

**PEMODELAN 3D STRUKTUR BAWAH PERMUKAAN
GUNUNGAPI AGUNG PROVINSI BALI
MENGUNAKAN METODE GAYA BERAT**

(skripsi)

Oleh

NASYRATUL ILMI



**KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI
JURUSAN TEKNIK GEOFISIKA
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
2019**

ABSTRAK

PEMODELAN 3D STRUKTUR BAWAH PERMUKAAN GUNUNGAPI AGUNG PROVINSI BALI MENGUNAKAN METODE GAYA BERAT

Oleh

NASYRATUL ILMU

Telah dilakukan penelitian dengan judul “Pemodelan 3D Struktur Bawah Permukaan Gunungapi Agung Provinsi Bali Menggunakan Metode Gaya Berat”. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi kantong magma dan membuat model bawah permukaan Gunungapi Agung Provinsi Bali menggunakan data anomali gaya berat. Metode pengolahan data yang dilakukan dalam penelitian ini ialah (i) membuat peta kontur Anomali Bouguer, (ii) melakukan analisis spektrum (iii) melakukan pemisahan anomali regional dan residual (iv) melakukan analisis *Second Vertical Derivative*, (v) membuat penampang geologi bawah permukaan secara 3D (*inverse modelling*) (vi) melakukan interpretasi kualitatif dan kuantitatif. Hasil pada Peta Anomali Bouguer menunjukkan nilai Anomali Bouguer daerah penelitian berkisar antara 84 mGal yang tersebar pada bagian barat daya daerah penelitian sampai 279 mGal yang berada pada tubuh Gunungapi Agung. Batas antara batuan dasar dan batuan sedimen daerah penelitian terdapat pada kedalaman 0,89 km. Kantong magma Gunungapi Agung berada pada kedalaman 500 hingga 8000 meter dengan bentuk menjulang ke atas dan cembung dibagian tengahnya. Kantong magma ini memiliki densitas sebesar 2,73 – 2,86 gr/cc. Jika dilihat dari model yang didapat aliran magma di dalam Gunungapi Agung terlihat pada kedalaman 0 meter.

Kata Kunci : Gaya berat, Analisis Spektrum, Kantong Magma, *Inverse Modelling*.

ABSTRACT

SUBSURFACE STRUCTURE 3D MODELLING BASED ON GRAVITY METHOD OF AGUNG VOLCANO, BALI

By

NASYRATUL ILMI

The subsurface structure 3D modelling of Agung volcano in Bali had been conducted by using gravity method. This research aims to identify magma chamber and make a model below the surface of the Great Volcano of Bali Province by using gravity anomaly data. Data processing methods performed in this research were consists of six steps: (i) anomaly bouguer contour map arrangement, (ii) spectrum analysis, (iii) anomaly regional and residual separation, (iv) Second vertical derivative analysis, (v) cross section of subsurface geology construction by using 3D (inverse modelling), (vi) qualitative and quantitative interpretation. Anomaly Bougeur contour map shows the value of Bouguer anomaly in research area around 84 mGal spreading around west south part of research point until 279 mGal on the Agung volcano body. Anomaly regional value is around 97 mGal to 253 mGal. The boundary between basement an sedimentary rock of the research area are at the depth of 0,89 km. The magma chamber of Agung volcano is in the depth of 500 to 8000 metres to a form of towing up and polluted in the middle. The density of the magma chamber is around 2,73 until 2,86 gr/cc. The magma flow in the Agung volcano of visible at the depth of 0 metres.

Keywords: gravity, spectrum analysis, magma chamber, inverse modelling

**PEMODELAN 3D STRUKTUR BAWAH PERMUKAAN
GUNUNGAPI AGUNG PROVINSI BALI
MENGUNAKAN METODE GAYA BERAT**

skripsi

Oleh

NASYRATUL ILMI

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

Pada

**Jurusan Teknik Geofisika
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI
JURUSAN TEKNIK GEOFISIKA
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
2019**

Judul Skripsi

**: PEMODELAN 3D STRUKTUR BAWAH
PERMUKAAN GUNUNGAPI AGUNG
PROVINSI BALI MENGGUNAKAN
METODE GAYA BERAT**

Nama Mahasiswa

: Nasyratul Ilmi

Nomor Pokok Mahasiswa : 1215051040

Jurusan

: Teknik Geofisika

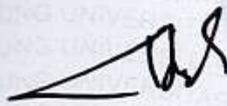
Fakultas

: Teknik

MENYETUJUI

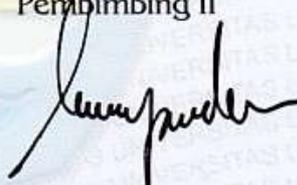
1. Komisi Pembimbing

Pembimbing I



Dr. Nandi Haerudin, S.Si., M.Si.
NIP 19750911 200012 1 002

Pembimbing II



Karyanto, S.Si., M.T.
NIP 19691230 199802 1 001

2. Ketua Jurusan Teknik Geofisika



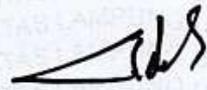
Dr. Nandi Haerudin, S.Si., M.Si.
NIP 19750911 200012 1 002

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

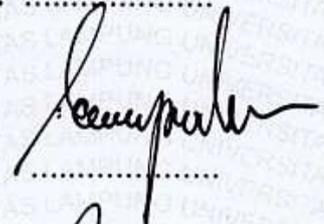
Ketua

: Dr. Nandi Haerudin, S.Si., M.Si.



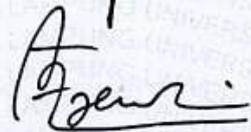
Sekretaris

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



Penguji

Bukan Pembimbing : Dr. Ahmad Zaenudin, S.Si., M.T.



Prof. Dr. Suharno, M.S., M.Sc., Ph.D.
NIP 19620717 198703 1 002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 7 Mei 2019

PERNYATAAN

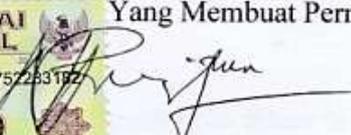
Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi yang saya buat adalah karya saya dan berdasarkan pemikiran saya sendiri sebagai syarat memperoleh gelar sarjana. Adapun terdapat kutipan karya atau pendapat orang lain dalam penulisan skripsi ini telah disebutkan sumbernya sebagaimana pada daftar pustaka secara jelas dan sesuai dengan norma, kaidah serta etika penulisan ilmiah.

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

Bandar Lampung, 28 mei 2019

Yang Membuat Pernyataan,




Nasyratul Ilmi
NPM. 1215051040

RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Bandar Lampung pada tanggal 5 maret 1994 dan merupakan anak ketiga dari empat bersaudara dari pasangan Bapak Drs. Zainuri, M.M. (alm) dan Ibu Dra. Hj. Mulyana. Penulis mengawali pendidikan formalnya di SD Negeri 1 Kampung Baru tahun 2000, SMP Negeri 8 Bandar Lampung tahun 2006, dan SMA Negeri 13 Bandar Lampung tahun 2009.

Tahun 2012 penulis terdaftar sebagai Mahasiswa Jurusan Teknik Geofisika Fakultas Teknik Universitas Lampung melalui jalur SNMPTN Undangan. Selain aktif diperkuliahan, penulis juga aktif mengikuti kegiatan Himpunan Mahasiswa Teknik Geofisika Bhuwana Universitas Lampung dan dipercaya sebagai *Exco Guest Lecture American Association of Petroleum Geologist student capture* Universitas Lampung tahun 2014 – 2015.

Karena didorong keinginan yang kuat untuk menggali ilmu diluar bidang Teknik Geofisika dan merasa masih terdapat banyak kekurangan dalam diri, penulis pun aktif dalam berbagai kegiatan dan pernah tercatat sebagai:

1. Kepala Divisi Pendidikan dan Latihan Unit Kegiatan Mahasiswa Korps Sukarela Palang Merah Indonesia Unit Universitas Lampung (UKM KSR PMI UNIT UNILA) periode 2014 – 2015.
2. Koordinator Forum Komunikasi Unit Kegiatan Mahasiswa Tingkat Universitas Lampung (FORKOM UKM – U UNILA) periode 2014 – 2015.

3. Ketua Unit Kegiatan Mahasiswa Korps Sukarela Palang Merah Indonesia Unit Universitas Lampung (UKM KSR PMI UNIT UNILA) periode 2015 – 2016.
4. Tim Relawan Tanggap Darurat Bencana Gempa Bumi Pidie Palang Merah Indonesia Provinsi Aceh tahun 2016.
5. Bendahara umum Dewan Pengurus Pusat Forum Komunikasi Korps Sukarela Palang Merah Indonesia Unit Perguruan Tinggi Se – Indonesia (FORKOM KSR-PMI PT Se – Indonesia) masa bhakti 2015 – 2017.
6. *Collection Staff* PT. Nusantara Sukses Beton pada Pekerjaan Tol Sumatera Paket 3 Kota Baru – Terbanggi Besar tahun 2018.
7. Tim Relawan Palang Merah Indonesia Tsunami Selat Sunda tahun 2018.

Pada tahun 2015 penulis mengikuti program Kuliah Kerja Nyata di Desa Bumi Dipasena Jaya Rawajitu Timur Lampung. Dalam pengaplikasian ilmu dibidang geofisika penulis melaksanakan Kerja Praktek di Balai Penyelidikan dan Pengembangan Teknologi Kebencanaan Geologi (BPPTKG) Yogyakarta pada 7 maret – 7 april 2016 dengan judul “Analisis Frekuensi dan Amplifikasi Kabupaten Klaten, Jawa Tengah dengan Data Pengukuran Mikrotremor”. Kemudian, penulis melanjutkan Tugas Akhirnya di Laboratorium Teknik Geofisika Universitas Lampung dengan judul “Pemodelan 3D Struktur Bawah Permukaan Gunungapi Agung Provinsi Bali Menggunakan Metode Gaya Berat”.

PERSEMBAHAN

Dengan mengucapkan syukur atas ridho Allah SWT kupersembahkan karya

kecilku kepada semua yang terkasih.

Indonesiaku yang ku banggakan.....

Keluargaku yang ku cintai.....

Teman – temanku yang ku sayangi, yang sedang berjuang mencari jati diri.....

MOTTO

“Hidup adalah pilihan. Pilihan untuk melakukan sesuatu dan dikenal,
atau hanya duduk diam dan menjadi penonton.”

“Intan Tidak Akan Terbentuk Tanpa Suhu dan Tekanan yang Tinggi.”

“jika tak mampu mengucap, lewat karya berbicara. Jika gagal
mengingat, lewat karya menjaga –limamaret.”

SANWACANA

Dengan teriring salam dan doa serta ucapan terimakasih yang tak terhingga Penulis sampaikan kepada :

1. Kedua orangtuaku, Bapak dan Ibu tercinta, Bapak Drs. H. Zainuri, M.M (alm) dan Ibu Dra. Hj. Mulyana. Kebanggaan terbesar bagi penulis dapat memiliki orangtua yang tidak henti – hentinya mendukung setiap kegiatan anak – anaknya apapun bentuknya selama semua itu positif dan tidak meninggalkan sholat. Terima kasih sudah menjadi orangtua sekaligus sahabat terdekat penulis.
2. Untuk ketiga saudara kandungku. Abang, kakak dan adik, Abang Muammar Biladi, S.E., kakak Chairunnisa, S.Pd., M.Sc dan Adik Syafaatur Rasyidah yang tidak pernah lelah memberikan support apapun bentuknya. Semoga Allah memberikan kita umur yang panjang dan kebahagiaan agar bersama-sama kita dapat menikmati keberhasilan kita dimasa depan.
3. Bapak Prof. Dr. Suharno, M.S., M.Sc., Ph.D. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung.
4. Bapak Dr. Ahmad Zaenudin, S.Si., M.T. selaku Wakil Dekan bagian Akademik dan Kerjasama Fakultas Teknik Universitas Lampung, sebagai Dosen PA dan juga sebagai penguji dalam skripsi ini yang telah memberikan bimbingan juga saran kepada penulis.

5. Bapak Dr. Nandi Haerudin, S.Si., M.Si. selaku Ketua Jurusan Teknik Geofisika Universitas Lampung juga Pembimbing I yang telah memberikan pengarahan dan motivasi sehingga skripsi ini dapat selesai dengan baik.
6. Bapak Karyanto S.Si., M.T. selaku Pembimbing II yang telah memberikan waktu dan pengarahan sehingga skripsi ini dapat selesai dengan baik.
7. Dosen-Dosen Jurusan Teknik Geofisika Universitas Lampung yang saya hormati, yang selalu memberikan arahan dan motivasi.
8. Teman-teman Teknik Geofisika 2012 yang selalu memberikan semangat dan harapan untuk terus maju dan berkembang.
9. Teman – teman di organisasi ku tercinta, UKM KSR PMI Unit UNILA yang selalu mendukung dari belakang. Semoga kesuksesan menunggu kita didepan.
10. Mbak Nuraini dan kakak Fertilia Ikashaum yang selalu membantu, menemani dan memberikan semangat kepada penulis agar pantang menyerah dan tetap semangat dalam menyelesaikan studi.

Setiap karya pasti memiliki kelebihan dan kekurangan. Segala bentuk kelebihan dan manfaat yang dapat diambil merupakan buah dari bimbingan dan bantuan dari segenap pengajar, dan segala kelemahan dari karya ini merupakan kurangnya pengetahuan penulis.

Bandar Lampung, April 2019
Penulis,

Nasyratul Ilmi

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum, Wr. Wb.

Puji Syukur Penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang maha pengasih lagi maha penyayang, yang telah melimpahkan nikmat, anugerah serta kekuatan lahir dan batin kepada Penulis. Dengan berbekal keyakinan, ketabahan dan kemauan yang keras, bimbingan dan ridho dari Allah SWT, serta bantuan dari berbagai pihak jua lah, maka Penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul *Pemodelan 3D Struktur Bawah Permukaan Gunungapi Agung Provinsi Bali Menggunakan Metode Gaya Berat*. Penulis menyadari bahwa masih terdapat kekurangan dalam penulisan skripsi ini karena keterbatasan dan pengetahuan yang Penulis miliki. Oleh sebab itu, kritik dan saran yang membangun sangat penulis harapkan agar skripsi ini dapat bermanfaat bagi semua pihak.

Wassalamualaikum, Wr. Wb.

Bandar Lampung, 28 Mei 2019

Penulis,

Nasyratul Ilmi

DAFTAR ISI

| | Halaman |
|--|---------|
| ABSTRAK | i |
| LEMBAR PENGESAHAN | iv |
| PERNYATAAN | v |
| RIWAYAT HIDUP | vi |
| LEMBAR PERSEMBAHAN | viii |
| MOTTO | ix |
| SANWACANA | x |
| DAFTAR ISI | xiii |
| DAFTAR GAMBAR | xv |
| DAFTAR TABEL | xvii |
| I. PENDAHULUAN | |
| 1.1. Latar Belakang | 1 |
| 1.2. Tujuan Penelitian | 3 |
| 1.3. Batasan Masalah | 3 |
| II. TINJAUAN PUSTAKA | |
| 2.1. Lokasi Penelitian..... | 4 |
| 2.2. Geologi Regional daerah Penelitian..... | 4 |
| 2.3. Morfologi dan Geologi Gunungapi Agung..... | 6 |
| 2.4. Sejarah Letusan Gunungapi Agung | 9 |
| 2.5. Karakteristik Letusan | 9 |
| 2.6. Kawasan Rawan Bencana Gunungapi Agung | 10 |
| III. TEORI DASAR | |
| 3.1. Metode Gaya Berat | 12 |
| 3.2. Konsep Dasar Gaya Berat | 13 |
| 3.2.1. Teori Gaya Berat | 13 |

| | |
|---|----|
| 3.2.2. Potensial Gaya Berat | 14 |
| 3.2.3. Percepatan Gaya Berat | 16 |
| 3.3. Anomali Bouguer Lengkap..... | 17 |
| 3.4. Analisis Spektrum..... | 17 |
| 3.5. Pemisahan Anomali Regional dan Residual | 20 |
| 3.6. <i>Moving Average</i> | 21 |
| 3.7. <i>Second Vertical Derivative</i> (SVD)..... | 22 |
| 3.8. Pemodelan Struktur Bawah Permukaan..... | 24 |
| | |
| IV. METODE PENELITIAN | |
| 4.1. Lokasi, Waktu dan Tema Peneletian | 27 |
| 4.2. Alat dan Bahan..... | 27 |
| 4.3. Pengolahan Data | 28 |
| 4.3.1. Membuat Peta Kontur Anomali Bouguer..... | 28 |
| 4.3.2. Analisis Spektrum | 28 |
| 4.3.3. Pemisahan Anomali Regional dan Residual..... | 28 |
| 4.3.4. Pemodelan Bawah Permukaan | 29 |
| 4.4. Jadwal Penelitian | 29 |
| 4.5. Diagram Alir Penelitian | 30 |
| | |
| V. HASIL PENGAMATAN DAN PEMBAHASAN | |
| 5.1. Topografi Daerah Penelitian | 31 |
| 5.2. Anomali Bouguer Lengkap..... | 32 |
| 5.3. Pemisahan Anomali Regional dan Residual | 33 |
| 5.2.1. Analisis Spektrum..... | 33 |
| 5.2.2. <i>Filtering Moving Average</i> | 39 |
| 5.2.3. Anomali Regional | 39 |
| 5.2.4. Anomali Residual..... | 40 |
| 5.4. Interpretasi Kualitatif | 42 |
| 5.4.1. Pola Tinggian..... | 42 |
| 5.4.2. Analisis <i>Second Vertical Derivative</i> | 43 |
| 5.5. Interpretasi Kuantitatif | 44 |
| | |
| VI. KESIMPULAN DAN SARAN | |
| 6.1. Kesimpulan | 50 |
| 6.2. Saran | 51 |

DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR TABEL

| Tabel | Halaman |
|---|---------|
| 1. Catatan Erupsi G. Agung | 9 |
| 2. Operator Elkins Filter SVD..... | 23 |
| 3. Jadwal Kegiatan | 29 |
| 4. Kedalaman Anomali Lintasan 1-5 | 38 |
| 5. Bilangan Gelombang dan Lebar Jendela | 39 |
| 6. Kedalaman Magma Gunungapi | 50 |

DAFTAR GAMBAR

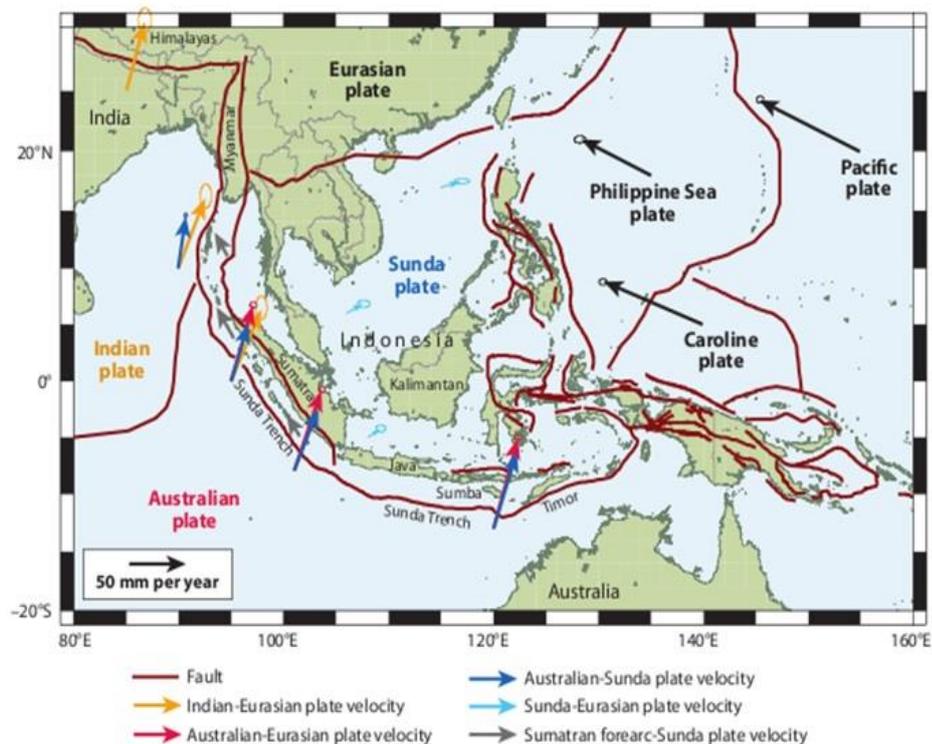
| Gambar | Halaman |
|--|---------|
| 1. Peta Kondisi Tektonik Indonesia | 1 |
| 2. Lokasi Penelitian..... | 5 |
| 3. Peta Geologi Gunungapi Agung | 8 |
| 4. Peta Kawasan Rawan Bencana Gunungapi Agung | 11 |
| 5. Gaya Tarik Menarik Antara Dua Benda | 13 |
| 6. Potensial Massa Tiga Dimensi..... | 15 |
| 7. Kurva $Ln A$ Terhadap k | 19 |
| 8. Efek Gaya Berat Poligon | 25 |
| 9. Diagram Alir Penelitian | 30 |
| 10. Titik Sebaran Daerah Penelitian | 31 |
| 11. Peta Anomali Bouguer Daerah Penelitian | 32 |
| 12. Lintasan Analisis Spektrum pada Peta Anomali Bouguer | 34 |
| 13. Grafik Analisis Spektrum Lintasan A-A' | 35 |
| 14. Grafik Analisis Spektrum Lintasan B-B' | 36 |
| 15. Grafik Analisis Spektrum Lintasan C-C' | 36 |
| 16. Grafik Analisis Spektrum Lintasan D-D' | 37 |
| 17. Grafik Analisis Spektrum Lintasan E-E' | 38 |
| 18. Peta Anomali Regional Daerah Penelitian..... | 40 |

| | |
|--|----|
| 19. Peta Anomali Residual Daerah Penelitian | 41 |
| 20. Pola Tinggian pada Peta Anomali Residual | 42 |
| 21. Kontur Nol SVD pada Peta Anomali Residual..... | 44 |
| 22. Topografi Daerah Penelitian | 45 |
| 23. Model Inversi 3D | 46 |
| 24. Lintasan Pada Model Inversi 3D | 46 |
| 25. Lintasan Pemodelan Pada Peta Geologi | 47 |
| 26. Penampang Lintasan A – A' | 47 |
| 27. Penampang Lintasan B – B' | 49 |
| 28. Model Konseptual 3D Posisi Magma Gunungapi Agung | 50 |

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Indonesia adalah negara kepulauan dengan posisi berada di antara Benua Asia dan Australia serta Samudera Hindia dan Samudera Pasifik. Dilihat dari segi astronomis, Indonesia adalah negara yang memiliki iklim tropis karena dilalui oleh garis Khatulistiwa. Oleh sebab itu, Indonesia memiliki Hutan Hujan Tropis dengan tanahnya yang sangat subur. Indonesia juga adalah salah satu negara yang berada di antara lempeng tektonik aktif yakni Lempeng Indo-Australia, Eurasia dan Lempeng Pasifik.



Gambar 1. Peta Kondisi Tektonik Indonesia (McCaffrey, 2009).

Selain itu, Indonesia adalah negara yang dilintasi oleh dua jalur pegunungan muda, yaitu Sirkum Mediterania dan Sirkum Pasifik yang menyebabkan Indonesia memiliki gunung berapi baik yang masih aktif maupun non aktif yang tersebar di beberapa titik. Indonesia tercatat memiliki 128 gunung api, 90 di antaranya masih aktif dan selalu menunjukkan aktivitas vulkanismenya. Dua hal tersebut yang mengakibatkan sering terjadi bencana di Indonesia (Sungkawa, 2008).

Salah satu provinsi yang memiliki gunungapi aktif di Indonesia adalah Provinsi Bali. Pulau Bali adalah bagian dari Kepulauan Sunda Kecil sepanjang 153 km dan selebar 112 km sekitar 3,2 km dari Pulau Jawa. Secara geografis, Bali terletak di $8^{\circ}25'23''$ Lintang Selatan dan $115^{\circ}14'55''$ Bujur Timur. Salah satu gunungapi aktif yang berada di Bali adalah Gunungapi Agung. Berdasarkan catatan PVMBG, gunung dengan ketinggian 3.014 mdpl (meter diatas permukaan laut) ini pernah 4 kali meletus sejak tahun 1800. Selain kejadian – kejadian tersebut, tahun 2017 Gunungapi Agung mulai menampakkan tanda – tanda letusannya lagi (PVMBG, 2014).

Peristiwa keluarnya magma Gunungapi Agung mengakibatkan kerugian yang besar bagi penduduk sekitar. Sebagai mitigasi awal, penelitian ini dilakukan untuk mengetahui bentuk struktur kantong magma Gunungapi Agung menggunakan metode gaya berat. Metode gaya berat adalah metode geofisika yang berdasar pada pengukuran variasi medan gaya berat di permukaan bumi. Metode gaya berat memiliki kelebihan untuk survei awal. Metode ini memberikan informasi yang cukup baik tentang struktur geologi dan kontras densitas batuan. Metode gaya berat biasa dipakai untuk menentukan distribusi rapat massa magma yang mengisi kantong magma dan pipa gunungapi.

Metode gaya berat telah terbukti dapat digunakan untuk memetakan deformasi struktur bawah permukaan gunungapi. Seperti yang dilakukan oleh Jumransyah dkk., 2010. Pada penelitiannya di Gunungapi Kelud Jawa Timur. Metode gaya berat digunakan untuk membuat pemodelan struktur bawah permukaan Gunungapi Kelud. Pengolahan dilakukan sampai mendapatkan nilai anomali Bouguer dan jenis batuanannya.

Dalam hal ini, peneliti melakukan analisa data nilai gaya berat daerah Gunungapi Agung yang didapat dari citra satelit TOPEX. Hasil akhir dari penelitian ini diharapkan dapat menghasilkan model kantong magma Gunungapi Agung. Pemodelan kantong magma ini penting dilakukan agar dapat dimanfaatkan untuk prediksi erupsi gunung berapi tersebut guna menyelamatkan jiwa manusia akan bahaya letusan Gunungapi Agung.

1.2 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian kali ini adalah sebagai berikut:

1. Membuat model bawah permukaan Gunungapi Agung menggunakan data anomali gaya berat.
2. Mengidentifikasi kantong magma Gunungapi Agung Bali.

1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dari penelitian kali ini adalah sebagai berikut:

1. Data gaya berat yang digunakan adalah data citra satelit TOPEX yang berupa nilai anomali Bouguer lengkap.
2. Pemodelan geologi bawah permukaan dalam studi ini sampai menghasilkan model tiga dimensi.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian berada pada koordinat $81^{\circ}38'$ - $84^{\circ}46'$ Lintang Selatan dan $115^{\circ}14'$ - $115^{\circ}34'$ Bujur Timur. Sedangkan dalam UTM WGS84 terletak pada 471457.1 – 485502 mE dan 585653.4 - 935146.5 mS termasuk kedalam zona 50S. Wilayah penelitian kali ini mencakup Kabupaten Karangasem Provinsi Bali yang merupakan daerah sekitar Gunungapi Agung.

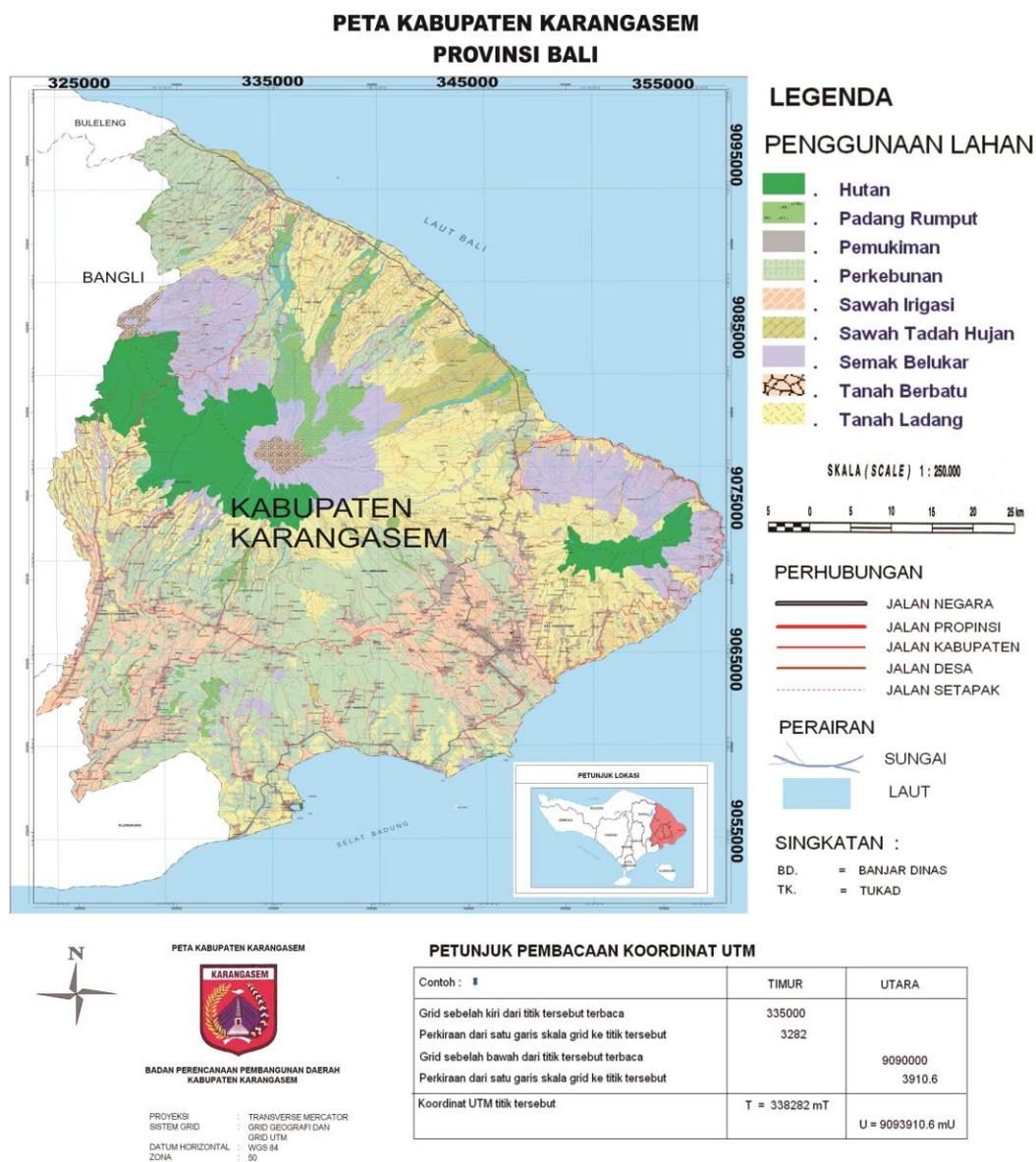
2.2. Geologi Regional daerah Penelitian

Kabupaten Karangasem terletak di ujung Timur Pulau Bali dan merupakan salah satu dari 9 Kabupaten/Kota yang ada di Provinsi Bali. Kabupaten Karangasem berbatasan dengan Laut Jawa di sebelah utara, Samudera Hindia di sebelah selatan, Selat Lombok di sebelah timur, dan Kabupaten Klungkung, Bangli, Buleleng di sebelah barat.

Secara geografis Kabupaten Karangasem berada pada posisi $8000'00''$ – $8041'37,8''$ Lintang Selatan dan $115035'9,8''$ – $115054'8,9''$ Bujur Timur. Luas Kabupaten Karangasem adalah 839,54 km atau 14,90 % dari luas Provinsi Bali (5.632,86 km). Dari seluruh luas wilayah tersebut, sekitar 7.070 ha (8,42 %) merupakan lahan persawahan, sedangkan bukan lahan sawah 76.884 ha (91,58%). Wilayah Kabupaten Karangasem memiliki topografi sangat bervariasi

berupa dataran, perbukitan, dan pegunungan (termasuk Gunung Agung). Karangasem memiliki pantai sepanjang 87 km, yang sebagian diantaranya merupakan potensi dan telah ditetapkan sebagai kawasan wisata.

Secara administratif Kabupaten Karangasem terdiri dari delapan kecamatan dengan 78 kelurahan/desa, 532 banjar dinas, dan 52 lingkungan. Sedangkan, secara adat Kabupaten Karangasem terdapat 189 desa adat dengan 605 banjar adat.



Gambar 2. Lokasi Penelitian (Pembkab Karangasem, 2017)

2.3 Morfologi dan Geologi Gunungapi Agung

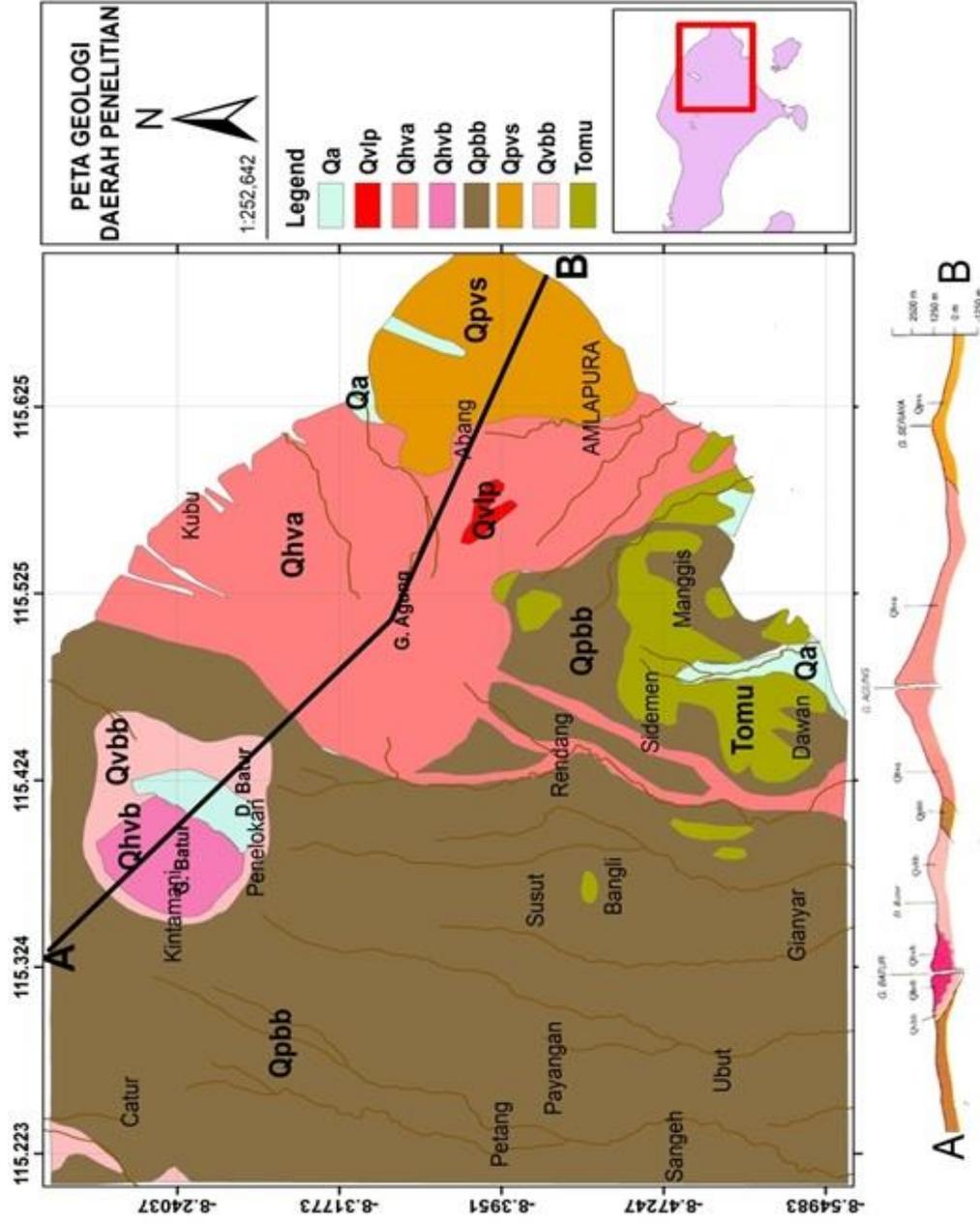
Gunungapi Agung adalah gunung bertipe *stratovolcano* tertinggi di Pulau Bali, memiliki ketinggian 3.014 mdpl dengan kawah yang besar dan sangat dalam. Morfologi Gunungapi Agung terutama berupa kerucut dan parasit gunungapi. Morfologi kerucut gunungapi berbentuk hampir simetri dengan lerengnya yang relatif terjal. Satuan morfologi ini terbentuk oleh bahan lava dan piroklastik. Pada bagian puncak tertutup oleh bahan lepas yang tebal, terutama piroklastik jatuhan yang merupakan hasil letusan tahun 1963. Sedangkan morfologi parasit gunungapi terletak di lereng tenggara dengan membentuk kerucut gunungapi (*cone shape*), salah satunya Gunung Pawon (800 mdpl). Beberapa kerucut di sebelah timur Gunungapi Agung yang diduga bukan parasit dari Gunungapi Agung. Bahan pembentuk satuan morfologi ini terdiri dari lava dan bahan lepas berupa skoria atau cinder.

Struktur geologi kompleks Gunungapi Agung - Abang - Batur - Budakeling menunjukkan suatu kelurusan berarah barat laut - tenggara. Sungai Tukad Daya - Tukad Lateng menampilkan sebuah kelurusan yang memotong sebagian bukit Tabis yang ada di bagian tengahnya. Pada bagian selatan - tenggara Gunungapi Agung memperlihatkan alihan pematang punggungan yang diduga akan terbentuk rekahan geser manganan.

Terdapat beberapa formasi batuan yang tersebar di sekitar Gunungapi Agung yaitu:

- Formasi batuan Buyan – Bratan – Batur (Qpbb) tersebar di sebelah barat Gunungapi Agung dengan umur batuan Holosen. Formasi ini terdapat jenis batuan tuf dan lahar.

- Formasi batuan Gunung Agung (Qhva) yang merupakan formasi di tubuh Gunungapi Agung. Formasi ini memiliki umur batuan Holosen. Terdapat beberapa jenis batuan pada formasi ini diantaranya aglomerat, tuf, lava, lahar dan ignimbrit yang dihasilkan dari aktivitas Gunung Agung.
- Formasi batuan Gunung Seraya (Qpvs) berada di sebelah timur Gunungapi Agung dengan umur batuan Plistosen. Jenis batuan yang terkandung pada formasi ini adalah breksi yang berselingan dengan lava gunung tersebut.
- Formasi batuan Ulakan (Tomu) tersebar di beberapa titik di sebelah barat daya Formasi Gunungapi Agung dengan umur batuan Miosen awal. Jenis batuan yang terkandung dalam formasi ini adalah breksi, tuf dan lava dari aktivitas gunungapi, juga terdapat sebaran batu gamping.
- Formasi batuan Aluvium (Qa) yang merupakan endapan permukaan berumur Holosen. Formasi ini memiliki jenis batuan diantaranya, kerikil, kerakal, pasir, lanau dan lempung yang merupakan endapan sungai, danau dan pantai.
- Formasi batuan Gunung Pawon (Qvlp) berada di tengah Formasi Gunung Agung. Formasi ini berumur Holosen dengan jenis batuan diantaranya lava dengan kandungan andesit basaltik dari kerucut parasiter Gunung Pawon.
- Formasi batuan Gunungapi Batur (Qhvb). Formasi ini memiliki batuan dengan umur Holosen. Jenis batuan yang ada di formasi ini adalah aglomerat, lava dan tuf. Selain itu, terdapat juga sedikit lahar dan batuan ignimbrit yang dihasilkan dari Gunung Batur yang masih aktif.
- Formasi batuan kelompok Buyan – Bratan Purba (Qvbb). Formasi ini memiliki batuan dengan umur Plistosen. Jenis batuan yang ada di formasi ini adalah breksi, lava gunungapi dan tuf.



Gambar 3. Peta geologi Gunungapi Agung (Hadiwijoyo, 1998).

2.4 Sejarah Letusan Gunungapi Agung

Erupsi Gunungapi Agung yang diketahui sebanyak 4 kali sejak tahun 1800, seperti diperlihatkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Catatan Erupsi G. Agung (PVMBG, 2014).

| Tahun letusan | Kegiatan |
|---------------|--|
| 1808 | Pada tahun ini gunungapi mengeluarkan batu apung dan abu dengan jumlah yang sangat besar. |
| 1821 | Terjadi Erupsi normal, selanjutnya tidak ada keterangan. |
| 1843 | Erupsi pada masa ini didahului oleh gempa bumi. Material yang dikeluarkan berupa abu, pasir, dan batu apung. Selanjutnya pada tahun 1908, 1915, dan 1917 di beberapa tempat didasar kawah dan pematangnya tampak adanya tembusan fumarola. |
| 1963 | Erupsi dimulai sejak tanggal 18 Februari 1963 dan berakhir pada tanggal 27 Januari 1964. Erupsi ini bersifat magmatis. Korban tercatat 1.148 orang meninggal dan 296 orang luka. |

2.5 Karakteristik Letusan

Pola dan sebaran hasil erupsi sebelumnya pada tahun 1808, 1821, 1843, dan 1963 menunjukkan tipe letusan yang hampir sama, diantaranya adalah bersifat eksplosif (letusan, dengan melontarkan batuan pijar, pecahan lava, hujan piroklastik dan abu), dan efusif berupa aliran awan panas, dan aliran lava. Lava yang keluar pada 19 Februari dan 17 Maret 1963 mengalir dari kawah utama di puncak ke utara, lewat tepi kawah yang paling rendah, berhenti di ketinggian 505,64 m sampai jarak \pm 7.290 m. Terdapat dua macam awan panas pada letusan

Gunungapi Agung, yaitu jenis letusan dan jenis guguran. Awan panas yang bersifat letusan terjadi saat ada letusan besar. Kecepatan dari awan ini memiliki rata-rata 60 km/jam dengan jarak paling jauh 13 km ke arah selatan, yaitu di Tukad Luah dan di sebelah utara 14 km di Tukad Daya. Hal tersebut berdasarkan pada pengamatan Pos Rendang. Daerah yang terserang awan panas letusan hanya terbatas pada lereng selatan dan utara (1963), hal ini disebabkan oleh keberadaan sebuah punggung yang memanjang dari barat ke timur. Awan panas letusan yang melampaui tepi kawah bagian timur akan dipisahkan oleh punggung sehingga merubah arah ke timur laut dan tenggara. Begitu pula dengan awan panas di sebelah barat yang dipisahkan oleh punggung barat ke arah barat daya dan utara. Awan panas ini telah melanda tanah seluas $\pm 70\text{km}^2$ dan menyebabkan jatuh 863 korban jiwa.

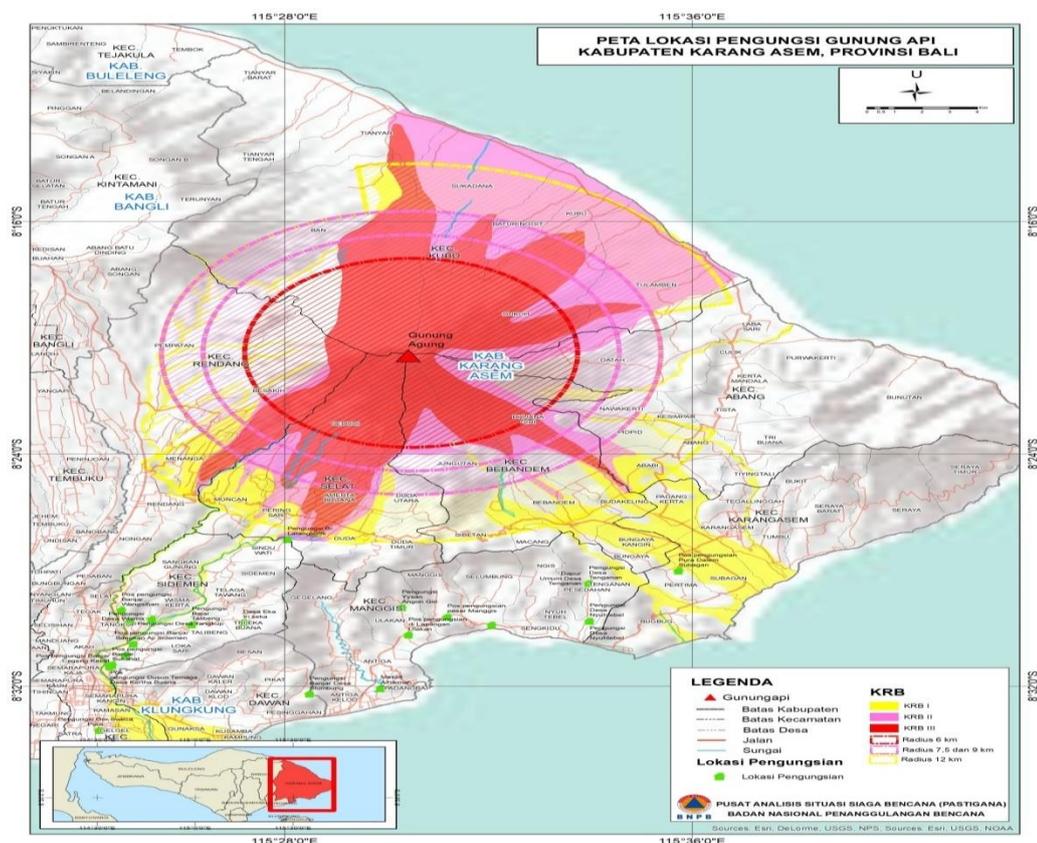
2.6 Kawasan Rawan Bencana Gunungapi Agung

Kawasan Rawan Bencana Gunungapi Agung terdiri dari 3 bagian, yaitu Kawasan Rawan Bencana I (KRB I), Kawasan Rawan Bencana II (KRB II) dan Kawasan Rawan Bencana III (KRB III).

- **Kawasan Rawan Bencana I** merupakan kawasan yang memiliki potensi terlanda aliran lahar, banjir dan hujan abu. Selain itu juga kawasan ini rawan terkena aliran awan panas. Kawasan ini tersebar ke arah tenggara dan barat daya.
- **Kawasan Rawan Bencana II** merupakan kawasan yang memiliki potensi terlanda aliran lahar, banjir dan hujan abu lebat serta memungkinkan adanya perluasan aliran awan panas dan lontaran batu (pijar) terutama jika letusannya membesar. KRB II memiliki tingkat kerawanan lebih rendah dari KRB III. Pada

kawasan ini jumlah penduduk yang bermukim sebanyak 77.815 jiwa dengan luas 185 km².

- **Kawasan Rawan Bencana III** merupakan kawasan yang memiliki potensi terlanda aliran lava, lontaran batu (pijar), hujan abu (lebat), dan awan panas. Terdapat juga gas beracun yang mengancam dari dalam kawah. Untuk bahaya yang bersifat aliran, KRB III ini mencakup seluruh lereng bagian utara sampai ke pantai Laut Bali, lereng bagian selatan dan tenggara dengan radius \pm 14 km dari puncak. Selain itu, bahaya dari lontaran batu (pijar) berada pada radius 6 km dari kawah pada sekeliling lerengnya. Jumlah penduduk yang bermukim dalam kawasan ini sebanyak 35.886 jiwa dengan luas seluruh KRB III ini adalah \pm 215 km².



Gambar 4. Peta Kawasan Rawan Bencana Gunungapi Agung (BNPB, 2017).

III. TEORI DASAR

3.1. Metode Gaya Berat

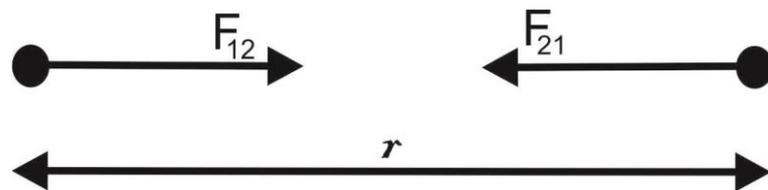
Metode dalam geofisika yang dilakukan untuk mengetahui keadaan bawah permukaan berdasarkan perbedaan rapat massa cekaman mineral dari daerah sekeliling ($\rho = \text{gram/cm}^3$) biasa disebut metode gaya berat. Metode ini digunakan untuk mempelajari kontak intrusi, batuan dasar, struktur geologi, endapan sungai purba, lubang di dalam masa batuan, *shaff* terpendam dan lain-lain. Metode gaya berat dikembangkan terus untuk kepentingan eksplorasi sejak awal tahun 1900-an. Dengan adanya peningkatan dan perkembangan dibidang elektronika dan instrumen perubahan pengukuran perubahan gaya berat pun semakin baik. Seiring berjalannya waktu, banyak ilmuwan yang terus mengembangkan penelitian dalam hal teknologi untuk pengukuran gaya berat. Semakin tinggi tingkat ketelitian dan akurasi dari alat ukur gaya berat mendorong para ilmuwan untuk dapat mengukur gaya berat yang semakin kecil ($<1 \mu\text{Gal}$). Dengan perkembangan yang terus dilakukan, metode gaya berat pun dapat diaplikasikan dalam berbagai bidang. Tidak hanya pada bidang eksplorasi, tetapi juga sudah digunakan untuk pemantauan perubahan densitas dan jarak yang terjadi di permukaan maupun di bawah permukaan. Hal ini memudahkan dalam mengidentifikasi struktur bawah permukaan bumi (Sarkowi, 2014).

Metode gaya berat mampu membedakan rapat massa dari suatu material terhadap daerah sekitarnya. Dengan begitu struktur dari bawah permukaan bisa diketahui. Pengetahuan mengenai struktur bawah permukaan sangat penting untuk perencanaan langkah-langkah eksplorasi baik minyak maupun mineral – mineral yang lain. Pada saat menggunakan metode ini biasanya membutuhkan minimal dua alat gaya berat, alat untuk mengukur pasang surut gaya berat berada di *base*, alat yang selanjutnya untuk mencatat perubahan gaya berat yang ada dengan dibawa pergi ke setiap titik pada setiap stasiun. Dalam pengerjaannya dilakukan dengan cara *looping* (Supriyadi, 2009).

3.2. Konsep Dasar Gaya Berat

3.2.1 Teori Gaya Berat

Teori yang paling mendasar dalam metode gaya berat adalah hukum Newton tentang gaya tarik menarik antara dua buah benda dengan massa tertentu yang dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Gaya tarik menarik antara dua benda (Rosid, 2005).

Kedua benda dengan massa tertentu yang dipisahkan oleh jarak tertentu akan memiliki gaya tarik menarik yang besarnya dinyatakan oleh persamaan berikut (Kearey, dkk., 2002):

$$F = G \frac{M \times m}{R^2} \quad (1)$$

dimana :

- F : gaya tarik menarik (N)
 G : konstanta gaya berat Universal ($6,67 \times 10^{-11} \text{ Nm}^2\text{kg}^{-2}$)
 M : massa bumi (kg)
 m : massa benda (kg)
 R : jarak antara dua buah benda (m)

3.2.2 Potensial Gayaberat

Gaya berat adalah sebuah vektor yang memiliki arah sepanjang garis yang menghubungkan pusat dari dua buah massa. Gaya yang ditimbulkan merupakan suatu medan yang konservatif yang bisa diturunkan dari suatu potensial skalar dengan hubungan pada persamaan (2).

$$g = \nabla U(\vec{r}) \quad (2)$$

Persamaan diatas berdasarkan pada konvensi oleh Kellog tahun 1953, yang menerangkan bahwa potensial gaya berat merupakan usaha yang dibuat oleh medan gaya berat pada partikel uji dan negatif dari energi potensial partikel. Beberapa buku menjelaskan bahwa potensial gaya berat sebagai usaha yang dilakukan partikel uji, sehingga dalam persamaan (3) ditulis:

$$g = -\nabla U(\vec{r}) \quad (3)$$

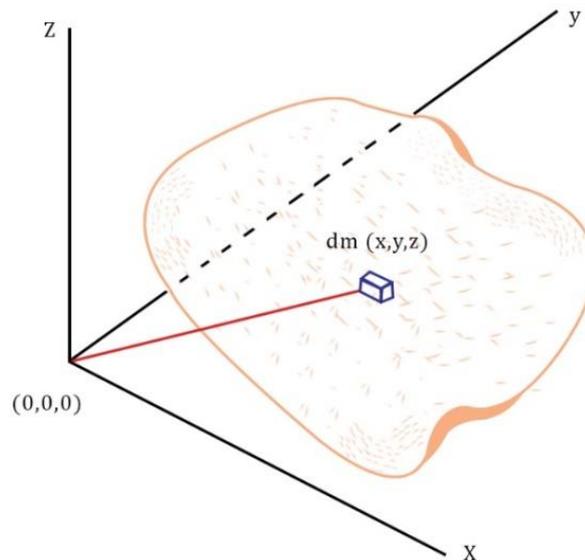
Fungsi U merupakan potensial gravitasi, sedangkan g merupakan medan potensial. Tanda minus menandakan arah gaya berat menuju ke titik yang dituju. Bumi diasumsikan memiliki massa M dengan sifat homogen dan berbentuk bola yang memiliki jari-jari R , potensial gaya berat di permukaan dapat diartikan dengan persamaan:

$$\nabla U(\vec{r}) = -\frac{F(r)}{m_2} = -g(\vec{r}) \quad (4)$$

$$U(\vec{r}) = \int_{\infty}^r (\nabla U) \cdot dr = -\int_{\infty}^r g \cdot dr \quad (5)$$

$$U(r) = -Gm \int_{\infty}^r \frac{dr}{r^2} = G \frac{m}{r} \quad (6)$$

Potensial total gaya berat bersifat penjumlahan sedangkan potensial gaya berat distribusi massa yang kontinu atau benda yang berdimensi yaitu dalam ruang bervolume V dengan rapat massa yang konstan ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Potensial massa tiga dimensi (Telford, dkk.,1990)

Berdasarkan Persamaan (6), potensial yang disebabkan oleh elemen massa dm pada titik (x, y, z) dengan jarak r dari $P(0, 0, 0)$ adalah:

$$dU = G \frac{dm}{r} = G\rho \frac{dx dy dz}{r} \quad (7)$$

Dimana $\rho(x,y,z)$ adalah densitas.

Potensial total dari massa adalah:

$$U = G \int_x \int_y \int_z \frac{\rho}{r} dx dy dz \quad (8)$$

karena g adalah percepatan gaya berat pada sumbu z (arah vertikal) dan dengan asumsi ρ konstan, maka:

$$g = -\left(\frac{\partial U}{\partial z}\right) = G\rho \int_x \int_y \int_z \frac{z}{r^3} dx dy dz \quad (9)$$

3.2.3 Percepatan Gaya Berat

Newton juga mendefinisikan hubungan antara gaya dan percepatan. Hukum II Newton tentang gerak menyatakan gaya sebanding dengan perkalian massa benda dengan percepatan yang dialami benda tersebut.

$$F = m \times g \quad (10)$$

$$F = G \frac{M \times m}{R^2} = m \times g \quad (11)$$

$$g = G \frac{M}{R^2} \quad (12)$$

Terlihat bahwa besarnya gaya berat g berbanding lurus dengan massa m , dan berkebalikan dengan luas radius bumi R . Dalam kenyataannya, bentuk bumi tidak bulat, tetapi berbentuk elipsoid (agak gepat pada kutubnya). Dengan demikian, variasi gaya berat di setiap titik permukaan bumi dipengaruhi oleh 4 faktor, yaitu:

1. Lintang
2. Topografi
3. Pasang surut
4. Variasi rapat massa bawah permukaan

Pengukuran percepatan gaya berat pertama kali dilakukan oleh Galileo, sehingga untuk menghormati Galileo, kemudian didefinisikan (Octonovrilna, 2009):

$$1 \text{ Gal} = 1 \text{ cm/s}^2 = 10^{-2} \text{ m/s}^2$$

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

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

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

3.3 Anomali Bouguer Lengkap

Anomali Bouguer adalah selisih antara harga gaya berat pengamatan dengan harga gaya berat teoritis yang didefinisikan pada titik pengamatan. Anomali Bouguer lengkap bisa dinyatakan sebagai anomali udara bebas dikurangi dengan reduksi lempeng Bouguer dan reduksi Terrain. Lihat pada persamaan 13.

$$\Delta g(x, y, z) = g_{obs} - (g_{(\varphi)} - FAC + BC - TC) \quad (13)$$

dimana Δg = anomali Bouguer Lengkap

g_{obs} = gaya berat pengukuran

$g_{(\varphi)}$ = gaya berat teoritis

FAC = koreksi udara bebas

BC = koreksi Bouguer

TC = koreksi Terrain

3.4 Analisis Spektrum

Analisis spektrum dilakukan untuk mengestimasi lebar jendela serta estimasi kedalaman anomali gaya berat. Analisis spektrum merupakan transformasi Fourier dari lintasan yang telah ditentukan pada peta kontur anomali Bouguer lengkap. Secara umum, suatu transformasi Fourier adalah menyusun kembali/mengurai suatu gelombang sembarang ke dalam gelombang sinus dengan frekuensi bervariasi dimana hasil penjumlahan gelombang-gelombang sinus tersebut adalah bentuk gelombang aslinya. Untuk analisis lebih lanjut, amplitudo gelombang-gelombang sinus tersebut ditampilkan sebagai fungsi dari frekuensinya. Secara matematis hubungan antara gelombang $S(t)$ yang akan diidentifikasi gelombang sinusnya (input) dan $S(f)$ sebagai hasil transformasi Fourier diberikan oleh persamaan berikut:

$$S(f) = \int_{-\infty}^{\infty} S(t)e^{-j2\pi ft} dt \quad (14)$$

dimana $j = \sqrt{-1}$.

Pada metode gaya berat, spektrum diturunkan dari potensial gaya berat yang teramati pada suatu bidang horizontal dimana transformasi Fouriernya sebagai berikut (Blakelly, 1996):

$$F(U) = \gamma\mu F\left(\frac{1}{r}\right) \quad \text{dan} \quad F\left(\frac{1}{R}\right) = 2\pi \frac{e^{|k|(z_0-z_1)}}{|k|} \quad (15)$$

dimana $z_1 > z_0$, $|k| \neq 0$, U adalah potensial gaya berat, μ adalah anomali rapat masa, γ adalah konstanta gaya berat dan r adalah jarak. Percepatan gaya berat dihubungkan pada potensial gaya berat oleh persamaan $g = \nabla U$. Gerak vertikal gaya berat yang disebabkan oleh suatu titik massa adalah turunan *derivative* dari potensial gaya beratnya:

$$g_z = Gm \frac{\partial}{\partial z} \frac{1}{r} \quad (16)$$

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

$$F(g_z) = Gm \frac{\partial}{\partial z} F\left(\frac{1}{r}\right) \quad (18)$$

Transformasi Fourier pada lintasan yang diinginkan adalah:

$$F(g_z) = 2\pi Gm e^{|k|(z_0-z_1)}, \quad z_1 > z_0 \quad (19)$$

Jika distribusi rapat massa bersifat random dan tidak ada korelasi antara masing-masing nilai gaya berat, maka $m = 1$, sehingga hasil transformasi Fourier anomali gaya berat menjadi:

$$A = C e^{|k|(z_0-z_1)} \quad (20)$$

dimana A adalah amplitudo dan C adalah konstanta. Untuk memperoleh hubungan antara amplitudo (A) dengan bilangan gelombang (k) dan kedalaman

$(z_0 - z_1)$ dilakukan dengan logaritma pada persamaan $A = C e^{|k|(z_0 - z_1)}$, sehingga bilangan gelombang k berbanding lurus dengan spektrum amplitudo.

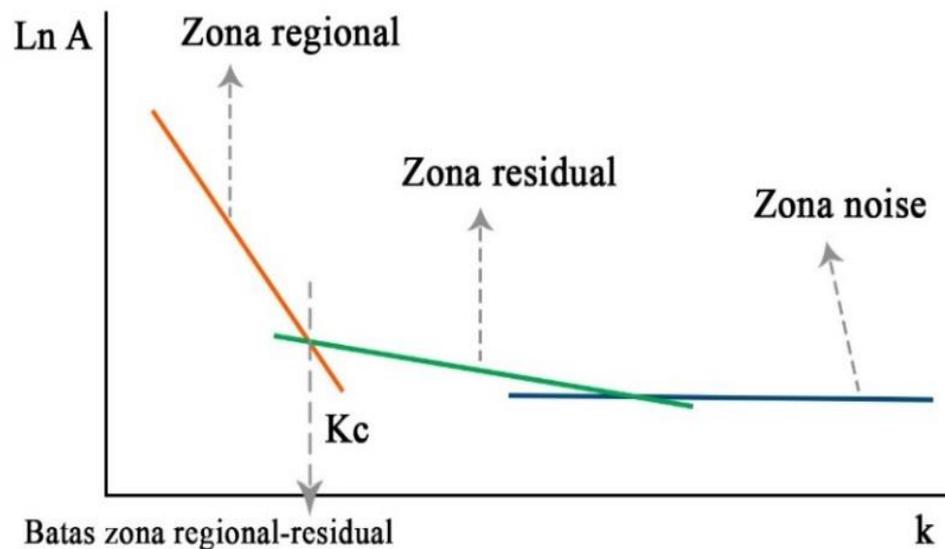
$$\ln A = \ln 2\pi G m e^{|k|(z_0 - z_1)} \quad (21)$$

$$\ln A = (z_0 - z_1)|k| + \ln C \quad (22)$$

Persamaan di atas dapat dianalogikan dalam persamaan garis lurus:

$$y = mx + c \quad (23)$$

dimana $\ln A$ sebagai sumbu y , $|k|$ sebagai sumbu x , dan $(z_0 - z_1)$ sebagai kemiringan garis (gradien).



Gambar 7. Kurva $\ln A$ terhadap k (Fitriana, 2011).

Oleh karena itu, gradien garisnya didefinisikan sebagai bidang dalam dan dangkal. $|k|$ sebagai sumbu x didefinisikan sebagai bilangan gelombang yang besarnya $\frac{2\pi}{\lambda}$ dan satuannya *cycle/meter*, dengan λ adalah panjang gelombang. Nilai λ sama dengan Δx , ada faktor lain pada Δx yang disebut konstanta penggali, sehingga $\lambda = N \times \Delta x$, konstanta N didefinisikan sebagai lebar jendela, jadi lebar jendela dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$N = \frac{2\pi}{k_c \times \Delta x} \quad (24)$$

Dimana Δx adalah domain spasi yang akan digunakan dalam *Fast Fourier Transform* (FFT), dan k_c adalah bilangan gelombang *cut off*. Semakin besar nilai k , maka nilai frekuensi akan tinggi. Hubungan bilangan gelombang k dengan frekuensi f adalah

$$k = 2\pi f \quad (25)$$

frekuensi yang sangat rendah berasal dari sumber anomali regional dan frekuensi tinggi berasal dari sumber anomali residual.

3.5 Pemisahan Anomali Regional dan Residual

Anomali gaya berat yang terukur dipermukaan merupakan penjumlahan dari semua kemungkinan sumber anomali yang ada di bawah permukaan dimana salah satunya merupakan target *event* dari eksplorasi. Sehingga untuk kepentingan interpretasi, target *event* harus dipisahkan dari target lainnya. Jika target *event* adalah anomali residual, maka target lainnya adalah anomali regional dan *noise*. Secara sederhana, dari segi lebar anomali, *noise* akan memiliki lebar anomali lebih kecil dari target (residual), sedangkan regional lebih besar dari residual berdasarkan kedalaman, *noise* akan lebih dangkal dari residual, sedangkan regional lebih dalam. Pada dasarnya metode pemisahan dilakukan untuk memisahkan anomali-anomali berdasarkan frekuensi yang berhubungan dengan kedalaman sumber anomali tersebut. Anomali residual berhubungan dengan frekuensi tinggi, sedangkan anomali regional berhubungan dengan frekuensi rendah. Tujuan dilakukan proses pemisahan ini adalah untuk memperoleh nilai anomali residual dan regional yang representatif dengan keadaan bawah permukaan yang sebenarnya (Sari, 2012).

3.6 *Moving Average*

Moving average dilakukan dengan cara merata-ratakan nilai anomalnya. Hasil perata-rataan ini merupakan anomali regionalnya, sedangkan anomali residualnya diperoleh dengan mengurangkan data hasil pengukuran gaya berat dengan anomali regional. Karakter dari teknik *moving average* jika dianalisis dari spektrumnya, mirip dengan *low pass filter*, sehingga *output* dari proses ini adalah frekuensi rendah dari anomali Bouguer yang memperlihatkan anomali regionalnya. Selanjutnya anomali residual dihasilkan dengan mengurangkan anomali regional terhadap anomali Bouguer. Pemisahan anomali menggunakan *moving average* bersifat menapis anomali gelombang frekuensi tinggi (*high frequency filter*), dia tidak menggeser fase dan merupakan filter bersegi siku (*rectangular filter*) sehingga memenuhi persyaratan untuk memproses data gaya berat daerah yang diteliti. Secara matematis persamaan *moving average* untuk satu dimensi adalah sebagai berikut :

$$\Delta g_{reg}(i) = \frac{\Delta g(i-n) + \dots + \Delta g(i) + \dots + \Delta g(i+n)}{N} \quad (26)$$

dimana, i adalah nomor stasiun, N adalah lebar jendela, dan Δg_{reg} adalah besarnya anomali regional. Sedangkan penerapan *moving average* pada peta dua dimensi, harga pada suatu titik dapat dihitung dengan merata-ratakan semua nilai di dalam sebuah kotak persegi dengan titik pusat adalah titik yang akan dihitung harganya.

Misalnya *moving average* dengan lebar jendela 3, maka:

$$\Delta g_{reg} = \frac{1}{9} \sum_N^9 = 1 \Delta g_{(n)} \quad (27)$$

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

$$\Delta g_{reg} = \Delta g - \Delta g_{res} \quad (28)$$

dimana Δg adalah anomali Bouguer total (Diyanti, 2014).

Berdasarkan karakter spektrum dari *filter* ini, lebar window $N \times N$ berbanding langsung dengan *low cut* dari panjang gelombang atau *high cut* frekuensi spasial dari *low pass filter*. Sehingga dengan bertambahnya lebar *window* akan menyebabkan bertambahnya panjang gelombang regional *output*. Dengan kata lain, lebar *window* terkecil menyebabkan harga regionalnya mendekati anomali bouguernya.

Masalah utama menggunakan *moving average* adalah lebar jendela penapisan, makin besar jendela yang digunakan, makin lebar panjang gelombang yang diloloskan. Sebagai contoh, (Yasoki, dalam Bath, 1974) mencoba penapisan menggunakan bermacam-macam jendela menghasilkan penyusun yang berbeda-beda. Dengan demikian terlihat bahwa masalah utama pada pemisahan anomali menggunakan metode *moving average* adalah :

1. Menentukan panjang gelombang anomali yang terdapat di daerah penelitian.
2. Menentukan lebar jendela optimum sebagai jendela penapisan yang efektif.

3.7 *Second Vertical Derivative (SVD)*

Second Vertical Derivative (SVD) dilakukan untuk memunculkan efek dangkal dari pengaruh regionalnya dan untuk menentukan batas-batas struktur yang ada di daerah penelitian, sehingga filter ini dapat menyelesaikan anomali residual yang tidak mampu dipisahkan dengan metode pemisahan regional-residual yang ada. Secara teoritis, metode ini diturunkan dari persamaan Laplace's (Telford dkk., 1990):

$$\nabla^2 \Delta g = 0 \text{ dimana } \nabla^2 \Delta g = \frac{\partial^2(\Delta g)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2(\Delta g)}{\partial y^2} + \frac{\partial^2(\Delta g)}{\partial z^2} \quad (29)$$

Sehingga persamaannya menjadi:

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

$$\frac{\partial^2(\Delta g)}{\partial z^2} = - \left[\frac{\partial^2(\Delta g)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2(\Delta g)}{\partial y^2} \right] \quad (31)$$

Dari persamaan-persamaan di atas dapat diketahui bahwa *second vertical derivative* dari suatu anomali gaya berat permukaan adalah sama dengan negatif dari *derivative*. Dalam penelitian ini, penulis menggunakan filter SVD hasil perhitungan Elkins (1951). Filter *Second Vertical Derivative* (SVD) dengan operator Elkins filter 2D ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Operator Elkins filter SVD

| Operator Filter SVD menurut Elkins (1951) | | | | |
|---|---------|---------|---------|---------|
| 0 | -0.0833 | 0 | -0.0833 | 0 |
| -0.0833 | -0.0667 | -0.0334 | -0.0667 | -0.0833 |
| 0 | -0.0334 | 1.0668 | -0.0334 | 0 |
| -0.0833 | -0.0667 | -0.0334 | -0.0667 | -0.0833 |
| 0 | -0.0833 | 0 | -0.0833 | 0 |

Kemampuan SVD untuk memisahkan efek residual dari pengaruh efek regional menjadikan hal tersebut sangat penting dalam interpretasi gaya berat. Artinya proses ini dapat memperjelas anomali residual yang tumpang tindih dengan anomali regional. Dengan demikian keberadaan struktur geologi di lokasi penelitian tidak menimbulkan ambiguitas tetapi memberikan gambaran yang lebih jelas terhadap bentuk-bentuk anomali penting dalam eksplorasi migas. Arah kemiringannya kurva SVD dapat menunjukkan jenis sesar, diketahui dari

perbandingan antara harga mutlak SVD maksimum dan minimum yang diberikan oleh:

1. Untuk patahan naik

$$\left(\frac{\partial^2 \Delta g}{\partial x^2} \right)_{maks} \left\langle \left(\frac{\partial^2 \Delta g}{\partial x^2} \right)_{min} \right| \quad (32)$$

2. Untuk patahan turun

$$\left(\frac{\partial^2 \Delta g}{\partial x^2} \right)_{maks} \left| \left(\frac{\partial^2 \Delta g}{\partial x^2} \right)_{min} \right\rangle \quad (33)$$

3.8 Pemodelan Struktur Bawah Permukaan

Pemodelan ke depan (*forward modelling*) menyatakan proses perhitungan data yang secara teoritis akan teramati di permukaan bumi jika diketahui harga parameter model bawah-permukaan tertentu. Dalam pemodelan data geofisika, dicari suatu model yang menghasilkan respons yang cocok dengan data pengamatan. Dengan demikian, model tersebut dapat dianggap mewakili kondisi bawah-permukaan di tempat pengukuran data. Menurut Talwani (1959), pemodelan ke depan untuk menghitung efek gaya berat model benda bawah permukaan dengan penampang berbentuk sembarang yang dapat diwakili oleh suatu poligon bersisi n dinyatakan sebagai integral garis sepanjang sisi-sisi poligon:

$$g_z = 2G\rho \oint z d\theta \quad (34)$$

Integral garis tertutup tersebut dapat dinyatakan sebagai jumlah integral garis tiap sisinya, sehingga dapat ditulis sebagai berikut:

$$g_z = 2G\rho \sum_{i=1}^n g_i \quad (35)$$

Model benda anomali sembarang oleh Talwani (1959) didekati dengan poligon-poligon dimana sistem koordinat kartesian yang digambarkan seperti di atas. Untuk benda poligon sederhana seperti pada Gambar di atas, dapat ditunjukkan dengan persamaan sebagai berikut:

$$g_i = \int_b^c \frac{a_i \tan \theta_i}{\tan \theta_i - \tan \theta} d\theta \quad (36)$$

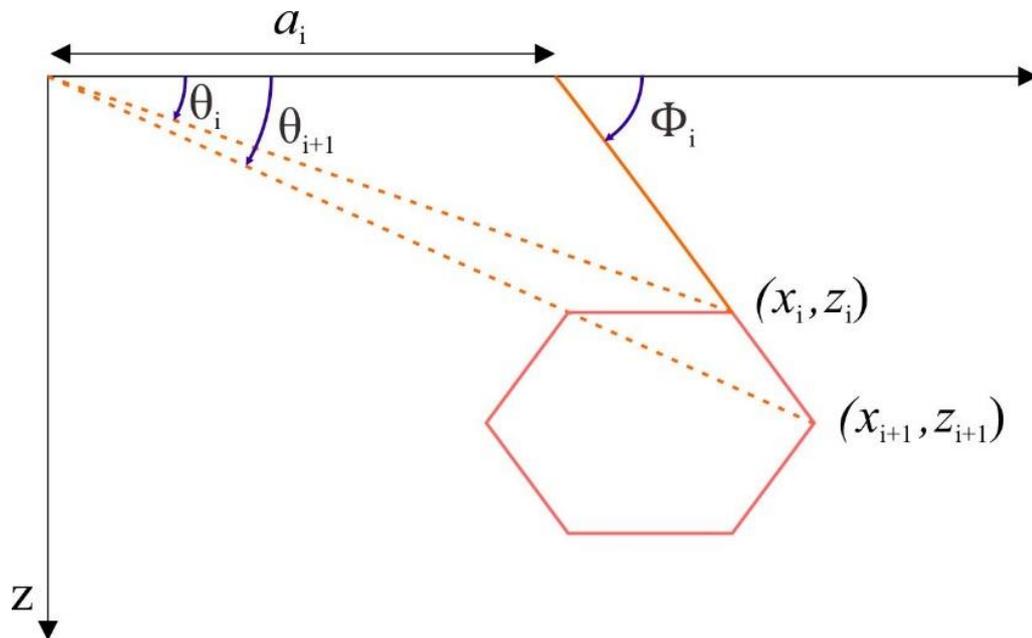
sehingga diperoleh:

$$g_i = a_i \sin \phi_i \cos \phi_i \left\{ (\phi_i + \phi_{i+1}) \ln \left(\frac{\cos \theta_1 (\tan \theta_1 - \tan \phi_i)}{\cos \theta_{i+1} (\tan \theta_{i+1} - \tan \phi_i)} \right) \right\} \quad (37)$$

dimana,

$$a_i = x_{i+1} - z_{i+1} \cot \phi_i = x_{i+1} - z_{i+1} \left(\frac{x_{i+1} + x_i}{z_{i+1} - z_i} \right) \quad (38)$$

$$\theta_i = \tan^{-1} \left(\frac{z_i}{x_i} \right) \quad \phi_i = \tan^{-1} \left(\frac{z_{i+1} + z_i}{x_{i+1} - x_i} \right) \quad (39)$$



Gambar 8. Efek gaya berat poligon (Talwani, dkk., 1959).

Untuk keperluan komputasi, Persamaan (37) ditulis dalam bentuk yang lebih sederhana, dengan mensubstitusikan harga-harga $\sin \phi$, $\cos \phi$, $\tan \phi$ dengan koordinat titik poligon dalam x dan z sebagai berikut:

$$Z_i = \frac{a_i c}{c^{2+1}} \left\{ \theta_i - \theta_{i+1} + \frac{1}{2} c \left(\frac{x_{i+1}^2 - z_{i+1}^2}{x_i^2 - z_i^2} \right) \right\} \quad (40)$$

Selanjutnya adalah tahap *Inverse Modelling*. *Inverse Modelling* adalah pemodelan yang memiliki sifat berkebalikan dengan *Forward Modelling*. Tujuan dari tahap ini adalah menghasilkan model langsung dari data penelitian. Pada proses pemodelan *inverse modelling* ini dicari parameter model yang memiliki respon yang sesuai dan mendekati kebenaran berdasarkan dengan data pengamatan yang ada. Output dari pemodelan ini ialah menghasilkan model yang optimal dan memiliki respon model yang mempunyai tingkat kecocokan yang tinggi terhadap data pengamatan (Supriyanto, 2007).

IV. METODOLOGI PENELITIAN

4.1. Lokasi, Waktu dan Judul Penelitian

- Tempat : Laboratorium Teknik Geofisika Universitas Lampung.
- Alamat : Jl. Prof. Dr. Sumantri Brojonegoro No.1 Bandar Lampung.
- Waktu : 19 Juni – 20 Juli 2018
- Judul : Pemodelan 3D Struktur Bawah Permukaan Gunungapi Agung
Provinsi Bali Menggunakan Metode Gaya Berat.

4.2. Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Data Anomali Bouguer Lengkap
2. Peta Geologi Lembar Bali, Nusa Tenggara
3. Laptop
4. *Software* Geosoft Oasis Montaj 8.3
5. *Software* ArcGis
6. *Software* Microsoft Office
7. *Software* Matlab
8. *Software* Surfer

4.3. Pengolahan Data

4.3.1. Membuat Peta Kontur Anomali Bouguer

Data gaya berat dalam penelitian ini adalah data Anomali Bouguer Lengkap (ABL) yang didapat dari Citra Satelit TOPEX. Langkah pertama pada penelitian ini adalah membuat peta anomali Bouguer, proses ini dibantu dengan menggunakan *software* Geosoft Oasis Montaj.

4.3.2. Analisis Spektrum

Analisis spektrum bertujuan untuk memperkirakan kedalaman suatu benda anomali gaya berat di bawah permukaan. Metode analisis spektrum menggunakan transformasi Fourier yang berguna untuk mengubah suatu fungsi dalam jarak atau waktu menjadi suatu fungsi dalam bilangan gelombang atau frekuensi. Dalam penelitian ini data yang diambil sebanyak 5 lintasan untuk mewakili daerah yang kita inginkan. Semua data yang didapat dari lintasan tersebut selanjutnya diolah di *software* Microsoft Excel untuk mencari nilai $\ln A$ dan k yang nantinya digunakan untuk mengetahui estimasi kedalaman yang kita cari. Setelah diinput ke Microsoft Excel data yang didapat dicari nilai FFT nya menggunakan *software* MATLAB.

4.3.3. Pemisahan Anomali Regional dan Residual

Anomali Bouguer merupakan suatu nilai anomali gaya berat yang disebabkan oleh perbedaan densitas batuan pada daerah dangkal dan daerah yang lebih dalam di bawah permukaan. Efek yang berasal dari batuan pada daerah dangkal disebut anomali residual, sementara efek yang berasal dari batuan pada daerah yang lebih dalam disebut anomali regional. Oleh karena itu, perlu dilakukan pemisahan anomali regional dan anomali residual pada anomali Bouguer.

4.3.4. Pemodelan Bawah Permukaan

Pemodelan bawah permukaan yang dipakai pada penelitian kali ini, yaitu pemodelan mundur atau *Inverse Modelling*. Tujuan dari tahap ini adalah menghasilkan model langsung dari data penelitian. Pada proses pemodelannya dicari parameter model yang memiliki respon yang sesuai juga mendekati kebenaran berdasarkan data pengamatan. Harapan dilakukan pemodelan ini adalah menghasilkan model yang optimal yang mempunyai kecocokan yang tinggi terhadap daerah pengamatan. *Inverse Modelling* digunakan saat melakukan pemodelan 3 dimensi dan kali ini pengolahan dibantu dengan menggunakan *software* Oasis Montaj. Hal yang pertama dilakukan saat proses pemodelan adalah melakukan sayatan pada pola anomali residual, sayatan yang dilakukan sebaiknya melewati pola struktur rendah dan tinggi yang ingin kita identifikasi yang sebelumnya telah dipelajari berdasarkan informasi dari peta geologi regional. Selain itu, pada tahap pemodelan 3 dimensi juga dilakukan input data pola anomali sisa atau anomali residual.

4.4. Jadwal Penelitian

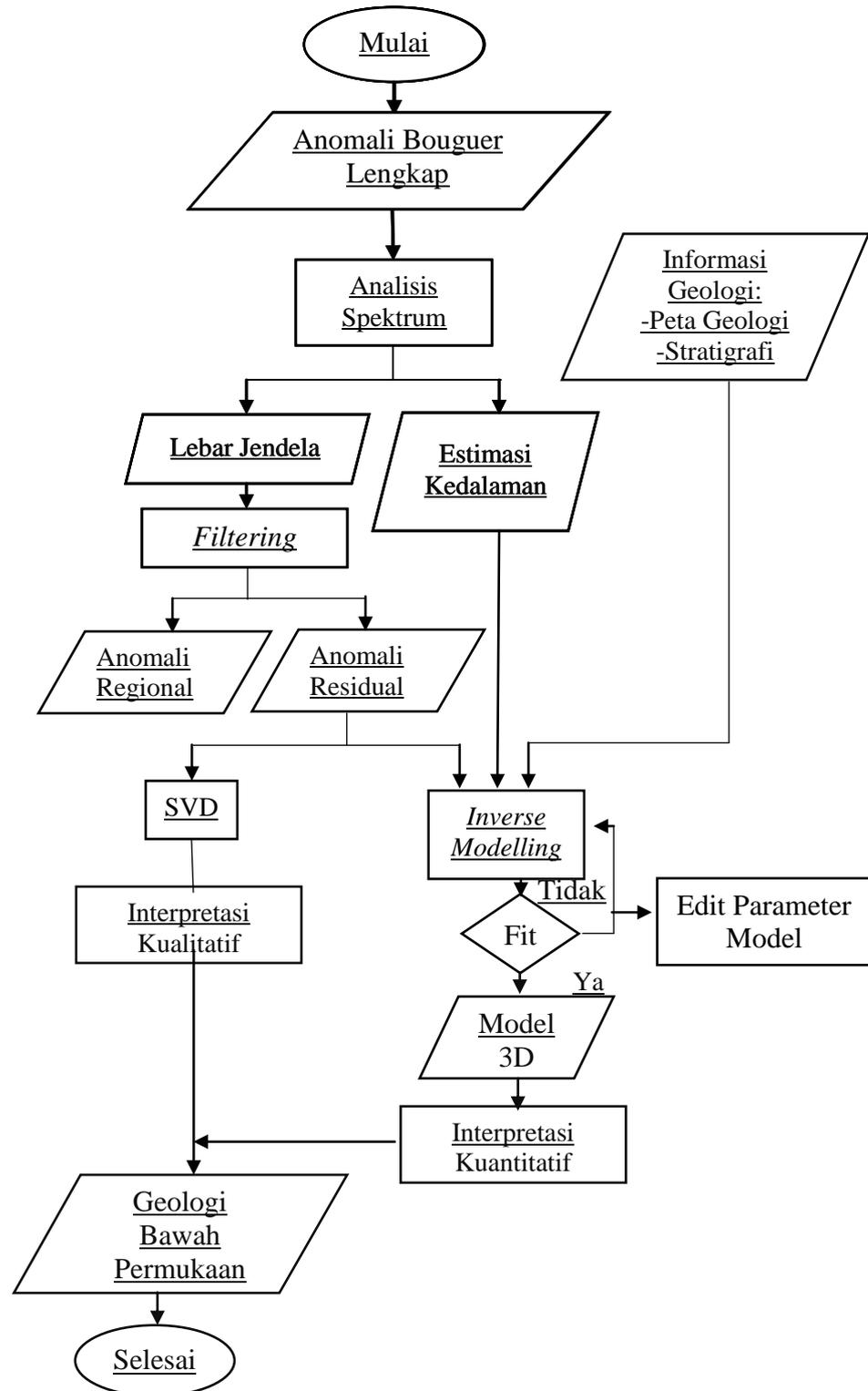
Adapun jadwal dari penelitian ini pada Tabel 3 sebagai berikut.

Tabel 3. Jadwal Penelitian

| No | Kegiatan | Waktu (Minggu ke-) | | | | | | | |
|----|--------------------------------|--------------------|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| 1 | Studi Literatur dan Persiapan | ■ | ■ | | | | | | |
| 2 | Persiapan Data <i>Gravity</i> | ■ | ■ | ■ | | | | | |
| 3 | Pengolahan Data <i>Gravity</i> | | | ■ | ■ | ■ | ■ | | |
| 4 | Analisa dan Interpretasi Data | | | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| 5 | Penulisan Laporan | | | | | ■ | ■ | ■ | ■ |

4.5. Diagram Alir Penelitian

Adapun proses yang dilakukan dalam penelitian ini pada Gambar 9.

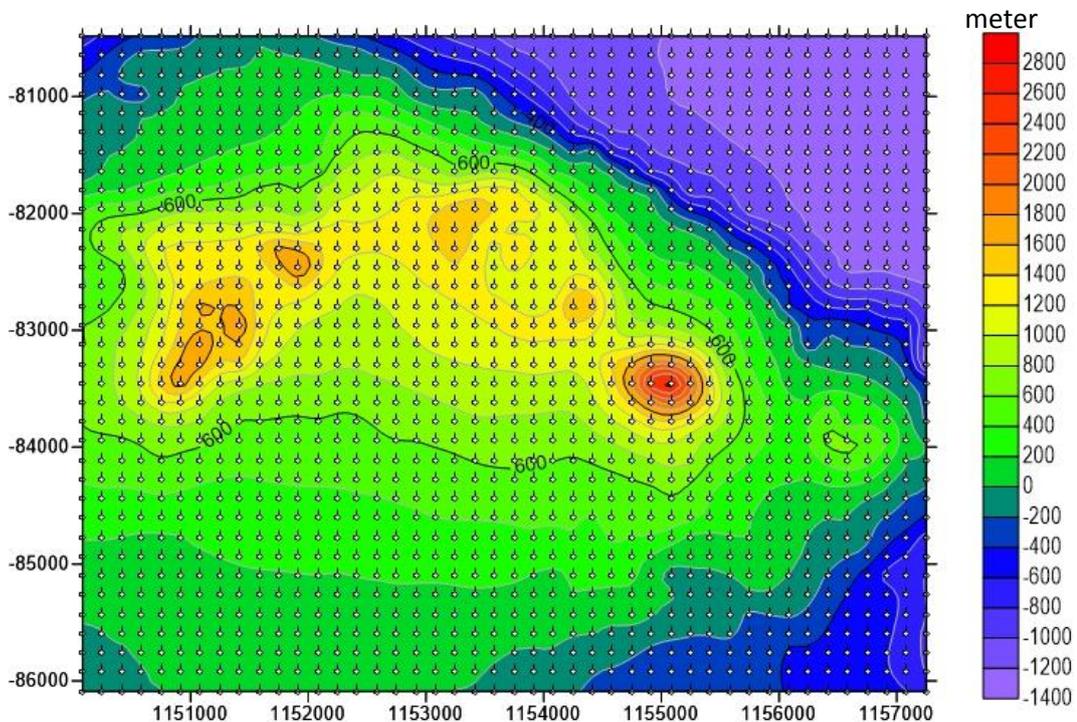


Gambar 9. Diagram Alir Penelitian

V. HASIL PENGAMATAN DAN PEMBAHASAN

5.1. Topografi Daerah Penelitian

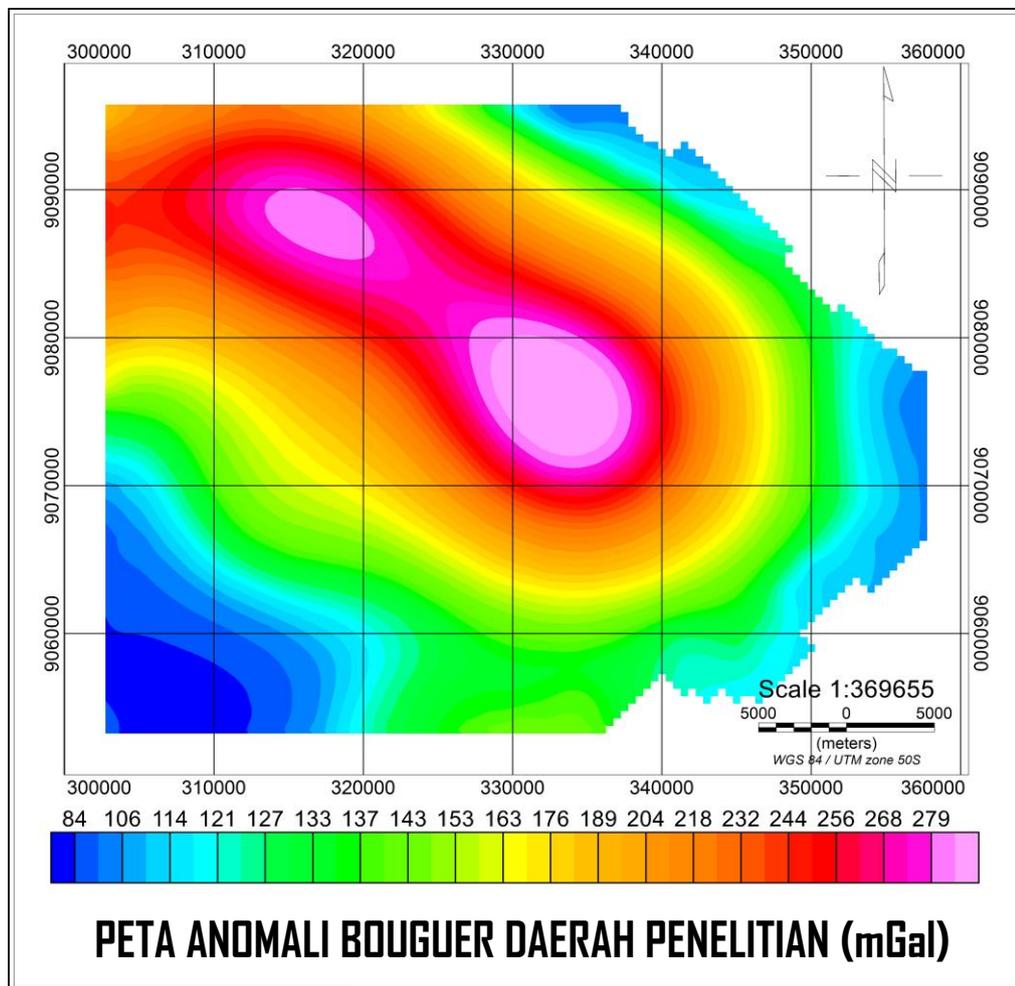
Daerah penelitian kali ini terletak di Kabupaten Karangasem, Propinsi Bali yang merupakan daerah sekitar Gunungapi Agung. Lokasi penelitian berada pada koordinat $81^{\circ}38'$ - $84^{\circ}46'$ Lintang Selatan dan $115^{\circ}14'$ - $115^{\circ}34'$ Bujur Timur. Luas lokasi penelitian sebesar 50x60 km. Pada penelitian kali ini didapatkan data penelitian berupa data sekunder yang berasal dari Citra Satelit TOPEX. Selain titik koordinat, data yang didapat juga adalah data topografi dan data gaya berat pada daerah penelitian yang sudah dalam bentuk Anomali Bouguer Lengkap.



Gambar 10. Titik Sebaran Daerah Penelitian

5.2. Anomali Bouguer Lengkap

Data yang digunakan pada penelitian ini merupakan data Anomali Bouguer Lengkap. Data tersebut diolah menggunakan *software* Oasis Montaj untuk mendapatkan peta anomali Bouguer daerah penelitian (**Gambar 11**). Peta anomali Bouguer yang dihasilkan dari pengolahan menunjukkan rentang anomali sebesar 84 mGal sampai dengan 279 mGal yang merupakan respon variasi densitas batuan pada daerah penelitian. Anomali Bouguer tersebut merupakan superposisi dari anomali baik yang bersifat regional maupun residual.



Gambar 11. Peta Anomali Bouguer Daerah Penelitian

Berdasarkan peta yang dihasilkan, klasifikasi warna yang terdapat pada peta anomali Bouguer daerah penelitian ini memiliki tiga klasifikasi. Yang pertama

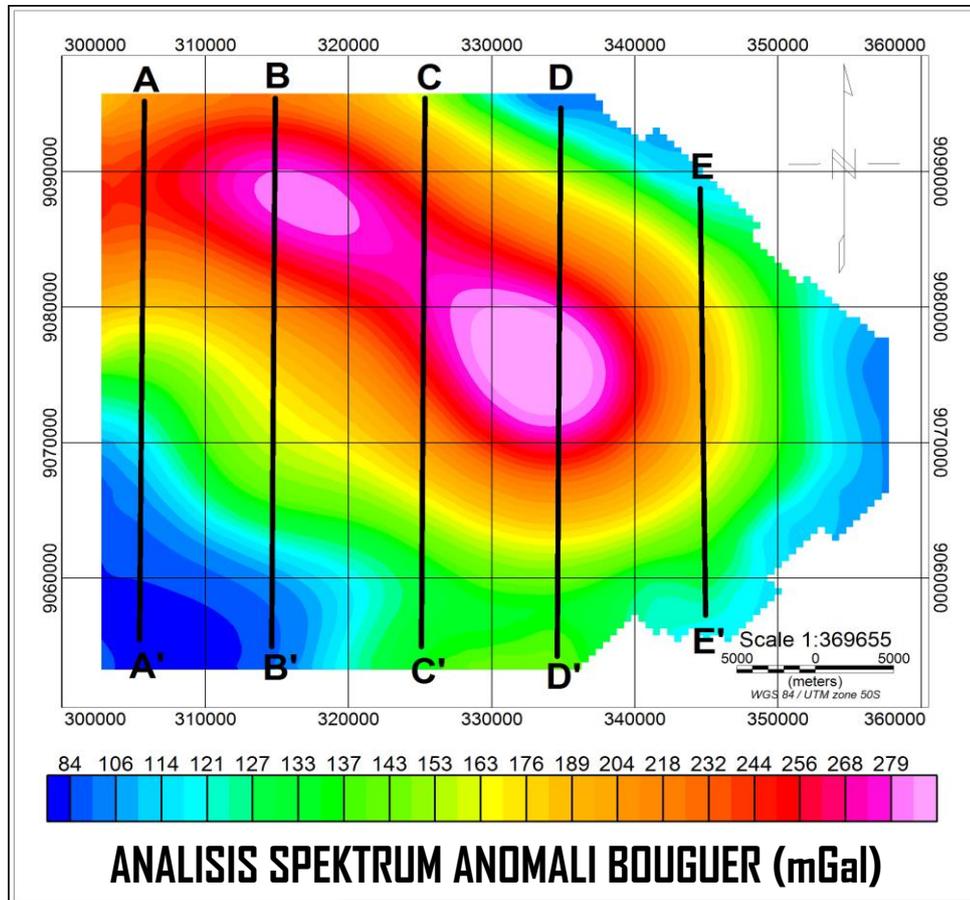
ialah anomali rendah yang memiliki warna biru tua sampai biru muda dengan rentang densitas 84 sampai 127 mGal. Daerah dengan anomali rendah tersebar pada bagian barat daya, timur laut dan arah timur daerah penelitian. Anomali sedang berwarna hijau sampai orange dengan rentang densitas 133 sampai 204 mGal. Daerah dengan anomali sedang tersebar mengelilingi daerah Gunungapi Agung. Anomali tinggi yang memiliki warna merah sampai merah muda dengan rentang anomali 218 sampai 279 mGal. Daerah yang memiliki anomali tinggi tersebar mengelilingi Gunungapi Agung sampai daerah yang termasuk tubuh Gunungapi Agung.

5.3. Pemisahan Anomali Regional dan Residual

5.3.1. Analisis Spektrum

Dari peta anomali Bouguer yang sebelumnya telah dibuat, selanjutnya dilakukan pengolahan data berupa analisis spektrum, dengan cara melakukan terlebih dahulu transformasi Fourier terhadap lintasan yang sebelumnya telah dibuat pada peta anomali Bouguer, dimana telah dibuat 5 lintasan yang membentang dari Utara ke Selatan (**Gambar 12**). Pemilihan ke-lima lintasan tersebut ialah dikarenakan lintasan-lintasan tersebut melintasi pola kontur anomali Bouguer yang memiliki nilai tinggi dan rendah. Pada lintasan-lintasan tersebut dilakukan pengambilan data jarak dan anomali dengan cara digitasi. Data hasil digitasi tersebut selanjutnya dilakukan proses perhitungan dengan menggunakan *software* Microsoft Excel. Dalam analisis spektrum gelombang dengan frekuensi tinggi berasal dari sumber dangkal dan gelombang dengan frekuensi rendah berasal dari sumber dalam. Dari hasil proses digitasi ke-lima lintasan, dilakukan tahap analisis spektrum untuk mendapatkan kedalaman bidang diskontinuitas,

dalam hal ini adalah nilai gradien (kemiringan) dari \ln amplitudo terhadap frekuensi (k).

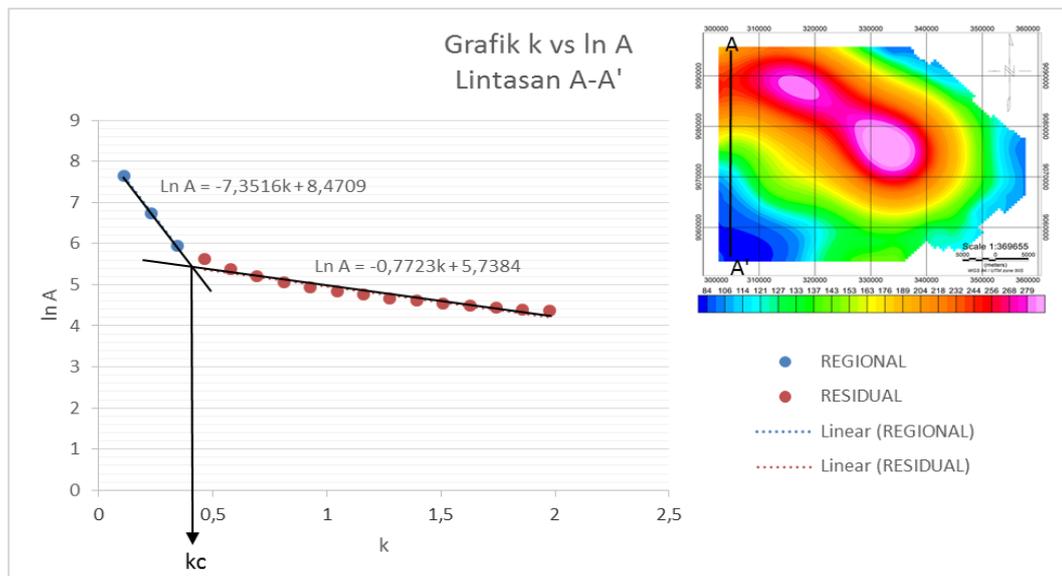


Gambar 12. Lintasan Analisis Spektrum Pada Peta Anomali Bouguer

a. Lintasan A-A'

Gambar selanjutnya menampilkan grafik hubungan antara Amplitudo terhadap bilangan gelombang pada lintasan A-A'. Terdapat dua *gradient* garis pada grafik tersebut, dimana grafik yang memiliki frekuensi rendah menggambarkan kedalaman yang lebih dalam (regional), sedangkan grafik dengan frekuensi tinggi mencerminkan kedalaman yang lebih dangkal (residual). Analisis spektrum pada lintasan A-A' diperoleh kedalaman anomali pertama adalah 7,35 km yang diinterpretasikan sebagai kedalaman regional dan kedalaman anomali kedua

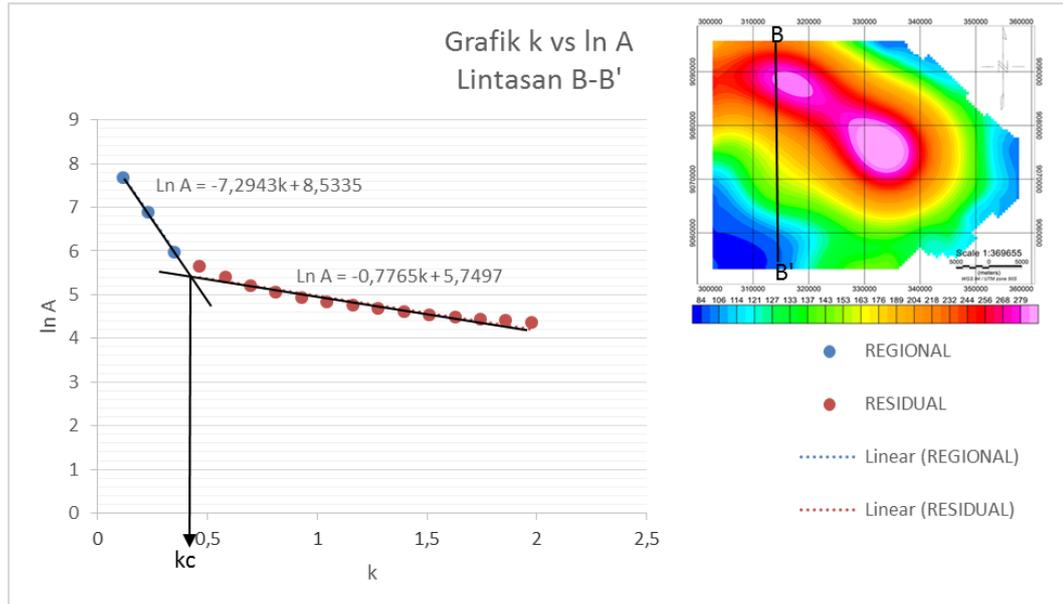
adalah 0,77 km yang diinterpretasikan sebagai kedalaman anomali residual. Perpotongan antara garis pertama dan kedua adalah bilangan gelombang k_c (*cut off*) yang memiliki nilai 0,34. Nilai bilangan gelombang k_c (*cut off*) ini akan digunakan dalam penentuan lebar jendela pada *Filtering Moving Average*.



Gambar 13. Grafik Analisis Spektrum Lintasan A-A'

b. Lintasan B-B'

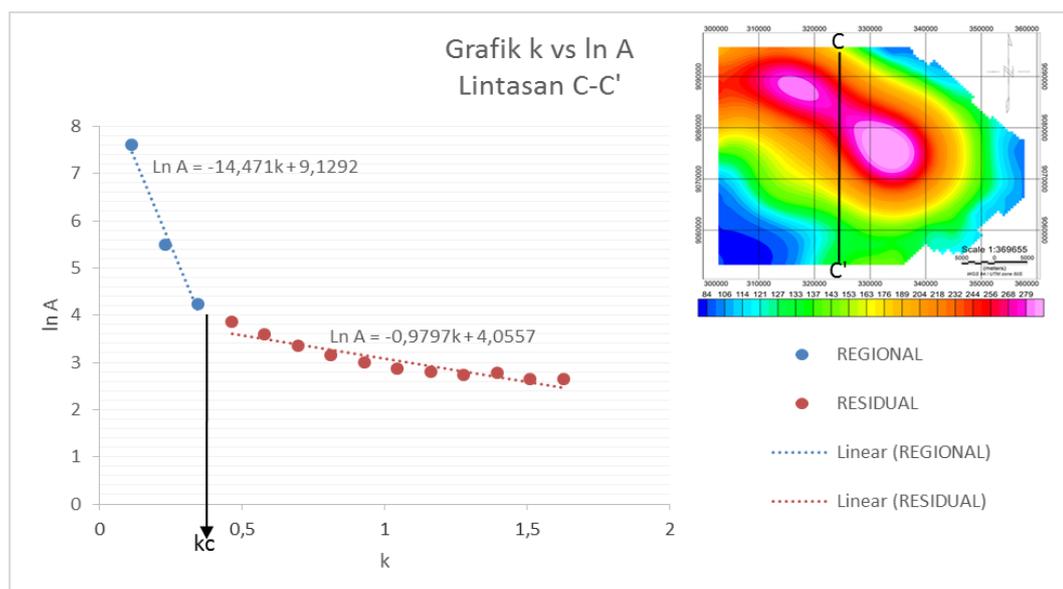
Gambar selanjutnya menampilkan grafik hubungan antara Amplitudo terhadap bilangan gelombang pada lintasan B-B'. Terdapat dua *gradient* garis pada grafik tersebut, dimana grafik yang memiliki frekuensi rendah menggambarkan batas regional, sedangkan grafik dengan frekuensi tinggi menggambarkan batas residual. Analisis spektrum pada lintasan B-B' diperoleh nilai anomali dalam yang merupakan batas regional sebesar 7,29 km dan batas nilai anomali dangkal atau residual sebesar 0,77 km. Perpotongan antara garis pertama dan kedua adalah bilangan gelombang k_c (*cut off*) yang memiliki nilai 0,34. Nilai bilangan gelombang k_c (*cutoff*) ini akan digunakan dalam penentuan lebar jendela pada *Filtering Moving Average*.



Gambar 14. Grafik Analisis Spektrum Lintasan B – B'

c. Lintasan C-C'

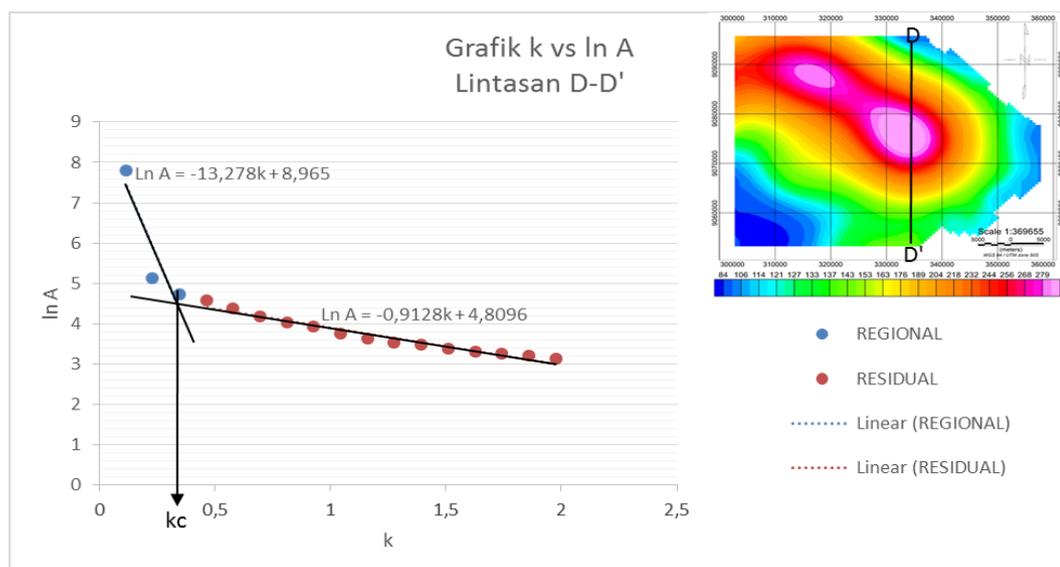
Gambar selanjutnya menampilkan grafik hubungan antara Amplitudo terhadap bilangan gelombang pada lintasan C-C'. Analisis spektrum pada lintasan C-C' diperoleh batas anomali regional sebesar 14,47 km. Selanjutnya didapatkan juga batas anomali residual sebesar 0,98 km. Perpotongan antara garis pertama dan kedua adalah bilangan gelombang kc (*cut off*) yang memiliki nilai 0,34.



Gambar 15. Grafik Analisis Spektrum Lintasan C – C'

d. Lintasan D – D'

Gambar selanjutnya menampilkan grafik hubungan antara Amplitudo terhadap bilangan gelombang pada lintasan D-D'. Terdapat dua *gradient* garis pada grafik tersebut, dimana grafik yang memiliki frekuensi rendah menggambarkan batas regional, sedangkan grafik dengan frekuensi tinggi menggambarkan batas residual. Analisis spektrum pada lintasan D-D' diperoleh batas anomali regional sebesar 13,28 km dan batas anomali residual sebesar 0,91 km. Perpotongan antara garis pertama dan kedua adalah bilangan gelombang k_c (*cut off*) yang memiliki nilai 0,32. Nilai bilangan gelombang k_c (*cut off*) ini akan digunakan dalam penentuan lebar jendela pada *Filtering Moving Average*.

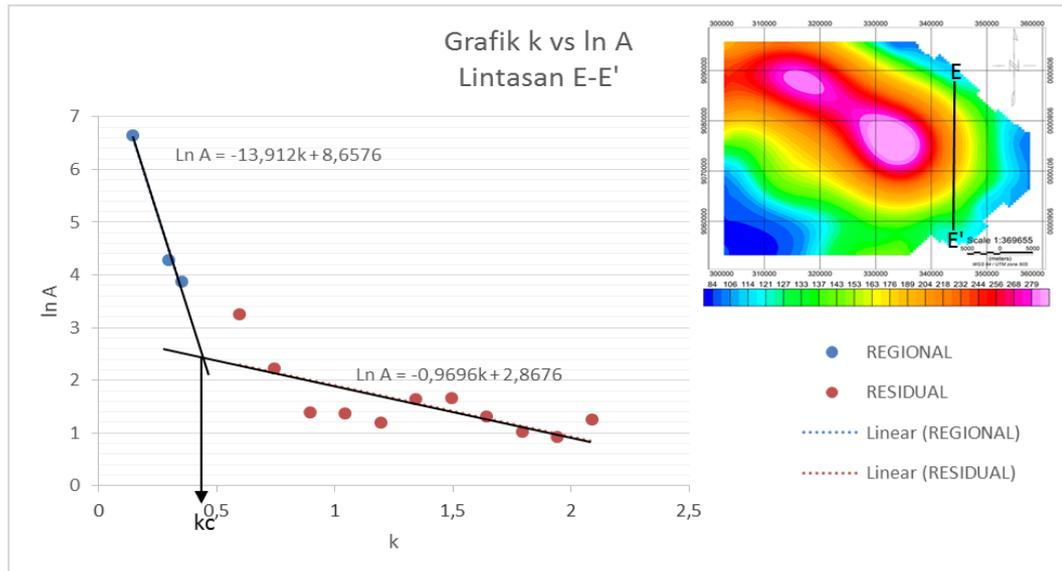


Gambar 16. Grafik Analisis Spektrum Lintasan D-D'

e. Lintasan E – E'

Gambar dibawah menampilkan grafik hubungan antara Amplitudo terhadap bilangan gelombang pada lintasan E-E'. Terdapat dua *gradient* garis pada grafik tersebut, dimana grafik yang memiliki frekuensi rendah menggambarkan batas regional, sedangkan grafik dengan frekuensi tinggi menggambarkan batas

residual. Analisis spektrum pada lintasan E-E' diperoleh batas kedalaman regional sebesar 13,91 km dan batas kedalaman residual sebesar 0,97 km. Perpotongan antara garis pertama dan kedua adalah bilangan gelombang kc (*cut off*) yang memiliki nilai 0,38. Nilai bilangan gelombang kc (*cutoff*) ini akan digunakan dalam penentuan lebar jendela pada *Filtering Moving Average*.



Gambar 17. Grafik Analisis Spektrum lintasan E – E'

Nilai kedalaman bidang diskontinuitas yang menunjukkan anomali regional dan residual ke-lima lintasan tersebut ditunjukkan pada tabel dibawah ini:

Tabel 4. Kedalam Anomali Lintasan 1-5

| No | Lintasan | Kedalaman Anomali Dalam (km) | Kedalaman Anomali Dangkal (km) |
|----|------------------|------------------------------|--------------------------------|
| 1 | Lintasan 1 | 7,35 | 0,77 |
| 2 | Lintasan 2 | 7,29 | 0,78 |
| 3 | Lintasan 3 | 14,47 | 0,98 |
| 4 | Lintasan 4 | 13,27 | 0,92 |
| 5 | Lintasan 5 | 13,91 | 0,97 |
| | Rata-rata | 11,26 | 0,89 |

Dari hasil analisis spektrum diketahui nilai rata-rata bilangan gelombang *cutoff* adalah sebesar 0,34 dan hasil perhitungan lebar *window* (jendela) ialah 18,31.

Tabel 5. Bilangan gelombang dan Lebar Jendela

| No | Lintasan | Bilangan Gelombang (kc) | Lebar Jendela (N) |
|----|------------------|-------------------------|-------------------|
| 1 | Lintasan 1 | 0,34 | 18,47 |
| 2 | Lintasan 2 | 0,34 | 18,47 |
| 3 | Lintasan 3 | 0,34 | 18,47 |
| 4 | Lintasan 4 | 0,32 | 19,63 |
| 5 | Lintasan 5 | 0,38 | 16,53 |
| | Rata-rata | 0,34 | 18,31 |

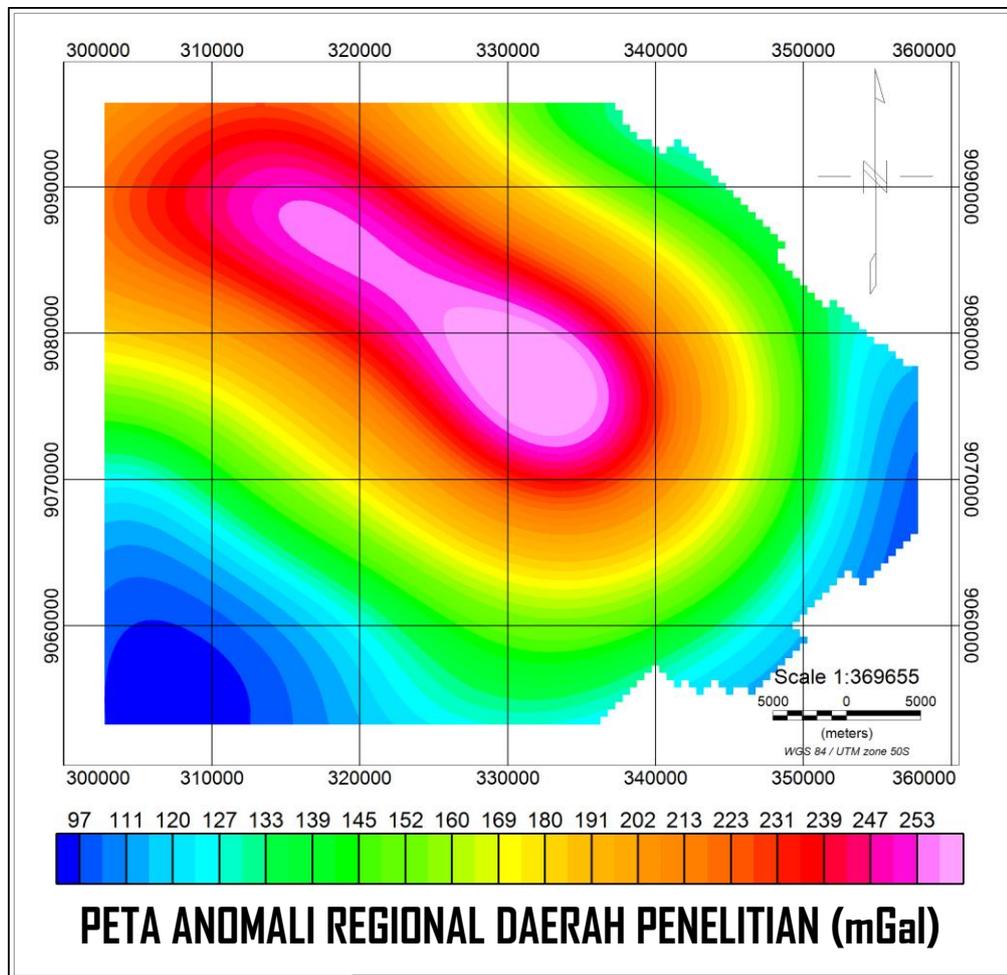
5.3.2. Filtering Moving Average

Proses *filtering* ialah proses untuk memisahkan anomali regional dan residual. Hal ini dikarenakan data hasil pengukuran gayaberat dilapangan sebenarnya merupakan superposisi dari kedua anomali regional dan residual. *Filter Moving Average* ini pada dasarnya ialah suatu proses *filtering* anomali dengan sinyal frekuensi tinggi (*low pass*) dan frekuensi rendah (*high pass*). Proses *Filtering* pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan *software* Geosoft. dimana lebar jendela optimal yang digunakan adalah 19x19.

5.3.3. Anomali Regional

Pada peta anomali regional hasil *filtering* dapat dilihat nilai anomali berkisar antara 97 mGal sampai 253 mGal. Anomali rendah ditunjukkan oleh warna biru tua sampai biru muda dengan rentang nilai 97 mGal sampai 133 mGal yang tersebar pada bagian barat daya dan anomali tinggi yang ditunjukkan oleh warna jingga, merah dan merah muda memiliki rentang nilai antara 213 mGal sampai dengan 254 mGal yang tersebar pada bagian tengah daerah peneltian. Anomali tinggi yang terdapat di bagian tengah daerah penelitian diduga merupakan efek

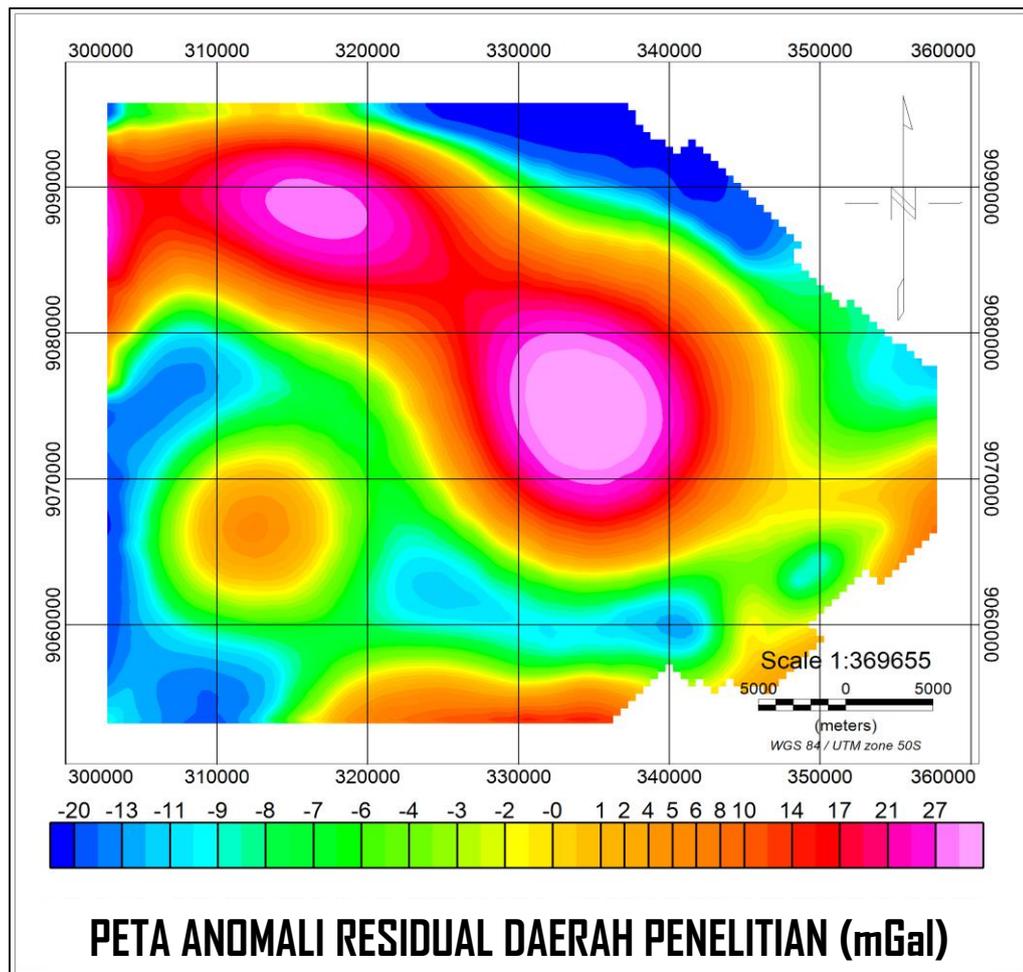
dari keberadaan Gunungapi yang mengindikasikan kedalaman batuan dasar yang mendangkal.



Gambar 18. Peta Anomali Regional Daerah Penelitian

5.3.4. Anomali Residual

Berdasarkan hasil *filtering* didapatkan anomali residual yang mempunyai rentang anomali antara -20 mGal sampai 27 mGal. Anomali rendah ditunjukkan oleh warna biru tua sampai biru muda dengan rentang nilai -20 mGal sampai -8 mGal, anomali sedang ditunjukkan oleh warna hijau sampai kuning yang memiliki rentang nilai -7 mGal sampai dengan 2 mGal, sedangkan anomali tinggi yang ditunjukkan oleh warna jingga, merah dan merah muda memiliki rentang nilai antara 4 mGal sampai dengan 27 mGal.



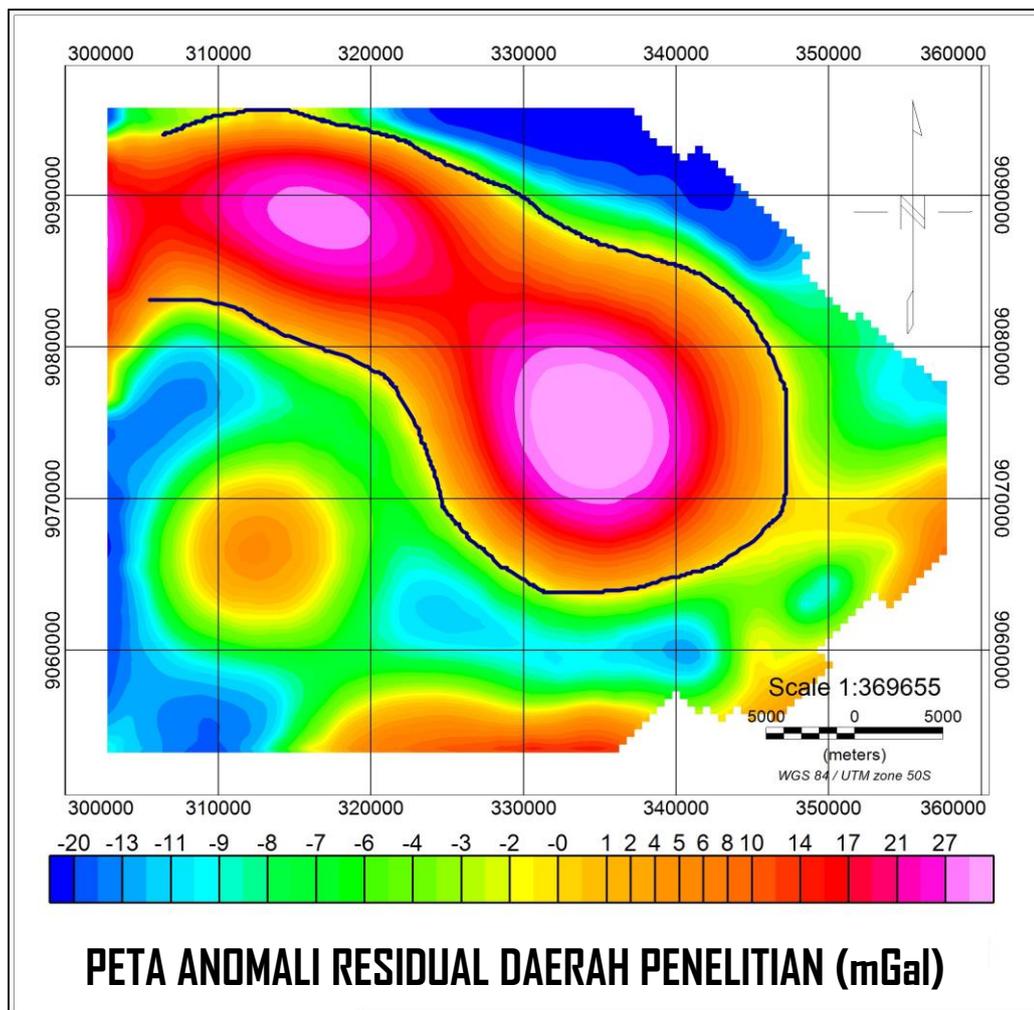
Gambar 19. Peta Anomali Residual Daerah Penelitian

Pola anomali residual menunjukkan bahwa pola anomali lebih kompleks daripada anomali regional karena menggambarkan pola anomali dengan panjang gelombang lebih pendek yang mencerminkan efek benda anomali lebih dangkal. Anomali rendah pada peta anomali residual (warna biru) memperlihatkan adanya batuan dengan kontras rapat massa yang lebih rendah (batuan sedimen). Anomali tinggi (warna ungu) menyebar di sekitaran Gunungapi Agung yang mencerminkan adanya batuan dengan rapat massa yang lebih tinggi, hal ini kemungkinan dikarenakan adanya efek batuan Gunungapi yang telah mengendap pada bagian permukaan hingga beberapa meter dibawah permukaan, anomali ini memanjang dengan arah tenggara-Baratlaut.

5.4. Interpretasi Kualitatif

Interpretasi kualitatif bertujuan untuk mengetahui pola atau kecenderungan struktur secara lateral dari anomali residual. Hasil dari interpretasi ini diharapkan akan dapat mengetahui pola struktur patahan, pola tinggian dan pola subcekungan pada daerah penelitian. Pada penelitian kali ini dilakukan interpretasi kualitatif dengan 2 langkah, yaitu menginterpretasi pola tinggian dan analisis *derivative*.

5.4.1. Pola Tinggian



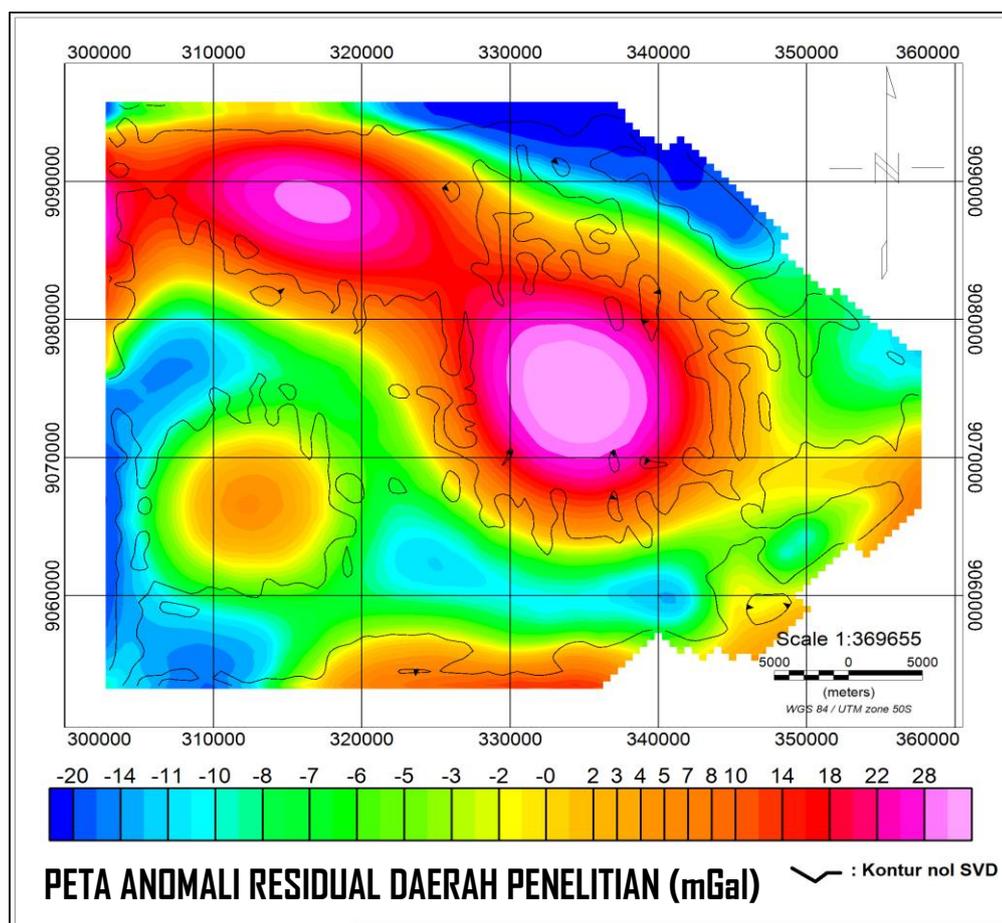
Gambar 20. Pola Tinggian pada Peta Anomali Residual

Berdasarkan data geologi, Struktur geologi Kompleks Gunungapi Agung - Abang - Batur – Budakeling menunjukkan suatu kelurusan berarah Baratlaut - tenggara. Pada bagian selatan - tenggara Gunungapi Agung memperlihatkan alihan pematang punggungan yang diduga akan terbentuk rekahan geser menganan. Pola-pola tinggian yang dapat ditarik dari anomali residual gaya berat dapat dilihat pada (**Gambar 20**). terlihat bahwa pola tinggian memanjang dari arah Tenggara-Baratlaut. Pola tinggian yang terdapat pada daerah penelitian ini diakibatkan oleh aktivitas vulkanik dari gunungapi, baik itu Gunungapi Agung maupun Gunungapi Batur yang berupa naiknya lapisan basement. Anomali tinggi ini juga disebabkan oleh keberadaan batuan gunungapi yang telah terendapkan diatas permukaan Gunungapi Agung sebagai hasil dari lava yang telah membeku. Tektonik paling tua di daerah ini diduga terjadi pada akhir oligosen, yang diikuti oleh kegiatan gunungapi. Hasilnya berupa batuan gunungapi bersusunan andesit-basal. Kegiatan ini berlangsung sampai miosen awal. Pada akhir miosen terdapat formasi-formasi yang mengandung rempah gunungapi. Pada akhir pliosen awal – awal pliosen akhir terjadi kegiatan gunungapi yang menghasilkan satuan batuan gunungapi dan diikuti oleh pengendapan batuan karbonatan pada akhir pliosen akhir. Pada akhir pliosen sampai awal plistosen kegiatan gunungapi menghasilkan breksi gunungapi, lava, tuf dan setempat batuan sedimen klastika halus-kasar juga karbonat. Kegiatan gunungapi tersebut terus berlangsung sampai sekarang.

5.4.2. Analisis *Second Vertical Derivative*

Analisis Second Vertical Derivative merupakan metode untuk memunculkan sifat-sifat anomali yang bersifat dangkal yang ditunjukkan untuk mengetahui diskontinuitas dari suatu struktur bawah permukaan. Pada kontur SVD dibuat

berdasarkan prinsip dasar dan teknik perhitungan Elkins (1951). Untuk melakukan proses SVD ini penulis dibantu dengan *software Oasis*, dengan memasukkan grid anomali residual dan nilai *filter* SVD dari perhitungan operator Elkins. Pada penelitian ini penulis melakukan analisis *derivative* pada peta anomali residual.

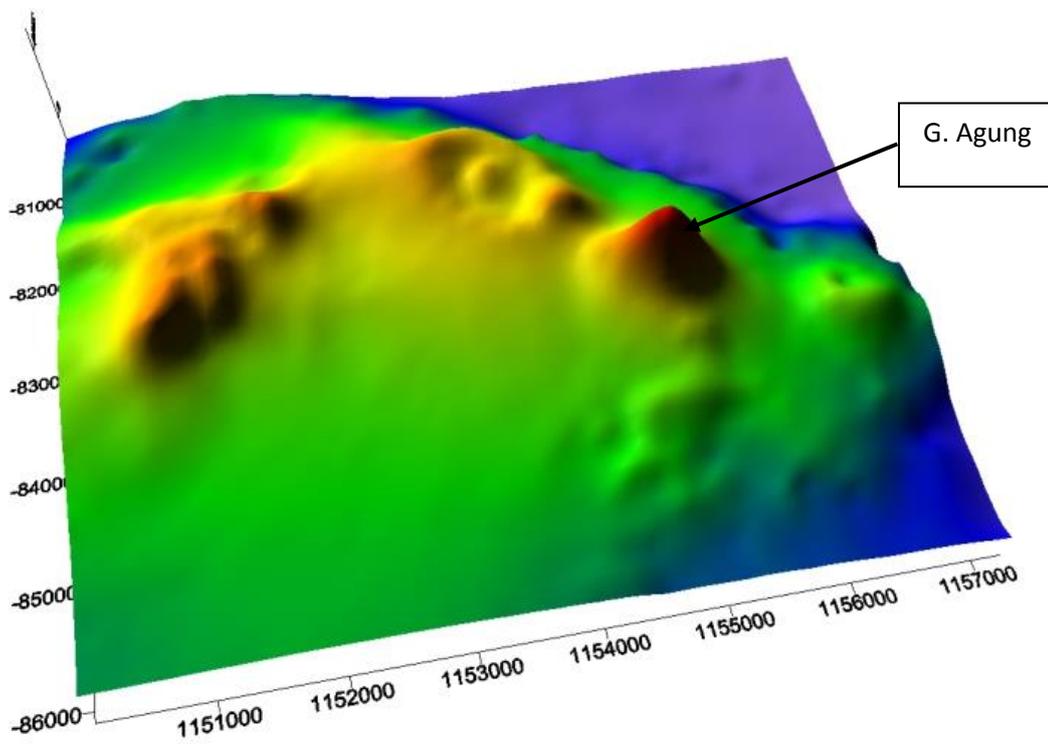


Gambar 21. Kontur nol SVD Pada Peta Anomali Residual

5.5. Interpretasi Kuantitatif

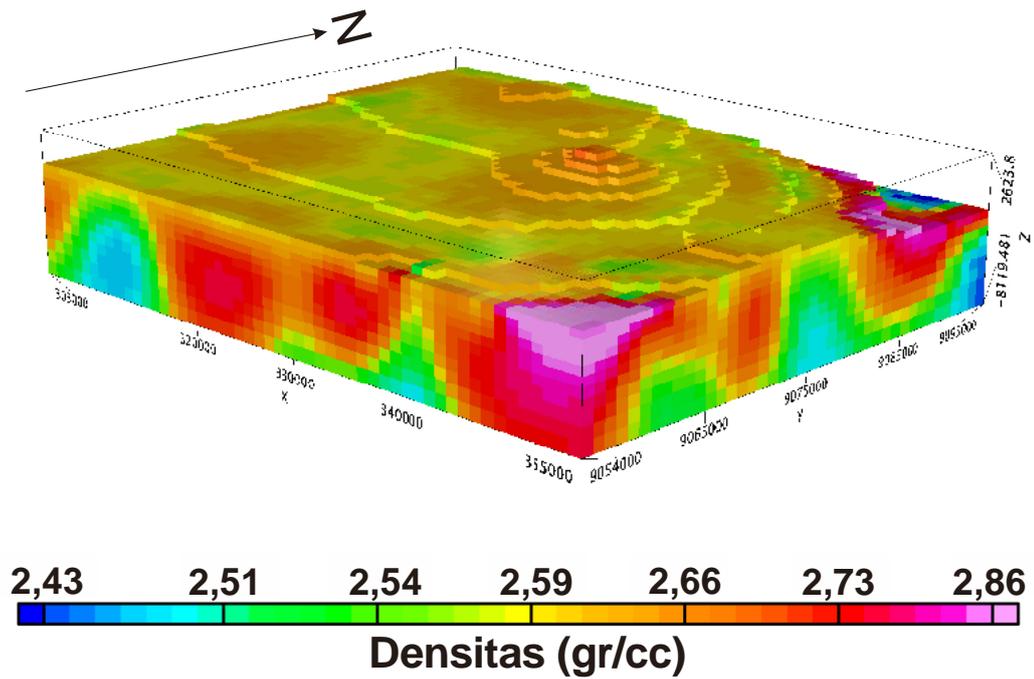
Pada interpretasi kuantitatif dilakukan pemodelan inversi tiga dimensi untuk mendapatkan model tiga dimensi daerah penelitian agar terlihat seperti model sebenarnya. Pada tahap ini dilakukan pemodelan 3D menggunakan *software* Surfer untuk melihat penampang topografi 3D dari daerah penelitian. Daerah penelitian ini memiliki topografi dengan ketinggian antara 0 sampai

dengan 3000 km. Dibawah ini adalah penampang tiga dimensi dari peta topografi daerah penelitian.



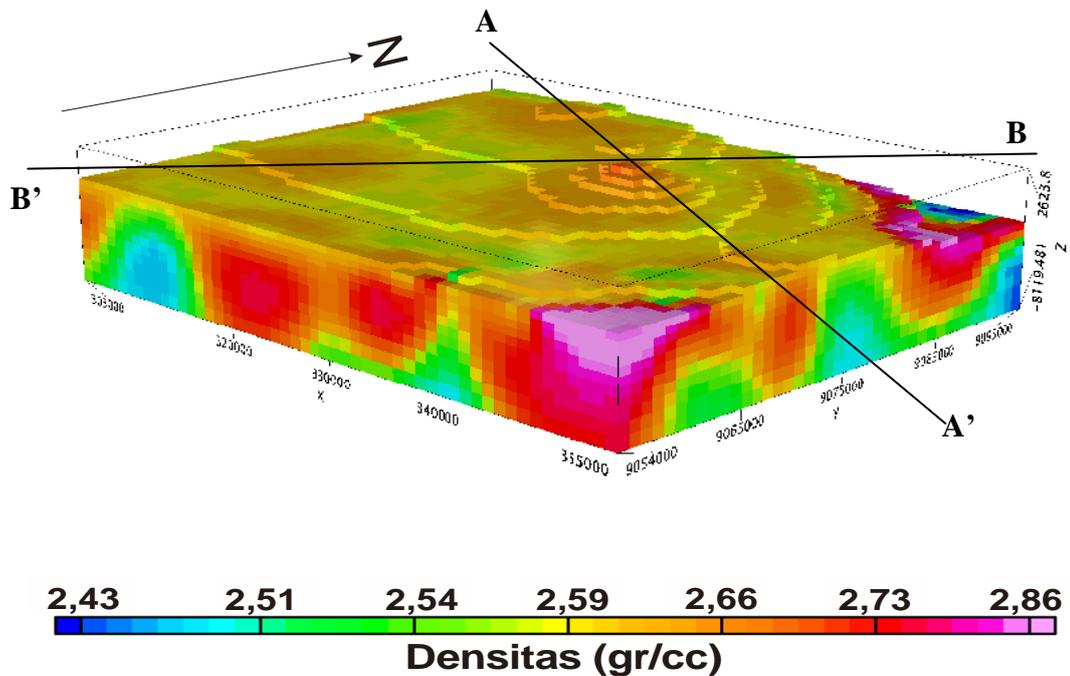
Gambar 22. Topografi Daerah Penelitian

Selanjutnya dilakukan tahap inversi 3D atau *Inverse Modelling*. *Inverse Modelling* ini biasa disebut dengan *fitting data*. *Fitting data* ini disebut juga sebagai pencocokan data, hal ini dikarenakan pada proses didalamnya dicari parameter model yang menghasilkan respon yang cocok dengan data pengamatan. Untuk melakukan proses ini dilakukan pemodelan 3D, dengan dibantu *software* Geosoft Oasis Montaj. Pemodelan inversi 3D dilakukan dengan *input* parameter data anomali residual, sehingga didapatkan *output* berupa model 3D daerah penelitian yang mendekati keadaan sebenarnya. Pada **Gambar 23** menunjukkan sebaran densitas daerah penelitian dengan kedalaman 8 km dengan rentang densitas sebesar 2,43 hingga 2,86 gr/cc.



Gambar 23 . Model Inversi 3D

Untuk pemodelan 3D ini dibuat 2 lintasan yaitu lintasan 1 (A-A') yang berarah Baratlaut – Tenggara dan lintasan 2 (B-B') yang berarah Baratdaya – Timurlaut. Kedua lintasan ini melewati Gunungapi Agung.

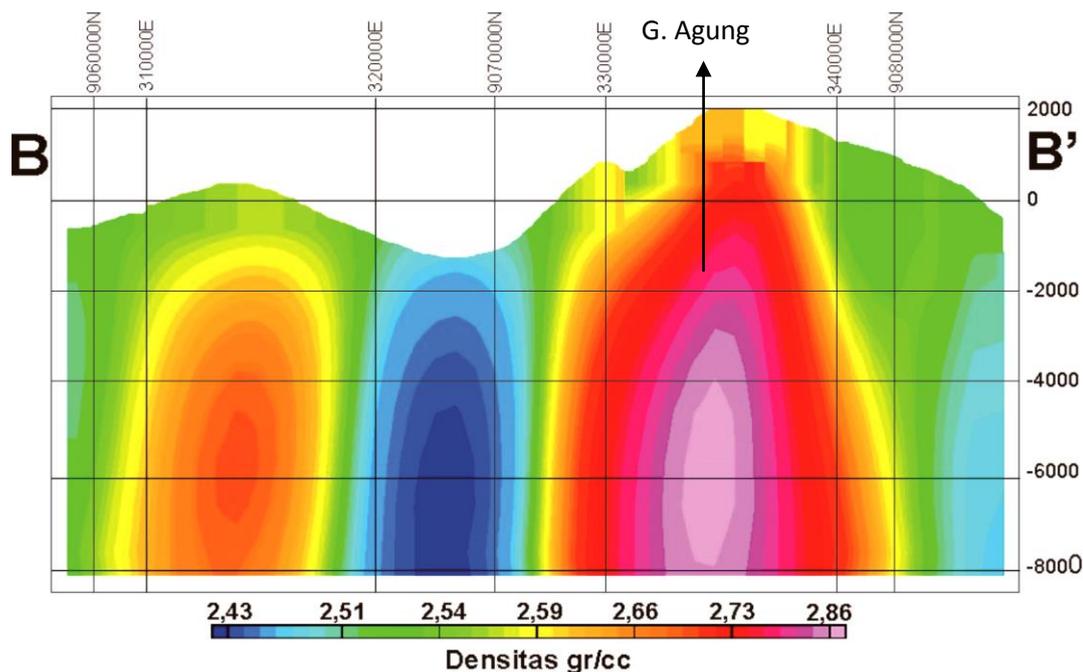


Gambar 24. Lintasan pada Model Inversi 3D

Lintasan A-A' memanjang dengan arah relatif Baratlaut-Tenggara yang memotong kontur tinggian Gunungapi Agung dan Gunungapi Batur. Penentuan batas basement menggunakan data analisis spektrum dengan batas bidang anomali residual sekitar 0,89 km. Lintasan A-A' ini memiliki panjang lintasan kurang lebih sebesar 47 km. Jika dilihat pada gambar, daerah dengan densitas rendah memiliki klasifikasi warna biru tua hingga biru muda dengan nilai densitas sebesar 2,43 – 2,51 gr/cc. Sedangkan, daerah dengan densitas tinggi memiliki klasifikasi warna merah hingga merah muda dengan nilai densitas sebesar 2,73 – 2,86 gr/cc. Daerah yang memiliki densitas tinggi diduga merupakan kantong magma dari gunungapi yang berada dilokasi penelitian. Jika dilihat pada penampang lintasan A – A' kantong magma Gunungapi Agung terletak pada kedalaman 500 meter hingga 8000 meter, sedangkan kantong magma Gunungapi Batur terletak pada kedalaman 3000 meter hingga 8000 meter. Keduanya memiliki bentuk menjulang keatas dan cembung dibagian tengahnya.

b. Lintasan B-B'

Penampang Lintasan B-B' memanjang dengan arah relatif Baratdaya-Timurlaut yang memotong kontur tinggian Gunungapi Agung. Penentuan batas basement menggunakan data analisis spektrum yang memperlihatkan kedalaman rata-rata bidang anomali residual sekitar 0,89 km. Lintasan B – B' memiliki panjang lintasan kurang lebih sebesar 45 km. Jika dilihat pada gambar daerah dengan densitas rendah memiliki klasifikasi warna biru tua hingga biru muda dengan nilai densitas sebesar 2,43 – 2,51 gr/cc. Sedangkan, daerah dengan densitas tinggi memiliki klasifikasi warna merah hingga merah muda dengan nilai densitas sebesar 2,73 – 2,86 gr/cc.



Gambar 27. Penampang Lintasan B – B

Daerah yang memiliki densitas tinggi diduga merupakan kantong magma dari gunungapi yang berada dilokasi penelitian dimana lintasan B – B' melintasi Gunungapi Agung. Jika dilihat pada penampang lintasan B – B' kantong magma Gunungapi Agung terletak pada kedalaman 500 meter hingga 8000 meter dengan bentuk menjulang keatas dan cembung dibagian tengahnya.

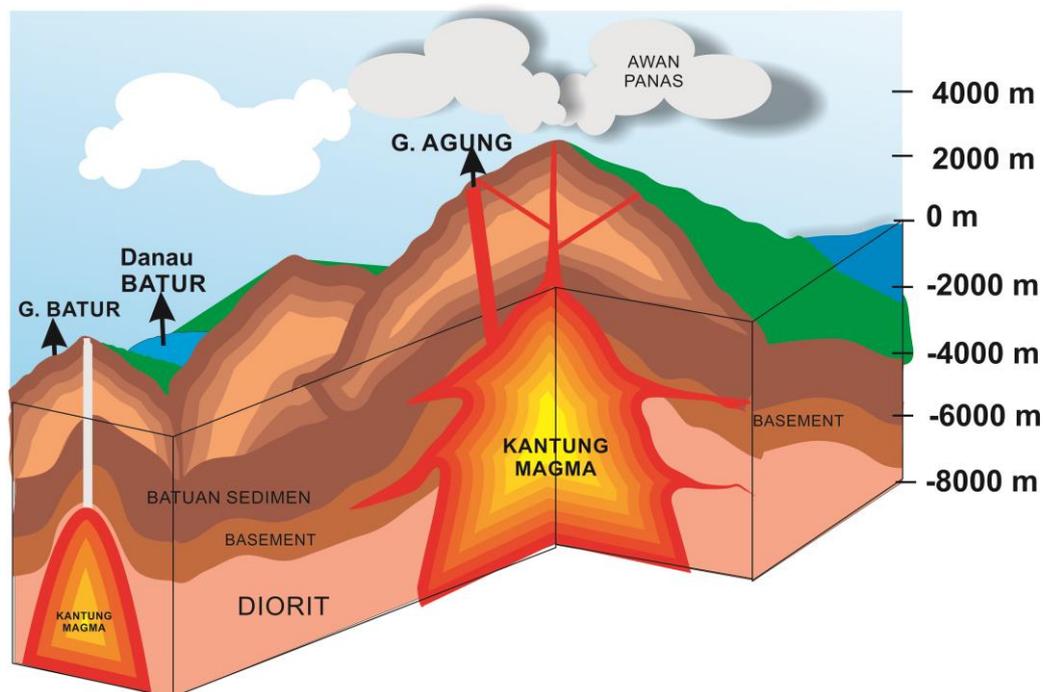
Berdasarkan dari peta topografi yang telah dibuat juga dilihat dari sejarah meletusnya Gunungapi Agung potensi bahaya cenderung berarah ke utara baik potensi bencana dalam bentuk aliran lava, lontaran batu pijar dan banjir lahar dingin. Sedangkan jika dilihat dari pola daerah aliran sungai pergerakan dari letusan Gunungapi ini berarah utara dan selatan dengan kisaran radius 7 km. Dalam radius ini diharapkan masyarakat tidak berada di sekitar kawasan bahaya yang diprediksikan sampai Gunungapi Agung memiliki status aman dan tidak ada tanda – tanda akan terjadi letusan agar dampak dari bencana letusan dapat diminimalisir.

Adapun gunungapi yang berada satu jalur dengan Gunungapi Agung bisa dilihat pada Tabel 6 dengan kedalaman magma sebagai berikut.

Tabel 6. Kedalaman magma gunungapi

| No. | Nama | Kedalaman Magma | Batuan Penyusun |
|-----|------------------|-----------------|-----------------|
| 1 | G. Merapi | 500 m | Andesit Basalt |
| 2 | G. Merbabu | 1000 m | Andesit Basalt |
| 3 | G. Kelud | 900 m | Andesit Basalt |
| 4 | G. Agung | 500 m | Andesit Basalt |
| 4 | G. Inelika | 1000 m | Andesit Basalt |
| 5 | G. Illi Lewotolo | 1000 m | Andesit Basalt |

Berikut ini adalah model konseptual posisi magma Gunungapi Agung Bali.



Gambar 28. Model konseptual 3D posisi Magma Gunungapi Agung

VI. KESIMPULAN DAN SARAN

6.1. Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dalam penelitian ini adalah:

1. Peta Anomali Bouguer daerah penelitian memiliki rentang anomali sebesar 84 sampai 279 mGal. Dimana anomali sebesar 84 – 127 mGal diklasifikasikan sebagai anomali rendah dan anomali sebesar 218 – 279 mGal diklasifikasikan sebagai anomali tinggi.
2. Daerah penelitian memiliki nilai rata – rata batas anomali regional sebesar 11,26 km dan batas anomali residual sebesar 0,89 km. Hal ini menunjukkan bahwa bidang batas antara batuan dasar dan batuan sedimen terdapat pada kedalaman $\pm 0,89$ km.
3. Pada penampang Gunungapi Agung dan Gunungapi Batur terdapat daerah dengan densitas tinggi sebesar 2,73 – 2,86 gr/cc yang diduga merupakan kantong magma dari kedua gunung tersebut.
4. Kantong magma Gunungapi Agung berada pada kedalaman 500 meter hingga 8000 meter dengan bentuk menjulang keatas dan cembung dibagian tengahnya.
5. Aliran magma di dalam Gunungapi Agung masih terlihat pada kedalaman 0 meter sedangkan pada Gunungapi Batur tidak terlihat aliran magma hanya terlihat letak kantong magmanya saja.

6.2. Saran

Adapun saran yang diberikan oleh penulis ialah

1. Diperlukan data pendukung seperti data mikrotremor untuk memonitoring perubahan kantong magma di lokasi penelitian pada tahun – tahun berikutnya.
2. Penelitian magnetik juga perlu dilakukan untuk memodelkan volume kantong magma.

DAFTAR PUSTAKA

- Blaklley, R.J., 1996, *Potential Theory in Gravity and Magnetic Applications*, Cambridge: Cambridge University Press.
- BNPB, 2017, *Kawasan Rawan Bencana Gunung Agung*, *Geospasial.bnpb.go.id/2017/09/27/peta-lokasi-pengungsi-gunung-agung/*, Diakses pada 10 Agustus 2018.
- Diyanti, A., 2014, Interpretasi Struktur Geologi Bawah Permukaan Daerah Leuwidamar Berdasarkan Analisis Spektral Data Gaya Berat, Bandung: Prodi Fisika FPMIPA, Universitas Pendidikan Indonesia (Skripsi).
- Fitriana, I., 2011, Penentuan Struktur Bawah Permukaan Berdasarkan Analisa dan Pemodelan Data Gayaberat, Depok: Geophysics Program Study Departement of Physic, University of Indonesia (Skripsi).
- Hadiwidjojo, P., 1998, *Peta Geologi Lembar Bali Nusa Tenggara*, Bandung: Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.
- Jumransyah, 2010, Pendugaan Struktur Bawah Permukaan Gunungapi Kelud Berdasarkan Survei Gayaberat, Malang: *Jurnal Geofisika. Vol.1*, Universitas Brawijaya.
- Kearey, P., Brooks, M., dan Hill, I., 2002, *An Introduction to Geophysical Exploration*, London: Blackwell Science.
- McCaffrey, R., 2009, *The tectonic framework of the Sumatran sub-duction zone*, Annual Review of Earth and Planetary Sciences 37,345-346.
- Octonovrilna, L., 2009, Analisa Perbandingan Anomaly Gravitasi dengan persebaran intrusi air asin (Studi kasus Jakarta 2006-2007), Jakarta: *Jurnal Meteorologi dan Geofisika. Vol.10 No.1:AMG*.
- Pemerintah Kabupaten Karangasem, 2017, *Profil Kabupaten Karangasem*, *v2.karangasemkab.go.id/index-php/profil/23/peta-kab-karangasem*, Diakses pada 7 Agustus 2018.
- PVMBG, 2014, *Laporan Pengamatan Gunung Agung Bali*, Direktorat Vulkanologi.

- Rosid, S., 2005, *Gravity Method in Exploration Geophysics*, Depok: Universitas Indonesia.
- Sari, I.P., 2012, Study Komparasi Metode Filtering Untuk Pemisahan Regional dan Residual Dari Data Anomali Bouger, Depok: Prodi Fisika FPMIPA, Universitas Indonesia (Skripsi).
- Sarkowi, M., 2014, *Eksplorasi Gaya Berat*, Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Sungkawa, D., 2008, *Geografi Regional Indonesia*, Bandung: Jurusan Pendidikan Geografi, Universitas Pendidikan Indonesia.
- Supriyadi, 2009, Studi Gaya Berat Relatif di Semarang, *Jurnal Pendidikan Fisika Indonesia*, Vol.5, No.1.
- Talwani, M., Worzel, J.L., dan Ladisman, M., 1959, Rapid Gravity Computation for Two Dimensional Bodies with Application to The Medicino Submarine Fractures Zone, *Journal of Geophysics Research*, Vol. 64 No.1.
- Telford, W.M., Goldrat, L.P., dan Sheriff, R.P., 1990, *Applied Geophysics 2nd ed*, Cambridge: Cambridge University Press.