

**ANALISIS ANOMALI DATA GAYABERAT MENGGUNAKAN
METODE SVD DAN FHD SERTA PEMODELAN 2D DAN 3D
DATA GAYABERAT UNTUK MENGIDENTIFIKASI
STRUKTUR SESAR YANG ADA DI DAERAH MALILI
SULAWESI SELATAN**

(Skripsi)

Oleh
Syatiya Mirwanda
1915051026



**JURUSAN TEKNIK GEOFISIKA
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
2023**

**ANALISIS ANOMALI DATA GAYABERAT MENGGUNAKAN METODE
FHD DAN SVD SERTA PEMODELAN 2D DAN 3D DATA GAYABERAT
UNTUK MENGIDENTIFIKASI STRUKTUR SESAR YANG ADA DI
DAERAH MALILI SULAWESI SELATAN**

**Oleh
Syatiya Mirwanda**

**Skripsi
Sebagai Salah satu syarat untuk mencapai gelar
SARJANA TEKNIK**

**Pada
Jurusan Teknik Geofisika
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2023**

ABSTRAK

ANALISIS ANOMALI DATA GAYABERAT MENGGUNAKAN METODE FHD DAN SVD SERTA PEMODELAN 2D DAN 3D DATA GAYABERAT UNTUK MENGIDENTIFIKASI STRUKTUR SESAR YANG ADA DI DAERAH MALILI SULAWESI SELATAN

Oleh

Syatiya Mirwanda

Penelitian berlokasi di daerah sesar Matano dan Sorowako yang meliputi Kabupaten Luwu Timur, Sulawesi Selatan dan Kabupaten Kolaka Utara, Sulawesi Tenggara. Data yang digunakan merupakan data anomali Bouguer gayaberat hasil pengukuran PSG tahun 1990. Penelitian ini bertujuan untuk memperoleh pola anomali Bouguer gayaberat, mengestimasi kedalaman anomali regional dan residual daerah penelitian, kemudian menentukan struktur sesar berdasarkan analisis SVD dan FHD, serta melakukan pemodelan 2D dan 3D gayaberat. Proses pengolahan dimulai dengan mendapatkan nilai anomali Bouguer lengkap kemudian dilanjutkan dengan analisis spektrum pada anomali tersebut, lalu dilanjutkan dengan pemisahan anomali gayaberat regional dan residual, kemudian analisis derivatif FHD dan SVD, lalu hasilnya dilakukan interpretasi struktur patahan secara kualitatif. Dari anomali Bouguer lengkap pada daerah penelitian didapatkan persebaran nilai anomali pada rentang -21,5 mGal sampai 79 mGal. anomali rendah berada pada bagian Utara dan Selatan daerah penelitian, lalu anomali tinggi berada pada bagian Timur dan tengah yang menerus ke arah Barat. Didapatkan nilai rata-rata dari kedalaman anomali regional adalah 12,4 kilometer dan rata-rata kedalaman anomali residual adalah 0,9 kilometer serta lebar jendela sebesar 19. Terdapat 10 struktur patahan yang teridentifikasi melalui interpretasi yang telah dilakukan, struktur tersebut terdiri dari 3 patahan naik dan 7 patahan turun yang cenderung berarah Tenggara-Barat Laut.

Kata kunci: Gayaberat; Anomali Bouguer Lengkap; FHD; SVD; Sesar

ABSTRACT

ANOMALY ANALYSIS OF GRAVITY DATA USING FHD AND SVD METHODS AS WELL AS 2D AND 3D MODELING OF GRAVITY DATA TO IDENTIFY FAULT STRUCTURES IN THE MALILI AREA OF SOUTH SULAWESI

By

Syatiya Mirwanda

The study was located in the Matano and Sorowako fault areas covering East Luwu Regency, South Sulawesi and North Kolaka Regency, Southeast Sulawesi. The data used is the data of the gravity Bouguer anomaly measured by PSG in 1990. This study aims to obtain gravity Bouguer anomaly patterns, estimate the depth of regional anomalies and residuals of the study area, then determine fault structures based on SVD and FHD analysis, and perform 2D and 3D gravity modeling. The processing process begins with obtaining complete Bouguer anomaly values then continued with spectral analysis on these anomalies, then continued with the separation of regional and residual gravity anomalies, then analysis of FHD and SVD derivatives, then the results are carried out qualitative interpretation of the fault structure. From the complete Bouguer anomaly in the study area, the distribution of anomalous values was obtained in the range of -21,5 mGal to 79 mGal. Low anomalies are in the North and South of the study area, then high anomalies are in the East and Central which continue to the West of the area. The average value of the regional anomaly depth was 12,4 kilometers and the average residual anomaly depth was 0,9 kilometers and the window width was 19. There are 10 fault structures identified through interpretation that have been carried out, these structures consist of 3 ascending faults and 7 descending faults that tend to be in a Southeast-Northwest direction.

Key word: Gravity; Complete Bouguer Anomaly; FHD; SVD; Fault

Judul Skripsi

**: ANALISIS ANOMALI DATA GAYABERAT
MENGUNAKAN METODE FHD DAN SVD
SERTA PEMODELAN 2D DAN 3D DATA
GAYABERAT UNTUK MENGIDENTIFIKASI
STRUKTUR SESAR YANG ADA DI DAERAH
MALILI SULAWESI SELATAN**

Nama Mahasiswa

Syatiya Mirwanda

Nomor Pokok Mahasiswa

115051026

Program Studi

Teknik Geofisika

Fakultas:

Teknik



Dosen Pembimbing 1

Dosen Pembimbing 2

Dr. Alimuddin, S.Si., M.Si.
NIP. 19720626 200012 1001

Dr. Ordas Dewanto, S.Si., M.Si.
NIP. 19700120 200003 1001

2. Ketua Jurusan Teknik Geofisika

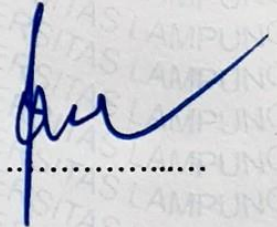
Karyanto, S.Si., M.T.
NIP. 19691230 199802 1001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

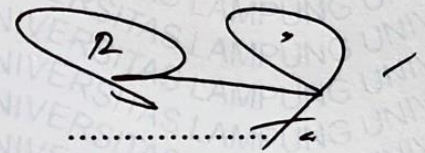
Ketua

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



Sekretaris

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



Anggota

: Ir. Bagus Sapto Mulyatno, S.Si., M.T.



2. Dekan Fakultas Teknik



Dr. Eng. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc.
NIP. 19750928 200112 1002

Tanggal Ujian Skripsi : 10 November 2023


PERNYATAAN

Saya menyatakan bahwa skripsi yang saya tulis ini merupakan hasil karya saya sendiri dan bukan merupakan karya dari orang lain, sebagai syarat untuk memperoleh gelar sarjana. Adapun berbagai kutipan di dalam skripsi ini merupakan karya orang lain yang telah ditulis sesuai dengan kaidah dan etika penulisan sebagaimana yang telah dicantumkan dalam daftar pustaka dan sesuai dengan aturan yang berlaku.

Apabila pernyataan ini tidak benar seperti yang disampaikan, saya bersedia dikenakan sanksi sesuai dengan aturan yang berlaku.

Bandar Lampung, 21 Desember 2023




Syafiq Mirwanda
NPM. 1915051026

RIWAYAT HIDUP



Syatiya Mirwanda dilahirkan di Bukittinggi pada tanggal 3 Maret tahun 2000. Saya adalah anak pertama dari dua bersaudara, anak dari Bapak Dolmirwan dan Ibu Gusniherti. Bersekolah di TK Pertiwi kenagarian Kototinggi, Kecamatan Gunuang Omeh dan selesai pada tahun 2005, kemudian melanjutkan sekolah di SDN 05 Kototinggi dan selesai pada tahun 2011. Lalu pendidikan selanjutnya di SMPN 1 Kecamatan Gunuang Omeh selama 3 tahun dan selesai pada tahun 2015, kemudian pendidikan menengah atas di SMAN 2 Kecamatan Harau (*Boarding School*) yang diselesaikan pada tahun 2018. Selagi menyelesaikan pendidikan penulis pernah menjadi anggota PASKIBRAKA Kabupaten Limapuluh Kota dan aktif dalam kegiatan ekstrakurikuler Pramuka, PASKIBRA, OSN Geografi, dan FLS2N di sekolah.

Pada tahun 2019 Penulis terdaftar sebagai mahasiswa Universitas Lampung melalui jalur SBMPTN dan melakukan studi di Jurusan Teknik Geofisika, Fakultas Teknik, Universitas Lampung. Selama berkuliah penulis aktif dalam kegiatan keorganisasian di kampus, baik Jurusan, Fakultas dan Universitas. Penulis pernah menjadi kepala Badan Semi Otonom Bimbingan Baca Quran (BSO-BBQ) FOSSI-FT UNILA periode 2020-2021, kemudian menjadi kepala bidang Sosial Budaya Masyarakat (SBM) di Himpunan Mahasiswa TG Bhuwana UNILA periode 2022, lalu SM-IAGI SC UNILA sebagai kepala bidang Hubungan Masyarakat (HUMAS) periode 2022. Di luar kampus Penulis juga tergabung kedalam Ikatan Mahasiswa Minang Provinsi Lampung sebagai anggota. Pada Juli tahun 2022 penulis melakukan kerja praktik di Pusat Survei Geologi (PSG) Bandung dengan judul **“Analisis Anomali Data Gaya Berat Menggunakan Metode SVD dan FHD**

Untuk Mengidentifikasi Struktur Sesar yang Ada di Daerah Pangkajene Sulawesi Selatan” dan melanjutkan penelitian di tempat yang sama pada bulan Maret tahun 2023 dengan judul **“Analisis Anomali Data Gayaberat Menggunakan Metode FHD dan SVD Serta Pemodelan 2D dan 3D Data Gayaberat untuk Mengidentifikasi Struktur Sesar yang Ada di Daerah Malili Sulawesi Selatan”** dan berhasil menyelesaikannya pada bulan November tahun 2023 sebagai syarat untuk mendapatkan gelar Sarjana Teknik di Universitas Lampung.

PERSEMBAHAN

Dengan mengucapkan Puji dan Rasa Syukur kehadirat Allah Subhana Wa Ta'ala yang telah melimpahkan segala rahmat dan karuina-Nya kepada saya sehingga dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik. Skripsi ini saya persembahkan untuk:

AYAH DAN IBU TERCINTA

Yang tidak pernah berhenti memberikan kasih sayang, doa, dukungan, motivasi, semua tenaga dan keringat serta banyak dukungan lainnya yang tidak akan pernah terhingga sampai kapanpun.

ADIK TERSAYANG

Terimakasih atas segala doa, semangat dan dukungannya.

Teknik Geofisika Universitas Lampung 2019

Terimakasih atas semua doa, harapan dan perjuangan serta telah menjadi bagian dalam perjalanan saya selama berkuliah di Teknik Geofisika Universitas Lampung.

Keluarga Besar Teknik Geofisika Universitas Lampung

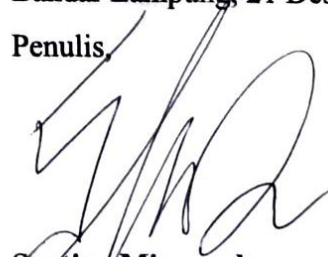
Semua pihak yang terlibat dalam proses pembuatan dan penyusunan skripsi ini, saya ucapkan terimakasih yang sebanyak-banyaknya

KATA PENGANTAR

Dalam penyusunan skripsi dengan judul "**Analisis Anomali Data Gayaberat Menggunakan Metode FHD dan SVD Serta Pemodelan 2D dan 3D Data Gayaberat untuk Mengidentifikasi Struktur Sesar yang Ada di Daerah Malili Sulawesi Selatan**", penulis ingin menyampaikan hasil penelitian sebagai salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Teknik di Program Studi Teknik Geofisika, Fakultas Teknik, Universitas Lampung. Terimakasih atas bimbingan dari Bapak Pembimbing I (Dr. Alimuddin, S.Si., M.Si.), Bapak Pembimbing II (Dr. Ordas Dewanto, S.Si., M.Si.) dan Bapak Penguji (Ir. Bagus Sapto Mulyatno, S.Si., M.T.) yang sangat berarti dalam pengembangan ide dan pemahaman penulis. Kemudian terima kasih kepada semua pihak yang turut serta mendukung langsung maupun tidak langsung dalam penelitian ini. Semoga skripsi ini dapat memberikan kontribusi positif bagi siapapun yang membacanya.

Bandar Lampung, 21 Desember 2023

Penulis,



Syativa Mirwanda
NPM. 1915051026

SANWACANA

Puji dan Syukur penulis haturkan kepada Kehadirat Allah *Subhana Wa Ta'ala* Tuhan Semesta Alam yang telah melimpahkan rahmat dan karunianya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik. Tidak lupanya penulis menyampaikan Sholawat beserta salam buat Nabi Muhammad *Salallahu 'Alaihi Wassalam* yang telah membawa ajaran Islam dan telah menjadi contoh dan teladan untuk seluruh umat manusia.

Skripsi ini berjudul "**Analisis Anomali Data Gayaberat Menggunakan Metode FHD dan SVD Serta Pemodelan 2D dan 3D Data Gayaberat untuk Mengidentifikasi Struktur Sesar yang Ada di Daerah Malili Sulawesi Selatan**", yang merupakan syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik.

Penulis menyadari bahwasanya dalam penyusunan skripsi ini melibatkan banyak pihak, oleh karena itu penulis menyampaikan rasa termakasih kepada:

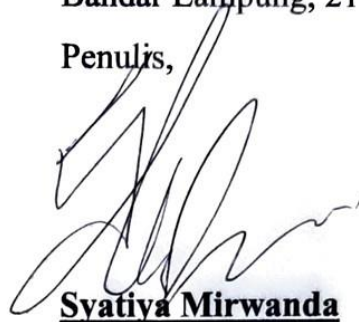
1. **Allah *Subhana Wa Ta'ala***, yang selalu memberikan hidayah, nikmat dan karunia-Nya yang tidak berhenti mengiringi setiap langkah penulis dalam menyelesaikan segala urusan di dunia ini.
2. **Kedua Orang tuaku tercinta, Bapak Dolmirwan dan Ibu Gusniherti**. Cinta pertama penulis yang tidak pernah berhenti dan pamrih atas semua kasih sayang, doa, dukungan, motivasi, semua tenaga dan keringat serta banyak dukungan lainnya yang tidak akan pernah terhingga.
3. **Saudari Perempuanku tersayang, Rahma Windi**. Yang selalu memberikan dukungan dan semangat serta menjadi *support system* yang sangat baik.

4. **Bapak Karyanto, S.Si., M.T.** selaku Ketua Jurusan Teknik Geofisika Universitas Lampung. Yang telah mengorbankan waktu dan tenaganya untuk serta memberikan motivasi selama proses penyusunan skripsi.
5. **Bapak Dr. Alimuddin, S.Si., M.Si.** selaku pembimbing pertama skripsi penulis yang selalu meluangkan waktu, memberikan banyak masukan, saran, motivasi dan arahan selama pengerjaan dan penyusunan skripsi ini.
6. **Bapak Dr. Ordas Dewanto, S.Si., M.Si.** selaku pembimbing kedua skripsi yang meluangkan waktu, memberikan masukan, saran dan juga motivasi kepada penulis dalam pengerjaan skripsi ini.
7. **Bapak Ir. Bagus Sapto, S.Si., M.T.** selaku dosen penguji yang telah meluangkan waktu, memberikan masukan dan penjelasan bagi penulis dalam penulisan skripsi ini.
8. **Bapak Ilham Dani, S.T., M.T.** selaku pembimbing akademik yang telah memberikan arahan dan sebagai tempat bertanya selama proses Pendidikan di Teknik Geofisika.
9. **Dosen-dosen Jurusan Teknik Geofisika Universitas Lampung.** Yang telah memberikan banyak ilmu dan wawasan yang sangat banyak serta bermanfaat bagi penulis.
10. **Bapak Muh. Noor Indragiri, S.T., M.T.** selaku pembimbing lapangan dari Pusat Survei Geologi yang selalu memberikan masukan, arahan, dan selalu sabar dalam menghadapi penulis saat penelitian berlangsung.
11. Teman-teman kontrakan 19 yakni Rasyid, Haidar, Dany, Fariz, dan Jefri serta pengunjung setia kontrakan Halim, Nicko, Abi, Cuyung, Komti
12. Keluarga besar Teknik Geofisika 2019 yang tidak dapat disebutkan satu per satu yang selalu ada di setiap kenangan dan perjalanan penulis sampai dengan menyelesaikan skripsi ini.
13. Keluarga KKN Sumbar 1 yakni Rasyid, Zaid, Popy, Vira, Hani dan Rifda yang selalu memotivasi dan mengingatkan dalam kebaikan serta penyelesaian skripsi ini.
14. Semua pihak yang terlibat secara langsung maupun tidak langsung dalam penyelesaian skripsi ini yang tidak dapat disebutkan satu per satu, terimakasih

yang sebanyak-banyaknya, semoga semua kontribusi yang telah diberikan dapat menjadi ibadah dan amal jariyah serta diterima Allah Subhana Wa Ta'ala.

Bandar Lampung, 21 Desember 2023

Penulis,

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'Syatiya Mirwanda', written over a light blue rectangular background.

Syatiya Mirwanda
NPM. 1915051026

DAFTAR ISI

| | Halaman |
|-------------------------------------|-------------|
| ABSTRAK | iii |
| ABSTRACT | iv |
| PERSETUJUAN..... | v |
| MENGESAHKAN | vi |
| PERNYATAAN..... | vii |
| RIWAYAT HIDUP | viii |
| PERSEMBAHAN..... | x |
| KATA PENGANTAR..... | xi |
| SANWACANA | xii |
| DAFTAR ISI..... | xv |
| DAFTAR GAMBAR..... | xix |
| DAFTAR TABEL | xxi |
| I. PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1. Latar Belakang | 1 |
| 1.2. Tujuan Penelitian | 3 |
| 1.3. Batasan Masalah | 4 |
| 1.4. Manfaat Penelitian | 4 |
| II. TINJAUAN PUSTAKA..... | 5 |
| 2.1. Lokasi Daerah Penelitian | 5 |

| | |
|-----------------------------------------------------|-----------|
| 2.2. Geologi Regional | 6 |
| 2.3. Stratigrafi | 8 |
| 2.4. Potensi Gempabumi Daerah Penelitian | 10 |
| III. TEORI DASAR..... | 13 |
| 3.1. Metode Gayaberat | 13 |
| 3.2. Konsep Dasar Gayaberat..... | 14 |
| 3.2.1. Gravitasi Newton..... | 14 |
| 3.2.2. Percepatan Gayaberat | 14 |
| 3.2.3. Potensial Gayaberat | 15 |
| 3.2.4. Densitas Batuan | 17 |
| 3.3. Anomali Bouguer..... | 18 |
| 3.4. Analisis Spektrum..... | 18 |
| 3.5. Filter <i>Moving Average</i> | 21 |
| 3.6. <i>First Horizontal Derivative (FHD)</i> | 22 |
| 3.7. <i>Second Vertical Derivative (SVD)</i> | 23 |
| 3.8. <i>Forward Modelling 2D</i> | 24 |
| 3.9. <i>Inverse Modelling 3D</i> | 24 |
| IV. METODE PENELITIAN..... | 26 |
| 4.1. Alat dan Bahan..... | 26 |
| 4.2. Tempat dan Waktu Penelitian..... | 27 |
| 4.3. Prosedur Penelitian | 27 |
| 4.3.1. Anomali Bouguer Lengkap | 27 |
| 4.3.2. Analisis Spektrum | 27 |
| 4.3.3. Pemisahan Anomali Regional dan Residual..... | 28 |
| 4.3.4. Analisis Derivatif..... | 28 |
| 4.3.5. Interpretasi Struktur Patahan | 29 |

| | |
|----------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 4.3.6. Pemodelan Bawah Permukaan | 29 |
| 4.3. Diagram Alir | 32 |
| V. HASIL DAN PEMBAHASAN | 33 |
| 5.1. Anomali Bouguer Lengkap..... | 33 |
| 5.2. Estimasi Lebar Jendela | 35 |
| 5.2.1. Lintasan 1 | 36 |
| 5.2.2. Lintasan 2..... | 37 |
| 5.2.3. Lintasan 3..... | 38 |
| 5.2.4. Lintasan 4..... | 39 |
| 5.2.5. Lintasan 5..... | 40 |
| 5.2.6. Lintasan 6..... | 41 |
| 5.2.7. Lintasan 7..... | 42 |
| 5.3. Anomali Regional | 44 |
| 5.4. Anomali Residual..... | 45 |
| 5.5. Anomali <i>First Horizontal Derivatif</i> (FHD) | 48 |
| 5.6. Anomali <i>Second Vertical Derivatif</i> (SVD) | 49 |
| 5.7. Analisis Derivatif | 50 |
| 5.7.1. Lintasan A-A' | 51 |
| 5.7.2. Lintasan B-B' | 53 |
| 5.8. Interpretasi Struktur Patahan..... | 54 |
| 5.9. <i>Forward Modelling</i> | 56 |
| 5.9.1. Lintasan Forward Modelling A-A' | 58 |
| 5.9.2. Lintasan Forward Modelling B-B' | 61 |
| 5.10. <i>Inverse Modelling</i> | 63 |
| 5.11. Korelasi <i>Forward Modelling</i> dan <i>Inverse Modelling</i> | 64 |
| 5.12. Mitigasi Bencana Geologi | 67 |

| | |
|--------------------------------------|-----------|
| VI. KESIMPULAN DAN SARAN..... | 69 |
| 6.1. Kesimpulan | 69 |
| 6.2. Saran | 69 |
| DAFTAR PUSTAKA | 70 |

DAFTAR GAMBAR

| Gambar | Halaman |
|------------------------------------------------------|---------|
| 1. Peta lokasi daerah penelitian | 5 |
| 2. Ringkasan Geologi Sulawesi..... | 6 |
| 3. Peta Geologi daerah penelitian..... | 8 |
| 4. Peta bahaya gempa bumi Kabupaten Luwu Timur | 12 |
| 5. Gaya tarik menarik antara dua buah benda | 14 |
| 6. Potensial dan kuat medan massa 3 dimensi..... | 16 |
| 7. Kurva $\ln A$ terhadap K | 21 |
| 8. Diagram alir penelitian | 32 |
| 9. Peta Anomali Bouguer Lengkap | 34 |
| 10. Peta lintasan analisis spektrum | 35 |
| 11. Kurva $\ln A$ vs k pada lintasan 1 | 36 |
| 12. Kurva $\ln A$ vs k pada Lintasan 2..... | 37 |
| 13. Kurva $\ln A$ vs k pada Lintasan 3..... | 38 |
| 14. Kurva $\ln A$ vs k pada Lintasan 4..... | 39 |
| 15. Kurva $\ln A$ vs k pada Lintasan 5..... | 40 |
| 16. Kurva $\ln A$ vs k pada Lintasan 6..... | 41 |
| 17. Kurva $\ln A$ vs k pada Lintasan 7..... | 42 |
| 18. Peta Anomali Regional daerah penelitian..... | 44 |
| 19. Peta Anomali Residual Daerah Penelitian | 46 |

| | |
|--------------------------------------------------------------------------|----|
| 20. Peta Anomali <i>First Horizontal Derivative</i> (FHD) | 48 |
| 21. Peta Anomali <i>Second Vertical Derivative</i> (SVD)..... | 49 |
| 22. Peta lintasan analisis derivatif..... | 50 |
| 23. Perbandingan kurva FHD dan SVD lintasan A-A' | 51 |
| 24. Perbandingan kurva FHD dan SVD lintasan B-B' | 53 |
| 25. Peta persebaran patahan berdasarkan analisis FHD dan SVD..... | 55 |
| 26. Peta lintasan forward modelling 2D pada anomali residual | 56 |
| 27. Peta lintasan forward modelling 2D pada peta geologi | 57 |
| 28. Model <i>forward modelling</i> lintasan A-A' | 60 |
| 29. Model <i>forward modelling</i> lintasan B-B' | 62 |
| 30. Model 3D Inversi Anomali Gayaberat..... | 63 |
| 31. Perbandingan model 2D <i>forward</i> dan inversi lintasan A-A' | 65 |
| 32. Perbandingan model 2D forward dan inversi lintasan B-B' | 66 |

DAFTAR TABEL

| Tabel | Halaman |
|-------------------------------------------------------|-----------|
| 1. Satuan stratigrafi daerah penelitian | 9 |
| 2. Densitas batuan menurut Telford tahun 1990 | 17 |
| 3. Operator SVD Elkins (1951)..... | 24 |
| 4. Alat dan bahan serta kegunaannya..... | 26 |
| 5. Pelaksanaan kegiatan penelitian..... | 31 |
| 6. Kedalaman anomali dan estimasi lebar jendela | 43 |

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Indonesia merupakan Negara dengan kerentanan bencana yang besar terutama bencana geologi, karena letak Indonesia yang diapit oleh 3 lempeng bumi dan jajaran kepulauan dengan gunung api aktif. Daerah Sulawesi terletak diantara pertemuan 3 lempeng (*triple junction*) dari Lempeng Asia yang stabil, Lempeng Australia yang bergerak ke utara serta Lempeng Samudera Pasifik yang mendorong ke arah barat (Hamilton, 1979; Katili, 1975). Dengan ini Sulawesi terdapat banyak sekali fenomena-fenomena geologi yang unik dan informasi geologi yang didapatkan belum cukup untuk mendefinisikan hal ini. Pertemuan ketiga lempeng tersebut mengakibatkan timbulnya beberapa struktur geologi khususnya di daerah penelitian, seperti adanya sesar, serta kekar-kekar, baik kekar gerus maupun kekar tarik. Keberadaan struktur sesar ini menandakan terdapat potensi geologi baik itu berupa mineral tambang, batuan dan lainnya. Selain itu keterdapatannya struktur sesar menyimpan energi tekanan dari tumbukan lempeng yang terjadi sehingga sangat berpotensi terdapat ancaman bencana geologi terutama gempa yang dapat terjadi kapanpun.

Di wilayah Sulawesi, terdapat sejumlah formasi geologi yang mendominasi, termasuk sesar mendatar sinistral dan sesar naik dengan orientasi Barat Laut ke Tenggara, seperti yang telah dijelaskan dalam sebuah penelitian oleh Hamilton pada tahun 1979. Sesar-sesar aktif yang ada di Sulawesi mencakup sesar Gorontalo, sesar Palu-Koro yang membentang dari Flores, Palu hingga Selat Makassar, sesar Matano, sesar Sorowako, sesar Lawanopo di Sulawesi Tenggara, dan Sesar Walanae di Sulawesi Selatan. Adanya sesar-sesar aktif ini

membuat Sulawesi memiliki risiko tinggi terhadap bencana alam, terutama bencana gempa bumi dan tsunami. Berdasarkan peta patahan aktif di Indonesia, pada daerah penelitian terdapat beberapa sesar yang bekerja yaitu sesar Palu-Koro dan sesar Matano yang diidentifikasi masuk kedalam zona patahan aktif di dalam busur tektonik dan tepian benua sehingga digolongkan sangat aktif dengan magnitudo maksimal 7 Mw dan pergerakan 5 mm/tahun. Maka dari itu pemetaan struktur sesar yang terdapat di daerah penelitian perlu dilakukan untuk menindaklanjuti fenomena-fenomena alam yang akan sering muncul dalam waktu yang tidak diketahui maupun dengan tujuan sebagai informasi penelitian dan studi lanjutan.

Kurniawati, Ratri, dan Gunawan, pada tahun 2020 melakukan sebuah penelitian mengenai potensi gempabumi pada daerah penelitian menggunakan data katalog gempabumi EHB dan BMKG tahun 1961-2019. Penelitian ini dilakukan untuk mengestimasi periode berulang gempa bumi yang kemungkinan akan terjadi serta energi yang dapat dilepaskan oleh sesar di daerah penelitian. Dari pengolahan data yang dilakukan pada enam segmen sesar matano, yaitu Segmen Kuleana, Pewusai, Matano, Pamsosa, Ballawai, dan Garesa masing-masing memiliki nilai potensi magnitudo maksimum dengan interval Mw 6,6 –7,2 dengan durasi periode ulang 123 sampai 282 tahun.

Kemudian Khairi, Awaluddin, dan Sudarsono pada tahun 2020 melakukan pemodelan terhadap deformasi yang terjadi pada Sesar Matano berdasarkan vektor pergeseran dari pengamatan GNSS periodik pada Stasiun Titik Pantau Geodinamika (TPG) BIG dan pengolahan Multi-Temporal InSAR *Persistent Scatter (PS)* dan *Small Baselines (SB)* menggunakan citra SAR Sentinel-1 dengan rentang pegamatan tahun 2016 - 2019. Hasil dari penelitian ini didapatkan sebuah indikasi bahwa pola pergerakan Sesar Matano mengikuti pola geser ke arah kiri (*left-lateral strike-slip*). Estimasi dari model laju pergeseran menunjukkan bahwa pada segmen Sesar Matano-Pewusai kecepatan pergeseran optimal berkisar antara 17 hingga 28 milimeter per tahun yaitu pada kedalaman 10 kilometer, sedangkan pada segmen Sesar Matano, kecepatan pergeseran optimal berkisar antara 20 hingga 24 milimeter per tahun

pada kedalaman yang sama. Hal ini menunjukkan aktivitas yang sangat aktif dari sesar yang berada di daerah penelitian.

Keterdapatannya sesar tersebut dapat diteliti dengan melakukan survei geologi di lapangan, namun hal tersebut tentu ada keterbatasan. Struktur patahan yang berada pada kedalaman tertentu dan tidak tersingkap ke permukaan sulit untuk dipetakan, maka dari itu perlu adanya survei dengan metode lain selain geologi untuk mengetahui keberadaan sesar tersebut salah satunya dengan menggunakan survei geofisika. Terdapat banyak metode yang dapat digunakan dalam survei ini, intinya adalah memanfaatkan prinsip-prinsip fisika dalam penerapannya, salah satunya adalah metode gayaberat.

Metode gayaberat merupakan salah satu metode geofisika pasif yang banyak digunakan untuk studi dan eksplorasi geodinamika dalam pendugaan struktur geologi. Pengukuran gayaberat dilakukan untuk mendapatkan gambaran lapisan bawah permukaan dapat digunakan untuk menginterpretasikan struktur sesar yang menjadi sumber dari berbagai bencana geologi, batuan intrusi, dan juga mengetahui batas dari suatu formasi. Prinsip dari metode gayaberat adalah dengan melihat perbedaan atau variasi geyaberat di setiap tempat dalam suatu wilayah dengan menggunakan alat ukur gravitasi, variasi nilai gayaberat ini disebabkan oleh banyak hal salah satunya adalah variasi densitas batuan bawah permukaan. Dari pengukuran nantinya didapatkan data anomali bouger yang dilanjutkan dengan pengolahan dan analisis menggunakan metode FHD dan SVD yaitu untuk memodifikasi frekuensi data sehingga didapatkan nilai kontras anomali yang menggambarkan perbedaan densitas yang cukup besar, sehingga dengan ini dapat dinyatakan dengan keberadaan sebuah sesar.

1.2. Tujuan Penelitian

Tujuan dalam pelaksanaan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengidentifikasi pola anomali Bouguer pada daerah penelitian.
2. Mengestimasi kedalaman anomali regional dan residual daerah penelitian menggunakan analisis spektrum.

3. Mengidentifikasi zona patahan dengan menggunakan analisis *First Horizontal Derivative* (FHD) dan *Second Vertical Derivative* (SVD).
4. Memperoleh model 2D dan 3D data gayaberat pada daerah penelitian.

1.3. Batasan Masalah

Batasan masalah dalam pelaksanaan penelitian ini adalah

1. Data yang digunakan merupakan data pengukuran gayaberat oleh Pusat Survei Geologi Tahun 1990.
2. Pemisahan anomali Bouguer lengkap untuk menghilangkan *noise* menggunakan filter *moving average*.
3. Menentukan struktur sesar berdasarkan analisis FHD dan SVD serta korelasi antara keduanya.
4. Menentukan gambaran patahan dari suatu penampang pada daerah penelitian menggunakan pemodelan 2D dan 3D data gayaberat.

1.4. Manfaat Penelitian

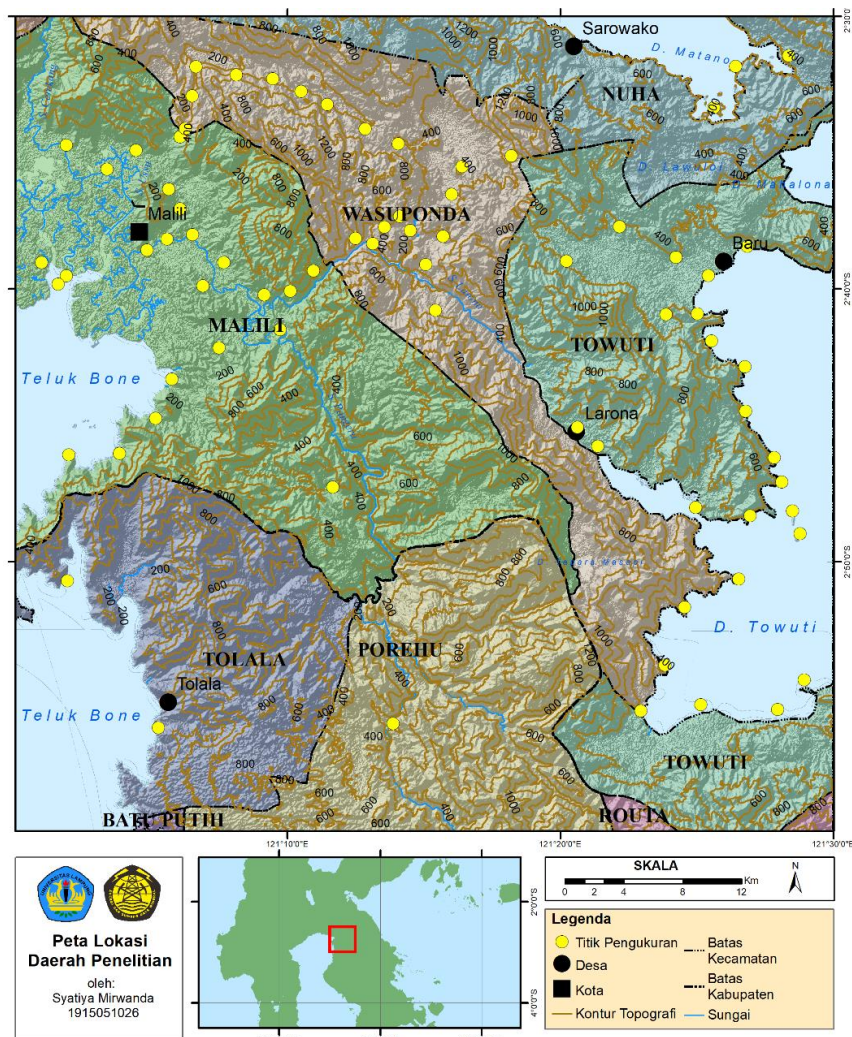
Manfaat dari pelaksanaan penelitian ini adalah

1. Memberikan informasi gambaran geologi pada daerah penelitian berdasarkan variasi anomali regional dan residual gayaberat.
2. Mengetahui struktur geologi pada daerah penelitian berdasarkan hasil analisis data gayaberat FHD dan SVD.
3. Menjadi sumber informasi terbaru terkait struktur geologi yang terdapat pada daerah penelitian.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Lokasi Daerah Penelitian

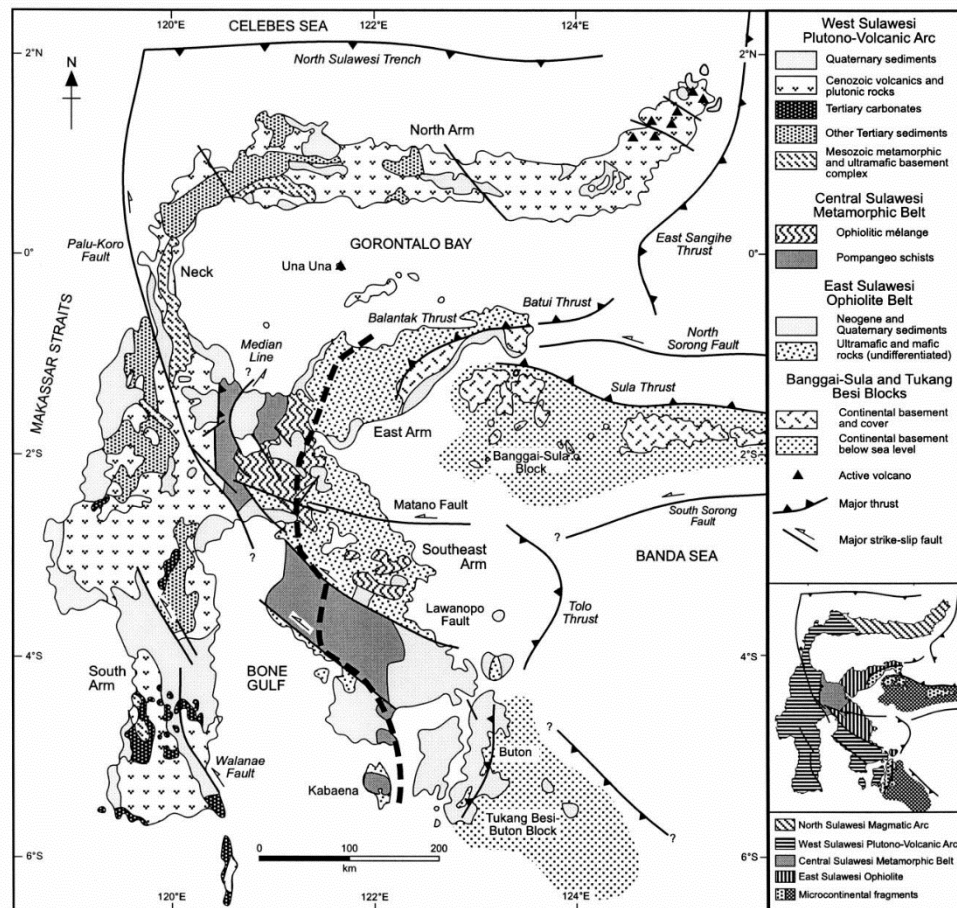
Lokasi daerah penelitian terletak di Provinsi Sulawesi Selatan tepatnya berada di Kabupaten Luwu Timur dan Kabupaten Kolaka Utara, Sulawesi Tenggara. Lokasi ini terletak pada koordinat $121^{\circ}00'0''$ sampai $121^{\circ}30'0''$ BT dan $2^{\circ}30'0''$ sampai $2^{\circ}60'00''$ LS dengan 75 titik pengukuran (**Gambar 1**).



Gambar 1. Peta lokasi daerah penelitian

2.2. Geologi Regional

Daerah Sulawesi terletak di antara pertemuan 3 lempeng (*threepole junction*) dari Lempeng Asia yang stabil, Lempeng Australia yang bergerak ke utara serta Lempeng Samudera Pasifik yang mendorong ke arah barat (Hamilton, 1979; Katili, 1975).



Gambar 2. Ringkasan Geologi Sulawesi (Hall & Wilson, 2000)

Daerah lokasi penelitian berada pada lembar geologi Malili, Sulawesi Selatan (**Gambar 3**). Menurut beberapa peneliti tumbukan Blok Sulawesi Barat dan Blok Sulawesi Timur terjadi pada Oligosen Akhir-Miosen Awal. Ini terkonfirmasi oleh penemuan material ofiolit dan batuan metamorfik yang memiliki umur yang sama di lokasi kontak batuanannya. (Carter, Audey-Charles, & Barber, 1976; Hall, 1995; Katili, 1975). Pada permulaan zaman Pliosen, terjadi tahap terakhir dari tumbukan antara lengan Timur Sulawesi dengan blok Baggai-Sula. Akibatnya, terbentuklah struktur-struktur seperti lipatan, sesar naik, dan peninggian di wilayah tengah dan Barat Sulawesi. Fase ini juga

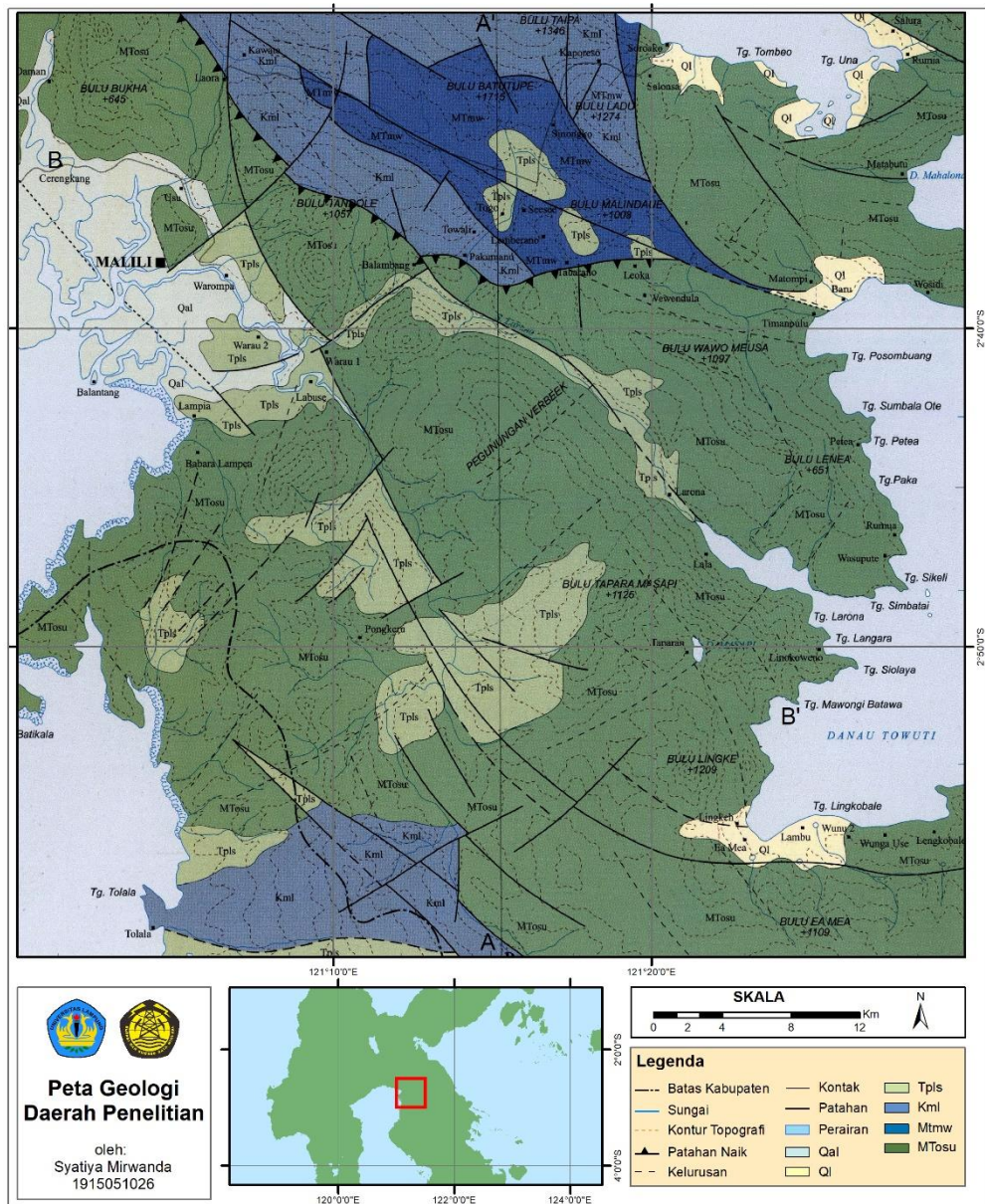
diyakini menjadi awal terbentuknya Sesar Palu-Koro. (Bergman, Coffield, Talbot, & Garrard, 1996; Hall & Wilson, 2000; Leeuwen & Muhandjo, 2005; Polvé et al., 1997) dalam (Sompotan, 2012).

Daerah penelitian berada di tepi sabuk ofiolit di Sulawesi Timur, yang terdiri dari berbagai jenis batuan mafik dan ultramafik, serta termasuk batuan sedimen laut dalam dan campuran batuan di beberapa area. Batuan ultramafik mendominasi di wilayah Lengan Tenggara, sementara batuan mafik mendominasi lebih ke Utara, terutama di sepanjang pantai Utara Lengan Tenggara Sulawesi. Di Lengan Timur, kita dapat menemukan rangkaian ofiolit yang lengkap, termasuk batuan mafik dan ultramafik, *pillow lava*, batuan sedimen laut dalam yang didominasi oleh batu kapur, serta sisipan batuan rijang yang berlapis. Berdasarkan data geokimia, sabuk ofiolit di Sulawesi Timur ini diperkirakan berasal dari pemekaran tengah samudra (Martosuwito, 2012).

Struktur geologi utama yang terlihat di daerah ini adalah sesar mendatar Matano yang berarah Utara Barat Laut-Selatan Tenggara yang terdiri dari dua segmen yaitu Barat Laut dan segmen Barat Daya yang termasuk kedalam peta patahan aktif di Indonesia. Kemudian pada bagian selatan daerah penelitian terdapat sesar Lawanopo yang membentang dari Barat Laut ke Tenggara.

Sesar Matano, yang terletak di wilayah Tengah Sulawesi, termasuk dalam jenis sesar geser mengiri atau *left lateral strike-slip*. Sesar yang membentang dari Barat Laut ke Tenggara ini merupakan kelanjutan dari Sesar Palu Koro, dan secara kenampakannya memotong Danau Matano. Dalam konteks morfologi, Sesar Matano ini terbagi menjadi enam segmen, yaitu Kuleana, Pewusai, Matano, Pamsoa, Ballawai, dan Geressa. Secara keseluruhan, daerah sekitar Sesar Matano ini mengalami kerusakan yang massif dan mengalami pergerakan yang dinamis. Ditemukan bahwa Sesar Matano memiliki potensi besar dalam hal aktivitas gempa, hal ini didasarkan pada tingkat *locking* yang tinggi, sebagaimana dijelaskan oleh Sarsito dalam Disertasi-nya tahun 2010. Estimasi dari data geodetik menunjukkan bahwa laju geser Sesar Matano

berkisar antara 14 hingga 44 milimeter per tahun, sesuai dengan temuan oleh Sarsito dan rekan-rekannya tahun 2017.



Gambar 3. Peta Geologi daerah penelitian (modifikasi dari Peta Geologi Lembar Malili No. 2113 oleh Simandjuntak, Rusmana, & Supandjono tahun 1991)

2.3. Stratigrafi

Daerah lokasi penelitian terdapat pada Lembar Malili, Sulawesi Nomor 2113 (**Gambar 3**). Sukanto & Simandjuntak tahun 1981, membuat pembagian geologi dari Pulau Sulawesi yaitu dalam tiga mandala geologi yang didasarkan pada sejarah, struktur geologi dan juga satuan stratigrafi di semua lokasi.

Mandala geologi tersebut adalah Mandala Sulawesi bagian Barat yang merupakan susunan geologi termuda secara orogen. Kemudian Mandala Sulawesi bagian Timur yang merupakan mandala geologi tertua serta yang terakhir yaitu Mandala Banggai-Sula.

Daerah penelitian terdapat pada mandala bagian Timur yang dikategorikan kedalam lajur ofiolit Sulawesi Timur. Daerah ini tersusun dari sedimen dan sekuen vulkanik yang berumur Kenozoikum yang menimpa sedimen yang berumur pra-Kenozoikum, kemudian sedimen laut, batuan metamorf dan batuan ultrabasa yang menjadi *basement* dari daerah penelitian (Sukanto, 1978).

Tabel 1. Satuan stratigrafi daerah penelitian (Simandjuntak dkk., 1991)

| FORMASI BATUAN | | UMUR | | |
|----------------|------|-----------|---------|--------|
| Qal | Ql | HOLOSEN | QUARTER | |
| | | PLISTOSEN | | |
| | Tpls | PLIOSEN | TERSIER | |
| Tmpt | | AKHIR | | MIOSEN |
| | | TENGAH | | |
| | | AWAL | | |
| | | OLIGOSEN | | |
| | | EOSEN | | |
| | | PALEOSEN | | |
| | | KAPUR | | |
| | | JURA | | |

2.3.1. Endapan Aluvium (Qal)

Lempung, lanau, lumpur, pasir dan kerikil di sepanjang sungai besar, di sepanjang pantai.

2.3.2. Endapan Danau (Ql)

Endapan ini terdapat disekitar Danau Matano dan Danau Towuti yang tersusun dari batuan lempung, pasir dan kerikil.

2.3.3. Formasi Larona (Tpls)

Formasi ini tersusun dari batupasir, konglomerat, dan batulempung dengan sisipan tufa.

2.3.4. Formasi Matano (Kml)

Berumur Kapur yang tersusun dari batugamping, serpih, sisipan rijang, dan batusabak.

2.3.5. Batuan Ultrabasa (MTosu)

Merupakan kompleks ultrabasa yang terdiri dari serpentinit, dunit, gabro, dan diabas yang berumur Kapur sampai dengan Eosen. Keberadaan batuan ultrabasa ini adalah susunan paling besar dari satuan batuan lainnya di daerah penelitian.

2.3.6. Melange Wasuponda (MTmw)

Merupakan batuan campur aduk yang tersusun dari berbagai bongkahan serpentinit, sekis amfibolit, dolorit malih, batugamping terdaunkan, batuan ultramafik, eklogit, dan massa dasar lempung merah menyisik. Formasi ini diperkirakan berumur Kapur.

2.4. Potensi Gempabumi Daerah Penelitian

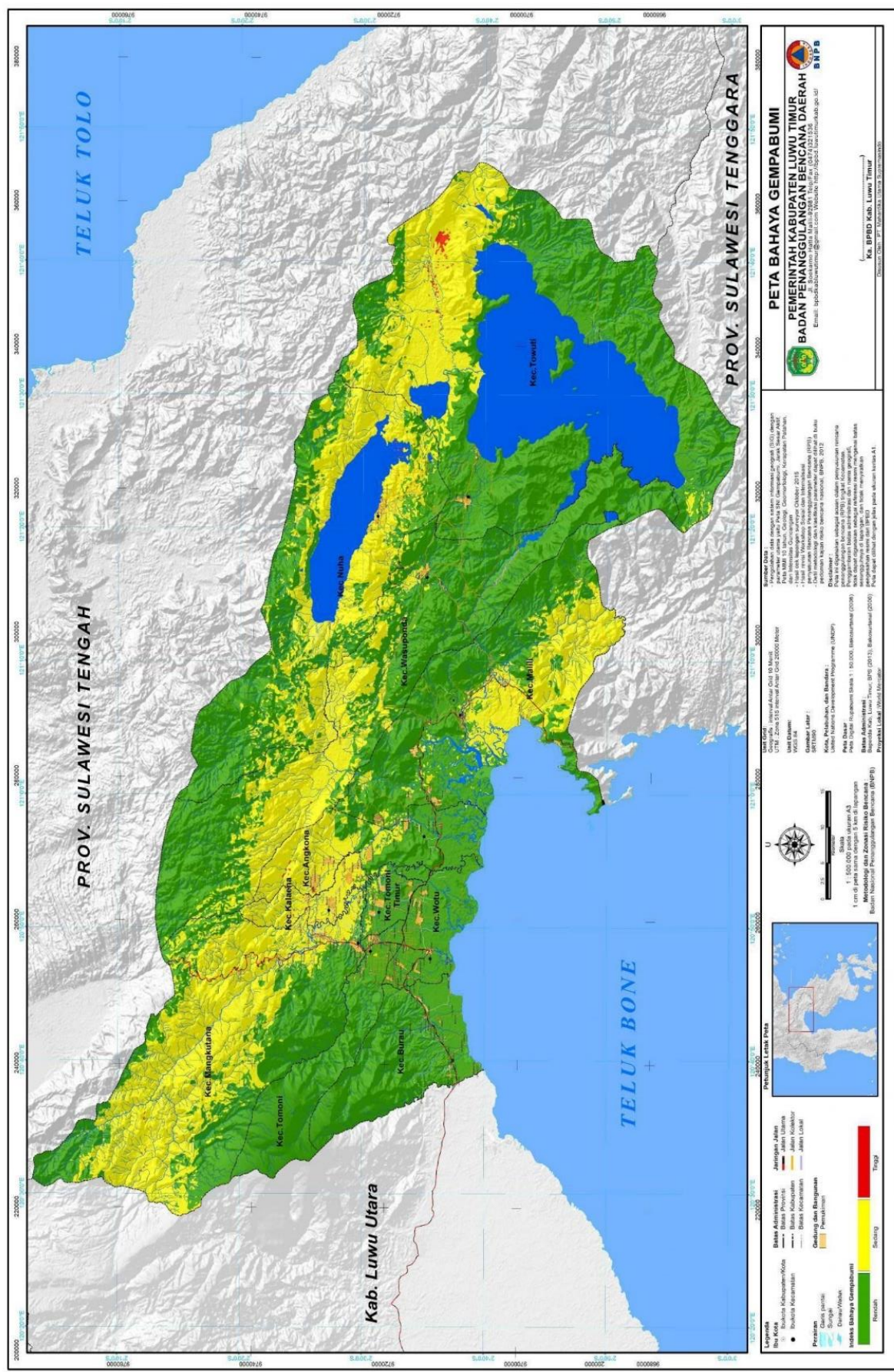
Daerah penelitian masuk kedalam daerah sangat rawan terhadap bencana gempa bumi. Berdasarkan peta patahan aktif yang diterbitkan oleh Pusat Survei Geologi pada tahun 2019 para peneliti mengelompokkan daerah disekitar sesar matano adalah daerah zona patahan aktif di dalam sistim busur dan tepian benua sangat aktif, dengan sumber gempa bumi tipe A dengan *magnitude* maksimum yaitu 7,0 Mw, dengan *slip rate* pertahun sebesar 5 mm/tahun (Soehaimi, dkk., 2019).

Berdasarkan penyelidikan paleoseismik oleh Patria dkk. tahun 2023 dari segmen Geres di patahan Matano, tim peneliti menemukan lima gempa bumi yang pernah terjadi di masa lalu, tiga di antaranya terjadi dalam milenium terakhir. Gempa terakhir dari patahan permukaan ini diperkirakan terjadi antara 1432 dan 1817 dengan kekuatan mencapai $M 7,4 \pm 0,3$ dan panjang retakan sekitar 110 km. Interval perulangan rata-rata dari pecahnya permukaan di jalur patahan gempa bumi ini dihitung pada 200-470 tahun dan slip rate diperkirakan

sebesar 21 ± 9 mm per tahun. Dengan demikian, gempa bumi berikutnya dapat kemungkinan terjadi.

Berdasarkan penelitian yang pernah dilakukan, daerah penelitian memiliki PGA yang relatif tinggi, tingginya PGA ini disebabkan karena adanya gempa dengan magnitudo 6,1 SR dengan kedalaman 16,2 kilometer pada tanggal 15 Februari 2011 akibat dari pergerakan Sesar Matano. Dalam skala MMI gempa ini mencapai skala intensitas V-VI MMI yang diketahui menyebabkan beberapa rumah warga di Sorowako mengalami kerusakan ringan.

Peta bahaya gempa bumi pada **Gambar 4** menunjukkan tingkat kerawanan akan bencana gempa bumi pada daerah penelitian, dengan aspek pertimbangannya adalah jarak sesar aktif dengan daerah pemukiman, peta MMI 10 tahun, geologi, geomorfologi, kerapatan patahan dan intensitas guncangan. Dari peta terlihat daerah berwarna hijau adalah daerah dengan bahaya gempa bumi yang rendah, kemudian daerah berwarna kuning merupakan daerah dengan tingkat bahaya sedang, dan daerah yang berwarna merah adalah daerah dengan tingkat bahaya gempa bumi tinggi.



Gambar 4. Peta bahaya gempabumi Kabupaten Luwu Timur (BPBD Luwu Timur, 2015)

III. TEORI DASAR

3.1. Metode Gayaberat

Metode gayaberat adalah salah satu metode geofisika pasif yang mempunyai prinsip pengukuran perbedaan gayaberat di setiap titik di atas permukaan bumi. Variasi yang didapatkan tersebut secara fisika dapat disebabkan karena adanya perbedaan densitas batuan, jenis batuan di bawah permukaan, kemudian perbedaan jarak dari permukaan ke pusat bumi karena bentuk bumi serta adanya perbedaan ketinggian (topografi) pada permukaan bumi (Sarkowi, 2014).

Dalam memecahkan masalah pemetaan bawah permukaan bumi dan studi geologi bawah permukaan, metode gayaberat menjadi pertimbangan yang cukup banyak digunakan. Karena sifat dari metode gayaberat yang dapat mengetahui massa jenis (densitas) dari suatu benda yang jauh dibawah permukaan, dari gaya tarik yang didapatkan oleh alat gravitimeter maka perbedaan tersebut dapat diidentifikasi (Djudjun, 2005).

Pengukuran gayaberat menggunakan alat gravitimeter akan mengukur nilai vertikal yaitu percepatan gayaberat di suatu titik pengukuran. Beragamnya nilai terukur berupa percepatan gayaberat setiap titik ukur disebabkan karena bentuk bumi tidak bulat dan beberapa hal lain. Hal lain tersebut adalah perbedaan ketinggian titik ukur (topografi), pengaruh posisi titik terhadap garis lintang, sebaran rapat massa batuan yang ada di bawah permukaan bumi, benda-benda langit dalam tatasurya terutama bulan, keterdapataan benda pada permukaan bumi seperti bangunan gedung, bukit dan lain-lain (Grandis, 2009).

3.2. Konsep Dasar Gayaberat

3.2.1. Gravitasi Newton

Gayaberat atau Gravitasi Newton dilandaskan oleh Hukum Newton yang menjelaskan tentang keterdapatannya suatu gaya yang dapat terjadi antara dua buah benda yang berdekatan atau memiliki jarak (r) tertentu serta kedua benda tersebut mempunyai massa masing-masing baik itu sama maupun berbeda yang dilambangkan dengan m_1 dan m_2 , sehingga dapat dirumuskan sebagai berikut (Telford, Geldart, & Sheriff, 1990):

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

Dengan,

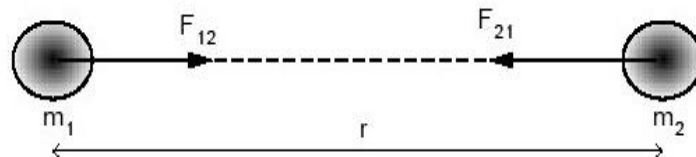
\vec{F} : Gaya tarik menarik (N)

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

r : Jarak antara 2 buah benda (m)

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

\hat{r} : Vektor satuan arah dari m_2 ke arah m_1



Gambar 5. Dua buah benda yang mengalami gaya tarik

3.2.2. Percepatan Gayaberat

Dalam hukum Newton terdapat keterkaitan antara gaya dengan percepatan. Gaya dijelaskan sebanding dengan massa benda, percepatan gravitasi bumi serta jari-jari bumi yang mempengaruhi benda tersebut sehingga dapat dirumuskan seperti persamaan dibawah.

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

Jadi didapatkan percepatan dari sebuah benda yang bermassa m_2 dipengaruhi oleh tarikan benda bermassa m_1 pada jarak r dapat dinyatakan dengan :

$$\vec{g} = \left(\frac{\vec{F}}{m} \right) \hat{r} \quad (3)$$

Jika dinyatakan dalam konteks percepatan gravitasi bumi, persamaan tersebut akan menjadi seperti berikut,

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

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

Dengan,

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

M : Massa bumi (kg)

m : Massa benda (kg)

\vec{F} : Gaya berat (N)

r : Jari-Jari bumi (km)

Galileo yang melakukan pengukuran gaya berat pertama kalinya, mendefinisikan satuan untuk nilai gaya berat dengan satuan berikut.

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

Dalam metode gayaberat satuan yang dipakai adalah dalam besaran miligal (mGal) sehingga:

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

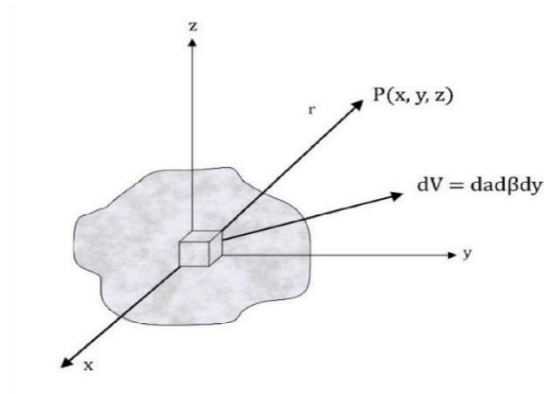
$$1 \mu\text{Gal} = 10^{-3} \text{ mGal} = 10^{-6} \text{ Gal} = 10^{-8} \text{ m/s}^2$$

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

Dalam m.k.s, nilai gayaberat diukur dalam *gravity unit* atau $\mu\text{m/s}^2$.

3.2.3. Potensial Gayaberat

Potensial gayaberat adalah bentuk energi yang diperlukan untuk memindahkan massa dari satu lokasi ke lokasi lain. Ketika objek dengan massa tertentu ada dalam suatu ruang, hal tersebut akan menciptakan medan potensial di sekitarnya. Medan potensial ini bersifat konservatif, yang berarti pekerjaan yang dilakukan dalam medan gaya gravitasi tidak bergantung pada jalur yang diambil oleh benda tersebut, hanya tergantung pada posisi awal dan posisi akhirnya.



Gambar 6. Potensial dan medan gaya dari benda 3 dimensi (Modifikasi dari Maulana, 2012).

Suatu massa benda pada kordinat tiga dimensi yang memiliki bentuk sembarang akan memiliki keberlanjutan dengan rapat massa $\Delta(\alpha, \beta, \gamma)$, sehingga potensial gayaberat di titik P (x, y, z) dapat didefinisikan dengan,

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

Medan gayaberat yang disebabkan oleh distribusi massa yang diberikan di atas diperoleh dengan melakukan diferensiasi terhadap persamaan tersebut terhadap variabel x, y, dan z, sehingga menghasilkan hasil berikut.

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

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

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

Dari ketiga persamaan diatas maka akan didapatkan nilai medan gayaberat (Δg) yang bervariasi. Medan gayaberat yang terukur dan sudah terkoreksi

terjadi karena dampak distribusi massa di dalam bumi, yang dijelaskan oleh persamaan densitas (ρ) (Sarkowi, 2007).

3.2.4. Densitas Batuan

Untuk melihat jenis litologi penyusun dari suatu daerah maka diperlukan tabel acuan densitas yang didapatkan dari hasil penelitian sebelumnya. Berikut adalah tabel acuan densitas batuan yang saya gunakan.

Tabel 2. Densitas batuan menurut Telford tahun 1990

| Type Material | Densitas (g/cm³) | Perkiraan rata- rata (g/cm³) |
|---------------------------------|----------------------------------------|----------------------------------------------------|
| Batuan Sedimen | | |
| Alluvium | 1,96-2,00 | 1,98 |
| Lempung (<i>Clay</i>) | 1,63-2,21 | 2,21 |
| Kerikil (<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 | 2,40 |
| Pasir (<i>Sand</i>) | 1,70-2,30 | 2,00 |
| Batupasir (<i>Sandstone</i>) | 1,61-2,76 | 2,35 |
| Serpilh (<i>Shale</i>) | 1,77-3,20 | 3,20 |
| Batu kapur (<i>Limestone</i>) | 1,93-2,90 | 2,55 |
| Dolomit (<i>Dolomite</i>) | 2,28-2,90 | 2,70 |
| Kapur (<i>Chalk</i>) | 1,53-2,60 | 2,01 |
| Garam (<i>Halite</i>) | 2,10-2,60 | 2,22 |
| Gamping (<i>Limestone</i>) | 0,88-0,92 | 0,90 |
| Batuan Beku | | |
| Riolit (<i>Ryolite</i>) | 2,35-2,70 | 2,52 |
| Graint (<i>Granite</i>) | 2,50-2,81 | 2,52 |
| Andesit (<i>Andesite</i>) | 2,40-2,80 | 2,64 |
| Sienit (<i>Syenite</i>) | 2,60-2,95 | 2,77 |
| Basal | 2,70-3,30 | 2,99 |
| Gabro | 2,70-3,50 | 3,03 |
| Batuan Metamorf | | |
| Sekis (<i>Schist</i>) | 2,39-2,9 | 2,64 |
| Gneiss | 2,59-3,0 | 2,80 |
| <i>Phylite</i> | 2,68-2,80 | 2,74 |
| <i>Slate</i> | 2,70-2,90 | 2,79 |
| Granulit | 2,52-2,73 | 2,65 |
| Amfibolit | 2,90-3,04 | 2,96 |
| Ekogit | 3,20-3,54 | 3,37 |

3.3. Anomali Bouguer

Anomali Bouguer adalah selisih antara nilai gravitasi observasi (g_{obs}) dan total kumulatif dari berbagai koreksi. Koreksi yang diterapkan untuk memperoleh Anomali Bouguer yang bersih dari pengaruh lain selain variasi massa batuan bawah permukaan adalah koreksi apungan (*drift correction*), kemudian koreksi pasang surut (*tidal correction*), koreksi lintang, koreksi udara bebas, koreksi Bouguer, dan koreksi medan (*terrain correction*). Variasi nilai dalam anomali Bouguer mencerminkan variasi sebaran densitas batuan secara datar. Dari perolehan diketahui benda yang memiliki densitas tinggi yang berada di dalam benda yang mempunyai densitas lebih rendah akan menghasilkan nilai anomali Bouguer yang positif begitu juga sebaliknya (Reynolds, 1997).

Menurut Hinze, Von Frese, & Saad tahun 2013, anomali Bouguer adalah hasil dari perbedaan antara nilai gravitasi yang diamati dan nilai gravitasi teoritis yang dihitung pada lokasi observasi tertentu. Perbedaan ini mencerminkan perbedaan dalam densitas atau kepadatan massa di suatu wilayah dibandingkan dengan wilayah sekitarnya, baik dalam arah vertikal maupun lateral. Sebagai contoh, ini bisa disebabkan oleh keberadaan area unik seperti batuan sumber panas di dalam kerak bumi.

Tujuan akhir dari metode gayaberat dalam eksplorasi sumber daya alam dan penelitian adalah untuk mendapatkan representasi dari batuan dasar (*basement*) serta struktur di bawah permukaan berdasarkan variasi dalam distribusi densitas.

3.4. Analisis Spektrum

Dilakukan analisis spektrum bertujuan untuk menentukan kedalaman dari anomali dangkal (residual) dan anomali dalam (regional) serta lebar jendelanya. Tahapan analisis spektrum menggunakan *Fast Fourier Transform* (FFT) untuk memodifikasi fungsi yang berkaitan dengan domain waktu dan jarak menjadi fungsi yang berhubungan dengan domain frekuensi atau panjang gelombang (Blakely, 1996). Analisis spektrum digunakan untuk mengidentifikasi batas antara anomali Bouguer yang bersifat regional dan yang residual di wilayah penelitian. Hasil dari analisis spektrum ini kemudian digunakan untuk

menentukan lebar jendela yang digunakan dalam penyaringan anomali gravitasi. Transformasi Fourier menggambarkan proses memecah suatu gelombang menjadi gelombang sinus dengan frekuensi yang bervariasi.

Blakely pada tahun 1996 menyebutkan bahwasanya spektrum didapatkan dari sebaran nilai potensial yang ada di permukaan bidang yang datar (horizontal). Persamaan transformasi *Fourier* dapat dinyatakan sebagai berikut.

$$F(U) = \gamma \mu F\left(\frac{1}{r}\right) \text{ dan } F\left(\frac{1}{R}\right) = 2\pi \frac{e^{|k|(z_0-z_1)}}{|K|} \quad (10)$$

Dengan,

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

U : Potensial gayaberat

μ : Anomali rapat massa

γ : Konstanta gayaberat

r : Jarak

Gerak vertikal gayaberat yang disebabkan oleh suatu massa merupakan turunan derivatif dari potensial gayaberatnya :

$$g_z = Gm \frac{\partial}{\partial z} \frac{1}{r} \quad (11)$$

$$F(g_z) = GmF \frac{\partial}{\partial z} \frac{1}{r} \quad (12)$$

$$F(g_z) = Gm \frac{\partial}{\partial z} F \frac{1}{r} \quad (13)$$

Fast Fourier Transform pada suatu lintasan yang diambil dapat dicari dengan:

$$F(g_z) = 2\pi Gm e^{|k|(z_0-z_1)} , \quad z_1 > z_0 \quad (14)$$

Distribusi rapat massa pada daerah peneitian bersifat acak dan tidak ada korelasi, maka $m = 1$, sehingga *Fast Fourier Transform* dapat dihitung kembali menjadi:

$$A = C e^{|k|(z_0-z_1)} \quad (15)$$

Dengan:

A = amplitudo

C = konstanta

Untuk mengaitkan amplitudo (A) dengan bilangan gelombang (k) dan perbedaan kedalaman ($z_0 - z_1$), persamaan 15 diubah menjadi bentuk logaritmik. Hal ini mengakibatkan hubungan linier antara bilangan gelombang k dan amplitudo spektral.

$$\ln A = \ln 2\pi G m e^{|k|(z_0 - z_1)} \quad (16)$$

$$\ln A = (z_0 - z_1)|k| + \ln C \quad (17)$$

Dengan demikian persamaan 17 dianalogikan dengan persamaan linier:

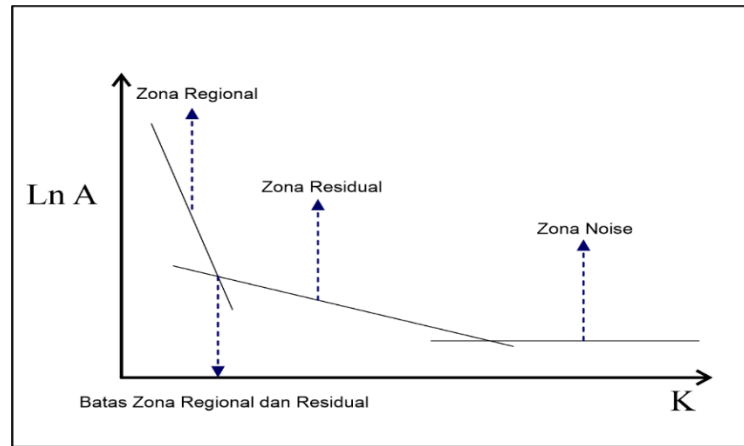
$$y = mx + c \quad (18)$$

Dalam hal ini, $\ln A$ diwakili oleh sumbu y , $|k|$ adalah sumbu x , dan $(z_0 - z_1)$ mewakili kemiringan garis (gradien). Oleh karena itu, kemiringan garis ini mencerminkan kedalaman bidang, sedangkan $|k|$ pada sumbu x didefinisikan sebagai bilangan gelombang dengan satuan *cycle/meter*, yang besarnya $2\pi/\lambda$, dengan λ adalah panjang gelombang. Hubungan antara $|k|$ dan Δx dapat diperoleh dari persamaan.

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{2\pi}{k_c \Delta x} \quad (19)$$

Nilai λ sama dengan Δx , selain itu terdapat faktor lain dalam Δx yang disebut sebagai konstanta pengali. Oleh karena itu, λ dapat diungkapkan sebagai N kali Δx , di mana konstanta N didefinisikan sebagai lebar jendela dan K_c adalah *cut off* dari bilangan gelombang. Sehingga, lebar jendela dapat dirumuskan seperti berikut.:

$$N = \frac{2\pi}{k_c \Delta x} \quad (20)$$



Gambar 7. Kurva Ln A terhadap K (Blakely, 1996)

3.5. Filter *Moving Average*

Metode Filter *Moving Average* adalah sebuah penyaring frekuensi yang berupa *low pass filter* yang digunakan dalam pemrosesan data anomali Bouguer. Filter ini bertujuan menghilangkan komponen frekuensi tinggi sementara itu mempertahankan frekuensi rendah. *Grid* dari anomali Bouguer lengkap dipisahkan anomalnya menggunakan filter ini dengan mengambil lebar jendela berdasarkan hasil dari spektrum. Hasil akhir dari proses ini disebut sebagai anomali regional. Sebaliknya, anomali residual diperoleh dengan mengurangi anomali Bouguer lengkap dengan anomali regional. Prinsip utamanya adalah bahwa semakin besar lebar jendela yang digunakan, semakin mendekati nilai anomali Bouguer akan diperoleh dari anomali residual. (Setiadi, Setyanta, & Widijono, 2010).

Pemisahan antara anomali Bouguer menjadi dua anomali, yaitu anomali regional dan anomali residual, bertujuan untuk menyederhanakan proses interpretasi secara kualitatif. Salah satu metode penyaringan yang digunakan untuk memisahkan kedua anomali ini adalah dengan menggunakan filter *moving average*. Filter ini melibatkan perhitungan dengan mencari nilai rata-rata dari anomali Bouguer. Hasil dari rata-rata ini digunakan untuk memperoleh anomali regional, sementara itu untuk mendapatkan anomali residual maka anomali Bouguer lengkap dikurangkan dengan anomali regional gayaverat.

$$\Delta g_{reg}(i) = \frac{\Delta g(i-n) + \dots + \Delta g(i) + \dots + \Delta g(i+n)}{N} \quad (21)$$

Keterangan :

i = Nomor stasiun

N = Lebar jendela

Δg_{reg} = besarnya anomali regional

Dalam penerapan *moving average* pada peta dua dimensi, nilai pada suatu titik dapat dihitung dengan cara menjumlahkan dan merata-ratakan semua nilai di dalam sebuah kotak persegi dengan titik pusat yang merupakan titik yang sedang dihitung. Sebagai contoh, jika kita menggunakan *moving average* dengan lebar jendela sepanjang 3, maka.

$$\Delta g_{reg} = \frac{1}{9} \sum_{N=1}^9 \Delta g(n) \quad (22)$$

Nilai anomali residual Δg_{res} dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$\Delta g_{res} = \Delta g - \Delta g_{reg} \quad (23)$$

Dengan Δg adalah anomali Bouguer total.

Penggunaan filter *moving average* dalam DSP (*Digital Signal Processing*) sangat lazim karena filter ini cukup sederhana untuk dipakai dalam pemrosesan data dan relatif mudah dipahami. Dalam konteks pengolahan anomali Bouguer, penggunaan filter *moving average* menghasilkan anomali regional sebagai hasil akhir dari prosesnya.

3.6. *First Horizontal Derivative (FHD)*

Maksud dari *Horizontal Derivative* gayaberat adalah sebaran nilai anomali gayaberat dari banyak titik pengukuran dan perbandingan antaranya dengan mempertimbangkan jarak secara lateral yang berada di permukaan bumi. Hal ini terjadi karena terdapatnya badan batuan yang cenderung untuk menunjukkan daerah tepi dari badan atau satuan-nya yang kemudian dapat dilihat pada anomali gayaberat yang terbentuk. Metode FHD dapat diterapkan untuk perubahan karakteristik densitas batuan serta menentukan lokasi horizontalnya dari anomali data gayaberat yang didapatkan (Cordell & Grauch, 1985). Jadi *First Horizontal Derivative (FHD)* digunakan untuk mencari batas kontras densitas dari data

gayabarat yang nantinya akan ditandai dengan nilai FHD yang maksimum. Kontur FHD dibuat dengan menurunkan horizontal x dan y dari anomali residual lalu dihitung FHD total dengan berdasarkan persamaan:

$$\frac{\delta g}{\delta x}(x_n, y_n) = \sqrt{\left(\frac{\delta g}{\delta x}\right)^2 + \left(\frac{\delta g}{\delta y}\right)^2} \quad (24)$$

3.7. *Second Vertical Derivative (SVD)*

Penerapan *Second Vertical Derivative* (SVD) bertujuan untuk menonjolkan efek dari komponen dangkal yang disebabkan oleh pengaruh residual gayabarat, sehingga memungkinkan terdeteksinya anomali yang disebabkan oleh struktur ataupun batuan yang dangkal. Dalam teori, metode ini didasarkan pada persamaan Laplace untuk anomali gravitasi di permukaan, yang dinyatakan sebagai berikut:

$$\nabla^2 \cdot \Delta g = \frac{\partial^2 \Delta g}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \Delta g}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \Delta g}{\partial z^2} = 0 \quad (25)$$

Sehingga *Second Vertical Derivative*-nya dapat dinyatakan dengan.

$$\frac{\partial^2 \Delta g}{\partial z^2} = -\frac{\partial^2 \Delta g}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \Delta g}{\partial x^2} \quad (26)$$

Kemudian untuk data SVD dari sebuah penampang lintasan persamaannya dapat ditulis sebagai berikut.

$$\frac{\partial^2 \Delta g}{\partial z^2} = \frac{\partial^2 \Delta g}{\partial x^2} \quad (27)$$

Dalam persamaan SVD data 1-D di atas, disajikan bahwa turunan vertikal kedua dari anomali gayabarat permukaan setara dengan nilai negatif dari derivatif kedua dalam arah horizontal. Ini mengartikan bahwasanya menghitung anomali *Second Vertical Derivative* dapat dilakukan melalui turunan horizontal, yang lebih praktis dalam aplikasi. Ketika derivatif kedua dari anomali Bouguer adalah nol, ini dapat diartikan sebagai batas antara dua lapisan batuan dengan kontras densitas yang berbeda. Dalam konteks ini, batas ini dapat diinterpretasikan sebagai sebuah struktur patahan (Sarkowi, 2021).

Tabel 3. Matriks SVD Elkins (1951)

| Matriks <i>Second Vertical Derivative</i> Elkins (1951) | | | | | |
|----------------------------------------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 0.0000 | -0.0833 | 0.0000 | -0.0833 | 0.0000 | 0.0000 |
| -0.0833 | -0.0667 | -0.0334 | -0.0667 | -0.0833 | -0.0833 |
| 0.0000 | -0.0334 | 1.0668 | -0.0334 | 0.0000 | 0.0000 |
| -0.0833 | -0.0667 | -0.0334 | -0.0667 | -0.0833 | -0.0833 |
| 0.0000 | -0.0833 | 0.0000 | -0.0833 | 0.0000 | 0.0000 |

3.8. *Forward Modelling 2D*

Proses pemodelan merupakan proses yang terakhir dilakukan untuk menggambarkan kondisi daerah secara vertikal ke bawah, bagaimana perlapisan dan stratigrafi daerah penelitian akan digambarkan sesuai dengan parameter data anomali gravitasi dan estimasi kedalaman dari analisis spektrum kemudian dikaitkan dengan informasi geologi serta stratigrafi daerah penelitian. Proses ini menggunakan teknik *trial* dan *error* anomali data gayaberat yang dimunculkan. Jika hasil pemodelan tidak cocok dengan data anomali residual gayaberat daerah penelitian maka pemodelan diulangi hingga mendapatkan kecocokan dan memiliki *error* yang kecil yang dianggap mendekati kondisi asli yang terdapat di lapangan.

3.9. *Inverse Modelling 3D*

Proses *inverse modelling* adalah proses *rendering* data gayaberat menggunakan perangkat lunak pemodelan 3D inversi. Teknik inversi geofisika ditentukan dengan melihat distribusi densitas heterogen 3D di bawah permukaan yang paling cocok dengan pengukuran gravitasi. Pada pemodelan ini tidak ada informasi geologis yang dimasukkan. Kontras densitas didistribusikan pada kedalaman menggunakan skema pembobotan kedalaman standar (Li & Oldenburg, 1998). Tujuan melakukan jenis pemodelan geofisika ini ada tiga: 1) memperoleh pemahaman umum tentang kisaran nilai kerapatan batuan yang diharapkan di bawah permukaan, 2) memperoleh pemahaman umum tentang potensi distribusi spasial densitas di bawah permukaan, dan 3) menghasilkan satu kemungkinan distribusi densitas yang tidak didapatkan dari geologi. Namun hasil dari proses inversi dapat berisiko tidak tepat dikarenakan ketidakunikan dalam hasil model geofisika. Kemudian pada akhirnya, untuk meningkatkan

relevansi geologi hasil pemodelan inversi geofisika, informasi geologi harus dimasukkan ke dalam proses interpretasi 3D untuk memandu menuju hasil yang konsisten dengan geologi yang telah diamati.

IV. METODE PENELITIAN

4.1. Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

Tabel 4. Alat dan bahan serta kegunaannya

| No | Alat/Bahan | Kegunaan |
|-----|----------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. | Data Gayaberat | |
| 2. | Laptop | Perangkat keras untuk mengolah data menggunakan <i>software</i> yang diperlukan. |
| 3. | Peta Geologi | Untuk mendapatkan informasi geologi daerah penelitian. |
| 4. | <i>Software</i> ArcGIS V 10.8 | Untuk membuat peta yang dibutuhkan dalam penelitian. |
| 5. | <i>Software</i> Geosoft Oasis Montaj V 8.3.4 | Untuk melakukan pengolahan data gayaberat, mulai dari proses <i>gridding</i> , <i>filtering</i> , <i>filtering</i> derivatif, <i>forward modelling</i> 2D data gayaberat. |
| 7. | <i>Software</i> Global Mapper V 22.1 | Untuk menggabungkan data DEM dan membuat <i>area of interest</i> dari daerah penelitian. |
| 8. | <i>Software</i> Microsoft Excel 2010 | Untuk melakukan perhitungan lebar jendela dan analisis derivatif dari anomali SVD dan FHD. |
| 9. | <i>Software</i> Numeri | Untuk melakukan <i>Fast Fourier Transform</i> pada data lintasan analisis spektrum. |
| 10. | <i>Software</i> Grablox v1.7 | Digunakan dalam membuat parameter dan memproses inversi pemodelan 3D data gayaberat. |
| 11. | <i>Software</i> Bloxer 1.6e | Digunakan untuk menampilkan hasil pemodelan inversi 3D data gayaberat hasil Grablox. |
| 12. | <i>Software</i> RockWork15 | Menampilkan model 3D dan melakukan <i>slicing</i> 2D inversi |

4.2. Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan di:

- Tempat : 1. Pusat Survei Geologi, Badan Geologi, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral
2. Laboratorium PPDG, Teknik Geofisika, Fakultas Teknik, Universitas Lampung
- Tanggal : April 2023 s.d. Oktober 2023

4.3. Prosedur Penelitian

Prosedur yang dilakukan dalam penelitian ini dapat dikelompokkan menjadi enam bagian yaitu :

4.3.1. Anomali Bouguer Lengkap

Data gayaberat yang digunakan dalam penelitian ini telah menjalani berbagai koreksi sehingga tidak memerlukan koreksi tambahan. Namun, untuk memverifikasi keakuratan data, termasuk koordinat lokasi pengukuran dan sebaran anomali, dilakukan proses *gridding* menggunakan metode *kriging*. Hal ini bertujuan untuk menghasilkan visualisasi dari anomali Bouguer lengkap yang diperoleh dari pengukuran awal dan koreksi yang sudah diterapkan.

4.3.2. Analisis Spektrum

Dalam proses analisis spektrum ini, langkah awalnya adalah melakukan pengambilan beberapa lintasan yang didasarkan pada sebaran anomali tinggi dan rendah pada anomali Bouguer lengkap daerah penelitian. Kemudian mengubah domain waktu dan jarak menjadi fungsi yang berhubungan dengan domain frekuensi atau panjang gelombang menggunakan *Fast Fourier Transform* (FFT). Hasil dari proses *Fast Fourier Transform* (FFT) ini adalah berupa nilai riil dan imajiner serta frekuensi dari setiap lintasan. Hasil FFT dari semua lintasan yang telah didapatkan kemudian perhitungan untuk mencari nilai amplitudo, nilai LnA dan nilai bilangan gelombang (k) seperti pada persamaan 19. Kemudian nilai LnA dan nilai bilangan gelombang dilakukan *plotting* untuk mendapatkan kurva perubahan LnA terhadap bilangan gelombang (k). Kurva ini dikelompokkan berdasarkan besarnya nilai LnA yang

kemungkinan terjadi akibat adanya frekuensi tinggi, sedang dan rendah, sehingga didapatkan kelompok-kelompok anomali seperti ilustrasi pada **Gambar 7**. Penerikan garis linier pada data yang dipilih memungkinkan diketahuinya gradien garis dari masing-masing kelompok anomali dan hal ini juga dapat digunakan dalam penentuan nilai perpotongan (*cut-off*) untuk menentukan batas anomali regional dan residual yang akan dinyatakan dalam bentuk lebar jendela pada matriks pemisahan anomali.

4.3.3. Pemisahan Anomali Regional dan Residual

Dalam metode gayaberat anomali Bouguer yang sudah terkoreksi merupakan anomali bersih yang disebabkan karena adanya variasi rapat massa (densitas) dari batuan yang ada dibawah permukaan. Kedalaman dari batuan yang menyebabkan variasi tersebut juga akan sangat mempengaruhi hasil yang nantinya didapatkan, oleh karena itu sebagian dari anomali Bouguer dipotong berdasarkan frekuensi yang ada didalamnya. Anomali yang disebabkan oleh frekuensi tinggi berarti anomali yang bersifat dangkal dan selanjutnya yang akan digunakan dalam pemodelan dan interpretasi, sedangkan anomali yang memiliki frekuensi rendah akan dibuang karena dianggap sebagai batuan yang sangat jauh dari permukaan dan dapat digolongkan batuan homogen. Proses pemisahan ini dilakukan menggunakan filter *moving average* dengan *input* berupa anomali Bouguer lengkap. Kemudian dilakukan proses penapisan (*filtering*) menggunakan matriks 5×5 menggunakan fasa atau lebar jendela sesuai dengan hasil yang telah didapatkan pada saat analisis spektrum. Filter ini merupakan filter yang menghapus data dengan frekuensi rendah sehingga meninggalkan data dengan frekuensi rendah yang seterusnya disebut dengan anomali regional. Setelah itu anomali Bouguer lengkap dikurangkan dengan anomali tersebut untuk mendapatkan anomali residual.

4.3.4. Analisis Derivatif

Pada prosedur tahapan analisis derivatif, digunakan dua buah filter derivatif terhadap data anomali residual yang sebelumnya sudah didapatkan dari hasil pemisahan. Sedangkan anomali regional dianggap sebagai noise karena anomali tersebut adalah anomali yang terjadi karena amplitudo gelombang

yang sangat panjang dan frekuensi sangat kecil. Hal ini menandakan bahwa kondisi tersebut merupakan daerah dengan kedalaman yang sangat dalam yang merupakan lapisan homogen dari bumi. Analisis derivatif dilakukan menggunakan *software* Surfer 13. Analisis pertama dilakukan dengan menggunakan filter FHD (*First Horizontal Derivative*), yaitu dengan menggunakan *prewitt coloum detector* untuk FHD Y dan *prewitt row detector* untuk FHD X yang kemudian dilakukan penggabungan dengan menggunakan rumus FHD total pada persamaan (38). Analisis selanjutnya adalah SVD (*Second Vertical Derivative*), menggunakan filter berdimensi 5 x 5 dengan memasukkan operator SVD Elkins yang terdapat pada Tabel 1. Hasil dari analisis ini nantinya berupa peta anomali SVD dan FHD yang dikorelasikan dengan pengambilan lintasan memotong kontras anomali pada peta dan kemudian data dari setiap lintasan dimasukkan ke dalam Microsoft Excel untuk dijadikan kurva SVD dan FHD. Setelah itu kedua data derivatif dikorelasikan dan struktur patahan akan ditandai dengan nilai FHD yang maksimum atau minimum pada lintasan, kemudian pada lintasan yang sama nilai SVD berada pada kontur anomali nol. Jika hanya memenuhi satu persyaratan atau tidak keduanya maka tidak dapat disebut sebagai struktur patahan.

4.3.5. Interpretasi Struktur Patahan

Tahapan ini dilakukan secara kualitatif untuk melihat dugaan keterdapatannya struktur patahan yang ada di daerah penelitian. Dari hasil analisis derivatif yang telah dilakukan dan mendapatkan dugaan patahan maka dilakukan pencocokan dengan data geologi lapangan yang diperoleh dari peta geologi daerah penelitian dan juga studi literatur. Dari proses ini akan didapatkan dugaan patahan yang cocok dengan data geologi dan juga dugaan patahan yang tidak mempunyai kecocokan yang disajikan dalam bentuk peta.

4.3.6. Pemodelan Bawah Permukaan

Pemodelan bawah permukaan dilakukan dengan dua metode yaitu metode pemodelan kedepan (*forward modelling*) dan pemodelan keelakang (*inverse modelling*). Pemodelan 2D dengan *forward modelling* menggunakan *software* Oasis Montaj lebih tepatnya menggunakan menu Gmsys kemudian untuk

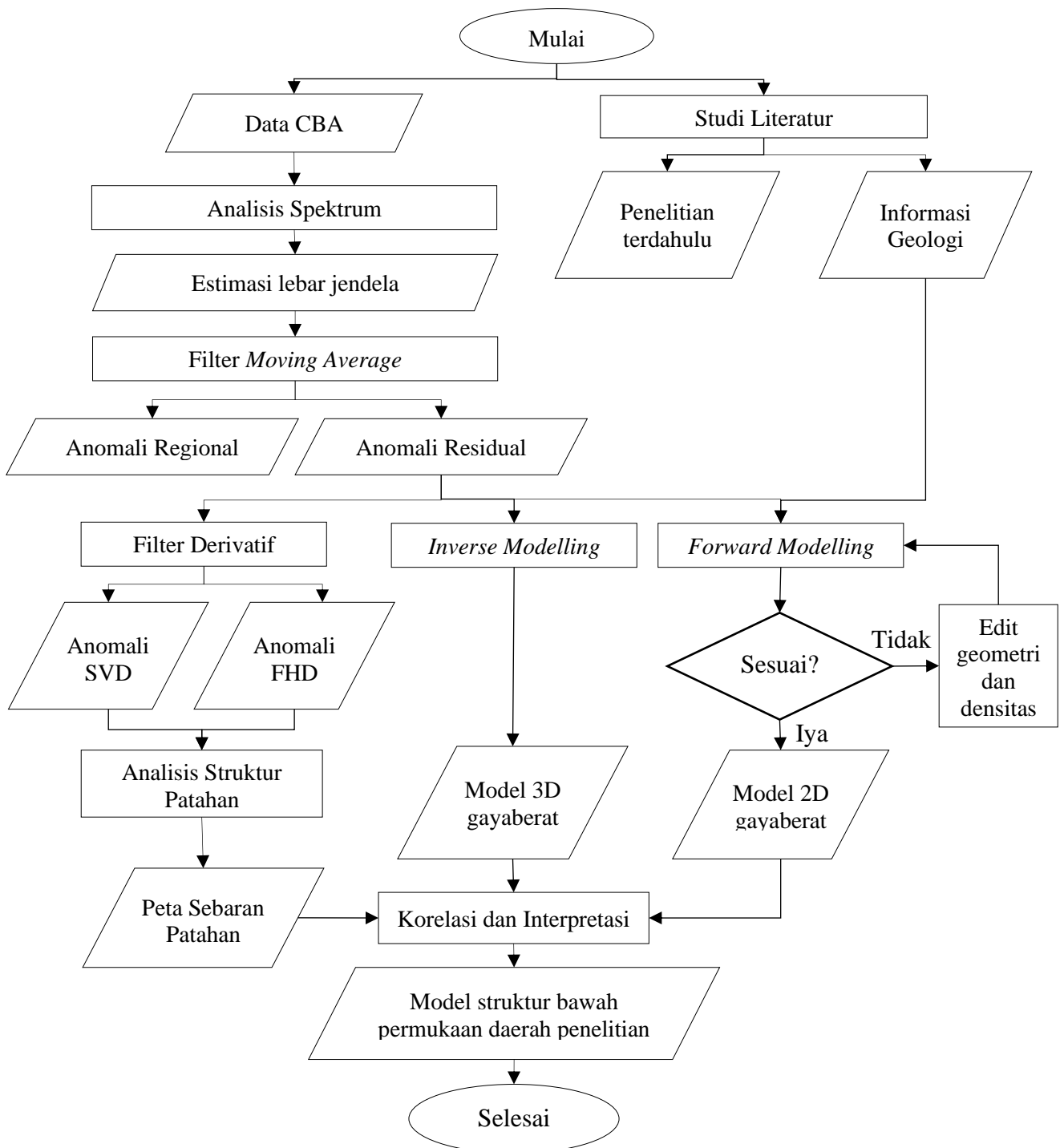
pemodelan 3D dengan *inverse modelling* menggunakan *software* Grablox v1.7, *software* Bloxer v1.6e dan *software* Rockwork15. Pada pemodelan 2D *forward modelling* kita membagi perlapisan sebanyak lapisan yang ada dan juga dengan estimasi kedalaman yang mana pada penampang tertentu terdapat lapisan yang bisa dilihat pada informasi geologi. Dalam pemodelan inversi, pada proses awal digunakan perangkat lunak Grablox 1.7 untuk parameter model. Model tersebut dibagi menjadi 30 blok dalam sumbu X, 30 blok dalam sumbu Y, dan 8 blok dalam sumbu Z, yang totalnya menghasilkan 7200 blok. Wilayah penelitian dimodelkan sejauh 55 kilometer ke arah timur (sumbu X) dan 54 kilometer ke arah utara (sumbu Y), dengan target kedalaman model mencapai 4 kilometer dalam arah vertikal (sumbu Z). Model ini dibentuk berdasarkan data yang telah diperoleh yaitu residual, dengan menggabungkan informasi geologi berupa densitas batuan yang mencakup daerah penelitian.

Tabel 5. Pelaksanaan kegiatan penelitian

| Kegiatan | April | | | | Mei | | | | Juni | | | | Juli | | | | Agustus | | | | September | | | | Oktober | | | | November | | |
|------------------------------------------|-------|---|---|---|-----|---|---|---|------|---|---|---|------|---|---|---|---------|---|---|---|-----------|---|---|---|---------|---|---|---|----------|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 |
| Studi Literatur | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | | | |
| Pengumpulan Data Gayaberat | ■ | ■ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Pengolahan Data Gayaberat | | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Penyusunan Proposal Usul | | | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Seminar Usul | | | | | | | | | | | ■ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Interpretasi Data Gayaberat | | | | | | | | | | | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | | | | | | | | |
| Penulisan Laporan Hasil | | | | | | | | | | | | | | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | | | |
| Seminar Hasil | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | ■ | | | | | | |
| Revisi dan Persiapan Sidang Komprehensif | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | ■ | ■ | ■ | | |
| Sidang Komprehensif | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | ■ | | |

4.3. Diagram Alir

Diagram alir pada penelitian ini adalah sebagai berikut



Gambar 8. Diagram alir penelitian

VI. KESIMPULAN DAN SARAN

6.1. Kesimpulan

Kesimpulan dari penelitian ini dapat diuraikan sebagai berikut.

1. Dari anomali Bouguer lengkap pada daerah penelitian didapatkan persebaran nilai anomali pada rentang -21,5 mGal sampai 79 mGal. anomali rendah berada pada bagian Utara dan Selatan daerah penelitian, lalu anomali tinggi berada pada bagian Timur dan tengah yang menerus ke arah Barat daerah.
2. Didapatkan nilai rata-rata dari kedalaman anomali regional adalah 12,4 kilometer dan rata-rata kedalaman anomali residual adalah 0,9 kilometer serta lebar jendela sebesar 19.
3. Terdapat 10 struktur patahan yang teridentifikasi melalui interpretasi yang telah dilakukan, struktur tersebut terdiri dari 3 patahan naik dan 7 patahan turun yang cenderung berarah Tenggara-Barat Laut.
4. Pemodelan 2D dan 3D dilakukan dengan kedalaman 2 km dan saling berkorelasi. Lintasan A-A' menampilkan dua struktur patahan naik. Kemudian pada model lintasan B-B' diidentifikasi terdapat satu patahan naik dan tiga patahan turun.

6.2. Saran

Penelitian ini perlu dilanjutkan dengan menggunakan metode yang sama dengan kerapatan dan sebaran data yang lebih baik guna mendapatkan informasi yang lebih baik dan akurat. Kemudian juga diperlukan metode geofisika atau metode lainnya sebagai pembanding dan penguat hasil yang telah didapatkan.

DAFTAR PUSTAKA

- Bergman, S. C., Coffield, D. Q., Talbot, J. E., & Garrard, R. A. (1996). Tectonic Evolution of Southeast Asia. *Geological Society Special Publication*, (106), 391–429. Diambil dari <http://sp.lyellcollection.org/Downloadedfrom>
- Blakely, R. J. (1996). *Potential Theory in Gravity and Magnetic Applications*. Cambridge: Cambridge University Press. Diambil dari <https://www.cambridge.org/>
- Carter, D. J., Audey-Charles, M. G., & Barber, A. J. (1976). Stratigraphical analysis of island arc—continental margin collision in eastern Indonesia. *Journal of the Geological Society*, 132(2), 179–198. <https://doi.org/10.1144/gsjgs.132.2.0179>
- Cordell, L., & Grauch, V. J. S. (1985). *Mapping basement magnetization zones from aeromagnetic data in the San Juan basin, New Mexico*. New York. Diambil dari <http://library.seg.org/>
- Djudjun, A. (2005). *Penyelidikan Gaya Berat Daerah Panas Bumi Sipoholon-Tarutung Kabupaten Tapanuli Utara Propinsi Sumatera Utara*. Pemaparan Hasil Kegiatan Lapangan Subdit Panas Bumi 2005. Diambil dari <https://123dok.com/>
- Grandis, H. (2009). Pengantar Pemodelan Inversi Geofisika. In *Himpunan Ahli Geofisika Indonesia*.
- Hall, R. (1995). Plate Tectonic Reconstructions of the Indonesian Region. *Proceedings Indonesian Petroleum Association*, 72–84. London: IPA, 24th Annual Convention Proceedings. Diambil dari <http://searg.rhul.ac.uk/>
- Hall, R., & Wilson, M. E. J. (2000). Neogene sutures in eastern Indonesia. *Journal of Asian Earth Sciences*, 18, 781–808. Diambil dari www.elsevier.nl/locate/jseaes
- Hamilton, W. (1979). *Tectonics of the Indonesian Region*. Washington. <https://doi.org/10.3133/pp1078>

- Hinze, W. J., Von Frese, R., & Saad, A. H. (2013). *Gravity and magnetic exploration : principles, practices, and applications*. Cambridge: Cambridge University Press. Diambil dari www.cambridge.org
- Katili, J. A. (1975). Volcanism and Plate Tectonics in The Indonesian Island Arcs. *Tectonophysics*, 26, 165–188. Diambil dari <https://www.sciencedirect.com/>
- Khairi, A., Awaluddin, M., & Sudarsono, B. (2020). Analisis Deformasi Seismik Sesar Matano Menggunakan GNSS dan Interferometrik SAR. *Jurnal Geodesi UNDIP*, 9(2), 2020. Diambil dari <https://ejournal3.undip.ac.id/>
- Kurniawati, I., Ratri, A. D. P., & Gunawan, T. (2020). Karakteristik Gempabumi di Sesar Matano Menggunakan Analisis Energi Kumulatif dan Periode Ulang. *Jurnal Geoelebes*, 4(1), 33. <https://doi.org/10.20956/geoelebes.v4i1.8919>
- Leeuwen, T. M. van, & Muhardjo, T. M. (2005). Stratigraphy and tectonic setting of the Cretaceous and Paleogene volcanic-sedimentary successions in northwest Sulawesi, Indonesia: implications for the Cenozoic evolution of Western and Northern Sulawesi. *Journal of Asian Earth Sciences*, 25(3), 481–511.
- Li, Y., & Oldenburg, D. W. (1998). 3-D inversion of gravity data. *Geophysics*, 63(1), 109–119.
- Martosuwito, S. (2012). Tectonostratigraphy of the eastern part of Sulawesi, Indonesia. In relation to the terrane origins. *Jurnal Geologi dan Sumberdaya Mineral*, 22(4), 199–207.
- Maulana, I. (2012). *Analisis 4D Mikrogravity dan Gradien Vertikal 4D Mikrogravity (Studi Kasus Amblesan Semarang)* (Universitas Indonesia). Universitas Indonesia, Jakarta. Diambil dari <https://lib.ui.ac.id/detail.jsp?id=20317805>
- Patria, A., Natawidjaja, D., Daryono, M., Hanif, M., Puji, A., & Tsutsumi, H. (2023). Tectonic landform and paleoseismic events of the easternmost Matano fault in Sulawesi, Indonesia. *Tectonophysics*, 852, 229762. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2023.229762>
- Polvé, M., Maury, R. C., Bellon, H., Rangin, C., Priadi, B., Yuwono, S., ... Atmadja, R. S. (1997). Magmatic evolution of Sulawesi (Indonesia): constraints on the Cenozoic geodynamic history of the Sundaland active margin. *Tectonophysics*, 272(1), 69–92.
- Reynolds, J. M. (1997). *An Introduce to Applied and Environmental Geophysics*. New York: John Wiley & Sons Ltd,. Diambil dari <https://www.academia.edu/>
- Sarkowi, M. (2014). *Eksplorasi Gaya Berat* (1 ed.). Bandar Lampung: GRAHA ILMU. Diambil dari <http://repository.lppm.unila.ac.id/>
- Sarkowi, M. (2021). *Modul Praktikum Eksplorasi Gayaberat*.

- Sarsito, D. A. (2010). *Pemodelan geometrik dan kinematik kawasan Sulawesi dan Kalimantan bagian timur berdasarkan data GNSS-GPS dan gaya berat global. Disertasi Doktor ITB.*
- Sarsito, D. A., Susilo, Simons, W. J. F., Abidin, H. Z., Sapiie, B., Triyoso, W., & Andreas, H. (2017). Rotation and strain rate of Sulawesi from geometrical velocity field. *AIP Conference Proceedings, 1857*. American Institute of Physics Inc. <https://doi.org/10.1063/1.4987070>
- Setiadi, I., Setyanta, B., & Widijono, B. S. (2010). Delineasi Cekungan Sedimen Sumatra Selatan Berdasarkan Analisis Data Gaya Berat. *Geo-Sciences, 20*(2), 93–106.
- Simandjuntak, T. O., Rusmana, E., & Supandjono, J. B. (1991). *Peta Geologi Lembar Malili, Sulawesi. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi: Bandung.*
- Soehaimi, A., Sopyan, Y., Ma'mur, & Agustin, F. (2019). *Peta Patahan Aktif Indonesia.* Bandung.
- Sompotan, A. F. (2012). *Struktur Geologi Sulawesi.* Bandung: Program Doktor Sains Kebumihan Institut Teknologi Bandung.
- Sukanto, R., & Simandjuntak, T. O. (1981). *Tectonic Relationship Between Geologic Aspect of Western Sulawesi, Eastern Sulawesi dan Banggai–Sula In The Light Of Sedimentological Aspects.* GRDC Bandung. Indonesia.
- Sukanto, Rab. (1978). The structure of Sulawesi in the light of plate tectonics. *Proceedings of the Regional Conference on the Geology and Mineral Resources of Southeast Asia, 1978*, 121–141. Geological and Research Development Center.
- Telford, W. M., Geldart, L. P., & Sheriff, R. E. (1990). *Applied Geophysics (Second).* New York: Cambridge University Press.