisika Universitas Lampung yang saya hormati terima kasih untuk semua ilmu yang diberikan.

Semoga Allah SWT membalas segala kebaikan yang telah diberikan dengan cara sebaik-baiknya. Sebagai penutup, semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi kita semua, terutama pembaca yang tertarik pada ilmu Teknik Geofisika dalam bidang geothermal.

Bandar Lampung, 17 Agustus 2024

Penulis



Andiko Pratama

NPM. 1815051018

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	iv
PERNYATAAN	vii
RIWAYAT HIDUP	viii
PERSEMBAHAN	x
KATA PENGANTAR	xii
SANWACANA	xiii
DAFTAR ISI	xvi
DAFTAR GAMBAR	xix
DAFTAR TABEL	xx
I. PENDAHULUAN	21
1.1 Latar Belakang	21
1.2 Tujuan Penelitian	2
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
II. TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Lokasi Penelitian	4
2.2 Geologi Regional	5
2.3 Tektonik dan Struktur Daerah Penelitian	6
2.4 Geomorfologi Daerah Penelitian	7
2.5 Sistem Panas Bumi	7
2.6 Sistem Panas Bumi WKP Danau Ranau	7
2.7 Manifestasi Panas Bumi Danau Ranau	7
2.8 Penelitian Terdahulu	9
III. TEORI DASAR	13
3.1 Metode Gayaberat	13
3.2 Konsep Dasar Metode Gayaberat	13

3.2.1	Gaya Berat Newton	13
3.2.2	Percepatan Gravitasi	14
3.2.3	Potensial Gayaberat	15
3.3	Rapat Massa Batuan	15
3.4	Anomali Bouguer	16
3.5	Koreksi Metode Gayaberat.....	17
3.5.1	Koreksi Pasang Surut (<i>Tide Correction</i>).....	18
3.5.2	Koreksi Apungan (<i>Drift Correction</i>)	18
3.5.3	Koreksi Udara Bebas (<i>Free Air Correction</i>).....	18
3.5.4	Koreksi <i>Bouguer</i>	19
3.5.5	Koreksi Medan (<i>Terrain Correction</i>)	19
3.6	Analisis Spektrum	20
3.7	<i>Filter Moving Average</i>	22
3.8	<i>First Horizontal Derivative</i>	23
3.9	<i>Second Vertical Derivative</i>	24
3.10	<i>Forward Modeling</i>	26
3.11	<i>Inverse Modeling 3D</i>	27
IV.	METODOLOGI PENELITIAN	30
4.1	Tempat dan Waktu Penelitian	30
4.2	Alat dan Bahan	30
4.3	Rincian Kegiatan	31
4.4	Prosedur Penelitian.....	33
4.3.1	Anomali Bouguer Lengkap.....	33
4.3.2	Analisis Spektrum	33
4.3.3	Pemisahan Anomali Regional dan Residual	33
4.3.4	Analisis <i>Derivative</i>	34
4.3.5	Pemodelan Bawah Permukaan.....	34
4.5	Diagram Alir	35
V.	HASIL DAN PEMBAHASAN.....	37
5.1	Analisis Bouguer Lengkap	37
5.2	Analisis Spektrum	38
5.3	Anomali Regional	43
5.4	Analisis Residual.....	44
5.5	Analisis <i>Derivative</i>	45
5.4	<i>Inverse Modeling 3D</i>	52

5.4.1 Distribusi Densitas Secara Horizontal	52
VI. KESIMPULAN DAN SARAN	59
6.1 Kesimpulan.....	59
6.2 Saran.....	59
DAFTAR PUSTAKA	60

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Peta daerah penelitian.	24
2. Peta geologi regional Danau Ranau.	25
3. Geomorfologi daerah penelitian.....	7
4. Penampang ideal suatu sistem panas bumi	7
5. Model tentatif panas bumi Danau Ranau	7
6. Sebaran manifestasi daera penelitian	8
7. Gaya tarik menarik antara dua buah benda.	14
8. Kurva $\ln A$ terhadap K	22
9. Hasil pemodelan analitik turunan gravitasi horizontal untuk model benda pelat tegak	24
10. Respon analisis SVD pada struktur geologi.....	26
11. Diagram alir	35
12. Peta Anomali <i>Bouguer</i> Lengkap	37
13. Peta lintasan analisis spectrum.....	39
14. Grafik $\ln A$ vs k lintasan 1.....	40
15. Grafik $\ln A$ vs k lintasan 2.....	40
16. Grafik $\ln A$ vs k lintasan 3.....	41
17. Grafik $\ln A$ vs k lintasan 4.....	42
18. Grafik $\ln A$ vs k lintasan 5.....	42
19. Peta kontur anomali regional daerah penelitian.	44
20. Peta kontur anomali residual daerah penelitian.	45
21. Peta <i>First Horizontal Derivative</i>	46
22. Peta <i>Second Vertikal Derivative</i>	47
23. Hasil analisis FHD	48
24. Lintasan 1	49
25. Hasil analisis SVD	50
26. Lintasan 2.....	51
27. Model distribusi densitas hasil inversi 3D.	52
28. Model distribusi densitas pada kedalaman 0 meter.	53
29. Model distribusi densitas pada kedalaman 500 meter.	54
30. Model distribusi densitas pada kedalaman 1000 meter.	55
31. Model distribusi densitas pada kedalaman 1500 meter.	56
32. Model distribusi densitas pada kedalaman 2000 meter.	57
33. Model distribusi densitas pada kedalaman 2500 meter.	58

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Nilail densitas batuan	16
2. Operator Henderson and Zietz (1949).....	25
3. Operator Elkins (1951).....	25
4. Operator Rosenbach (1953).	26
5. Data penelitian	30
6. <i>Software</i> yang digunakan	31
7. Jadwal kegiatan penelitian	32
8. Kedalaman, bilangan gelombang (Kc) dan lebar jendela (N).	42

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan struktur geologi pada pulau sumatera tidak terlepas dari adanya aktivitas tektonik antara Lempeng Hindia-Australia dengan Lempeng Eurasia yang menyebabkan terjadinya subduksi dan menghasilkan gaya kompresi. Proses ini menghasilkan suatu pola jajaran gunung api aktif dan struktur geologi dengan kompleksitas cukup tinggi pada pulau sumatera. Selain itu hal tersebut juga yang kemudian menyebabkan pulau sumatera memiliki potensi panas bumi cukup besar di Indonesia, yang salah satunya terdapat pada area WKP Danau Ranau.

WKP Danau Ranau sendiri berada pada wilayah Kabupaten Lampung Barat Provinsi Lampung dan Kabupaten Ogan Komering Ulu Provinsi Sumatera Selatan. Pada lokasi ini ditemukan beberapa manifestasi *geothermal* yang umumnya berasosiasi dengan struktur geologi di sekitarnya. Apabila dilakukan peninjauan dari sisi geologi maka diketahui bahwa struktur yang terdapat pada area WKP Danau Ranau memiliki keterkaitan dengan sistem sesar besar sumatera, selain itu berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Kementerian ESDM (2007), menyatakan sumber panas pada WKP ini diduga berasal dari sisa magma pembentukan kerucut gunung api Seminung yang berada di bagian tengah daerah penelitian.

Penelitian ini memanfaatkan metode *second vertical derivative* (SVD) dan pemodelan 3D data gayaberat untuk mengidentifikasi struktur bawah permukaan. Proses identifikasi kondisi bawah permukaan dengan menggunakan metode gayaberat sendiri didasari oleh adanya variasi medan

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

Pernyataan diatas kemudian selaras dengan teori yang dinyatakan oleh Sarkowi (2008) bahwa metode gayaberat merupakan salah satu metode yang ada dalam geofisika yang didasarkan pada variasi medan gravitasi akibat variasi rapat massa batuan di bawah permukaan sehingga dalam pelaksanaannya yang diselidiki adalah perbedaan medan gravitasi dari suatu titik observasi terhadap titik observasi lainnya. Menurut Telford dkk (1990), struktur bawah permukaan dapat diidentifikasi dengan memanfaatkan penurunan anomali *Bouguer* yang terlihat di permukaan, sehingga dalam pelaksanaannya yang diselidiki merupakan sebuah perbedaan gravitasi masing-masing titik observasi (Telford dkk., 1990).

Berdasarkan hal tersebut maka dengan dilakukannya penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat berupa gambaran kondisi struktur bawah permukaan dan lapisan batuan yang lebih baik disekitar area penelitian. Selain itu hasil dari penelitian ini juga diharapkan dapat membantu dalam memaksimalkan pengembangan dan pemanfaatan potensi panas bumi yang terdapat di WKP Danau Ranau.

1.2 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menentukan kedalaman anomali regional dan residual.
2. Menganalisis struktur patahan dari hasil FHD dan SVD pada area penelitian.
3. Menganalisis struktur geologi bawah permukaan berdasarkan pemodelan 3- Dimensi.

1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dari penelitian ini meliputi :

1. Data yang digunakan pada penelitian ini merupakan data *open source* yang didapatkan melalui website GGMPLUS berupa data topografi (ketinggian) dan data *Free Air Anomaly* (FAA).
2. Pemisahan anomali regional dan residual menggunakan filter *moving average*.
3. Penentuan struktur bawah permukaan dilakukan berdasarkan analisis metode FHD, SVD, dan pemodelan 3-Dimensi.

1.4 Manfaat Penelitian

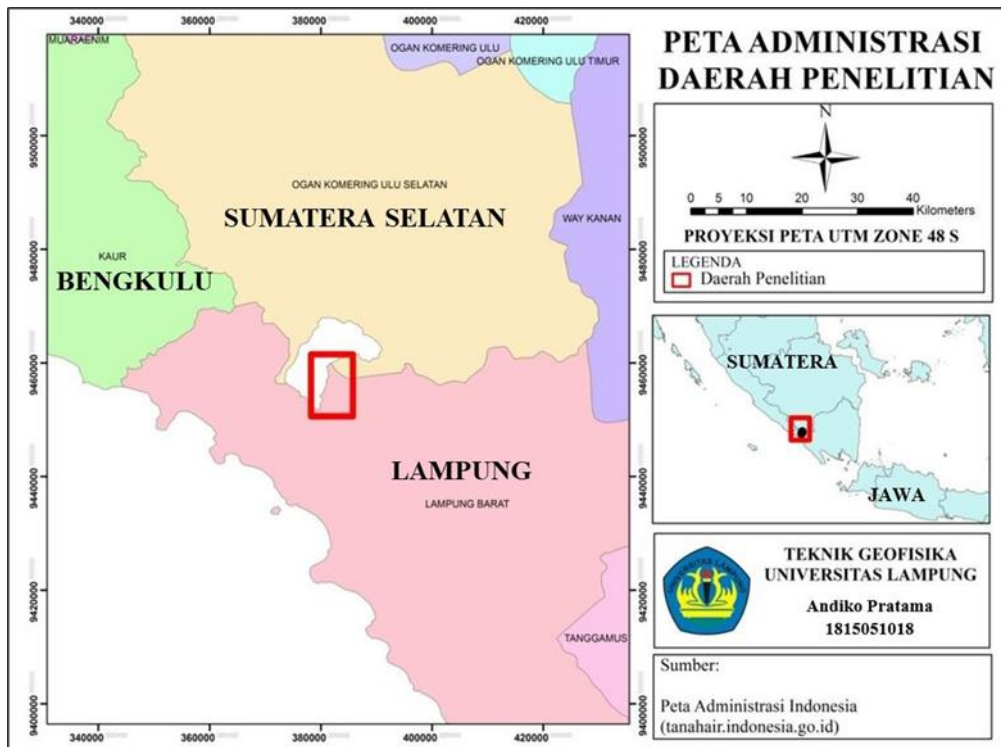
Adapun manfaat yang dapat diberikan dengan dilaksanakannya penelitian ini yakni:

1. Memberikan informasi mengenai gambaran geologi pada daerah penelitian berdasarkan data gayaberat.
2. Mengetahui sistem patahan daerah penelitian dari analisis *first horizontal derivative* (FHD), *second vertical derivative* (SVD), dan *Inverse modelling 3D*.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Lokasi Penelitian

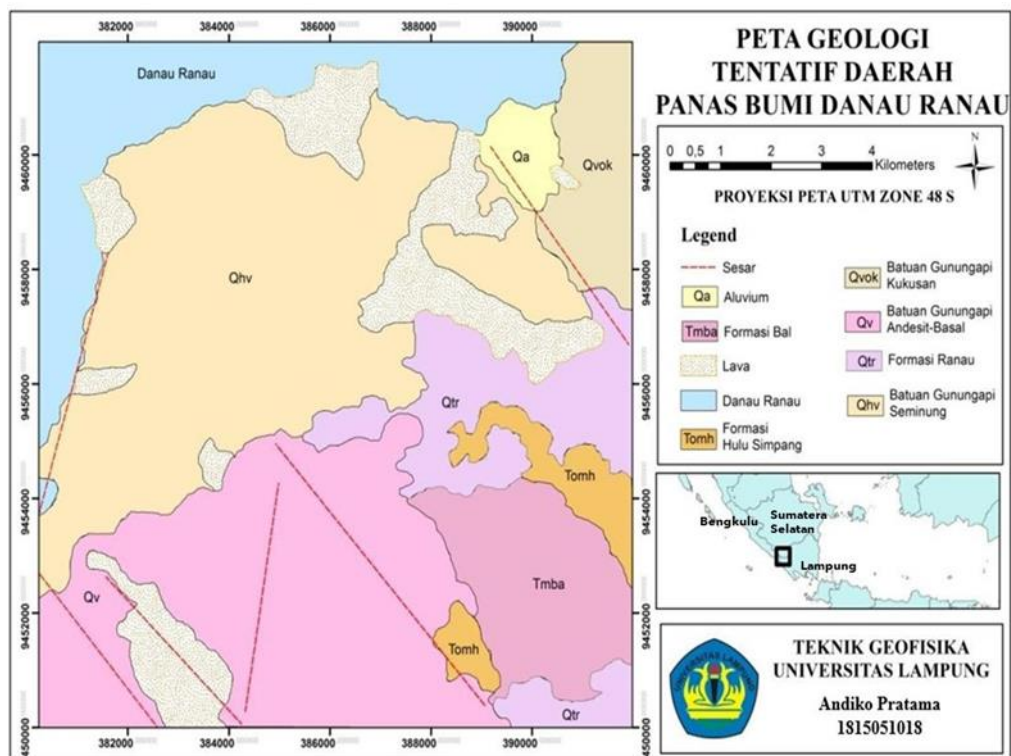
Daerah penelitian (Gambar 1) terletak di daerah prospek panas bumi Danau Ranau yang berada pada wilayah Kabupaten Lampung Barat Provinsi Lampung dan Kabupaten Ogan Komering Ulu Provinsi Sumatera Selatan. Secara geografis daerah penelitian beradapada koordinat 380000-392000 mE dan 9462000-9449200 mN (zona 48S UTM) pada koordinat 4° 51' 45" Lintang Selatan 103° 55' 50" Bujur Timur. Luas daerah penelitian yaitu 12 x 13 km² berada pada ketinggian 500-1800 m dari permukaan laut.



Gambar 1. Peta daerah penelitian (modifikasi BIG, 2018)

2.2 Geologi Regional

Daerah Danau Ranau terletak di sebelah tenggara dan merupakan bagian dari sistem Gunung Api Semining. Secara umum batuan yang berada di daerah ini merupakan batuan vulkanik produk dari Gunung Semining, dengan litologi yang dapat dibagi ke dalam beberapa satuan batuan dari tua ke muda (Gambar 2), yaitu Satuan Aliran Lava Vulkanik Tua (TLT), Satuan Aliran Piroklastik Ranau (QJR), Satuan Aliran Lava Kukusan (QLK), Satuan Breksi Vulkanik Kukusan (QBvK), Satuan Breksi Laharik Kukusan (QAIK), Satuan Aliran Lava Semining 1 (QLS-1), Satuan Breksi Lahar Semining (QAIS), Satuan Jatuhan Piroklastik Semining (QJS), Satuan Aliran Lava Semining 2 (QLS-2), Satuan Aliran Lava Semining 3 (QLS-3), Satuan Endapan Longsoran Semining (QL), dan Endapan Alluvial (QAI) (Wibowo,2013).



Gambar 2. Peta geologi regional Danau Ranau (modifikasi BIG, 2018)

Jenis litologi dan susunan stratigrafi batuan secara umum didominasi batuan vulkanik tua Gunung Kukusan dan Danau Ranau yang berumur tersier. Batuan tersebut kemudian diendapkan secara tidak selaras oleh batuan vulkanik dari produk Gunung Semining dengan umur Kuartar. Proses

pembentukan satuan batuan di daerah ini berawal pada waktu Tersier yang membentuk batuan vulkanik berupa lava andesit dan tufa dengan urat-urat kuarsa, kalsit dan magnetit yang mengisi rongga-rongga rekahan dan telah terubah terpropilitkan adalah aliran piroklastik yang tersebar di bagian tengah penyelidikan. Satuan ini menindih secara tidak selaras batuan lava tua. Selanjutnya terbentuk lava, breksi dan lahar produk Gunung Kukusan yang berada di sebelah barat. Satuan ini menindih secara tidak selaras satuan lava tua dan memiliki ketebalan sekitar 20-50 cm. Umur satuan ini diperkirakan terbentuk pada masa Pliosen atau Kuartar Akhir.

2.3 Tektonik dan Struktur Daerah Penelitian

Pembentukan Gunung Seminung memiliki keterkaitan yang erat dengan aktivitas Sesar Semangko yang membentuk pola *anechelon*. Adapun produk yang dihasilkan oleh Gunung Seminung meliputi lava andesit dengan tebal \pm 5-7 m berumur Kuartar, disusul aliran piroklastik dan jatuhnya piroklastik Seminung. Erupsi lava Seminung 2 dengan komposisi andesit- basaltis, tersebar di bagian tengah sampai ke desa Lombok, Wai Banding dan Kota Batu. Menyusul kemudian lava Seminung 3 dengan komposisi breksi yang menyebar di bagian puncak Gunung Seminung dan terakhir terbentuk longsoran dari lava Seminung di daerah Talang Jungkung serta aluvium di daerah Kota Batu. Gunung Seminung inilah yang diduga menjadi sumber panas dari sistem panas bumi Danau Ranau.

Struktur utama yang terdapat pada prospek panas bumi Danau Ranau ini adalah Sesar Normal Talang Kedu, Kota Batu, dan Wai Uluhan yang berarah timurlaut- tenggara. Selain itu terdapat Sesar Lombok yang berarah relatif utara-selatan. Berdasarkan jenisnya Sesar Wai Uluhan merupakan komponen minor dari sistem Sesar Sumatera, sedangkan Sesar Talang Kedu dan Kota Batu merupakan sesar- sesar reaktivasi dari pola lama yang mendeformasi batuan di bawah satuan batuan produk Gunung Api Seminung. Manifestasi panas bumi ini berkaitan erat terbentuknya ketiga sesar utama di atas dan Sesar Lombok yang berarah utara- selatan (Utami, 2013).

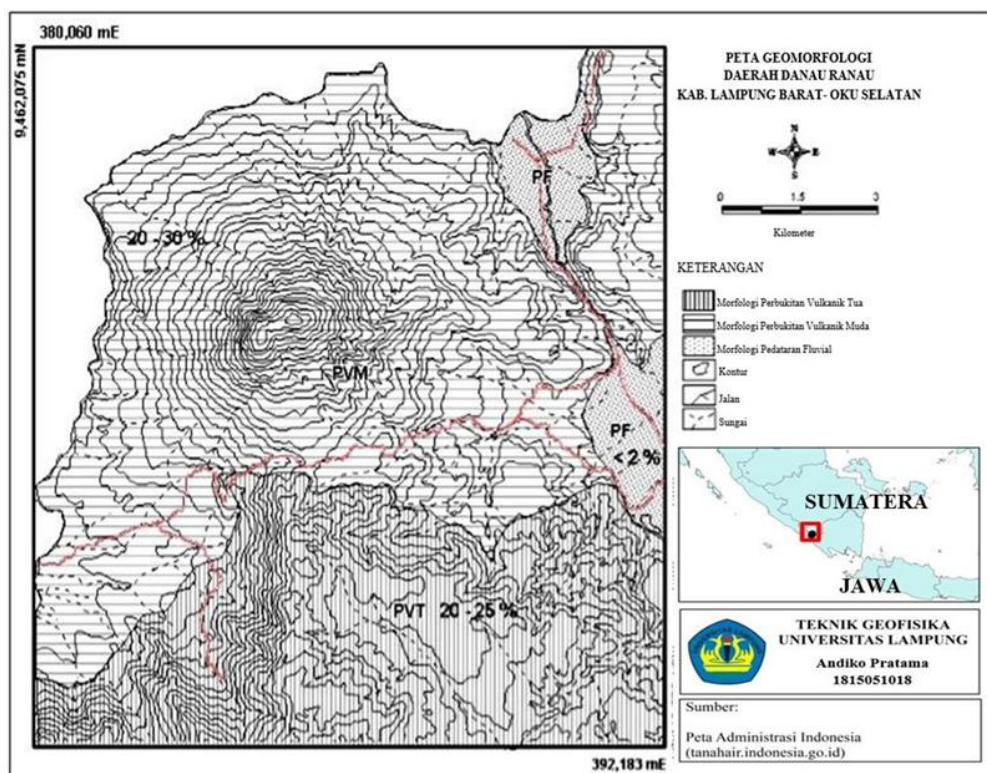
Zona permeabel di lapangan panas bumi Danau Ranau dikendalikan oleh sistem sesar Sumatera yang merupakan sesar geser dengan arah gerak dekstral yang relatif mengarah ke barat laut-tenggara. Pemisahan bagian sesar secara *step-over* dengan pola en-eselon menghasilkan pembentukan gerakan ekstensi yang membentuk depresi vulkanik-tektonik di Danau Ranau. Kecenderungan pola pembentukan polasesar arah barat laut-tenggara, utara- barat laut-selatan-tenggara dan timur laut- barat daya, berhubungan dengan sesar utama, sintetik, dan antitesis Sesar Sumatera, atau yang lebih dikenal dengan Sesar Semangko (Tjia, 1977 dalam Afiat, dkk., 2020).

2.4 Geomorfologi Daerah Penelitian

Geomorfologi daerah penelitian dibedakan menjadi 3 satuan yaitu satuan morfologi vulkanik tua, satuan morfologi vulkanik muda dan pedataran alluvial. Secara keseluruhan, morfologi daerah Danau Ranau terdiri dari dataran hingga pegunungan yang didominasi oleh batuan vulkanik Daerah Danau Ranau merupakan kaldera dari Gunung Ranau dengan umur Pleistosen yang terbentuk pada sistem Sesar Sumatera. Pembentukan kaldera tersebut mencapai puncak pada erupsi Tuf Ranau sekitar 0,55 juta tahun lalu. Sedangkan sebagai akibat dari pergerakan sistem sesar, di beberapa tempat sekitar Danau Ranau terdapat depresi (*graben*) yang bersifat tarikan karena sistem sesar itu. Kemudian, pada bagian tenggara Danau Ranau terbentuk Gunung Seminung yang merupakan *post-caldera* bertipe *stratovolcano*. Beberapa manifestasi berupa mata air panas dijumpai di lokasi Waipanas-Lombok, Talang Kedu (di desa Lombok) di wilayah Lampung dan Kerincing, Wai Wangi, Waipanas-Kota Batu, Cukuh Penggeseran di Desa Banding wilayah Ogan Komering Ulu Selatan (Noel, 2009).

Terdapat Bukit Sulung dan Gunung Kukusan yang diperkirakan sebagai daerah resapan hujan dan resapan sistem panas bumi, sedangkan daerah debit berada di dataran rendah dan munculnya manifestasi permukaan berupa deformasi struktur zona lembah dan aliran sungai dari Gn. Seminung yang terletak di kawasan Lombok dan Kota Batu (Afiat, dkk., 2020). Lereng-lereng

gunung yang terbentuk dari proses endogen dan eksogen sejak masa tersier, batuan vulkanik yang mendominasi dan membentuk relief kasar serta curam yang dilengkapi dengan gawir-gawir terjal yang terbentuk akibat perkembangan struktur, sehingga semua bersinergi membentuk bentang alam yang begitu eksotis. Bentang alam vulkanik tua mengelilingi danau di sebelah utara, timur dan barat, sedangkan di sebelah bagian selatan tertutupi oleh bentang alam vulkanik muda seperti adanya Gunung Api Semuning yang berumur kuarter pada Gambar 3 (Nurhadi, dkk., 2004 dalam Widodo, 2009).



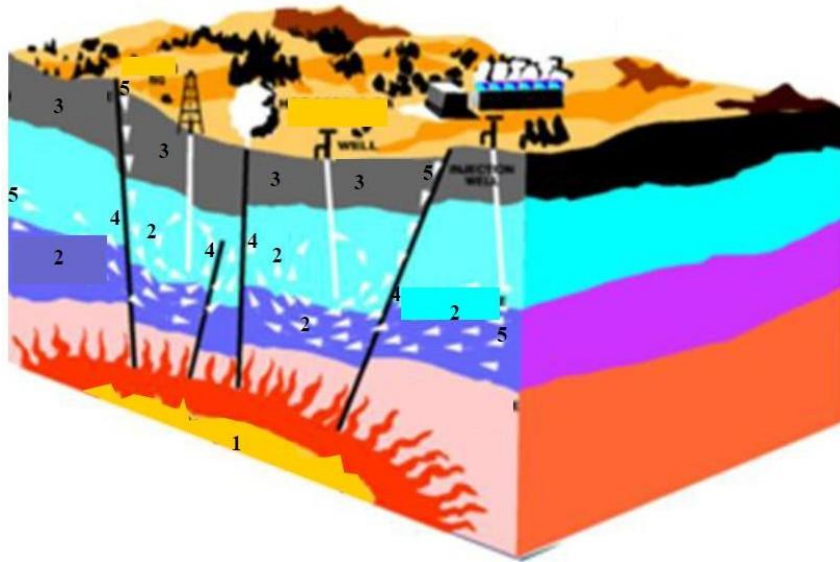
Gambar 3. Geomorfologi daerah penelitian (modifikasi Nurhadi dkk., 2004)

2.5 Sistem Panas Bumi

Sistem panas bumi secara umum dideskripsikan sebagai transfer panas dalam suatu volume terisolasi pada kerak bumi secara alami. Panas tersebut dipindahkan dari sebuah sumber panas (*heat source*) ke sebuah penampang panas (*reservoir*) (Hochstein dan Browne, 2000).

Sistem panas bumi dijumpai pada daerah dengan gradien panas bumi relatif

normal, terutama pada bagian tepi lempeng dimana gradien panas bumi biasanya mempunyai kisaran suhu yang lebih tinggi daripada suhu rata-rata (Dickson dan Fanelli, 2003).



Gambar 4. Penampang ideal suatu sistem panas bumi (modifikasi Suharno dkk., 2016)

Keterangan gambar : (1) sumber panas, (2) reservoir, (3) lapisan penutup, (4) patahan, (5) daerah resapan (*recharge area*).

Menurut Suharno (2010), sistem panas bumi dikontrol oleh adanya:

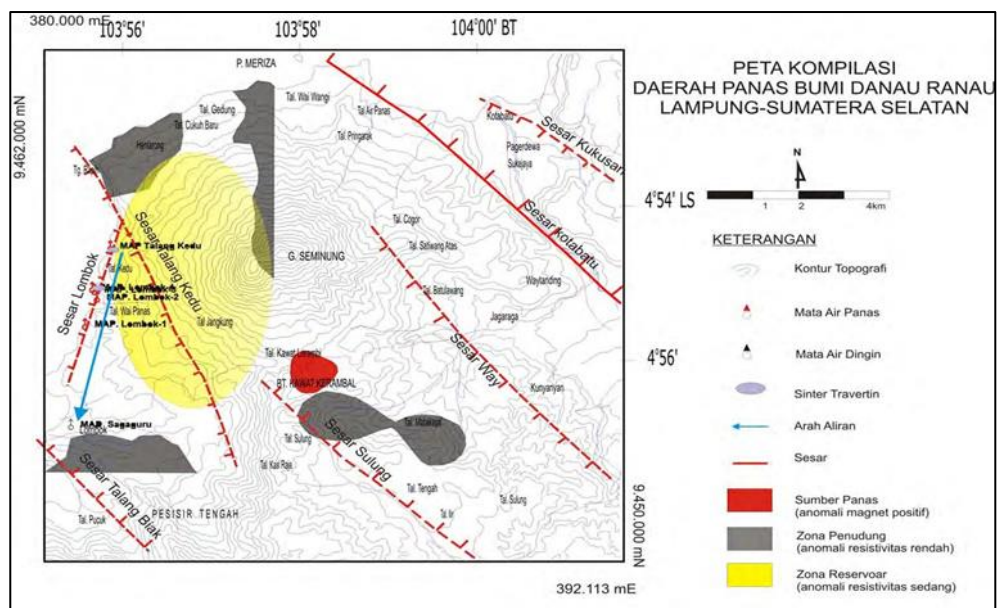
1. Sumber panas (*heat source*) berupa plutonik
2. Batuan berporos atau *reservoir* tempat uap panas terjebak di dalamnya
3. Lapisan penutup, berupa batu lempung
4. Keberadaan struktur geologi (patahan, *collapse*, rekahan dan ketidakselarasan)
5. Daerah resapan air atau aliran air bawah permukaan (*recharge area*).

Sistem panas bumi terdiri dari 3 elemen utama, yaitu batuan *reservoir permeable*, aliran fluida untuk menyalurkan panas dari *reservoir* ke permukaan bumi, dan sumber panas. Pada kenyataannya banyak tipe batuan yang dapat menjadi tempat bagi *reservoir* panas bumi, dan air tanah, biasanya terdiri dari presipitasi air purba ke modern atau air laut, sirkulasi ke

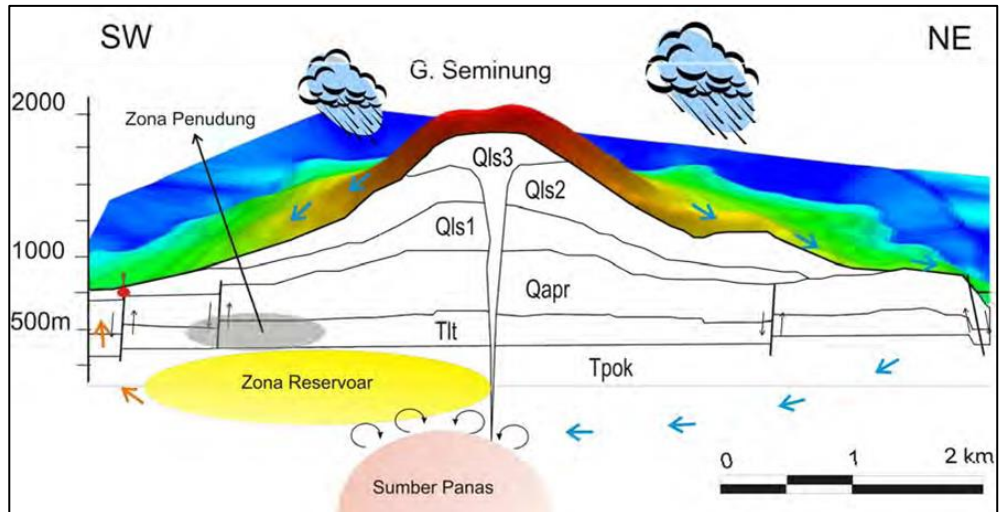
kedalaman beberapa kilometer hampir terjadi di seluruh kerak bumi. Sistem panas bumi umumnya menghasilkan *hot springs* dan *fumaroles* yang muncul sebagai indikasi dari panas yang ada di dalam reservoir. Area *hot spring* dan fumarol banyak mengandung sulfur dan mineral lain (Goff dan Janik, 2000). Keberadaan suatu sistem panas bumi biasanya ditandai oleh adanya manifestasi di permukaan. Sebuah manifestasi yang muncul di permukaan menunjukkan adanya sumber panas bumi di kedalaman yang dikenal dengan *reservoir*. Fluida panas bumi tidak sampai ke permukaan tanpa ada media salurannya. Fluida panas bumi mengalir melalui patahan atau rekahan yang terbentuk oleh proses geologi. Kemunculan manifestasi tidak persis di atas *reservoir*, untuk mendapatkan letak *reservoir* yang tepat, maka jenis patahan dan arah aliran fluidanya harus diketahui dengan tepat. Ada patahan yang dapat menyalurkan (*leaking*) dan ada patahan (*sealing*). Hanya patahan *leaking* yang dapat menjadi saluran fluida panas bumi (Haerudin dkk., 2020).

2.6 Sistem Panas Bumi WKP Danau Ranau

Daerah panas bumi Danau Ranau terdiri dari *clay cap*, *reservoir*, *recharge area* dan *heat source*. Panas bumi Danau Ranau diperkirakan sistem *up flow* dari Gunung Seminung (Gambar 6).



Gambar 5. Peta kompilasi panas bumi Danau Ranau (Nouel, 2017)



Gambar 6. Model tentatif panas bumi Danau Ranau (Nouel, 2017)

1. Batuan Penudung (*Clay Cap*)

Batuan Penudung (*Clay Cap*) mengisi rongga dan rekahan di sekeliling struktur. Batuan yang berperan sebagai penudung dalam sistem panas bumi Danau Ranau ini diduga batuan lava andesit yang terbentuk dari batuan ubahan argilik.

2. *Reservoir*

Reservoir banyak dijumpai di sekitar struktur atau sesar. *Zona reservoir* di Danau Ranau diperkirakan terbentuk akibat pendinginan dari proses tektonik dari Gunung Seminung.

3. *Recharge area*

Penyebaran *recharge area* dikontrol oleh pola struktur sesar di daerah penelitian. Air hujan yang meresap melalui porositas batuan atau melalui rekahan-rekahan yang terbentuk akibat proses deformasi. Air tersebut meresap dengan melewati batuan breksi dan piroklastik tersebut sampai menuju uap panas yang berasal dari magma sehingga terpanaskan dan terbentuk air panas.

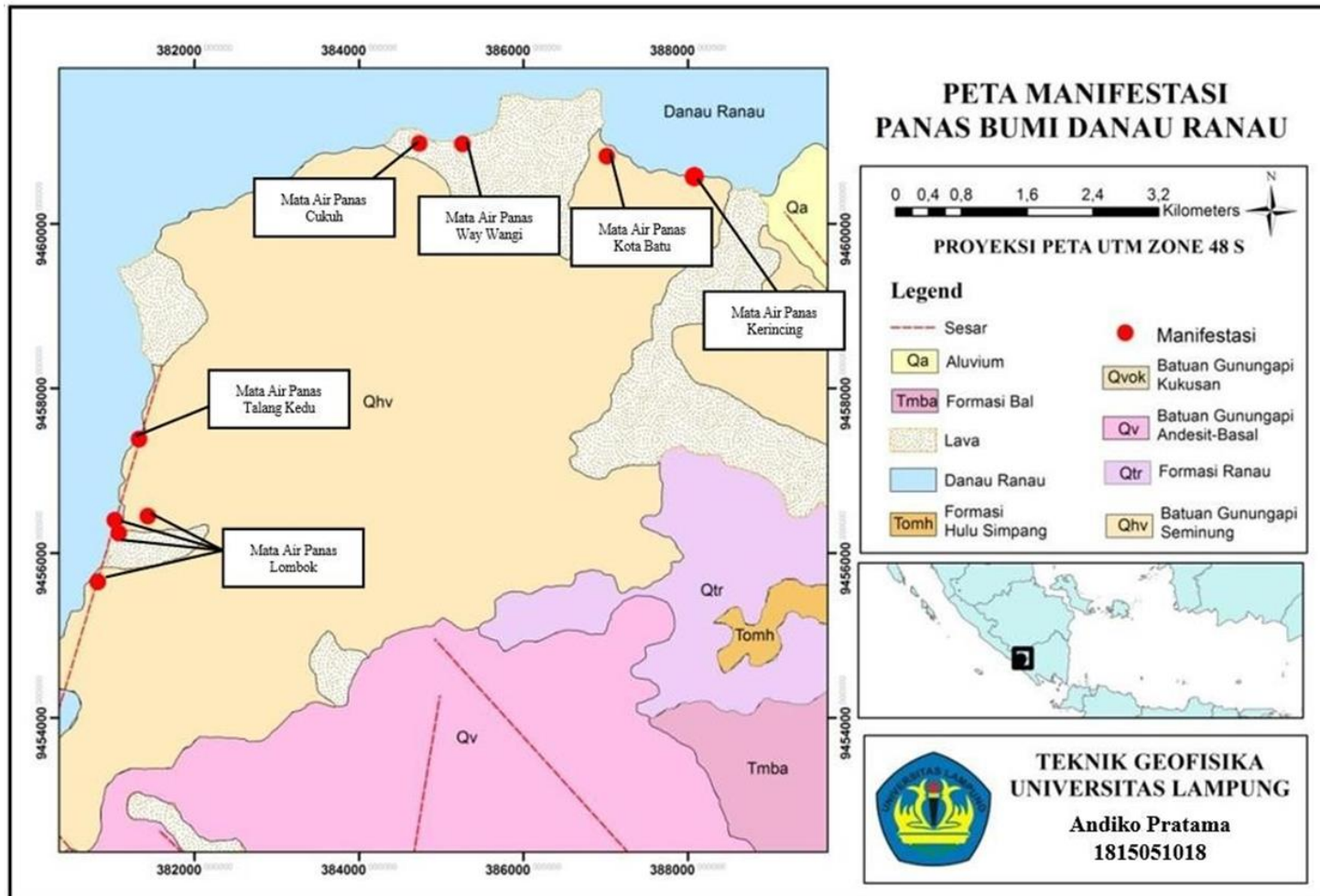
4. *Heat source* (Sumber panas)

Sumber panas pada daerah penelitian berasal dari sisa magma yang berasal dari Gunung Seminung, sehingga membentuk batuan vulkanik. Magma yang berasal dari Gunung Seminung naik ke permukaan karena adanya gaya endogen dari dalam. Pembentukan batuan pada daerah penelitian bersifat

eksplosif dikarenakan batuan yang ada yaitu lava dan piroklastik.

2.7 Manifestasi Panas Bumi Danau Ranau

Manifestasi panas bumi di daerah Danau Ranau terdapat sebanyak sepuluh manifestasi yang terdiri dari delapan buah kelompok mata air panas dan dua buah zona alterasi. Pemunculan mata air panas ini seluruhnya berada di pinggir danau yang sebagian besar terdapat pada lingkungan batuan lava basaltis dan sebagian kecil piroklastik dan breksi laharik (Kusuma dkk.,2015).



Gambar 7. Sebaran manifestasi daerah penelitian (modifikasi Ibrahim dkk., 2020)

2.8 Penelitian Terdahulu

1. Wibowo, 2013 membahas mengenai pendekatan inversi 1D untuk mengurangi efek *galvanic* pada model 2D magnetotellurik daerah panas bumi danau ranau menghasilkan data MT tidak begitu stabil pada lapisan dangkal karena perbedaan topografi yang mencolok yang disebut juga karena efek galvanik (distorsi *galvanic*) dan juga aktivitas permukaan baik dari aktivitas manusia maupun benda yang mempengaruhi gelombang elektromagnetik pada permukaan. Pendekatan 1D dapat digunakan untuk melakukan pendugaan batas atas *Claycap* yang error akibat efek topografi. analisis komponen panasbumi (*caprock* dan *reservoir*) terhadap nilai resistivitas pada hasil pemodelan inversi 2D magnetotellurik diinterpretasikan bahwa daerah impermeable (*Claycap*) ditunjukkan oleh lapisan dengan nilai resistivitas ≤ 10 Ohm.m dengan ketebalan 700-1000 meter. Untuk daerah permeable (*reservoir*) ditunjukkan oleh lapisan dengan nilai resistivitas ≤ 10 s.d 60 Ohm.m pada kedalaman lebih dari 1000 meter.
2. Yuliansyah, 2016 melakukan penelitian identifikasi zona *reservoir* lapangan panas bumi guci jawa Tengah menggunakan data geokimia dan metode magnetotellurik yang menghasilkan Berdasarkan data geokimia, manifestasi di daerah Guci termasuk ke dalam tipe bikarbonat (HCO_3), dalam kondisi *immature water* dan merupakan area *outflow*. Air diprediksi berasal dari *reservoir* dan telah mengalami pencampuran dengan air meteorik. Suhu *reservoir* sekitar 280°C berdasarkan geotermometer Na-K-Ca. Berdasarkan data geokimia kedalaman *reservoir* sekitar 1900 m. Berdasarkan metode magnetotellurik keberadaan *reservoir* ditunjukkan dengan sebaran nilai resistivitas 10-60 Ωm pada kedalaman 0-2000 m dari permukaan laut, relatif lebih dangkal di Tenggara. Ketebalan *reservoir* rata-rata 1000 m, diduga berada pada Formasi Kumbang. *Clay cap* memiliki kedalaman yang bervariasi dari 0 – 2500 m. Sumber panas diduga berasal dari G. Mingkrik yang merupakan aktivitas termuda dari kompleks Gunung Slamet.

3. Nurarafah dkk. 2016 melakukan penelitian menggunakan analisis spektrum pada data geomagnet telah dilakukan di Lapangan Panasbumi Sapoo, Kabupaten Sigi. Penelitian ini bertujuan untuk memperoleh estimasi gradien temperatur *Curie* pada daerah panas bumi tersebut. Tahapan pengukuran anomali magnetik meliputi; akuisisi data lapangan, melakukan koreksi IGRF dan koreksi variasi harian, dan kemudian membuat peta kontur anomali. Berdasarkan peta kontur anomali medan magnet hasil interpretasi kualitatif, diperoleh nilai anomali magnet tinggi sebesar (340 n), dan anomali magnet rendah sebesar (-20 nT). Teknik yang digunakan adalah teknik analisis spektrum untuk memperoleh kedalaman dan untuk mengetahui gradien temperatur dan aliran panas bumi di daerah penelitian. Nilai rata-rata kedalaman yang diperoleh yaitu untuk kedalaman atas, kedalaman tengah, dan kedalaman basal adalah berturut-turut 1.267 m, 2.161 m, dan 3.054,5 m. Nilai gradien temperatur masing-masing lintasan yaitu lintasan A, lintasan B, lintasan C, lintasan D adalah berturut-turut 0,19748042 °C/m, 0,21577381 °C/m, 18709677 °C/m dan 0,16604638 °C/m.
4. Putri, 2019 melakukan penelitian mengenai model tentatif sistem panas bumi danau ranau menggunakan analisis 3g (geologi, geokimia, dan geofisika). Analisis geologi menggunakan SRTM dan peta geologi, SRTM untuk menentukan satuan geomorfologi (4 satuan geomorfologi vulkanik) dan gaya utama yang mempengaruhi struktur geologi (memiliki asosiasi dengan Sesar Semangko) daerah penelitian. Peta geologi untuk mengetahui urutan stratigrafi (12 satuan geologi yang merupakan hasil dari produk vulkanik) daerah penelitian dan membantu dalam interpretasi. Analisis geokimia untuk mengetahui jenis manifestasi air panas (mata air pH netral dengan suhu 37,3°C hingga 63,7°C) dan mengkarakterisasi jenis sistem panas bumi. Karakteristik fluida panasbumi yaitu dominasi bikarbonat yang terkontaminasi oleh air meteorik dengan kelompok sistem bersuhu rendah hingga tinggi, kecuali pada air panas Lombok-4 memiliki tipe bikarbonat-sulfat. Analisis geofisika untuk menentukan konfigurasi dari sifat fisik geologi di bawah permukaan dengan menggunakan metode

gayaberat dan geolistrik. Perbedaan densitas batuan merupakan acuan dalam penyelidikan gayaberat, sumber dan tempat akumulasi panas bawah permukaan bumi dapat menyebabkan perbedaan densitas dengan massa batuan sekitar. Berdasarkan hasil pemodelan inversi 3D pada gayaberat memiliki nilai densitas tinggi (2,54 gr/cm³ – 3,15 gr/cm³) merupakan batuan beku sebagai sumber panas pada sistem panas bumi daerah penelitian, densitas antara 1,03 gr/cm³ hingga 2,55 gr/cm³ berpotensi sebagai reservoir pada sistem panas bumi daerah penelitian, dan densitas antara 2,56 gr/cm³ hingga 2,59 gr/cm³ berpotensi untuk menjadi batuan penudung. Untuk mengetahui tahanan jenis dari batuan secara vertikal menggunakan konfigurasi-konfigurasi tertentu menggunakan metode geolistrik. Berdasarkan hasil pemodelan 3D dari data tahanan jenis nilai resistivitas menengah (10 – 60 Ohm-m) pada bagian utara zona reservoir ini berada pada kedalaman antara 0 meter hingga 560 meter, sedangkan pada bagian selatan terdapat nilai resistivitas menengah (10 – 60 Ohm-m) pada elevasi 880 meter hingga kedalaman 560 meter. Zona batuan penudung merupakan batuan lava yang mengalami alterasi pada daerah penelitian. Nilai resistivitas yang tinggi (>60 Ohm-m) berasosiasi dengan batuan intrusif yang dapat menjadi sumber panas dalam sistem panas bumi daerah penelitian.

5. Ibrahim dkk. 2020 membahas tentang bagaimana kondisi geologi di daerah panas bumi Danau Ranau secara tentatif menggunakan teknik penginderaan jauh dengan citra Landsat ETM dan citra SRTM. Citra Landsat ETM dapat diolah untuk menampilkan kenampakan objek tertentu melalui manipulasi warna citra. Pengelolaan yang digunakan komposisi pewarnaan citra dengan kode 321 dan 457 yang menonjolkan kenampakan objek dan memiliki kemampuan yang tinggi untuk memantulkan gelombang elektromagnetik pada panjang inframerah. Pada citra SRTM kenampakan relief sangat baik karena berasal dari pantulan gelombang radar yang bebas gangguan di atmosfer maupun gangguan penutup lahan. Pengolahan data citra SRTM menghasilkan DEM (*digital elevation model*) dalam bentuk kontur sehingga deliniasi relief bisa didasarkan dari pola

garis kontur. Kondisi geologi daerah panas bumi Danau Ranau dan sekitarnya berdasarkan hasil interpretasi citra Landsat ETM dan citra SRTM diketahui secara tentatif. Daerah penelitian tersusun oleh endapan Kuartar dan Formasi batuan yang berumur Tersier. Endapan Kuartar terdiri dari aluvium, endapan Gunungapi Kukusan, endapan Gunungapi Seminung dan endapan Gunungapi Pugung. Formasi batuan yang berumur Tersier terdiri dari Formasi Ranau, Formasi Bal dan Formasi Hulusimpang.

6. Pratiwi, 2022 melakukan analisis dan lapisan lapuk dengan menggunakan metode geolistrik resistivitas 2D untuk mengidentifikasi tipe longsor di area panas bumi danau ranau Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode geolistrik resistivitas 2D dengan konfigurasi dipole-dipole yang dilakukan secara mapping sehingga akan menghasilkan penampang *pseudosection* resistivitas 2D secara lateral dan konfigurasi *schlumberger* dilakukan secara sounding yang akan menghasilkan nilai resistivitas yang menggambarkan kedalaman setiap lapisan bawah permukaan. Daerah penelitian yang berpotensi mengalami tanah longsor cukup luas dan cukup sulit diakses maka penelitian ini hanya dibatasi pada bagian utara area prospek panas bumi yaitu Desa Kotabatu dan Desa Waywangi. Penelitian ini dilakukan pengukuran di Desa Kotabatu dengan rincian, 3 lintasan dipole dan 3 titik VES, sedangkan di Desa Waywangi dilakukan pengukuran dengan rincian, 3 lintasan dipole dan 3 titik VES. Hasil yang diperoleh Desa Kotabatu memiliki ketebalan lapisan lapuk sekitar 3-22 meter dengan model bidang gelincir berbentuk lurus dan memiliki kemiringan bidang gelincir antara 2 derajat-28 derajat, sehingga Desa Kotabatu memiliki tipe longsor translasi. Desa Waywangi memiliki ketebalan lapisan lapuk sekitar 1-22 meter dengan model bidang gelincir berbentuk relatif lurus dan memiliki kemiringan bidang gelincir antara 3 derajat-52 derajat sehingga tipe longsor pada lokasi ini merupakan tipe longsor translasi.

III. TEORI DASAR

3.1 Metode Gayaberat

Metode Gayaberat adalah metode yang mengukur nilai variasi percepatan gravitasi di bumi dan parameter fisis batuan yang utama didapat dari metode ini adalah densitas, metode ini mengukur perubahan *anomali* percepatan gravitasi akibat perbedaan densitas (Telford, 1990).

Metode gayaberat merupakan salah satu hal penting dalam banyak masalah yang melibatkan pemetaan bawah permukaan bumi dan studi geologi. Metode gayaberat didasarkan pada sifat massa, dimana besarnya massa tersebut akan menentukan besarnya gaya tarik-menarik diantara benda tersebut (Djudjun, 2005).

3.2 Konsep Dasar Metode Gayaberat

3.2.1 Gaya Berat Newton

Gayaberat Newton memiliki prinsip teori yang didasari Hukum Newton dimana menjabarkan mengenai adanya gaya tarik menarik antara dua massa m_1 dan m_2 yang terpisah sejauh r , dapat dirumuskan pada persamaan (1) sebagai berikut :

$$\vec{F} = -G \frac{m_1.m_2}{r^2} = \dots\dots\dots(1)$$

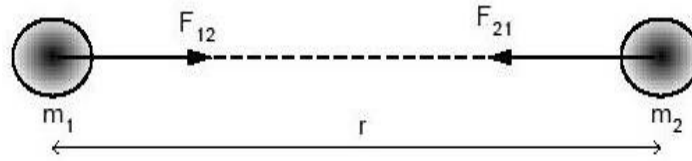
Dengan:

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

m_1, m_2 : Massa benda 1 dan massa benda 2 (kg)

r : Jarak antara dua buah benda (m)

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



Gambar 8. Gaya tarik menarik antara dua buah benda (Grandis, 2009).

3.2.2 Percepatan Gravitasi

Newton juga menjabarkan keterkaitan antara gaya dan percepatan. Hukum II Newton secara spesifik menjelaskan tentang gerak dimana gaya sebanding dengan massa benda dikalikan dengan percepatan gayaberat bumi yang dialami benda tersebut (persamaan 2).

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

Percepatan sebuah benda bermassa \$m_2\$ yang disebabkan oleh tarikan benda bermassa \$m_1\$ pada jarak \$r\$ secara sederhana dapat dinyatakan dengan persamaan 3.

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

Bila ditetapkan pada percepatan gaya tarik bumi persamaan 3 menjadi persamaan 4.

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

Dengan :

- \vec{g} : Percepatan gaya tarik bumi (m/s²)
- M : Massa bumi (kg)
- m : Massa benda (kg)
- \vec{F} : Gayaberat (N)
- r : Jari-Jari bumi (km)

Pengukuran percepatan gayaberat pertama kali dilakukan oleh Galileo, sehingga untuk menghormati Galileo, kemudian didefinisikan:

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

Satuan anomali gayaberat dalam kegiatan eksplorasi diberikan dalam orde

miligal (mGal) :

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

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

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

Dalam satuan m.k.s, gayaberat diukur dalam g.u. (*gravity unit*) atau $\mu\text{m/s}^2$ (Reza dkk., 2013).

3.2.3 Potensial Gayaberat

Potensial gayaberat merupakan suatu energi yang digunakan untuk menempatkan suatu massa di suatu titik ke titik tertentu. Potensial pada suatu titik, pada medan gravitasi dinyatakan sebagai usaha yang diperlukan untuk memindahkan satu massa (m) dari jauh tak berhingga ke titik tertentu dalam medan gravitasi bumi bermassa m (persamaan 5, persamaan 6 dan persamaan 7).

$$V = G \int_u^r \frac{dr}{r^2} \dots\dots\dots(5)$$

$$V = G \frac{m}{r^2} r \dots\dots\dots(6)$$

$$V = G \frac{m}{r} \dots\dots\dots(7)$$

dengan:

V : Potensial gravitasi

M : Massa benda (kg)

R : Jarak (m)

G : Konstanta universal gravitasi ($6.67 \times 10^{-11} \text{ m}^3\text{kg}^{-1} \text{ s}^{-2}$) (Blakely, 1996).

3.3 Rapat Massa Batuan

Densitas batuan adalah besaran utama dalam menentukan nilai percepatan gravitasi. Densitas batuan dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu rapat massa butir pembentuknya, porositas, kandungan fluida yang mengisi pori-porinya, serta pepadatan akibat tekanan dan pelapukan yang dialami batuan tersebut (Brotopuspito, 2001). Adapun variasi nilai densitas dapat dilihat

pada Tabel 1.

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

Jenis Batuan	Nama Batuan	Batas (gr/cc)	Rata-rata (gr/cc)
Batuan Sedimen	<i>Aluvium</i>	1,96-2,00	1,98
	<i>Clay</i>	1,63-2,60	2,21
	<i>Gravel</i>	1,70-2,40	2,00
	<i>Loess</i>	1,40-1,93	1,64
	<i>Silt</i>	1,80-2,20	1,93
	<i>Soil</i>	1,20-2,40	1,92
	<i>Sand</i>	1,70-2,30	2,00
	<i>Sandstone</i>	1,61-2,76	2,35
	<i>Shale</i>	1,77-3,20	2,40
	<i>Limestone</i>	1,93-2,90	2,55
	<i>Dolomit</i>	2,28-2,90	2,70
	<i>Chalk</i>	1,53-2,60	2,01
	<i>Halite</i>	2,10-2,60	2,22
	<i>Glacier Ice</i>	0,88-0,92	0,90
Batuan Beku	<i>Riolit</i>	2,35-2,70	2,52
	<i>Granit</i>	2,50-2,81	2,64
	<i>Andesit</i>	2,40-2,80	2,61
	<i>Syenite</i>	2,60-2,95	2,77
	<i>Basalt</i>	2,70-3,30	2,99
	<i>Gabro</i>	2,70-3,50	3,03
Batuan Metamorf	<i>Schist</i>	2,39-2,90	2,64
	<i>Gneiss</i>	2,59-3,00	2,80
	<i>Phylite</i>	2,68-2,80	2,74
	<i>Slate</i>	2,70-2,90	2,79
	<i>Granulite</i>	2,52-2,7	2,65
	<i>Amphibolite</i>	2,90-3,04	2,96
	<i>Eclogite</i>	3,20-3,54	3,37

3.4 Anomali Bouguer

Anomali Bouguer merupakan perbedaan antara nilai gayaberat observasi (g_{obs}) dengan jumlah secara aljabar dari koreksi *drift*, koreksi pasang surut, koreksi lintang, koreksi udara bebas, koreksi Bouguer, dan koreksi *terrain*. Variasi dari anomali Bouguer merefleksikan variasi densitas secara lateral misalnya benda dengan densitas tinggi berada di dalam medium yang memiliki densitas rendah akan menghasilkan nilai Bouguer anomali positif.

Sebaliknya, benda dengan densitas rendah yang berada pada medium dengan densitas tinggi akan menghasilkan nilai anomali Bouguer negatif (Reynolds, 1997). Menurut Hinze dalam Parapat (2017), anomali *Bouguer* adalah selisih antara harga gravitasi pengamatan dengan harga gravitasi teoritis yang didefinisikan pada titik pengamatan tertentu. Perbedaan akan menggambarkan perbedaan densitas atau rapat massa pada suatu daerah dengan daerah sekelilingnya baik ke arah vertikal maupun lateral. Sebagai contoh karena keterdapatannya suatu material tertentu seperti batuan sumber panas di dalam kulit bumi. Target akhir yang ingin didapatkan dari metoda gayaberat pada eksplorasi sumber daya alam maupun studi keilmuan adalah mendapatkan gambaran bawah permukaan berdasarkan variasi persebaran densitas.

Anomali Bouguer menggambarkan persebaran dari gayaberat untuk menggambarkan kondisi bawah permukaan berdasarkan kontras rapat massa batuan. Dengan demikian nilai anomali Bouguer dapat dirumuskan sebagai berikut (persamaan 8) (Brotospito, 2001):

$$BA = g_{obs} - (g_{\varphi} + FAC + BC + TC) \dots \dots \dots (8)$$

dengan,

g_{obs} = Harga gayaberat pengukuran di titik tersebut

g_{φ} = G lintang

FAC = *Free Air Correction*/ koreksi udara bebas

BC = *Bouguer Correction*/ koreksi *Bouguer*

TC = *Terrain correction*/ koreksi medan

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

3.5 Koreksi Metode Gayaberat

Dalam memproses data metode gayaberat pada penelitian ini, terdapat beberapa koreksi-koreksi yang harus dilakukan untuk mereduksi *noise-noise* yang ditimbulkan. Adapun koreksi-koreksi tersebut antara lain:

3.5.1 Koreksi Pasang Surut (*Tide Correction*)

Koreksi ini muncul karena adanya efek tarikan gaya berat oleh benda – benda langit seperti matahari dan bulan. Efek tersebut dapat dihilangkan dengan melakukan koreksi pasang surut. Logman (1959) menyatakan bahwa nilai pasang surut yang mempengaruhi nilai gaya berat yang telah dihitung dengan menggunakan komputasi adalah orde mikroGal. Nilai positif dan negatif terdapat pada grafik pasang surut yang menandakan jika bernilai positif maka bumi mengalami tarikan dari posisi normalnya dan apabila negatif maka bumi mengalami dorongan dari posisi normalnya.

3.5.2 Koreksi Apungan (*Drift Correction*)

Dalam pengukuran metode gaya berat menggunakan alat, efek dari kesalahan pembacaan oleh alat dapat dikoreksi dengan koreksi apungan (*drift correction*). Alat yang digunakan dalam pengukuran lapangan misalnya gravitimeter, dimana alat ini memiliki sensor pegas yang unik. Nilai konstanta pegas akan berubah dari waktu ke waktu sesuai pengukuran (Telford dkk, 1990).

3.5.3 Koreksi Udara Bebas (*Free Air Correction*)

Pengukuran gayaberat yang dilakukan pada ketinggian h dari *mean sea level* akan mengakibatkan nilai g yang semakin kecil, sehingga harus dilakukan koreksi pada pembacaan alat. Koreksi udara bebas digunakan untuk memperoleh nilai pembacaan gravitasi absolut pada titik observasi (Syamsuriadi, 2013). Menurut Brotopuspito (2001) persamaan 9 yang digunakan untuk koreksi udara bebas adalah:

$$FAC = 0,3086 \times h \dots\dots\dots(9)$$

Keterangan :

FAC = *Free Air Correction*.

h = Ketinggian (m).

Untuk memperoleh nilai *Free Air Anomaly* (FAA) atau anomali udara bebas, dapat menggunakan persamaan 10.

$$FAA = g_{obs} - g_{\phi} + 0,3086 h \dots\dots\dots(10)$$

Keterangan :

FAA = *Free Air Anomaly*.

g_{obs} = Gravitasi Observasi.

3.5.4 Koreksi *Bouguer*

Koreksi *Bouguer* adalah koreksi yang dilakukan dengan tujuan menghilangkan nilai ketinggian yang berbeda dengan massa di bawah permukaan bumi tidak diabaikan. Koreksi *Bouguer* dilakukan dengan cara memperhitungkan massa batuan yang terdapat di antara stasiun dengan bidang geoid. Koreksi *Bouguer* menghitung tarikan massa antar titik amat dengan titik datum yang diabaikan ketika melakukan koreksi udara bebas (persamaan 11 dan persamaan 12) (Telford dkk., 1990).

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

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

dengan,

BC = *Bouguer Correction* (mGal/m).

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

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

h = Ketinggian (m).

3.5.5 Koreksi Medan (*Terrain Correction*)

Koreksi medan digunakan untuk meninjau kembali adanya penyebaran massa yang tidak teratur pada sekitar titik pengukuran. Pada koreksi *Bouguer* menggambarkan titik akuisisi pengukuran pada lapangan yang terletak pada suatu bidang datar yang sangat luas. Sedangkan kondisi di lapangan terdapat topografi atau ketinggian yang tidak datar akan tetapi ada kumpulan gunung atau perbukitan. Jika hanya menggunakan koreksi *Bouguer* saja akan menghasilkan data yang kurang baik. Dari kenyataan diatas, pengaruh material yang ada di sekitar baik material yang ada berada diatas maupun dibawah titik pengukuran turut memberi tambahan terhadap hasil pengukuran di titik pengukuran tersebut sehingga harus dilakukan koreksi topografi

terlebih jika di medan pengukuran memiliki topografi yang tidak beraturan seperti rangkaian pegunungan ataupun bukit (Susilawati, 2005). Menggunakan *Hammer Chart*, Koreksi medan dapat diperoleh dengan persamaan 13 (Ferdiani, 2014):

$$TC = \frac{0.04193}{n} \rho \left\{ (r_2 - r_1) + \sqrt{r_2^2 + L^2} - \sqrt{r_1^2 + L^2} \right\} \dots\dots\dots(13)$$

dengan,

TC : Koreksi Medan

n : Jumlah kompartemen tiap zona

ρ : Densitas (g/cc)

r_1 : jari-jari radius dalam (m)

r_2 : jari-jari radius luar (m)

L : Selisih ketinggian dari titik pengukuran (m)

3.6 Analisis Spektrum

Analisis spektrum memiliki tujuan untuk mendapatkan nilai kedalaman suatu benda anomali gayaberat dari bawah permukaan. Metode analisis spektrum memanfaatkan transformasi *Fourier* guna mengubah suatu fungsi waktu dan jarak menjadi suatu fungsi frekuensi atau bilangan gelombang. Spektrum diperoleh dari nilai potensial yang terdapat pada suatu bidang horizontal. Dengan persamaan transformasi *Fourier* (persamaan 14) (Blakely, 1996) :

$$F(U) = \gamma \mu F \frac{1}{R} \quad \text{dan} \quad F \frac{1}{R} = 2\pi \frac{e^{|k|(z_0 - z_1)}}{|K|} \dots\dots\dots(14)$$

dengan,

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

U : potensial gayaberat

μ : anomali rapat massa

γ : konstanta gayaberat

r : jarak

Gerak vertikal gravitasi yang disebabkan oleh suatu titik massa adalah turunan *derivative* dari potensial gayaberatnya (persamaan 15, persamaan 16 dan persamaan 17) :

$$g_z = Gm \frac{\partial}{\partial z} \frac{1}{r} \dots\dots\dots(15)$$

$$F(g_z) = GmF \frac{\partial}{\partial z} \frac{1}{r} \dots\dots\dots(16)$$

$$F(g_z) = Gm \frac{\partial}{\partial z} F \frac{1}{r} \dots\dots\dots(17)$$

Transformasi Fourier pada lintasan yang diinginkan adalah pada persamaan 18:

$$(g_z) = 2\pi Gme|k|(z_0 - z_1), \quad z_1 > z_0 \dots\dots\dots(18)$$

Jika distribusi rapat massa bersifat *random* dan tidak ada korelasi antara masing-masing nilai gayaberat, maka $m=1$ sehingga hasil transformasi Fourier anomali gayaberat menjadi (persamaan 19) :

$$A = C e|k|(z_0 - z_1) \dots\dots\dots(19)$$

dengan :

A = amplitudo

C = konstanta

Untuk memperoleh hubungan antara amplitudo (A) dengan bilangan gelombang (k) dan kedalaman ($z_0 - z_1$) dilakukan dengan melogaritmakan persamaan $A = C e|k|(z_0 - z_1)$, sehingga bilangan gelombang k berbanding lurus dengan spectral amplitude (persamaan 20 dan persamaan 21) :

$$\ln A = \ln 2\pi Gme|k|(z_0 - z_1) \dots\dots\dots(20)$$

$$\ln A = (z_0 - z_1)|k| + \ln C \dots\dots\dots(21)$$

Persamaan di atas dapat dianalogikan dalam persamaan garis lurus (persamaan 22) :

$$y = mx + c \dots\dots\dots(22)$$

Dimana $\ln A$ sebagai sumbu y , $|k|$ sebagai sumbu x , dan $(z_0 - z_1)$ sebagai kemiringan garis (*gradien*). Oleh karena itu, kemiringan garisnya merupakan kedalaman bidang dalam dan dangkal $|k|$ sebagai sumbu x didefinisikan dengan bilangan gelombang yang besarnya $2\pi/\lambda$ dan satuannya *cycle/meter*,

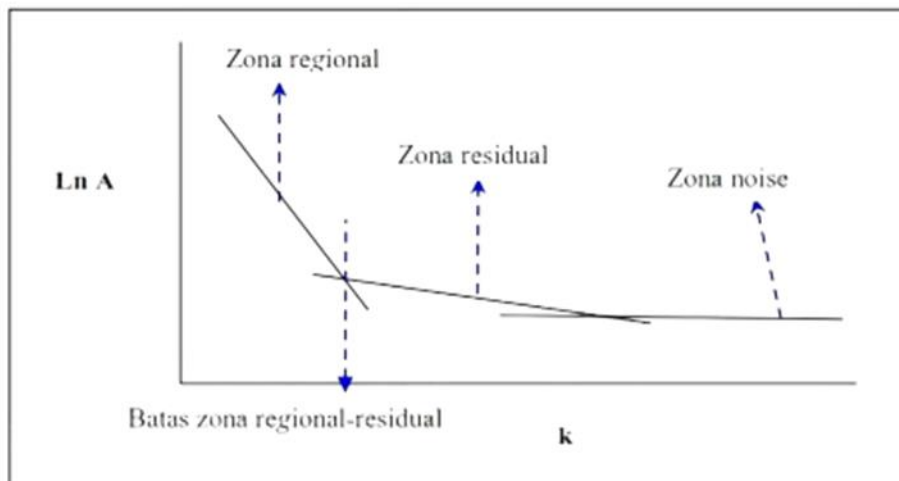
dengan λ adalah panjang gelombang. Hubungan dengan Δx diperoleh dari persamaan 23:

$$k = 2\pi/\lambda = 2\pi/(k c \Delta x) \dots\dots\dots(23)$$

Nilai λ sama dengan Δx , ada faktor lain pada Δx yang disebut konstanta pengali, sehingga $\lambda = N \cdot \Delta x$, konstanta N didefinisikan sebagai lebar jendela, jadi lebar jendela dapat dirumuskan sebagai berikut (persamaan 24):

$$N = 2\pi/(k c \Delta x) \dots\dots\dots(24)$$

Dimana Δx adalah domain spasi yang akan digunakan dalam *Fast Fourier Transform* (FFT), dan kc adalah bilangan gelombang *cutoff*. Semakin besar nilai k , maka nilai frekuensi akan tinggi. Hubungan bilangan gelombang k dengan frekuensi f adalah $k = 2\pi f$, frekuensi yang sangat rendah berasal dari sumber anomali regional dan frekuensi tinggi berasal dari sumber anomali residual.



Gambar 9. Kurva $\ln A$ terhadap K (Blakely, 1996)

3.7 Filter Moving Average

Filter Moving Average merupakan salah satu metode penapisan *low pass filter*, dimana metode ini menghilangkan frekuensi tinggi dan meloloskan frekuensi rendah. Data Anomali Bouguer Lengkap ditapis menggunakan metode ini dengan lebar jendela merupakan rata-rata dari setiap lintasan yang telah melalui analisis spektrum. *Output* yang didapatkan disebut dengan anomali regional. Sedangkan anomali residual diperoleh dengan cara

melakukan proses pengurangan pada anomali Bouguer lengkap dengan anomali regional. Pada prinsipnya nilai lebar jendela yang digunakan semakin besar maka nilai anomali residual yang diperoleh akan semakin mendekati nilai anomali Bouguer (Setiadi, dkk., 2010).

Proses pemisahan Anomali Bouguer menjadi anomali regional dan anomali residual dilakukan untuk mempermudah proses interpretasi secara kualitatif. Untuk melakukan pemisahan antara kedua anomali tersebut maka dapat memanfaatkan *filter moving average*. Filter ini memiliki perhitungan dengan cara mencari nilai rata-rata anomalnya. Hasil rata-rataan dari filter adalah anomali regional, sedangkan anomali residual diperoleh dengan mengurangkan data hasil pengukuran gayaberat atau Anomali *Bouguer* lengkap dengan anomali regional (persamaan 25).

$$\Delta g_{reg}(i) = \frac{\Delta g(i-n) + \dots + \Delta g(i) + \dots + \Delta g(i+n)}{N} \dots\dots\dots(25)$$

Keterangan :

i : nomor stasiun

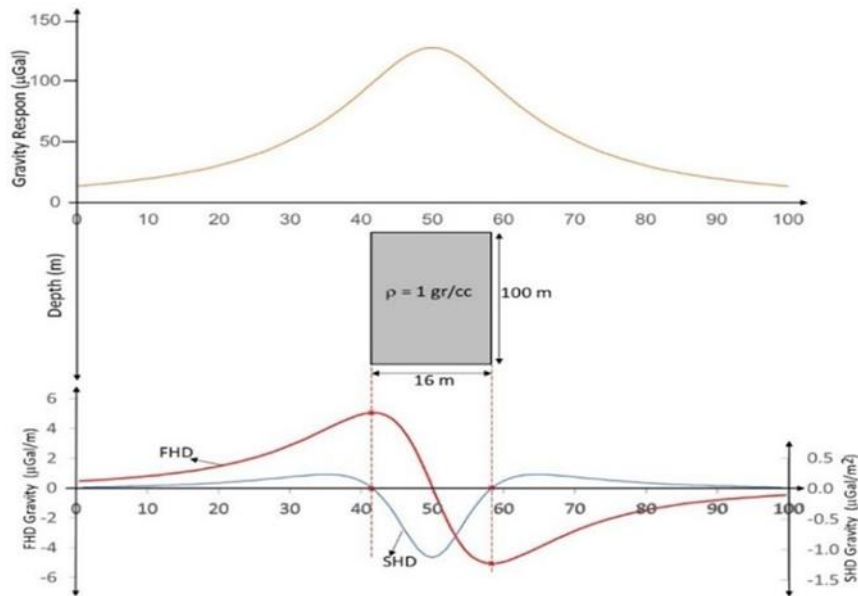
N : lebar jendela

$$n = \frac{N-1}{2}$$

Δ = besarnya anomali regional

3.8 *First Horizontal Derivative*

Pengertian *Horizontal Derivative* pada data anomali gayaberat adalah perubahan nilai anomali gayaberat dari satu titik ke titik lainnya dengan jarak tertentu. *Horizontal derivative* dari anomali gayaberat yang disebabkan oleh suatu *body* cenderung untuk menunjukkan tepian dari *body*-nya tersebut. Jadi metode *horizontal derivative* dapat digunakan untuk menentukan lokasi batas kontak densitas horizontal dari data gayaberat (Cordell dan Grauch, 1982).



Gambar 10. Hasil pemodelan analitik turunan gravitasi horizontal untuk model benda pelat tegak (Sarkowi, 2022).

Metode ini dapat digunakan untuk menggambarkan struktur bawah permukaan yang dangkal maupun dalam. Amplitudo dari *horizontal derivative* ditunjukkan sebagai berikut (persamaan 26) (Cordell dan Grauch, 1982):

$$FHD = \frac{\Delta g}{\Delta x} = \frac{g_{(i+1)} - g_{(i)}}{\Delta x} \dots\dots\dots(26)$$

Dimana $\frac{\partial g}{\partial x}$ dan $\frac{\partial g}{\partial y}$ adalah turunan horizontal gayaberat pada arah x dan y. Satuan dari FHD adalah $mGal.m^{-1}$. Respon anomali dari *first horizontal derivative* ditunjukkan pada Gambar 9.

3.9 Second Vertical Derivative

Second Vertical Derivative (SVD) dilakukan untuk memunculkan efek dangkal dari pengaruh regionalnya yang digunakan untuk mendeteksi anomali yang disebabkan oleh struktur. *Second Vertical Derivative* (SVD) ini yaitu diturunkan dari persamaan *laplace*. Adapun secara teoritis metode ini diturunkan dari persamaan *laplace* untuk anomali gayaberat di permukaan yang persamaannya yaitu sebagai berikut (persamaan 27 dan persamaan 28).

$$\nabla^2 \Delta_g = 0 \dots\dots\dots(27)$$

Atau :

$$\frac{\partial^2 \Delta_g}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \Delta_g}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \Delta_g}{\partial z^2} = 0 \dots\dots\dots(28)$$

sehingga *second vertical derivative*-nya diberikan pada persamaan 29:

$$\frac{\partial^2 \Delta_g}{\partial z^2} = - \left(\frac{\partial^2 \Delta_g}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \Delta_g}{\partial x^2} \right) \dots\dots\dots(29)$$

Persamaan SVD di atas menunjukkan bahwa *second vertical derivative* dari suatu anomali gayaberat permukaan adalah sama dengan negatif dari derivatif orde dua horizon. Hal ini memiliki arti bahwa anomali *second vertical derivative* dapat melalui derivatif horizontal yang secara praktis lebih mudah dikerjakan. Nilai nol turunan kedua dari anomali Bouguer sama diinterpretasikan sebagai kontak dari kontras densitas antara dua lapisan batuan, dimana kontak tersebut dapat dikatakan sebagai struktur sesar ataupun intrusi (Sarkowi, 2010). Untuk menghitung nilai SVD dapat menggunakan beberapa operator filter 2D seperti pada Tabel 2, Tabel 3 dan Tabel 4.

Tabel 2. Operator Henderson and Zietz (1949).

Operator Filter SVD menurut Henderson and Zietz (1949)				
0,0000	0,0000	-0,0838	0,0000	0,0000
0,0000	1,0000	-2,6667	1,0000	0,0000
-0,0838	-2,6667	17,0000	-2,6667	-0,0838
0,0000	1,0000	-2,6667	1,0000	0,0000
0,0000	0,0000	-0,0838	0,0000	0,0000

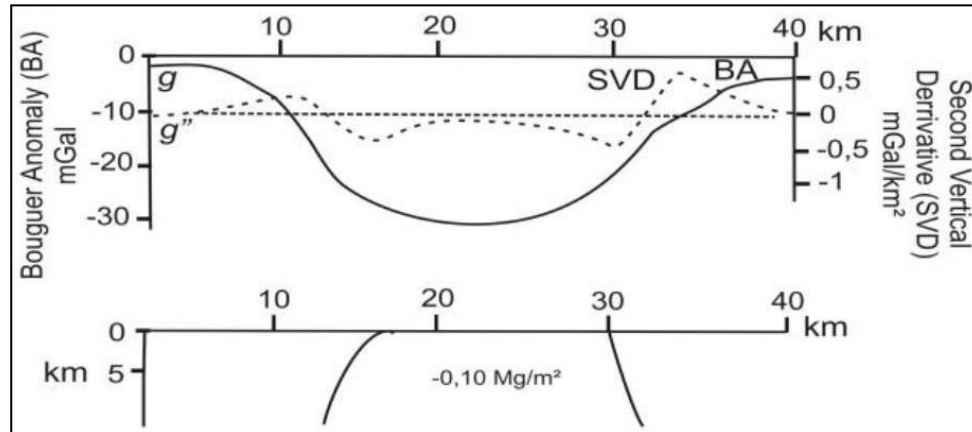
Tabel 3. Operator Elkins (1951).

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

Tabel 4. Operator Rosenbach (1953).

Operator Filter SVD menurut Rosenbach (1953)				
0,0000	-0,0416	0,0000	-0,0416	0,0000
-0,0416	-0,3332	-0,7500	-0,3332	-0,0416
0,0000	-0,7500	4,0000	-0,7500	0,0000
-0,0416	-0,3332	-0,7500	-0,3332	-0,0416
0,0000	-0,0416	0,0000	-0,0416	0,0000

Untuk penentuan arah (*dip*) sesar dapat dilihat dari kurva-kurva Anomali Gaya Berat, FHD, dan SHD. Arah (*dip*) sesar tersebut akan mengikuti dari kemiringan arah kurva anomali gayaberat dan kurva SVD. Jika arah kurva anomali gaya berat dan kurva SVD menurun ke arah kiri, maka sesar pun arahnya akan menurun ke arah kiri bawah, begitu juga sebaliknya. Jika arah kurva anomali gayaberat dan kurva SVD menurun ke arah kanan, maka sesar pun arahnya akan menurun ke arah kanan bawah (Aufia, 2017). Gambar 10 menunjukkan respon analisis SVD pada struktur geologi.



Gambar 11. Respon analisis SVD pada struktur geologi (Reynold, 1997).

3.10 Forward Modeling

Forward modeling atau pemodelan ke depan merupakan suatu metode interpretasi untuk memprediksi atau memperkirakan nilai densitas bawah permukaan dengan membuat terlebih dahulu benda geologi yang terdapat di bawah permukaan. Pada *forward modeling* model awal dibangun berdasarkan perkiraan geologi dan geofisika. Anomali model dihitung dan dibandingkan

dengan anomali yang diamati, serta parameter model disesuaikan untuk meningkatkan kesesuaian antara dua anomali. Proses penyesuaian model, perhitungan anomali, dan perbandingan anomali ini diulang sampai anomali yang dihitung dan diamati dianggap cukup mirip (Blakely, 1996).

Untuk memperoleh kesesuaian antara data teoritis (respons model) dengan data lapangan dilakukan proses coba-coba (*trial and error*) dengan mengubah harga parameter model. Seringkali istilah pemodelan ke depan atau *forward modeling* digunakan untuk menyatakan pemodelan data geofisika dengan cara coba-coba. Dengan kata lain, istilah pemodelan ke depan tidak hanya mencakup perhitungan respon model tetapi juga proses coba-coba secara manual untuk memperoleh model yang memberikan respon yang cocok dengan data (Sarkowi, 2014).

3.11 Inverse Modeling 3D

Inversi gravitasi memiliki tujuan guna menentukan persebaran densitas yang akan menjelaskan pengukuran atau bentuknya dan dimensi dari variasi densitas (Sarkowi dan Wibowo, 2021). Dalam tahap inversi dilakukan analisis data lapangan dengan melakukan *curve fitting* (pencocokan kurva) antara model matematika dan data lapangan. Tujuan dari proses inversi adalah untuk mengestimasi parameter fisis batuan yang tidak diketahui sebelumnya.

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

umum. Model terbaik atau optimum diperoleh jika kesalahan tersebut minimum (Grandis, 2009).

Tahapan optimasi yang dilakukan pada pemodelan inversi melalui tahap optimasi *Base*, *Density*, *Occam d*, *Height*, dan *Occam h*. Pada proses optimasi ini menggunakan metode *Singular Value Decomposition* (SVD) dan optimasi *Occam's* (Hjelt, 1992 dalam Parapat, 2017) dengan tahapan yang berurutan. Tahapan berurutan dilakukan karena pada perangkat lunak Grablox kedua tahapan tersebut menggunakan persamaan (46) dan (47). Bila pada tahapan optimasi dengan SVD didapatkan data densitas perhitungan dengan data pengukuran belum cocok, maka pada tahap selanjutnya optimasi Occam hingga terjadi kecocokan. Pada tahapan optimasi ini akan membuat nilai *error* menjadi semakin kecil baik dari sisi nilai densitas atau dimensinya. Nilai *error* (rms) minimum akan menggambarkan kesesuaian data, sehingga model densitas yang di dapat dianggap sebagai model yang paling optimum.

Optimasi *Base* memiliki tujuan guna mendapatkan nilai-nilai parameter dasar anomali. Optimasi densitas memiliki tujuan guna mendapatkan nilai densitas agar nilai densitas antara data pengukuran dan data perhitungan lebih cocok. Optimasi ketinggian blok memiliki tujuan guna mendapatkan posisi blok yang memiliki ketinggian yang sesuai. Sedangkan *Occam d* dan *Occam h* memiliki tujuan untuk memperkecil perbedaan antara kedua data tersebut (densitas dan ketinggian blok), sehingga didapatkan kecocokan antara keduanya (Jusmi, 2016).

Data gayaberat anomali residual diinversikan menggunakan perangkat lunak *Grablox 1.6* dari Parttijavri (2004), sehingga menghasilkan model penampang densitas berbentuk 3D. Inversi *Singular Value Decomposition* adalah suatu teknik pemfaktoran matriks dengan menguraikan suatu matriks ke dalam dua matriks (Zhao dan Chen, 2011), sebagai contoh dari matriks A menjadi matriks U dan V . Secara matematis persamaannya (Parapat, 2017) dapat ditulis sebagai:

$$A = U S V^T \dots\dots\dots(30)$$

Dimana U adalah matriks ortogonal sebelah kiri, S adalah suatu matriks diagonal, dan V adalah matriks ortogonal sebelah kanan. Perhitungan inversi matriks menggunakan teknik SVD relatif lebih stabil. Dalam penerapan teknik SVD, nilai singular yang lebih kecil dari harga tertentu dapat diabaikan atau dianggap sama dengan nol sehingga tidak diikutsertakan pada proses perhitungan solusi. Penerapan teknik SVD pada pemodelan inversi khususnya pada perhitungan matriks umumnya dapat menghasilkan solusi inversi yang cukup baik (Grandis, 2009).

Inversi *Occam* adalah suatu metode inversi yang memanfaatkan tingkat kekasaran (*roughness*) suatu model (Constable dkk., 1987) yang secara matematis dapat ditulis sebagai berikut:

$$U = \|\delta m\|^2 + \mu^{-1} \{\|Wd - WGm\|^2 - X^2\} \dots\dots\dots(31)$$

dimana, $\|\delta m\|^2$ merupakan kekasaran (*roughness*), μ^{-1} adalah *lagrange multiplier*, $\|Wd - WGm\|^2$ adalah *missfit*, dan X^2 adalah *error*.

IV. METODOLOGI PENELITIAN

4.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Adapun penelitian ini dilakukan di:

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

Alamat : Laboratorium Terpadu JTG Lt. 1 - Jl. Brojonegoro No. 1
Gedong Meneng, Rajabasa, Gedong Meneng, Kec. Rajabasa,
Kota Bandar Lampung, Lampung 35142

Waktu : September 2023 – Februari 2023

4.2 Alat dan Bahan

Adapun alat dan bahan yang digunakan pada penelitian kali ini pada Tabel 5 dan Tabel 6.

Tabel 5. Data penelitian

No	Data	Sumber Data
1.	Data Gayaberat (ABL)	Data ini berupa nilai anomali <i>Bouguer</i> lengkap dan hasil pengukuran yang dilakukan oleh pusat survei geologi bandung.
2.	Peta Geologi Lembar Baturaja	Peta geologi bersumber dari peta geologi baturaja dan peta geologi Tim Survei Geologi.

Tabel 6. *Software* yang digunakan

No	Software	Fungsi
1.	Laptop	Digunakan untuk pengolahan data
2.	Software ArcGis V 10.8	Digunakan dalam pembuatan peta penelitian, peta geologi dan data SIG lainnya.
3.	Software Geosoft Oasis Montaj V 8.3.4	Digunakan untuk membuat penampang melintang pemodelan 2D.
4.	Software Grav3D	Digunakan untuk membuat model distribusi densitas bawah permukaan dengan metode <i>inverse modeling</i> 3D.
5.	Microsoft Excel	Digunakan untuk perhitungan analisis spektrum.
6.	Microsoft Word	Digunakan untuk pembuatan laporan penelitian.

4.3 Rincian Kegiatan

Adapun rincian kegiatan penelitian ini pada Tabel 7.

4.4 Prosedur Penelitian

4.3.1 Anomali Bouguer Lengkap

Data gayabarat pada pengolahan ini bukan merupakan data observasi pengukuran lapangan melainkan data citra satelit yang diperoleh dalam bentuk data FAA (*Free Air Anomaly*) dan data topografi. Sehingga dalam pengolahannya perlu dilakukan koreksi untuk mendapatkan nilai Anomali Bouguer Lengkap (ABL) dimana dalam perhitungannya dilakukan dengan menggunakan *Software Geosoft Oasis Montaj 8.3.4*. Koreksi yang digunakan adalah koreksi Bouguer dan koreksi medan atau terrain.

4.3.2 Analisis Spektrum

Dalam tahap analisis dilakukan analisis Transformasi Fourier menggunakan data *Complete Bouguer Anomaly* untuk merubah domain data dari spasial jarak ke spasial frekuensi. *Software* yang digunakan adalah *software Oasis Montaj*. Hasil dari proses FFT adalah nilai real dan imajiner dari setiap lintasan yang selanjutnya akan diproses dengan menggunakan perangkat lunak *Ms.Excel* untuk mendapatkan nilai amplitudo (A), $\ln A$, frekuensi dan nilai bilangan gelombang k . Nilai amplitudo (A) dihasilkan dengan cara menghitung akar kuadrat dari nilai real dan imajiner. Nilai $\ln A$ dihasilkan dengan cara melogaritmakan nilai amplitudo (A). Perhitungan nilai frekuensi bergantung pada domain spasial yang telah ditentukan sebelumnya, dimana dengan mengetahui besarnya nilai k . Setelah nilai terhitung maka dilakukan plotting pada nilai k dan nilai $\ln A$. sehingga akan diperoleh nilai *cut off* pada daerah tersebut yang akan digunakan pada penentuan besarnya lebar jendela.

4.3.3 Pemisahan Anomali Regional dan Residual

Anomali *Bouguer* pada metode gayabarat disebabkan oleh perbedaan densitas batuan, baik yang berada dekat dengan permukaan bumi maupun yang jauh dari permukaan bumi. Efek yang berasal dari batuan pada daerah dangkal disebut dengan anomali regional sedangkan efek yang berasal dari batuan yang dalam disebut dengan anomali residual. Dalam penelitian metode gayabarat ini menggunakan anomali *Bouguer* lengkap yang dipisahkan

dengan noisenya. Pemisahan menggunakan penapis *moving average* dengan nilai input anomali kedalaman residual. Perangkat lunak yang digunakan untuk proses ini adalah perangkat lunak Oasis Montaj, proses pemisahan anomali dimulai dengan menginputkan data anomali Bouguer ke dalam perangkat lunak Oasis Montaj lalu nilai lebar jendela anomali kedalaman residual yang didapatkan pada proses analisis spektral dimasukkan sebagai nilai input pemisahan.

4.3.4 Analisis *Derivative*

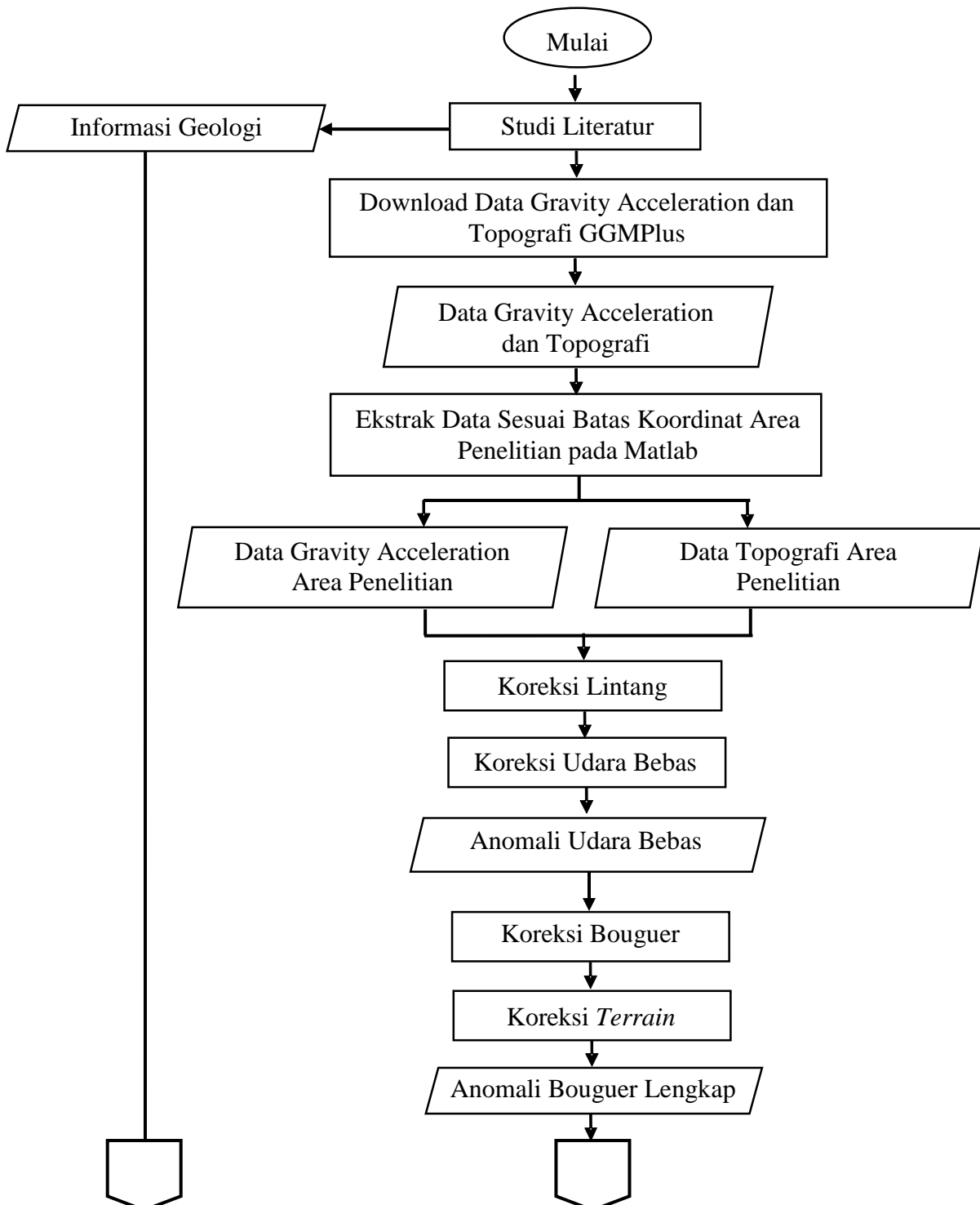
Analisis derivatif dilakukan untuk menentukan batas anomali dan membantu dalam interpretasi kualitatif penentuan lokasi dan jenis struktur berupa sesar. Dalam penelitian ini analisis *derivative* yang digunakan adalah *Second Vertical Derivative* (SVD) dengan acuan berupa lintasan yang dibuat peta peta anomali residual dan selanjutnya dibuat penampangnya. *Second Vertical Derivative* (SVD) bersifat sebagai *High Pass Filter* sehingga dapat menggambarkan anomali residual yang berasosiasi dengan struktur dangkal yang dapat digunakan untuk mengidentifikasi jenis sesar turun, sesar naik atau sesar mendatar. Analisis *Second Vertical Derivative* (SVD) dilakukan menggunakan *software* Surfer dengan *filter* SVD operator Elkins tahun 1951.

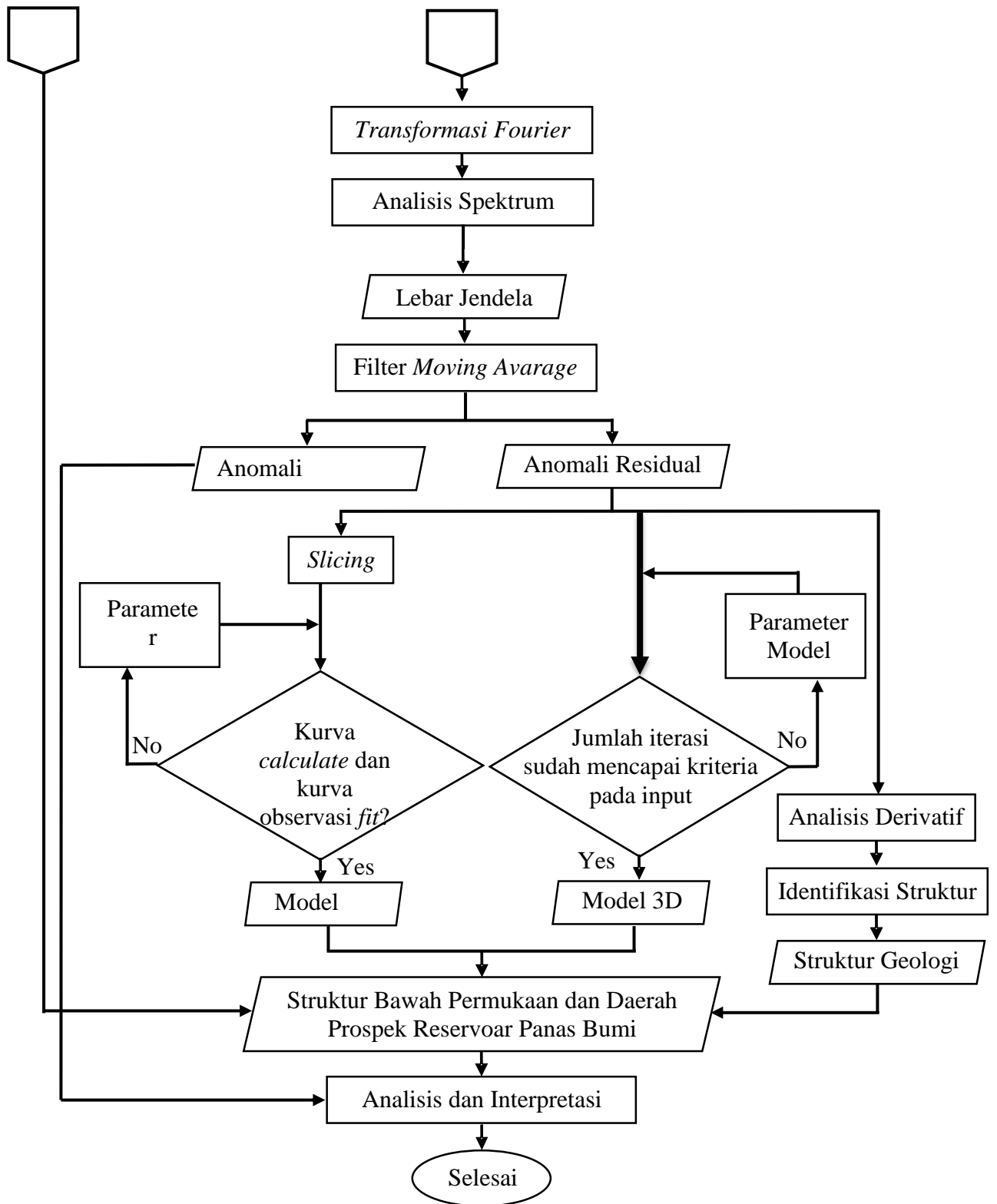
4.3.5 Pemodelan Bawah Permukaan

Metode pemodelan bawah permukaan yang dipakai pada penelitian kali ini, yaitu pemodelan mundur atau *inverse modeling*. Dalam melakukan pemodelan hal yang harus diperhatikan adalah mengatur kedalaman hal ini berkaitan dengan proses analisis spektrum yang telah dilakukan sebelumnya. Pemodelan mundur atau *inverse modelling* dilakukan untuk proses pemodelan 3D. Hal yang dilakukan adalah input data pola *anomali* sisa atau *anomali* residual dengan menggunakan *Software* zondGM3D.

4.5 Diagram Alir

Adapun diagram alir pada penelitian ini Gambar 11.





Gambar 12. Diagram Alir

VI. KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Adapun kesimpulan pada penelitian ini sebagai berikut :

1. Dari hasil analisis spektrum diperoleh nilai rata-rata anomali *Bouguer* regional 2.741 meter dan residual 271,59 meter.
2. Berdasarkan analisis derivative terdapat 6 patahan terlihat pada jarak 1524 m, 2957 m, 4277 m, 5528 m, 5778 m, dan 7530 m. Dapat diketahui bahwa terdapat perubahan bidang kontak pada kurva anomali FHD yang berada pada nilai maksimum dan minimum. Harga nilai kurva SVD minimum lebih besar dibandingkan dengan nilai maksimum terdapat pada jarak 2957 m, 5528 m, dan 5778 m diidentifikasi sebagai patahan naik. Sedangkan pada jarak 1524 m, 5528 m, dan 7530 m lebih kecil dibandingkan dengan nilai maksimum maka patahan diidentifikasi sebagai patahan turun.
3. Berdasarkan model distribusi densitas bawah permukaan daerah panas bumi Danau ranau, didapatkan bahwa lokasi reservoir berada di antara danau ranau dan gunung seminung dengan kedalaman 1000 m - 2500 m dengan nilai densitas rendah 1,74 - 2,56gr/cc, sedangkan lokasi heat source berada di bawah kaki Gunung seminung dengan nilai densitas 2,63 -3,38 gr/cc. Posisi heat source berada di sebelah selatan dari reservoir yang menyebabkan suhu pada reservoir tidak terlalu tinggi.

6.2 Saran

Diperlukan penelitian lebih lanjut untuk mengetahui keberadaan reservoir pada daerah WKP Ranau menggunakan metode lain seperti metode magnetotelurik, mikroseismik dan geokimia sehingga hasil penelitian ini dapat dikompilasikan dengan metode tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

- Afiat., Idianto, O., Rera, G.F., Wardoyo, G.K., Sutopo., Pratama, H.B., Hamdani, M.R., (2020). Updated conceptual model and resource assessment using numerical reservoir simulation of Danau Ranau geothermal field Indonesia. *Proceedings World Geothermal Congress 2020*.
- Aufia, Y F. (2017). Pendugaan patahan daerah “Y” berdasarkan anomali gayaberat dengan analisis derivative. *Skripsi*. Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- Blakely, R. J. (1996). *Potential theory in gravity and magnetic application*. Cambridge University Press: New York. Doi : <https://doi.org/10.1017/CBO9780511549816>
- Brotospito, K. S. (2001). *Teori dan aplikasi metode gravitasi*. Universitas Gadjah Mada (UGM): Yogyakarta.
- Cordell, L., dan Grauch, V. I. S. (1982). Mapping basement magnetization zones from aeromagnetic data in the san juan basin, New Mexico. *Annual Meeting. SEG 1982*. 246–247. Doi : <https://doi.org/10.1190/1.1826915>
- Djudjun, A. (2005). Penyelidikan gaya berat daerah panas bumi Sipoholon Tarutung Kabupaten Tapanuli Utara Provinsi Sumatera Utara. *Pemaparan hasil kegiatan lapangan subdit panas bumi 2005*. Direktorat Inventarisasi Sumber Daya Mineral.

Dickson, M.H. dan Fanelli, M. (2003). *Geothermal Energy: Utilization and Technology*. Unesco Publishing: Paris.

ESDM. (2017). *Potensi Panas Bumi Indonesia Jilid 1*. Direktorat Panas Bumi: Jakarta.

Goff, F. dan Janik, C.J. (2000). *Encyclopedia of Volcanoes*. Elsevier. Amsterdam.

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

Haerudin, N., Dikpride, D., dan Suharno. (2020). Penentuan Patahan dan Saluran Fluida Panas Bumi Rajabasa Bagian Selatan dengan Kombinasi Metode Second Horizontal Derivatif (SHD) dan Audio Magnetotelluric (AMT). Universitas Lampung: Bandar Lampung.

Hochstein, M.P. dan Browne, P.R.L. (2000). *Surface Manifestation of Geothermal Systems with Volcanic Heat Sources*. Academic Press: San Diego.

Ibrahim, M.M., Puspita, M., Andarini, D., Marbun, A.G., dan Arifianti, D.I. (2020). Identifikasi Dan Interpretasi Geologi Berdasarkan Citra Penginderaan Jauh Pada Daerah Panas Bumi Danau Ranau, Ogan Komerling Ulu (Oku) Selatan, Sumatera Selatan. *Seminar Nasional AVoER XII 2020*.

Kusuma, D.S., Widodo, S., Bakrun, Suhanto, E., Mustang, Ario., Foeh, I.M., Sulaeman, B., (2015). Prospek Panas Bumi Di Daerah Danau Ranau, Lampung Dan Sumatera Selatan. *Kolokium Hasil Lapangan-DIM*.

Longman, I.M., (1959). Formula for Computing The Tidal Acceleration Due to

- The Moon and The Sun. *J. Geophysics, Res.* 64. 2351 - 2355.
- Nurarafah., Efendi, R., Sandra. (2016). Estimasi gradien temperatur menggunakan metode geomagnet pada daerah panasbumi di desa sapoo kecamatan kulawi. *Journal of Natural Science*. Vol 5(3) :268-278.
- Noel, R. (2009). Potensial Panas Bumi Berdasarkan Metode Geokimia dan Geofisika Danau Ranau Lampung-Sumatra Selatan. *Skripsi*. Program Strata I Institut Teknik Bogor Tahun Ajaran 2009.
- Parapat, J. (2017). Analisis Dan Pemodelan Inversi 3D Struktur Bawah Permukaan Daerah Panas Bumi Sipoholon Berdasarkan Data Gaya Berat. *Skripsi*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya. Doi : <https://doi.org/10.12962/j23373539.v7i1.27894>
- Pratiwi, M. (2022). Analisis bidang gelincir dan lapisan lapuk dengan menggunakan metode geolistrik resistivitas 2d untuk mengidentifikasi tipe longsor di area panas bumi danau ranau. *Tesis*. Universitas Gajah Mada.
- Putri, M.U. (2019). Model tentatif sistem panas bumi danau ranau menggunakan analisis 3g (geologi, geokimia, dan geofisika). *Skripsi*. Teknik Geologi. Universitas Jendral Soedirman. Purwokerto.
- Reza, M K., Kahar, S., dan Sabri, L. (2013). Pembuatan Peta Model Undulasi Lokal (Studi kasus: Kecamatan Rao, Kabupaten Pasaman-Sumatera Barat). *Jurnal Geodesi UNDIP*. 2(3): 53–68.
- Reynolds, J. (1997). *An Introduction to Applied and Environmental Geophysics*. John Weley and Son: Chichester.
- Sarkowi, M., (2008). Karakteristik Gradien Gayaberat Untuk Interpretasi Anomali

Gayabarat Mikro Antar Waktu. *Seminar Hasil Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat*. Universitas Lampung.

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

Sarkowi, M., Fudholi, A., Wibowo, R C., Yogi, I B., Minardi, S., dan Kadir, W G A. (2022). Horizontal Gravity Gradient To Reduce Ambiguity In Gravity Modeling. *Unpublish*.

Setiadi I., B. Setyanta, dan B.S. Widijono. (2010). Delineasi Cekungan Sedimen Sumatera Selatan Berdasarkan Analisis Data Gaya Berat. *Jurnal Sumber Daya Geologi*. 20(2): 93-106.

Syamsuriadi. (2013). Penentuan Struktur Bawah Permukaan Kota Makassar dengan Menggunakan Metode Gaya Berat (Gravity). *Skripsi*. Universitas Hasanudin: Makassar.

Talwani, M. Worzel, J.L. and Ladisman, M. (1959). Rapid Gravity Computation for Two Dimensional Bodies with Application to The Medicino Submarine Fractures Zone. *Journal Geophysical Research*. 64(1): 500–504.

Telford, W M, Geldart, L P, dan Sheriff, R. E. 1990. *Applied Geophysics, Second Edition*. Cambridge University Press: New York.

Umboh, E. B. G., Mardhotilla, A., Faturahman, R., Sulaiman, M. I., Logis, A. A., dan Al-Baany, M. F. (2018). Forward Modelling Metode Gravity. *University of Pertamina*, 50–59.

- Utami, F.M. (2013). Potensi Sumber Daya Energi Panas Bumi Di Danau Ranau, Lampung dan Sumatera Selatan. *Tesis*. Teknik Pertambangan. Universitas Sriwijaya. Palembang.
- Wibowo, M.G.A. (2013). Pendekatan Inversi 1D untuk Mengurangi Efek Galvanic pada Model 2D Magnetotellurik Daerah Panas Bumi Danau Ranau, *Jurnal Geofisika Eksplorasi*. 1 (02).
- Widodo, S. (2009). *Evaluasi Potensi Panasbumi Daerah Danau Ranau Wilayah Kabupaten Lampung Barat-Provinsi Lampung dan Kabupaten OKU Selatan- Provinsi Sumatera Selatan*. Pusat Sumber Daya Geologi: Bandung.
- Yuliansyah, D. (2016). Identifikasi zona reservoar lapangan panas bumi guci jawa tengah menggunakan data geokimia dan metode magnetotelurik. *Skripsi*. Teknik Geofisika. Universitas Lampung. Lampung.