PEMODELAN 3D DAN ANALISIS KETERSEDIAAN BATUAN GRANIT BERDASARKAN DATA ANOMALI GAYABERAT DI DAERAH TANJUNG ULIE HALMAHERA TENGAH

(Skripsi)

Oleh

Sari Elviani

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

2017

ABSTRAK

PEMODELAN 3D DAN ANALISIS KETERSEDIAAN BATUAN GRANIT BERDASARKAN DATA ANOMALI GAYABERAT DI DAERAH TANJUNG ULIE HALMAHERA TENGAH

Oleh

Sari Elviani

Telah dilakukan penelitian dengan metode Gayaberat pada daerah Tanjung Ulie Kabupaten Halmahera Tengah Provinsi Maluku Utara. Penelitian ini dilakukan untuk mengindentifikasi keberadaan batuan granit. Batuan granit tersebut akan digunakan untuk bahan kontruksi pembuatan jalan. Dalam penelitian ini data yang diperoleh berupa nilai elevasi dan nilai gayaberat observasi dari lapangan dengan luasan 250 m x 200 m dan spasi jaran 2.5 m. Dilakukan beberapa koreksi gayabeat di antaranya koreksi lintang, koreksi topografi, Koreksi Bouguer dan koreksi terrain untuk memperoleh nilai Anomali Bouguernya. Dari sebaran nilai Anomali yang dikonturkan menggunakan *software Surfer* maka diperoleh sebaran nilai anomali Bouguer berkisar antara 153,8 *mGall* – 155,9 $mGall$. Nilai Anomali tinggi berada pada daerah utara dan timur laut dengan kisaran nilai 155,1 mGall – 155,9 mGall yang diasumsikan sebagai zona target penelitian. Pemodelan inversi 3 Dimensi dengan menggunakan *software Grav3D*. Dan hasilnya menunjukan bahwa batuan yang memiliki nilai densitas tinggi berada pada daerah utara dan timur laut pada kedalaman 5 m hingga 75 m. Pada metode *Second Vertical Derivative* nilai nol pada nilai SVD diperkirakan sebagai patahan batuan yang menjadi batas antara batuan target dan batuan di sekitarnya.

Kata kunci : Metode Gayaberat, Anomali Bouguer, Pemodelan 3D, *Second Vertical Derivative*, Granit.

ABSTRACT

3D MODELLING AND ANALYSIS GRANITE ROCK RESERVES BASED ON DATA OF GRAVITY ANOMALY IN TANJUNG ULIE CENTRAL OF HALMAHERA

By

Sari Elviani

A research was did in Tanjung Ulie, Central Halmahera, North Maluku Province using Gravity method. The purpose of this research was to identificate the presence of granit rocks. The granit rocks itself will be used as material for road construction. In this research, the data which obtained were elevation and observation gravity values from 250 m x 200 m field area and distance space 2,5 m . Anomaly Bouguer was got from gravity corrections, in between the lattitude correction, topography correction, Bouguer correction and terrain correction to obtain the value of Bouguer Anomaly. From the distribution of Anomaly values which contoured using Surfer software then obtained the value of Bouguer Anomaly from 153,8 mGall to 155,9 mGall. The highest Anomaly value was located in the north and north east area with range of Bouguer Anomaly value from 155,1 mGall to 155,9 mGall which assumed as target zone of the research.The 3 dimension inversion modelling was created using Grav3D software and the result shows that the rocks which have high density values located in the north and north east area at depth 7 m untill 75 m . On Second Vertical Derivative method, the zero value on SVD value was estimated as rock fault which become the boundary between target rocks with rocks around it.

Keyword : Gravity Method, Bouguer Anomaly, 3D modelling, Second Vertical Derivative, Granite.

PEMODELAN 3D DAN ANALISIS KETERSEDIAAN BATUAN GRANIT BERDASARKAN DATA ANOMALI GAYABERAT DI DAERAH TANJUNG ULIE HALMAHERA TENGAH

Oleh

SARI ELVIANI

Skripsi

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar

SARJANA TEKNIK

Pada

Jurusan Teknik Geofisika

Fakultas Teknik Universitas Lampung

KEMENTRIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI
JURUSAN TEKNIK GEOFISIKA
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
2017

Judul Skripsi	:	**PERMODELAN 3D DAN ANALISIS KETERSEDIAAN BATUAN GRANIT BERDASARKAN DATA ANOMALI GAYABERAT DI DAERAH TANJUNG ULIE HALMAHERA TENGAH**
Nama Mahasiswa	:	Sari Elviani
Nomor Pokok Mahasiswa	:	1015051033
Jurusan	:	Teknik Geofisika
Fakultas	:	Teknik

MENYETUJUI,

1. Komisi Pembimbing

Pembimbing 1	**Pembimbing 2**
Dr. Muh Sarkowi, S.Si., M.Si.	**Dr. Ahmad Zaenudin, S.Si., M.T.**
NIP 19711210 199702 1 001	NIP 19720928 199903 1 001

2. Ketua Jurusan Teknik Geofisika

Dr. Ahmad Zaenudin, S.Si., M.T.
NIP 19720928 199903 1 001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua : **Dr. Muh Sarkowi, S.Si., M.Si.** .....

Sekretaris : **Dr. Ahmad Zaenudin, S.Si., M.T.** .....

Penguji
Bukan Pembimbing : **Rustadi, S.Si., M.Si.** .....

2. Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung

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

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 29 September 2017

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah dilakukan oleh orang lain dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang ditulis atau diterbiti oleh orang lain kecuali yang tertulis diacu dalam naskah ini sebagaimana disebutkan dalam daftar pustaka. Selain itu saya menyatakan bahwa skripsi ini dibuat oleh saya sendiri.

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

Bandar Lampung, Oktober 2017

Sari Elviani

RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Bukittinggi, Sumatera Barat pada tanggal 23 Januari 1992 yang merupakan anak ke dua dari pasangan Zulbahri dan Zunarti. Penulis mempunyai 1 saudara perempuan dan 3 saudara laki- laki. Penulis berdomisili di desa Durian Kec. Kamang Mudik Kab. Agam, Propinsi Sumatera Barat

Pada 1997 penulis mengawali pendidikan formal di TK Asiyah Ranting Durian Kamang Mudik, kemudian penulis melanjutkan pendidikan di Sekolah Dasar Negeri 15 Durian pada tahun 1998-2004. Pada tahun 2004- 2007 penulis melanjutkan pendidikan ke Sekolah Menengah Pertama Negeri 2 Kamang Magek dan kemudian melanjutkan pendidikan ke Sekolah Menengah Akhir Negeri 1 Tilatang Kamang pada tahun 2007-2010. Dan pada tahun 2010, penulis melanjutkan studi S1 di Universitas Lampung Fakultas Teknik Jurusan Teknik Geofisika melalui tes ujian tertulis (jalur SNMPTN).

Selama menjadi mahasiswa di Jurusan Teknik Geofisika Universitas Lampung, penulis mengikuti beberapa organisasi baik Internal maupun Eksternal. Beberapa organisasi yang pernah diikuti oleh penulis antara lain adalah menjadi anggota bidang KRT HIMA TG BHUWANA (Himpunan Mahasiswa Teknik

Geofisika) pada tahun 2010-2011, anggota bidang Saintek HIMA TG BHUWANA (Himpunan Mahasiswa Teknik Geofisika), Ketua bidang Publikasi American Association of Petroleum Geologist (AAPG) pada tahun 2013-2014, anggota *Society of Exploration Geophysicist* Unila pada tahun 2013 – 2014, Sekretaris bidang Seni dan Budaya Ikatan Mahasiswa Minang Lampung (IMAMI) pada tahun 2011-2013.

PERSEMBAHAN

Bismillahirrohmanirrohiim,
dengan mengucap syukur kehadirat Allah SWT,

Saya persembahkan karya ini kepada :

Apa dan Ama, Zulbahri dan Zunarti yang selalu mendoakan, menafkahi dan menyayangi dengan tulus hingga saya mampu menyelesaikan pendidikan S1

Abangku Harry Alvendri dan adik adikku Rivno H.R., Veby Novela dan Avinly Alvendri yang telah mendukung, mendoakan dan membantu selama ini

Keluarga besar yang selalu mendukung

Muhammad Amri Satria yang selalu berjuang bersama dalam menjalani semuanya

Teman-teman TBF, Arbenta dan Sholehah yang selalu ada baik dalam suka maupun duka

Serta almamater tercinta, Universitas Lampung.

MOTTO

"Don't tell how educated you are, tell me how much you travelled"
(Rasulullah SAW)

"It's hard to fail, but it is worse to never have tried to succeed"
(Anonymous)

"Life isn't about finding yourself, it's about creating yourself"
(George Bernard Shaw)

"Hidup Hanya Sekali, Maka Nikmati"
(Sari Elviani)

"Tetaplah Menjadi Muda Walau Dirimu Terus Menua"
(Sari Elviani)

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT atas segala limpahan rahmat, taufik serta hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul "***PEMODELAN 3D DAN ANALISIS KETERSEDIAAN BATUAN GRANIT BERDASARKAN DATA ANOMALI GAYABERAT DI DAERAH TANJUNG ULIE HALMAHERA TENGAH"*** sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar sarjana pada Jurusan Teknik Geofisika, Fakultas Teknik, Universitas Lampung.

Sholawat dan salam senantiasa tercurah untuk sang Teladan dan Pemimpin umat, junjungan umat, Nabi Muhammad SAW, yang telah membawa umat manusia dari zaman Jahiliyah kepada zaman yang berilmu pengetahuan seperti saat ini.

Penulis menyadari bahwa penyusunan skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu, kritik dan saran diharapkan untuk perbaikan di masa yang akan datang. Harapannya semoga skripsi ini dapat berguna dan bermanfaat bagi kita semua. Aamiin.

Bandar Lampung, Oktober 2017
Penulis,

Sari Elviani

SANWACANA

Puji syukur kehadirat Allah SWT yang Maha Pengasih dan Maha Penyayang karena atas rahmat dan hidayah-Nya skripsi yang berjudul "**PEMODELAN 3D DAN ANALISIS KETERSEDIAAN BATUAN GRANIT BERDASARKAN DATA ANOMALI GAYABERAT DI DAERAH TANJUNG ULIE HALMAHERA TENGAH**" dapat terselesaikan dengan baik sebagai syarat memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Geofisika Fakultas Teknik Universitas Lampung.

Penulis sadari pengerjaan skripsi ini dapat berjalan dan selesai dengan baik adalah berkat dukungan materil maupun moral dari berbagai pihak. Kebaikan dari banyak pihak tersebut penulis sadari tidak dapat dibalas satu persatu. Untuk itu pada kesempatan ini penulis mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Orang tua saya Zulbahri Kari Batuah dan Zunarti yang dengan penuh kasih sayang selalu mendidik anaknya dengan sabar walaupun dengan perjuangan dan kerja keras.
2. Bapak Dr. Ahmad Zaenudin S,Si, M.T., selaku Ketua Jurusan dan orang tua saya di kampus yang dengan sabar membimbing dan mengarahkan mahasiswanya dan selalu membantu dalam banyak hal.
3. Bapak Dr. Muh. Sarkowi S.Si., M.Si., Bapak Dr. Ahmad Zaenudin S,Si, M.T. dan Bapak Rustadi, S.Si., M.Si selaku dosen Pembimbing dan Penguji yang telah bersedia meluangkan waktunya memberikan bimbingan akademik yang berharga.

4. Seluruh dosen, karyawan, dan *staff* Teknik Geofisika Universitas Lampung atas semua ilmu pengetahuan dan bimbingan moral yang penulis peroleh selama perkuliahan.
5. Harry Alvendri, Rivno Hario Rezky, Veby Novela dan Avinly Alvendri selaku abang dan adik adik dari penulis yang selalu mendukung dan memberikan arahan bagi penulis.
6. Keluarga besar yang selalu mendukung penulis selama ini.
7. Muhammad Amri Satria selaku sahabat terbaik yang selalu menemani penulis serta berjuang bersama dalam menjalani perkuliahan sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.
8. Sahabat-sahabat *TBF* Putri Yosepha, Dina Wandira, Suci Sri Wahyuni dan Novi yang selalu memberi dukungan dan arahan baik di kala suka maupun duka dan telah memberikan banyak arti dalam hidup penulis sejak kecil.
9. Sahabat-sahabat *Arbenta* yang telah menemani penulis semenjak masa-masa kuliah hingga sekarang dan sampai akhir nanti bersama Resti Fratiwi Fitri, Monica Shendy, Ucha Clarinta, Hilyati Ajrina, Anita Nur Charisma, Desty Ariani, Lintang Brilianingtyas, dan Monica Lauretta Sembiring.
10. Sahabat-sahabat *Kosan Sholehah* yang menemani penulis dan berbagi pengalaman serta memberikan dukungan selama masa skripsi bersama Riana Maharani (Teteh), Rani Septi A.Y, Falensia K.J.P. Octaviany Widyawaty (Vivi), Vina dan Via.
11. Ryan Hidayat selaku teman bertanya yang selalu siap sedia membantu dan menjawab setiap pertanyaan dari penulis selama pengerjaan skripsi ini.
12. Teman-teman angkatan 2010 Teknik Geofisika Universitas Lampung yang menemani penulis dari awal masa perkuliahan hingga sekarang, kalian akan selalu menjadi bagian dari hidup penulis.
13. Kakak-kakak Teknik Geofisika Universitas Lampung angkatan 2004, 2007, 2008 dan 2009 yang meramaikan suasana kampus selama masa perkuliahan.
14. Adik-adik Teknik Geofisika Universitas Lampung yang menemani penulis selama masa perkuliahan.
15. Bapak Marsono (Babe)yang telah banyak membantu penulis selama kuliah

16. Bude Eli, Bude Ita dan Mas Edo yang memberikan ceramah dan cerita di Kantin Tekim.
17. Ading, Dasa, Ubay, Qubil yang telah memberi hiburan dan membantu penulis selama mengerjakan skripsi ini.
18. Teman – teman semasa Sekolah Menengah Akhir yang terus memberikan semangat dan arahan kepada penulis.
19. *Haters* yang memberikan warna berbeda dalam kehidupan penulis.
20. Dan kepada seluruh pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu yang telah membantu penulis dalam penyelesaian skripsi ini.

Bandar Lampung, Oktober 2017

Penulis

Sari Elviani

DAFTAR ISI

ABSTRAK ..... **i**

ABSTRACT ..... **ii**

COVER DALAM ..... **iii**

LEMBAR PERSETUJUAN ..... **iv**

LEMBAR PENGESAHAN ..... **v**

PERNYATAAN ..... **vi**

RIWAYAT HIDUP ..... **vii**

PERSEMBAHAN ..... **ix**

MOTO ..... **x**

KATA PENGANTAR ..... **xi**

SANWACANA ..... **xii**

DAFTAR ISI ..... **xv**

DAFTAR TABEL ..... **xix**

DAFTAR GAMBAR ..... **xx**

BAB I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang 1

1.2. Tujuan Penelitian 3
1.3. Batasan Masalah 3

BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Daerah Penelitian 4
2.2. Fisiografi 5
2.3. Kondisi Geologi 6
2.4. Stratigrafi 9
2.5. Tektonik 15
2.6. Evolusi Tektonik 16

BAB III. TEORI DASAR

3.1. Metode Gayaberat 22
3.2. Konsep dasar gayaberat 22
3.3. Koreksi- koreksi dalam Metode Gayaberat 26
3.4. Penentuan Densitas Permukaan 38
3.5. Pemodelan Bawah Permukaan 41
3.6. Analisis Spektrum 44
3.7. Pemisahan Anomali Regional Dan Residual 48
3.8. Metode *Moving Average* 49
3.9. *Second Vertical Derivative (SVD)* 50
3.10. Densitas batuan 51
3.11. Batuan Granit 53

BAB IV. METODE PENELITIAN

4.1. Lokasi Dan Waktu Pelaksanaan Penelitian 58
4.2. Alat Dan Bahan 58
4.3. Prosedur Penelitian 59

4.4. Diagram Alir 60

BAB V. HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1. Daerah Penelitian 62
5.2. Koreksi- koreksi Gayaberat 63
5.3. Analisa spektrum 67
5.4. Pemisahan Anomali Regional dan Residual 71
5.5. Pemodelan 3 Dimensi Gayaberat 73
5.6. Analisis dan Estimasi Ketersediaan Batuan Granit 74
5.7. Analisis Struktur Patahan dengan menggunakan SVD 80

BAB VI. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan 84
B. Saran 85

DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Nilai Densitas Batuan 52

Tabel 2. Jadwal Kegiatan 58

Tabel 3. Hasil perhitungan analisis spektrum masing-masing line 70

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian (Halmahera Tengah) 4

Gambar 2. Fisiografi Pulau Halmahera 5

Gambar 3. Peta Geologi Halmahera 8

Gambar 4. Stratigrafi Daerah Halmahera 14

Gambar 5. Penampang melintang yang melewati Laut Molucca 16

Gambar 6. Penampang melintang melewati Laut Molucca yang menunjukkan konvergensi Busur Halmahera dan Sangihe 17

Gambar 7. Rekonstruksi dari Lempeng Laut Molucca 18

Gambar 8. Penampang melintang melewati Laut Molucca yang meng-ilustrasikan urutan konvergensi antarbusur 20

Gambar 9. Gaya Tarik Menarik Antara Dua Benda 23

Gambar 10. Potensial massa tiga dimensi 26

Gambar 11. Perbedaan nilai gayaberat di kutub dan khatulistiwa 31

Gambar 12. Koreksi udara bebas terhadap data gayaberat 32

Gambar 13. Koreksi *Bouguer* 34

Gambar 14. Penggambaran Nilai Koreksi Medan 35

Gambar 15. *Hammer Chart* 36

Gambar 16. Grafik Korelasi Antara Sebaran Nilai Anomali Bouguer Dengan Ketinggian (Topografi) 40

Gambar 17. Grafik Yang Menunjukkan Hubungan Antara (Gobs – Glintang + 0.308765h) dan ρ(2πG*h)* 41

Gambar 18. Proses pemodelan kedepan (*forward modelling*). 43

Gambar 19. Proses pemodelan inversi 44

Gambar 20. Kurva Ln A terhadap k 47

Gambar 21. Sketsa *moving average* 2-D jendela 5x5 50

Gambar 22. Contoh Jenis-Jenis Batuan 52

Gambar 23. Contoh Batuan Granit 54

Gambar 24. Proses terjadinya pembentukan batuan 55

Gambar 25. Diagram Alir Penelitian 61

Gambar 26. (a) Titik Pengukuran Daerah Penelitian 62

Gambar 26. (b). Peta Geologi daerah penelitian 62

Gambar 27. Grafik dari nilai densitas rata rata permukaan 64

Gambar 28. Peta kontur Elevasi 65

Gambar 29. Peta kontur Gayaberat Observasi 65

Gambar 30. Peta kontur Anomali Bouguer Lengkap 66

Gambar 31. Lintasan Analisa Spektrum 67

Gambar 32. Hasil Analisis Spektrum *Line* A 68

Gambar 33. Hasil Analisis Spektrum *Line* B 68

Gambar 34. Hasil Analisis Spektrum *Line* C 69

Gambar 35. Hasil Analisis Spektrum *Line* D 69

Gambar 36. Hasil Analisis Spektrum *Line* E..... 69

Gambar 37. Hasil Analisis Spektrum *Line* F..... 70

Gambar 38. Peta Kontur Regional 72

Gambar 39. Peta Kontur Residual 72

Gambar 40. Overlay Peta Geologi Regional dan peta kontur CBA 75

Gambar 41. Model 3 Dimensi daerah penelitian 76

Gambar 42. Model 3D inversi anomali gayaberat dengan *layer* data anomali *bouguer* 77

Gambar 43. Model 3 Dimensi *Cut off* densitas 2,65 – 2,75 g/cm^3 78

Gambar 44. Model 3 Dimensi Anomali residual..... 79

Gambar 45. Penampang 3D Anomali Residual dengan *cut off* 2,65 g/cm^3 79

Gambar 46. Peta kontur SVD CBA 81

Gambar 47. Peta kontur SVD Regional 82

Gambar 48. Peta kontur SVD Residual 82

BAB I
PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Penambangan nikel di Kabupaten Halmahera Timur dan Halmahera Tengah sudah berlangsung sejak lama. Beberapa perusahaan baru melakukan eksplorasi dan sudah ada yang beroperasi menambang di wilayah ini. Hasil dari kegiatan pertambangan ini pun harus di kirim ke bebrapa daerah melalui jalur darat dan laut. Karena kondisi jalan di sekitar tambang nikel menuju pelabuhan tidak terlalu kuat untuk menahan beban kendaraan muatan berat yang melintas di atasnya, maka diperlukanlah batu granit untuk memadatkan jalan sehingga jalan bisa di lalui oleh kendaraan bermuatan berat.

Granit (berasal dari bahasa Latin: *Granum*) adalah batuan terobosan yang terjadi melalui proses pembekuan magma di permukaan bumi dengan temperatur yang stabil. Batu granit memiliki sifat asam; berbutir kasar hingga sedang; serta bewarna terang keabuan, kecoklatan, dan kemerahan. Batuan dengan jenis intrusif, felsik, dan igneus ini banyak sekali ditemukan.

Ukuran kepadatan granit sekitar 2,75 gr/cm^3 dengan rentang antara 1,74 dan 2,80. Dalam bidang industri dan rekayasa, batuan ini banyak dipakai sebagai bidang acuan dalam berbagai pengukuran dan alat pengukur. Hal ini

dikarenakan granit bersifat kedap air, kaku (*rigid*), *non-higroskopis* dan memiliki koefisien ekspansi termal yang sangat rendah (Wikipedia, 2016).

Untuk mengetahui pesebaran batuan granit diperlakukan pengukuran agar dapat mengestimasi keberadaan batuan granit tersebut dengan menggunakan metode gayaberat. Metode gayaberat adalah salah satu metode dalam geofisika. Prinsip metode ini berdasarkan kepada anomali gayaberat yang muncul karena adanya variasi rapat masa batuan yang menggambarkan adanya struktur geologi di bawah permukaan bumi. Adanya variasi rapat massa batuan di suatu tempat dengan tempat lain, akan menimbulkan medan gaya gravitasi yang tidak merata, perbedaan inilah yang terukur di permukaan bumi.

Metode ini dipilih karena kemampuannya dalam membedakan rapat massa suatu material terhadap lingkungan sekitarnya, sehingga gambaran struktur bawah permukaan dapat diketahui. Metode gayaberat ini juga merupakan metode utama yang digunakan dalam studi geologi regional bawah permukaan bumi (area lebih dari 100 km2), sehingga diharapkan gambaran struktur geologi bawah permukaan yang diperoleh lebih baik dibandingkan metode geofisika lainnya. Pemodelan pada metoda ini dilakukan berdasarkan atas fungsi variasi densitas ρ dan kedalaman z. Seperti metoda geofisika lainnya, metoda ini mempunyai kelemahan dan kelebihan antara lain adanya sifat ambiguitas (tidak unik) . Oleh karena itu dalam melakukan interpretasi pada data hasil pengukuran metoda geofisika perlu didukung oleh data yang lain.

Kemudian untuk mengetahui batas litologi batuan tersebut perlu juga dilakukan metode Second Vertical Derivative. Metode ini digunakan untuk memunculkan sumber-sumber anomali yang bersifat dangkal/lokal. Metode ini

sangat bagus untuk mengetahui diskontinuitas dari suatu struktur bawah permukaan, khususnya adanya patahan pada suatu daerah survey.

Oleh sebab itu, pada penelitian ini akan dilakukan analisis terhadap data yang telah diperoleh dari lapangan dengan memproses nilai dari ketinggian, gravitasi observasi dan nilai dari anomali *Bouguer* lengkap.

1.2. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari dilaksanakannya penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui nilai Anomali *Bouguer* dari daerah penelitian yang berhubungan dengan anomali tinggi untuk mengetahui keberadaan batuan granit.
2. Mengetahui zona batas litologi berdasarkan data *Second Vertical Derivative* .
3. Menganalisa dan menginterpretasikan hasil pemodelan 3D bawah permukaan berdasarkan nilai densitasnya untuk mengetahui ketersediaan batuan granit di daerah tersebut.

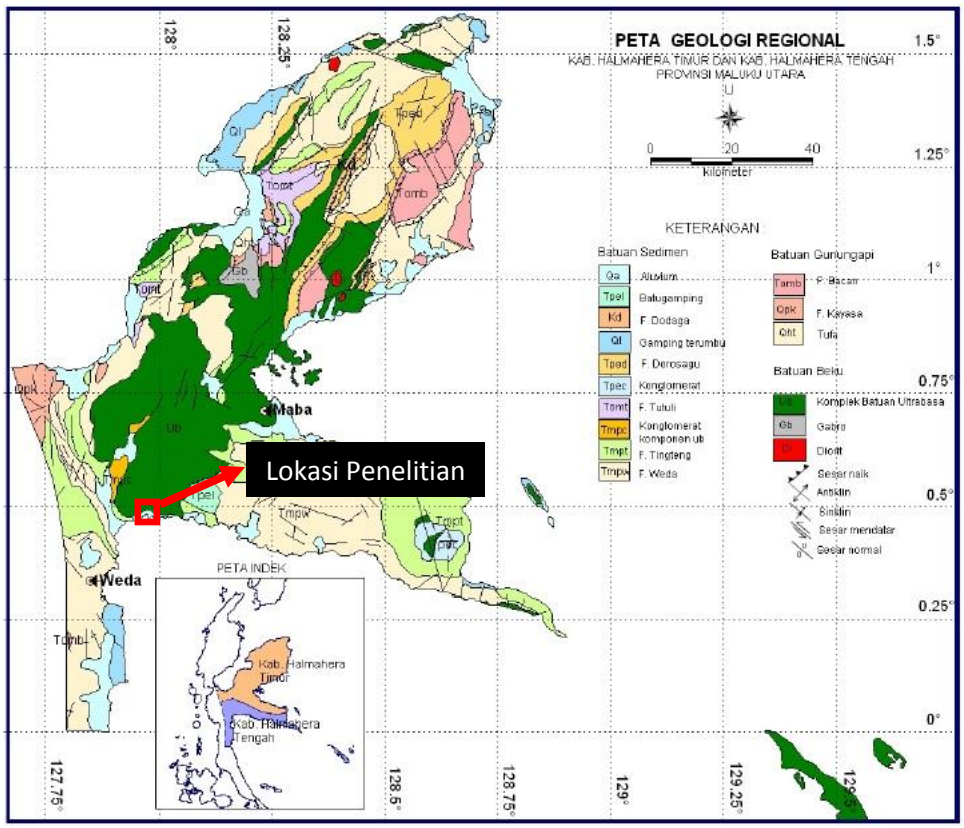
1.3. Batasan Masalah

Adapun dalam pengerjaan penelitian ini penulis membatasi masalah pada pengolahan data gayaberat untuk mendapatkan nilai anomali *bouguer* hingga analisis struktur bawah permukaan berdasarkan dari hasil pemodelan inversi gayaberat 3D berdasarkan persebaran anomali densitasnya pada daerah penelitian.

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Daerah Penelitian

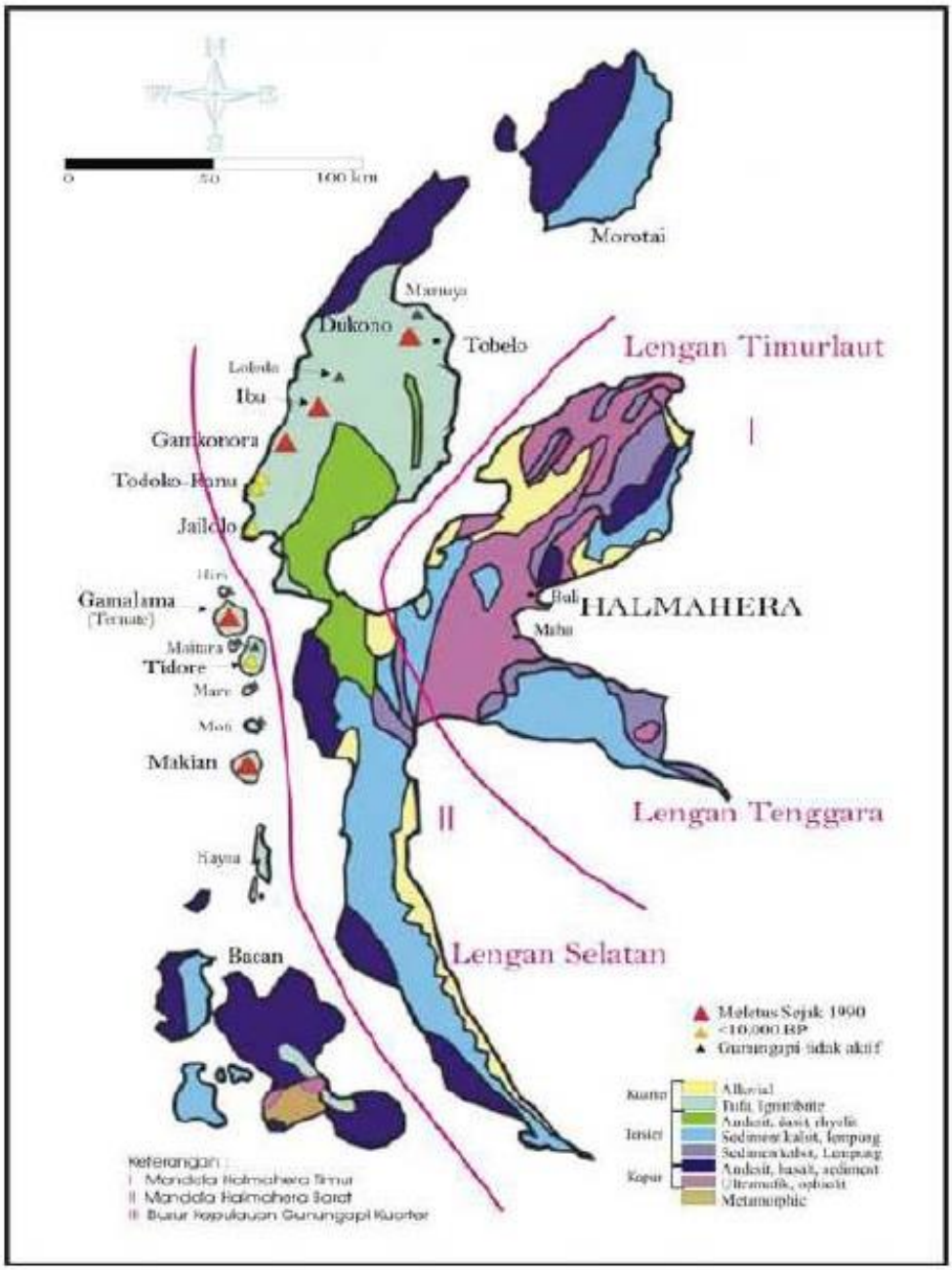
Lokasi penelitian gayaberat pada penelitian ini terletak di daerah Tanjung Ulie, Halmahera Tengah, Maluku Utara seperti yang terlihat pada Gambar 1. Secara geografis, lokasi penelitian ini berada pada titik UTM-X 383900 sampai 384150 dan UTM-Y 53000 sampai 53200. Dengan luas daerah penelitian 250 m x 200 m. Menurut peta geologi daerah penelitian berada pada formasi alluvial (Qa).



Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian (Halmahera Tengah)

2.2 Fisiografi

Berdasarkan Peta Geologi Lembar Ternate, Maluku Utara yang diterbitkan oleh Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Bandung, Apandi dan Sudana (1976) membagi fisiografi Halmahera menjadi tiga mendala (Gambar 2), yaitu mendala Halmahera Timur, Halmahera Barat dan busur kepulauan Gunung Api Kuarter.



Gambar 2. Fisiografi Pulau Halmahera (Apandi dan Sudana. 1976)

2.2.1 Mendala Fisografi Halmahera Timur

Mendala Halmahera Timur meliputi lengan Timur Laut, Lengan Tenggara, dan beberapa pulau kecil di sebelah Timur pulau Halmahera. Morfologi mendala ini terdiri dari pegunungan berlereng terjal dan torehan sungai yang dalam, serta sebagian mempunyai morfologi *karst*. Morfologi pegunungan berlereng terjal merupakan cerminan batuan keras. Jenis batuan penyusun pegunungan ini adalah batuan ultrabasa. Morfologi *karst* terdapat pada daerah batugamping dengan perbukitan yang relatif rendah dan lereng yang landai.

2.2.2 Mendala Fisiografi Halmahera Barat

Mendala Halmahera Barat bagian Utara dan Lengan Selatan Halmahera. Morfologi Mendala berupa perbukitan yang tersusun atas batuan sedimen, pada batugamping berumur *Neogen* dan morfologi *karst* dan di beberapa tempat terdapat morfologi kasar yang merupakan cerminan batuan gunung api berumur *Oligosen.*

2.2.3 Mendala Busur Kepulauan Gunung Api Kuarter

Mendala ini meliputi pulau pulau kecil disebelah Barat pulau Halmahera. Deratan pulau ini membentuk suatu busur kepulauan gunung api kuarter. Sebagian pulaunya mempunyai kerucut gunung api yang masih aktif.

2.3 Kondisi Geologi

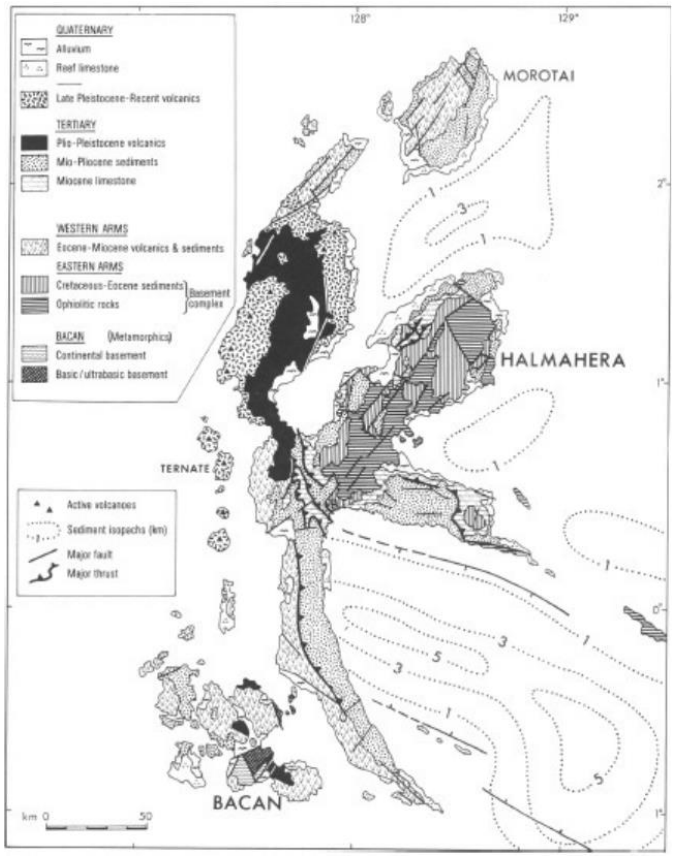
Pada umumnya, berdasarkan geologi dan fisiografi Maluku Utara, Halmahera dapat dibedakan menjadi dua bagian yaitu Halmahera bagian Barat dan Halmahera bagian Timur (Darman dan Hasan, 2000). Peta geologi dari Halmahera sendiri dapat dilihat pada **Gambar 3.** Halmahera bagian Barat adalah bagian

sabuk vulkanik muda yang disusun dari batuan gunung api dan batuan sedimen *Tersier* hingga Kuarter, yang merupakan perpanjangan dari Morotai melalui Halmahera Barat, Ternate, dan Tidore Sampai menuju Bacan. Halmahera bagian Timur merupakan perpanjangan ke arah Timur melalui pulau Gebe dan terhadap bagian Utara kepala burung Papua. Bagian ini terdiri dari lengan Halmahera bagian Timur Laut dan Tenggara yang merupakan busur luar yang tersusun dari batuan ultramafik, sedimen *Tersier* dan sedimen *Kuarter* di bagian pesisir.

Batuan ofiolit membentuk *basement* dari Halmahera Timur (Hall dkk., 1988) yang terbentuk di busur intra-oseanik berumur *Mesozoikum Awal*. Batuan ofiolit ditindih batuan vulkanik busur berumur Kapur, *Eosen*, dan *Oligosen*. Di lengan Barat, batuan vulkanik busur *Oligosen* membentuk *basement*. Batuan karbonat berumur *Miosen* menindih secara tidak selaras semua batuan yang lebih tua. Busur Halmahera umur *Neogen* menjadi aktif sekitar sebelas juta tahun lalu (Hall dkk., 1995a dalam Hall dan Wilson, 2000). Vulkanisme dimulai pada bagian selatan dan berkembang ke Utara yang menghasilkan busur vulkanik yang mirip dengan posisi dan perkembangan Busur Halmahera saat ini. Ke arah Barat busur, turbidit dan debris *flow* diendapkan di bawah *slope submarine* terjal berarah Barat yang mengandung material dari batuan busur vulkanik dan batugamping terumbu. Ke arah Timur busur, cekungan ekstensif berkembang (Hall dkk., 1988; Hall dan Wilson, 2000) yang mengandung debris tetapi diendapkan di laut yang lebih dangkal. Selain itu, di daerah ini juga terdapat ketidakselarasan berumur sekitar tiga juta tahun lalu diantara *Neogen* lebih tua dan batuan sedimen *Pliosen* atas yang menindihnya. Pada bagian Barat Daya dan tengah Halmahera, batuan sedimen dari daerah *backarc* naik ke Barat menutupi busur dan *forearc Neogen*.

Busur Halmahera saat ini berada tidak selaras di atas batuan busur *Neogen* dan cekungan sedimen yang berdekatan (Hall dan Wilson, 2000).

Batuan vulkanik Formasi Bacan (Tomb) diendapkan kala *Oligosen–Miosen* Bawah terdiri dari lava, breksi dan tufa, dengan sisipan konglomerat dan batupasir. Breksi gunungapi, kelabu kehijauan dan coklat, umumnya terpecah, mengandung barik kuarsa yang sebagian berpirit. Breksi memiliki komponen andesit dan basal, setempat batugamping. Diantara komponen batuan beku yang dapat dikenal adalah andesit piroksen, kristal halus, afanitik kelabu, porfiritik berwarna merah dengan piroksen sebagai fenokrisnya, andesit piroksen warna kehijauan, basal porfiritik kelabu tua dengan fenokris piroksen dan feldspar.



Gambar 3. Peta Geologi Halmahera (Hall, 1999)

Sementara itu Formasi Weda (Tmpw) yang merupakan batuan sedimen diendapkan terakhir kala Miosen – Pliosen tersusun oleh batupasir berselingan dengan batulempung, batulanau, napal, batugamping dan konglomerat. Batupasir terdiri dari batupasir arkosa, gampingan berbutir sedang, warna kuning dan kelabu, batupasir konglomeratan berfragmen cangkang, batupasir kelabu tua, kehitaman berbutir halus, keras, menunjukkan struktur perlapisan tipis dan graiwacke berwarna kelabu tua kehitaman. Batulempung kelabu, kehitaman, kehijauan, kelabu tua dan coklat tua

2.4 Statigrafi

Daerah penelitian termasuk dalam Peta Lembar Ternate. Peta lembar Ternate terdapat 17 formasi dan satuan yang telah dipetakan, dengan kisaran berumur sebelum Kapur hingga Holosen.

Mandala geologi Halmahera Timur terbentuk oleh satuan ultra basa yang cukup luas. Batuan sedimen berumur kapur dan Pleosen-Eosen diendapkan tak selaras di atas batuan ultrabasa.

Setelah rampung pengendapan Eosen Akhir hingga oligisen Awal kegiatan gunung api terjadi selama Oligosen Atas-Miosen Bawah. Batuan gunung api formasi Bacan ini terhampar luas di Mandala Halmahera Timur dan Mandala Halmahera Barat, bersamaan dengan itu terbentuk pula batuan karbonat. Terdapat cekungan yang cukup luas berkembang sejak Miosen Atas – Pliosen, di dalam cekungan tersebut terdapat batupasir berselingan dengan napal, tufa, konglomerat yang membentuk Formasi Weda dan batuan karbonat yang membentuk Formasi

Tingteng. Pada zaman holosen terjadi pengangkatan sebagimana yang ditunjukan oleh batu gamping terumbu di pantai daerah lengan Timur Halmahera.

Batuan tertua terdapat di Mandala Halmahera Barat berupa gunung api berumur Oligo-Miosen, di daerah ini terdapat batuan sedimen dan karbonat berumur Miosen-Pliosen sebarannya cukup luas. Kebanyakan sedimennya bersifat tufaan.

Batuan Sedimen

Formasi Dodaga (Kd)

Serpih dan batugamping bersisipan rijang, tersingkap di hulu sungai S. Walal, serpih berwarna merah, getas, gampingan berseling dengan batugamingcoklat muda, sebagian menghablur, kompak. Sisipan rijang berwarna merah setebal 10 cm, batugamping mengandung fosil *Rotaliporidae* sp. Tebal formasi ± 150 meter berumur Kapur Atas.

Satuan Batugamping

Berwarna putih dan kelabu, umumnya pejal, setempat berlapis baik mengandung fosil *Discocyclina* spb., *Amphistegina* sp. dan koral. Tebal formasi ± 400 meter berumur Paleosen – Eosen.

Formasi dorosagu (Tped)

Batu pasir berselingan dengan serpih merah dan batugamping. Batupasir berwarna kelabu, kuning, kompak dan berbutir halus, batugamping berwarna kelabu kompak berkomponen batuan ultrabas serpih berwarna merah berlapis baik. Batugamping mengandung fosil *Nummalites* sp. Tebal formasi ± 250 meter berumur Paleosen –Eosen.

Satuan Konglomerat (Tpec)

Tersusun oleh batuan konglomerat dengan sisipan batupasir, batu lempung dan batubara. Konglomerat berkomponen batuan ultrabasa, basal, gabro dan diorit dengan dasar batupasir gampingan. Tebal formasi ± 500 meter berumur Pliosen-Eosen.

Formasi Tutuli (Tomt)

Terdapat batu gamping putih, kelabu dan coklat muda, kompak, sebagian menghablur, setempat mengandung pirit, tidak berlapis. Batugamping mengandung foram *Miogypsina* sp., *Cycloclypeus* sp., *Amphistegina* sp. Tebal formasi ± 600 meter berumur Oligosen –Miosen Bawah.

Konglomerat (Tmpc)

Berkomponen batuan ultrabasa, rijang, diodorit dan batu sabak, dengan masadasar batupasir kasar, berwarna kelabu kehijauan, agak kompak, tebal satuan batuan ± 100 meter berumur Miosen Tengah- Awal Pliosen.

Formasi Tingteng (Tmpt)

Tersusun oleh batugamping hablur dan batugamping pasiran dengan sisipan napal dan batupasir. Batugamping hablur, putih kekuningan dan coklat muda, berlapis baik. Batugamping pasiran, kelabu dan coklat muda, sebagian kompak. Tebal formasi ± 600 meter berumur Akhir Miosen-Awal Pliosen. Setelah pengendapan Formasi Tingteng terjadi pengangkatan pada jaman Kuarter, sebagaimana ditunjukan oleh batugamping terumbu di pantai lengan Timur Halmahera.

Formasi Weda (Tmpw)

Terdapat batupasir berselingan dengan napal, tufa, konglomerat dan batugamping. Batupasir kelabu sampai coklat muda, kompak, berbutir halus sampai kasar. Napal putih, kelabu kehijauan dan coklat, getas. Tufa putih dan kuning, getas, berbutir halus sampai kasar dan sebagian berlapis bagus. Konglomerat kelabu dan cokla, kompak, berkomponen andesit piroksen. Tebal formasi ± 300 meter berumur Miosen Tengah- Awal Pliosen. Diendapkan dalam lingkungan neritik-batial.

Batugamping Terumbu (Ql)

Batugamping koral dan breksi batugamping. Batugamping koral berwarna putih dan coklat, sebagian kompak, bagian yang paling bawah mengandung konglomerat berkomponen batuan ultrabasa, gabro dan diorit. Breksi batugamping berwarna coklat dan sebagian padat. Tebal satuan ± 150 meter.

Endapan permukaan

Aluvium dan Endapan Pantai (Qa)

Terdapat lempung, lanau, pasir dan krikil. Terdapat di lembah sungai yang besar dan di beberapa daerah di sepanjang pantai.

Batuan Gunung Api

Formasi Bacan (Tomb)

Terdapat batuan gunung api berupa lava, breksi dan tufa dengan sisipan konglomerat dan batupasir. Breksi gunung api berwarna kelabu kehijauan dan coklat, umumnya terpecah, mengandung barik kuarsa yang sebagian berpirit. Lava bersusun andesit hornblende dan andesit piroksen berwarna kelabu kehijauan dan coklat. Tufa berwarna kuning kecoklatan dan hijau, getas. Batupasir berwarna

kuning kecoklatan, kompak, mengandung barik kuarsa, komponennya basal, batugamping, rijang, natupasir. Tebal formasi ± 220 meter berumur Oligosen-Miosen Bawah.

Formasi Kayasa (Qpk)

Fomasi ini berumur Pliosen berupa batuan gunung api yang terdiri dari breksi, lava dan tuga. Breksi berwarna kelabu tua, kompak, bersusunan basal dengan masadasar pasir banyak mengandung piroksen. Lava bersifat basal, berwarna kelabu tua, setempat berkekar melapis. Tuga berwarna putih kekuningan, kompak, berbutuir sedang sampai kasar, setempat mengandung batuapung.

Satuan tufa (Qht)

Terdapat tufa batuapung berwarna putih dan kuning, getas, berbutir halus sampai kasar setempat berlapis baik.

Batuan gunung api Holosen (Qhv)

Satuan batuan ini berupa deretan kerucut gunungapi yang terdapat di sebelah Barat Halmahera. Berupa batuan beku breksi gunung api dan lava. Berupa batuan bersusunan andesit piroksen, berwarna kelabu tua, kompak dengan masa dasar tuff berbutir kasar. Lava bersusunan andesit sampai basal, berwarna kelabu sampai kelabu kehitaman, pejal dan sebagian berongga.

Batuan beku

Batuan ultrabasa (Ub)

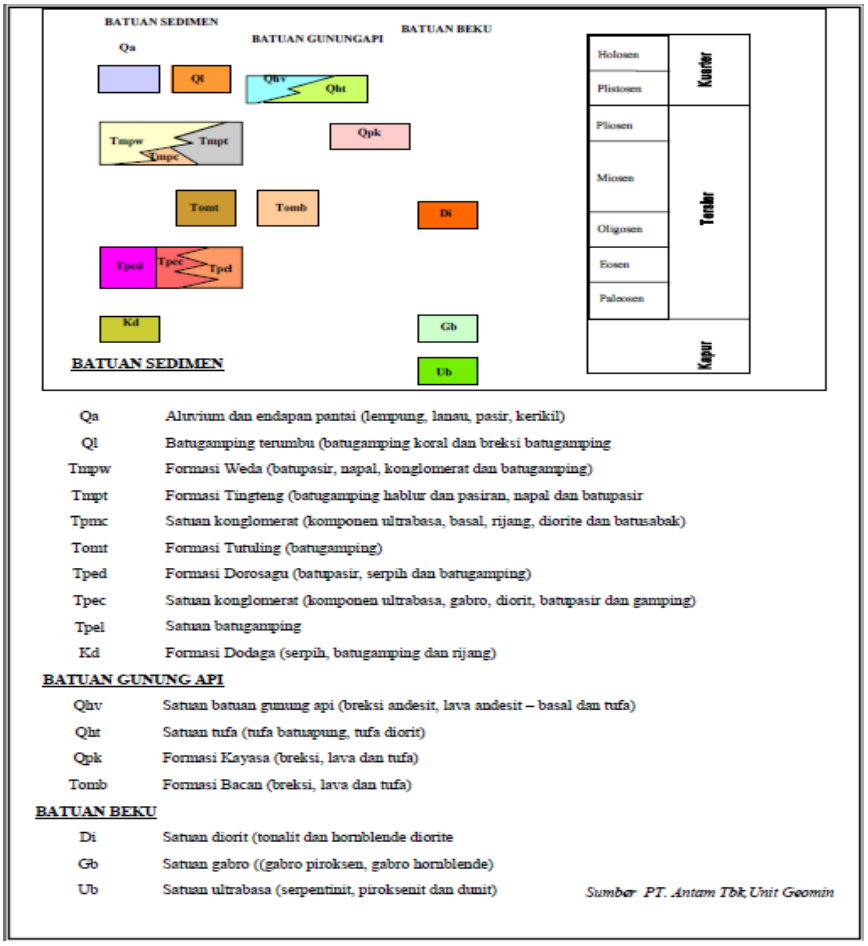
Batuan ultrabasa berupa serpentinit, pirosenit dan dunit, berwarna hitam, getas, kebanyakan pecah, terbreksikan, mengandung asbes dan garnierit. Satuan ini oleh Bessho (1944) dinamakan Formasi Watileo.

Gabro (Gb)

Gabro piroksen, gobro hornblede dan gabro olivin tersingkap di daerah komplek batuan ultrabasa.

Diorit

Terdiri dari Diorit kuarsa dan diorit hornblende. Tersingkap di daerah komplek batuan ultrabasa



Gambar 4. Stratigrafi Daerah Halmahera (Alaudin, 2015)

2.5 Tektonik

Pulau Halmahera dan pulau-pulau disekitarnya yang ada di Indonesia bagian Timur termasuk ke dalam sistem pertemuan 3 lempeng yaitu lempeng Australia, lempeng Eurasia dan lempeng samudra Philipina (Hamilton, 1979). Bagian Utara Halmahera merupakan lempeng Samudra Philipina yang menujam di bawah Philipina sepanjang palung Philipina yang merupakan suatu konfigurasi busur kepulauan sebagai hasil tabrakan lempeng dibagian Barat Pasifik. Pulau ini dicicrikan dengan *Double Arc System* dibuktikan dengan adanya endapan vulkanik di lengan barat dan non vulkanik di lengan Timur

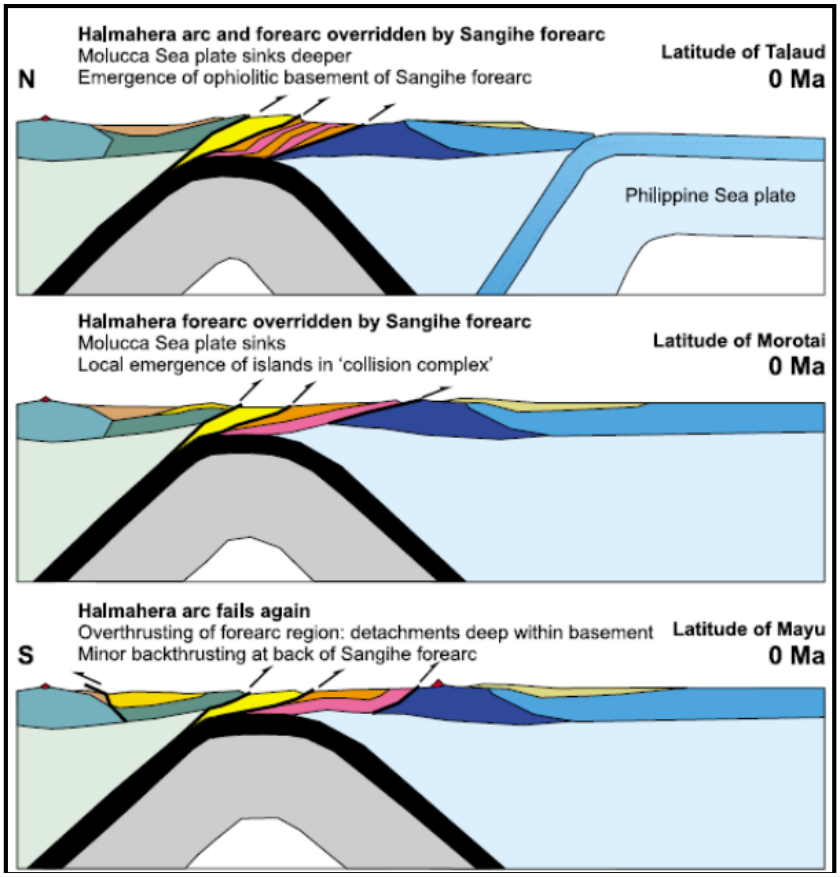
Secara geologi dan tektonik Halmahera cukup unik, karena pulau ini terbentuk dari pertemuan 3 lempeng yaitu Eurasia, Pasifik dan Indo-Australia yang terjadi sejak zaman kapur. Di Selatan Halmahera pergerakan miring sesar Sorong ke arah Barat bersamaan dengan Indo-Australia struktur lipatan berupa sinklin dan antiklin terlihat jelas pada Formasi Weda yang berumur *Miosen* Tengah-*Pliosen* Awal. Sumbu lipatan berarah Utara-Selatan, Timur Laut-Barat Daya dan Barat Laut-Tenggara.

Struktur sesar terdiri dari sesar normal dan sesar naik umumnya berarah Utara-Selatan dan Barat Laut-Tenggara. Kegiatan tektonik dimulai pada Kapur Awal dan Awal Tersier, ketidakselarasan antara batuan berumur *Paleosen-Eosen* dengan batuan berumur *Eosen-Oligosen* Awal, mencerminkan kegiatan tektonik sedang berlangsung kemudian diikuti kegiatan gunung api. Sesar naik akibat tektonik terjadi pada jaman *Eosen-Oligosen*. Tektonik terakhir terjadi pada jaman *Holosen* berupa pengangkatan terumbu dan adanya sesar yang mendorong batu gamping. (Citra, 2016).

2.6 Evolusi Tektonik

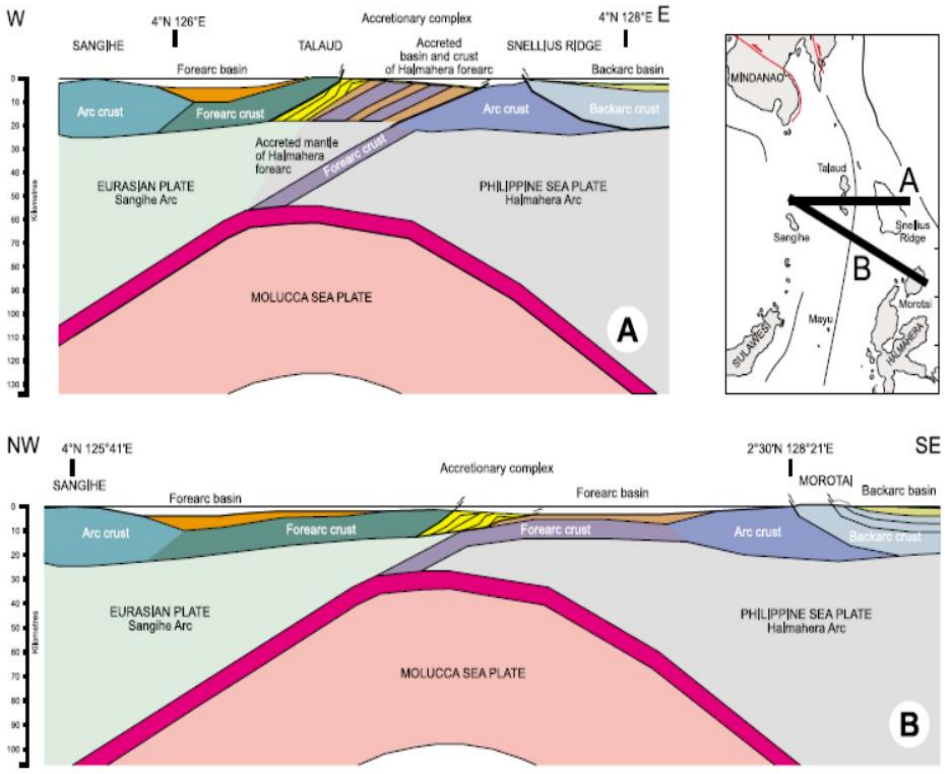
2.5.1 Saat Ini (*Present Day*)

Kondisi tektonik dan penampang Halmahera saat ini dapat dilihat pada **Gambar 5.** Kondisi tektonik Busur Halmahera dan Busur Sangihe merupakan contoh di dunia untuk kolisi antar busur. Saat ini Busur Sangihe mengalami pengangkatan menutupi *forearc* Halmahera. Kedua busur tersebut aktif sejak *Neogen* (awal *Miosen* - pertengahan *Miosen*), sedangkan kolisi antara kedua busur terjadi pada umur *Pliosen.* Sampai saat ini, belum ditemukan melange yang tersingkap di Laut Molucca. Hanya *basement* dari *forearc* Sangihe yang tersingkap di Pulau Talaud (Hall, 1999).



Gambar 5. Penampang melintang yang melewati Laut Molucca dari selatan (bawah) ke utara (atas) untuk merepresentasikan urutan konvergensi Busur Halmahera dan Sangihe sejak dua jutatahun yang lalu. Konvergensi antarbusur paling berkembang di Talaud. Kolisi ini menyebabkan penghilangan busur dan forearc Halmahera (Hall, 1999).

Penampang yang melewati Pulau Talaud memberikan informasi bahwa hampir semua busur vulkanik dan *forearc* Halmahera ditutupi oleh *forearc* Sangihe (**Gambar 6.A**). Punggungan Snellius diinterpretasikan sama kondisinya dengan daerah *backarc* Halmahera yang komposisinya berupa batuan karbonat berumur *Mio-Pliosen* yang diendapkan secara tidak selaras di atas ofiolot *Neogen* dan kerak busur. Penebalan kompleks kolisi oleh akresi dan kerak *forearc* Halmahera serta pemendekan *forearc* Sangihe menyebabkan pengangkatan *basement* Pulau Talaud (dan secara lokal juga Mayu) sehingga ofiolit dapat tersingkap (Hall, 1999).



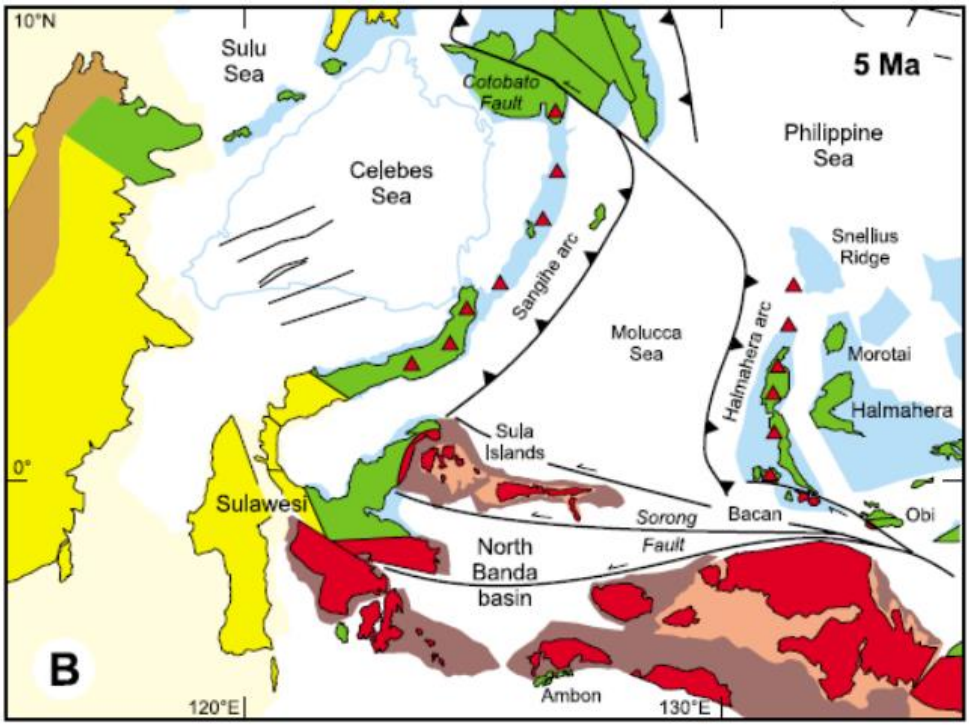
Gambar 6. Penampang melintang melewati Laut Molucca yang menunjukkan konvergensi Busur Halmahera dan Sangihe (Hall, 1999).

Penampang yang melewati Morotai menunjukkan penindihan Busur Halmahera oleh *backarc* nya sendiri (**Gambar 6. B**) pada akhir *Pliosen.* Aktivitas

vulkanik di Selatan Morotai aktif kembali selama *Kuarter* dan busur saat ini terletak di atas kerak yang tebal. Aktivitas vulkanik di utara Morotai berhenti dan saat ini *forearc* Halmahera tertutup oleh *forearc* Sangihe. Pensesaran naik (*overthrusting*) dari satu *forearc* oleh yang lainnya memicu penebalan kompleks akresi sehingga menghasilkan sejumlah besar material berdensitas rendah dengan gravitasi rendah pada Laut Molucca tengah (Hall, 1999).

2.5.2 Neogen Akhir

Evolusi tektonik dan penampang Halmahera, Laut Molucca, dan wilayahsekitarnya pada Neogen Akhir ditunjukkan dalam **Gambar 7**. **dan 8**.



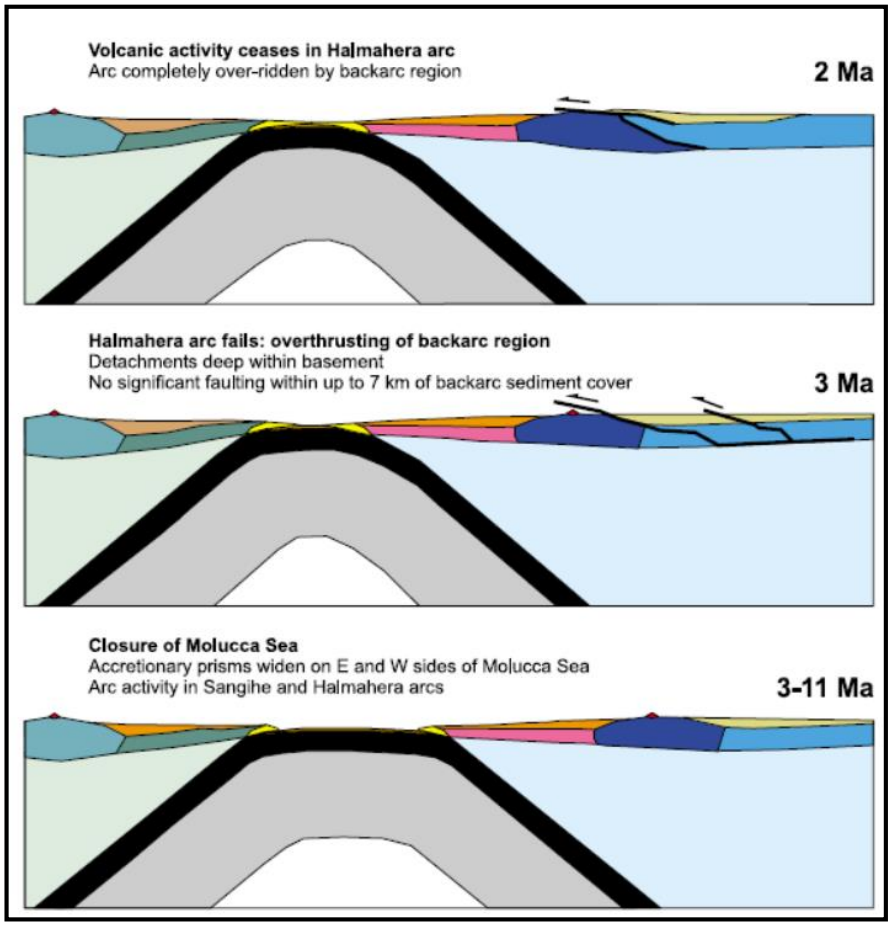
Gambar 7. Rekonstruksi dari Lempeng Laut Molucca sebelum hilang akibat subduksi ke arah timur dan barat (Hall, 1999)

Subduksi ke arah Barat dari Laut Molucca di bawah Busur Sangihe diperkirakan dimulai pada awal *Miosen*. Subduksi berarah Timur dari Lempeng Laut Molucca di bawah Halmahera dimulai pada pertengahan *Miosen*. Subduksi

ganda terjadi pada saat itu sehingga membentuk lempeng baru, Lempeng Molucca, yang berpisah dari Lempeng Filipina (Hall, 1999). Batuan vulkanik tertua dari Busur Halmahera terdeteksi pada umur sebelas juta tahun lalu di Obi pada tepi Selatan dan termuda di Utara (Baker dan Malaihollo, 1996 dalam Hall, 1999).

Indikasi awal dari kolisi busur-busur terjadi pada *Pliosen*. Busur Halmahera yang tidak berhasil menjadi busur vulkanik aktif, sepertinya merefleksikan kelemahan yang berkaitan dengan mineralogi dan magmatisme. Terdapat pensesaran (naik) berarah Barat pada daerah *backarc* yang menghadap *forearc*. Di Obi, busur ternaikan/terdorong ke atas *forearc*. Di Selatan Halmahera, daerah *backarc* ternaikan ke atas *forearc*, di tempat yang seluruhnya menghilangkan Busur *Neogen* (Hall, 1999). Setelah episode ini, pensesaran terjadi, berarah Barat dan vulkanisme di Busur Halmahera kembali aktif di antara Bacan dan Halmahera Utara. Di Obi dan dari Morotai ke arah Utara, vulkanisme berhenti. Di Utara Laut Molucca, *forearc* Sangihe kemudian terdorong ke Timur di atas *forearc* dan Busur Halmahera.

Daerah antara Morotai dan bagian Punggungan Snellius dari *forearc* dan Busur Halmahera *Neogen*, saat ini menghilang. Lebih jauh lagi, bagian Selatan dari pensesaran berarah Timur membawa *forearc* Halmahera naik ke sisi Busur Halmahera aktif dan batuan *Pra-Neogen* dari *basement forearc* Halmahera yang sekarang tersingkap di Kepulauan Grup Bacan dan pesisir dari Halmahera Barat Laut (Hall, 1999).



Gambar 8. Penampang melintang melewati Laut Molucca yang meng-ilustrasikan urutan konvergensi antarbusur

Ketika *forearc* dan Busur Halmahera secara signifikan dinaikkan, *forearc* Sangihe terangkat. Kompleks kolisi Laut Molucca berkomposisi akresi dari kedua busur. *Basement forearc* dari Busur Sangihe tersingkap akibat ternaikkan seluruh bagiannya. Batuan ofiolit dari Laut Molucca tengah bukan bagian dari Lempeng Laut Molucca tetapi basement dari *forearc* Sangihe.

Melange yang ditemukan di Talaud (Moore dkk., 1981 dalam Hall, 1999) dan saat ini di Mayu, tidak terbentuk dari kolisi saat ini tetapi dari batuan lebih tua yang membentuk bagian basement *Pra-Neogen forearc* Sangihe. Melange yang diduga dari kompleks kolisi saat ini merupakan *submarine* dan bagian yang

dangkal secara batimetri dan secara seismik terdiri dari sejumlah sedimen di Laut Molucca Tengah (Hall, dkk. 1999).

BAB III
TEORI DASAR

3.1. Metode Gayaberat

Metode gayaberat adalah metode dalam geofisika yang dilakukan untuk menyelidiki keadaan bawah permukaan berdasarkan perbedaan rapat massa cebakan mineral dari daerah sekeliling (ρ = gram/cm3). Metode ini adalah metode geofisika yang sensitif terhadap perubahan vertikal, oleh karena itu metode ini disukai untuk mempelajari kontak intrusi, batuan dasar, struktur geologi, endapan sungai purba, lubang di dalam masa batuan, *shaff* terpendam dan lain-lain. Eksplorasi biasanya dilakukan dalam bentuk kisi atau lintasan penampang. Perpisahan anomali akibat rapat massa dari kedalaman berbeda dilakukan dengan menggunakan filter matematis atau filter geofisika. Di pasaran sekarang didapat alat gravimeter dengan ketelitian sangat tinggi (mGall), dengan demikian anomali kecil dapat dianalisa. Hanya saja metode pengukuran data, harus dilakukan dengan sangat teliti untuk mendapatkan hasil yang akurat. (Sarkowi, 2009).

3.2. Konsep Dasar Gayaberat

3.2.1. Gaya Gayaberat (Hukum Newton I)

Teori yang mendukung Ilmu gayaberat terapan adalah hukum Newton (1687) yang menyatakan bahwa gaya tarik menarik antara dua partikel

bergantung dari jarak dan massa masing-masing partikel tersebut, yang dinyatakan sebagai berikut :

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

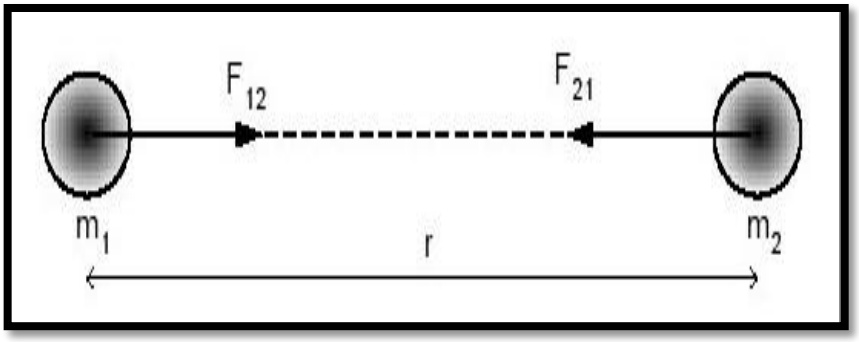
Dimana :

F (r) : Gaya Tarik Menarik (N)

m1 , m2 : Massa benda 1 dan massa benda 2 (kg)

r : Jarak antara dua buah benda (m)

G : Konstanta GayaberatUniversal (6,67 x 10-11 m3 kg s-2)



Gambar 9. Gaya Tarik Menarik Antara Dua Benda

3.2.2. Percepatan Gayaberat (Hukum Newton II)

Dalam pengukuran gayaberat yang di ukur bukan gayaberat *F*, melainkan percepatan gayaberat *g*. Hubungan antara keduanya dijelaskan oleh hukum Newton II yang menyatakan bahwa sebuah gaya adalah hasil perkalian dari massa dengan percepatan. Hukum Newton mengenai gerak Newton, yaitu:

$$F = m.g \qquad (2)$$

Interaksi antara bumi (bermassa *M*) dengan benda di permukaan bumi (bermassa *m*) sejauh jarak *R* dari pusat keduanya juga memenuhi hukum tersebut, maka dapat diperoleh nilai percepatan gayaberat yaitu :

$$g = G\frac{M}{R^2} \qquad (3)$$

Dimana :

g : Percepatan gaya tarik bumi (m/s^2)

M : Massa bumi

m : Massa benda

F : Gayaberat (N)

R : Jari- Jari bumi

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

1 Gall = 1 cm/s^2 = 10^{-3}m/s^2 (dalam c.g.s)

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

1 mGall = 10^{-3} Gall

1 µGall = 10^{-3}mGall = 10^{-6}Gall = 10^{-8} m/s^2

Dalam satuan m.k.s, gayaberat diukur dalam g.u.(*gravity unit*) atau µm/s^2 :

1 mGall = 10 g.u. = 10^{-5}m/s^2

(Octonovrilna, 2009).

3.2.3. Potensial Gayaberat Distribusi Massa

Potensial gayaberat adalah energi yang diperlukan untuk memindahkan suatu massa dari suatu titik ke titik tertentu. Suatu benda dengan massa tertentu dalam sistem ruang akan menimbulkan medan potensial di sekitarnya. Dimana medan potensial bersifat konservatif, artinya usaha yang dilakukan dalam suatu medan gayaberat tidak tergantung pada lintasan yang ditempuhnya tetapi hanya tergantung pada posisi awal dan akhir. Medan potensial dapat dinyatakan sebagai gradien atau potensial skalar (Blakely, 1996), melalui persamaan:

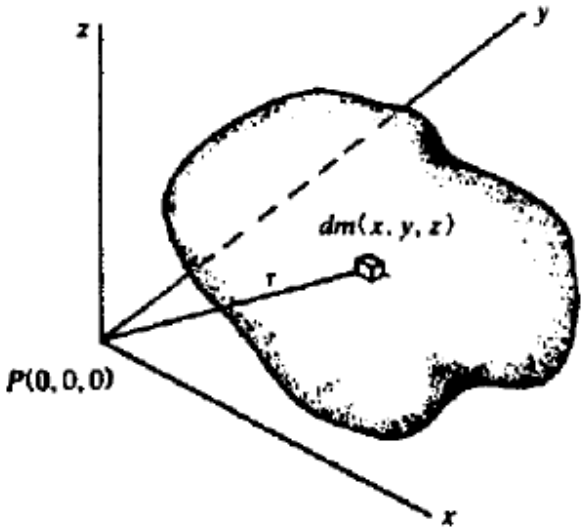
$$g = -\nabla U(r) \tag{4}$$

Fungsi *U* pada persamaan di atas disebut potensial gayaberat, sedangkan percepatan gayaberat *g* merupakan medan potensial. Tanda minus menandakan bahwa arah gayaberat menuju ke titik yang dituju. Dengan mengasumsikan bumi dengan massa *M* bersifat homogen dan berbentuk bola dengan jari-jari *R*, potensial gayaberat di permukaan dapat didefinisikan dengan persamaan:

$$\nabla U(\bar{r}) = -\frac{F(\overline{r})}{m_2} = -g(\bar{r}) \tag{5}$$

$$U(\bar{r}) = \int_{\infty}^{r} (\nabla \mathrm{U}) \, . \, dr = -\int_{\infty}^{r} g \, . \, dr \tag{6}$$

$$U = -Gm \int_{\infty}^{r} \frac{dr}{r^2} = G\,\frac{m}{r} \tag{7}$$



Gambar 10. Potensial massa tiga dimensi (Telford, dkk., 1990)

Berdasarkan persamaan (7), potensial yang disebabkan oleh elemen massa *dm* pada titik (*x, y, z)* dengan jarak *r* dari *P* (0, 0, 0) adalah:

$$dU = G\frac{dm}{r} = G\rho\frac{dxdydz}{r} \tag{8}$$

Dimana ρ (*x, y, z*) adalah densitas dan $r^2 = x^2 + y^2 + z^2$

Potensial total dari massa adalah :

$$U = G\int_x \int_y \int_z \frac{\rho}{r} dxdydz \tag{9}$$

Karena g adalah percepatan gayaberat pada sumbu *z* (arah vertikal) dan dengan asumsi ρ konstan, maka :

$$g = -\left(\frac{\partial U}{\partial z}\right) = G\rho\int_x \int_y \int_z \frac{z}{r^3} dxdydz \tag{10}$$

3.3. Koreksi- koreksi dalam Metode Gayaberat

Besar nilai g gayaberat bergantung kepada lima faktor, yaitu lintang, elevasi topografi daerah sekitar pengukuran, pasang surut bumi, dan variasi densitas di

bawah permukaan (Telford, dkk., 1990). Eksplorasi gayaberat lebih menekankan pada perubahan besar nilai g gayaberat oleh karena variasi densitas di bawah permukaan. Sementara nilai gayaberat yang terukur pada alat *gravimeter* tidak hanya berasal dari nilai gayaberat yang disebabkan oleh variasi densitas di bawah permukaan, tetapi juga dari keempat faktor lainnya. Koreksi dalam metode gayaberat diperlukan untuk menghilangkan faktor-faktor lain yang mempengaruhi besar nilai gayaberat sehingga didapatkan nilai gayaberat yang hanya disebabkan oleh pengaruh variasi densitas di bawah permukaan. Berikut adalah koreksi-koreksi yang dilakukan kepada data gayaberat lapangan (g_{read}).

3.3.1. Koreksi Pasang Surut (*Tidal Correction*)

Efek pasang surut menyebabkan perubahan hasil pengamatan percepatan gayaberat yang disebabkan oleh interaksi gayaberat bulan dan matahari terhadap bumi maupun terhadap *gravimeter*. Efek ini menyebabkan variasi percepatan gayaberat yang bergantung waktu sehingga termasuk ke dalam koreksi *Temporal Based Variation*. Sebagaimana pengaruh gayaberat bulan dan matahari menyebabkan perubahan bentuk permukaan air laut, hal itu juga menyebabkan berubahnya bentuk bumi (*earth distortion*). Karena batuan memberikan gaya eksternal lebih kecil dibandingkan air, besarnya distorsi bumi di bawah pengaruh gaya eksternal lebih kecil dibandingkan besarnya distorsi air laut. Besarnya distorsi air laut akibat efek pasang surut ini terukur dalam meter, sedangkan besarnya distorsi bumi terukur dalam sentimeter. Distorsi ini menyebabkan perubahan percepatan gayaberat dikarenakan perubahan bentuk bumi, sehingga jarak *gravimeter* terhadap pusat bumi berubah (percepatan gayaberat berbanding terbalik

dengan kuadarat jarak). Distorsi bumi bervariasi untuk setiap lokasi, dan variasi percepatan gayaberat akibat efek pasang surut ini bisa mencapai 0,2 mGal.

Untuk menghilangkan pengaruh dari efek pasang surut tersebut, maka data gayaberat yang diperoleh perlu dilakukan koreksi yang dalam hal ini adalah koreksi pasang surut (*tidal correction*). Persamaan yang digunakan untuk menghitung percepatan pasang surut yang dihasilkan akibat bulan dan matahari, sebagaimana mereka berinteraksi pada setiap titik di bumi sebagai fungsi waktu, sudah diperkenalkan oleh Longman pada tahun 1959. Secara matematis, koreksi Tidal dapat dituliskan sebagai berikut :

$$gM = GM_m \frac{r_a}{r^3}(3cos2\theta - 1) + \frac{3}{2}GM_m \frac{{r_a}^2}{r^4}(5cos^2\theta - 3cos\theta) \quad (11)$$

$$g_s = GM_s \frac{r_a}{s^3}(3cos^2\gamma - 1) + \frac{3}{2}GM_s \frac{{r_a}^2}{s^4}(5cos^2\gamma - 3cos\gamma) \quad (12)$$

Dengan :

gM : Komponen tegak pasang surut akibat bulan

g_s : Komponen tegak pasang surut akibat matahari

r_a : Jarak pusat bumi dan bulan

s : Jarak pusat bumi dan matahari

G : Konstanta Gayaberat Universal

M_m : Massa bulan

M_S : Massa Matahari

r : Jarak titik pengamatan ke pusat bumi

θ : Sudur Zenit Bulan ditentukan dengan :

$$\cos\theta = sin\,\lambda \cdot \sin I_{bulan} \cdot \sin I_m + \cos\lambda\left[cos^2 I_{bulan} \frac{cos(l_m - x)}{2} + \sin(t) \frac{cos(l_m - x)}{2}\right]$$

λ : Bujur tempat pengamatan

θ : Sudut Geosentris Bulan

I_{bulan} : Inklinasi Bulan

l_m : Bujur Orbit bulan

x : *right ascention*

γ : Sudut Zenit Matahari ditentukan dengan :

$$\cos\gamma = sin\ \lambda\ .\sin I_{matahari}\ .\sin I_s + \cos\lambda \left[cos^2 I_{matahari} \frac{\cos(l_s - x)}{2} + \sin(t) \frac{\cos(l_s - x)}{2}\right]$$

γ : Sudut Geosentris Matahari

$I_{matahari}$: Inklinasi Matahari

l_s : Bujur Orbit Matahari

Sehingga besarnya nilai koreksi pasang surut adalah :

$$G_{tidal} = g_m + g_s \quad (13)$$

3.3.2. Koreksi Apungan (*Drift Correction*)

Gravimeter biasanya dirancang dengan sistem keseimbangan pegas dan dilengkapi massa yang tergantung bebas di ujungnya. Karena pegas tidak elastis sempurna, maka sistem pegas tidak kembali ke kedudukan semula. Koreksi alat karena sifat pegas yang tidak kembali ke kedudukan semula disebut koreksi apungan (*Drift Correction*). Koreksi ini dilakukan untuk mengoreksi kesalahan pembacaan gravimeter pada saat melakukan pengukuran nilai gayaberat di suatu tempat. *Drift* adalah penyimpangan pembacaan nilai gayaberat yang disebabkan oleh beberapa faktor seperti elastisitas pegas pada alat, pengaruh suhu, dan goncangan selama survei. Semua alat gravimeter harus cukup peka untuk kepentingan proseksi geofisika secara komersial sehingga akan mempunyai variasi terhadap waktu. Hal tersebut dikarenakan faktor internal yakni adanya struktur dalam alat yang berupa pegas sangat halus sehingga perubahan mekanis yang sangat kecil akan berpengaruh terhadap hasil pengukuran.

Untuk mengatasi kesalahan pembacaan gravimeter pada saat pengukuran nilai gayaberat maka perlu dilakukan sistem pengukuran tertutup (*looping*) pada *base station* dalam satu kali survei, yaitu dengan pembacaan di awal dan akhir pada (*base station*), sehingga perbandingan nilai awal dan akhir dapat diketahui. Perbedaan inilah yang disebabkan oleh kesalahan pembacaan gravimeter. Besarnya koreksi *Drift* dirumuskan sebagai berikut :

$$DC = \frac{g_A{}' - g_A}{t_A{}' - t_A}(t_n - t_A) \qquad (14)$$

Dimana :

DC : *Drift Correction* pada titik acuan pengamatan

g_A : harga gayaberat di titik acuan waktu awal

$g_A{}'$: harga gayaberat di titik acuan waktu akhir

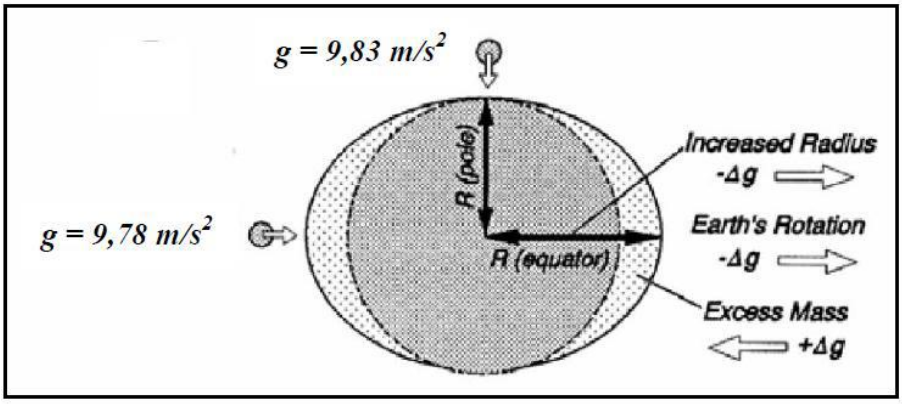
t_A : waktu awal pengambilan data

$t_A{}'$: waktu akhir pengambilan data

t_n : waktu pengamatan di titik pengamatan ke-n

3.3.3. Koreksi Lintang (*Latitude Correction*)

Koreksi Lintang adalah koreksi yang digunakan pada pembacaan nilai gayaberat terhadap lintang geografis bumi. Nilai Gayaberat pada setiap lintang memiliki nilai pembacaan yang berbeda karena bumi tidak bulat sempurna (elipsoid) dan pipih di setiap kutubnya. Nilai percepatan gayaberat di khatulistiwa lebih kecil daripada di kutub karena jejarinya di Equator (Re) lebih besar daripada jejari di kutub (Rk). Hal ini menyebabkan garis spheroid dan Geoid bumi menyebabkan adanya gaya sentrifugal yang menarik massa keluar.



Gambar 11. Perbedaan nilai gayaberat di kutub dan khatulistiwa (Sarkowi, 2011).

Secara matematis, anomali medan gayaberat di topografi dapat dinyatakan dalam bentuk persamaan berikut:

$$\Delta g(x,y,z) = g_{obs}\ (x,y,z) - g_{teoritis}\ (x,y,z) \qquad (15)$$

dengan $\Delta g(x,y,z)$ merupakan anomali medan gayaberat di topografi, dan $g_{obs}\ (x,y,z)$ adalah medan gayaberat observasi di topografi yang sudah dikoreksikan terhadap koreksi pasang surut, koreksi tinggi alat dan koreksi *drift*. Sedangkan $g_{teoritis}\ (x,y,z)$ merupakan medan gayaberat teoritis di topografi.

Koreksi lintang dapat dilakukan dengan cara yakni dengan menggunakan diferensi **IGRF 67** (Sudut Latitude/Lintang dalam derajat) atau **IGRF 84** (Sudut Lintang dalam radian).

IGRF 67 :

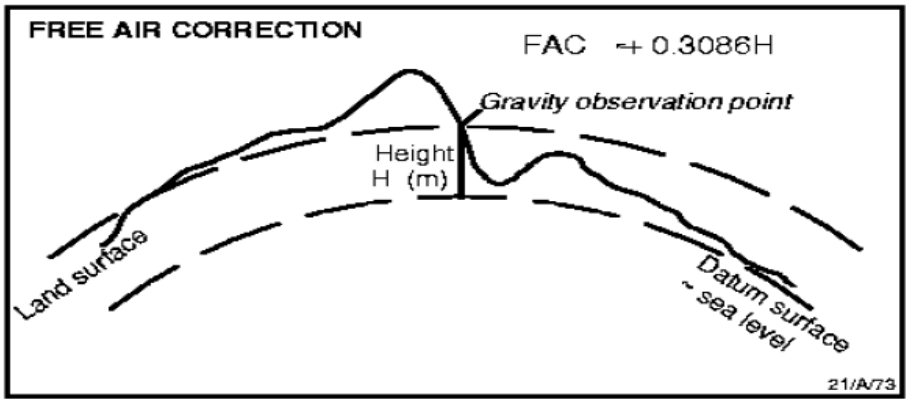
$$g_\theta = 978031.8(1+0.0053924sin^2\theta - 0.0000059sin^2 2\theta) \qquad (16)$$

IGRF 84 :

$$g(\varphi) = 978032.7(1 + 0.0053024sin^2\varphi - 0.0000058sin^2 2\varphi) \qquad (17)$$

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

Semakin tinggi suatu tempat dari pemukaan bumi maka percepatan gayaberat bumi semakin kecil karena bertambahnya jarak dari pusat bumi ke titik pengukuran. Pada koreksi gayaberat normal, benda dianggap terletak di spheroid referensi. Padahal kenyataannya, seringkali pengukuran gayaberat dilakukan di daerah yang tinggi di atas *mean sea level (msl)*. Oleh karena itu koreksi ini dilakukan untuk menghitung perubahan nilai gayaberat akibat perbedaan ketinggian sebesar *h* dari pusat bumi dengan mengabaikan adanya massa yang terletak diantara titik amat dengan sferoid referensi (dimana dalam selang ketinggian tersebut diisi oleh udara).



Gambar 12. Koreksi udara bebas terhadap data gayaberat (Hidayat, 2016)

Jika gayaberat pada suatu titik di permukaan yang berjarak r ke pusat bumi berbentuk :

$$g = G\frac{M}{r^2} \tag{18}$$

maka :

$$dg = -2G\frac{M}{r^3}dr \tag{19}$$

$$dg = -2\frac{g}{r}dr \quad (20)$$

Jila pertambahan jejari *dr* dinyatakan dalam bentuk ketinggian di atas muka laut *h*, maka :

$$\frac{dg}{dr} = \frac{dg}{h} = -2\frac{g}{r} = -2\frac{9.81\ ms^{-2}}{6.371.10^{6}m}h = -3.08.10^{-6}.h\ ms^{-2}$$

Jika ketinggian bertambah *h* dari *msl* (bumi dianggap bola) maka gayaberat :

$$\boldsymbol{g_{fa} = 0.308\ .\ h\ \text{mGall}} \quad (21)$$

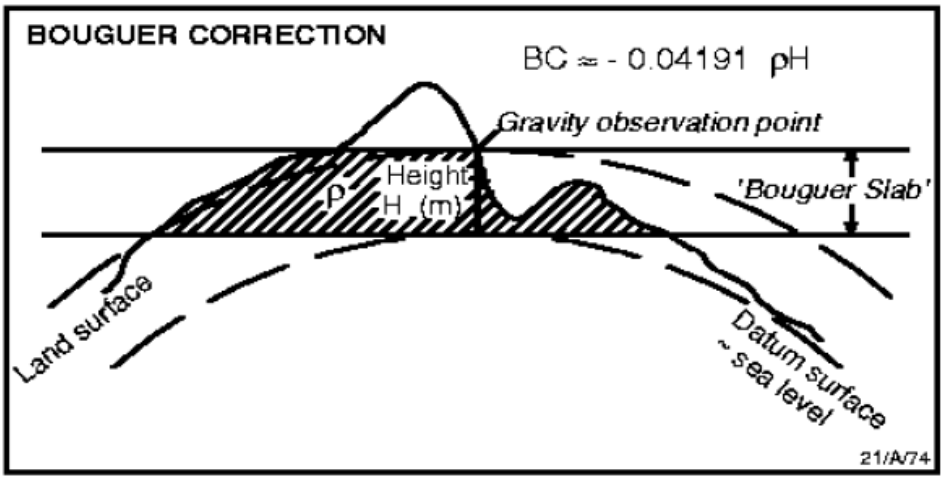
3.3.5. Koreksi Bouguer (Bouguer *Corretion*)

Koreksi yang digunakan untuk menghilangkan perbedaan ketinggian dengan tidak mengabaikan massa di bawahnya sehingga harga gayaberat akibat massa di antara referensi antara bidang referensi muka air laut sampai titik pengukuran sehingga nilai g. Observasi bertambah. Adapun persamaan koreksi Bouguer :

$$BC = 2\pi\ .\ G\ .\ \rho\ .\ h\ \text{mGall} \quad (22)$$

$$BC = 0.04193\ .\ \rho\ .\ h\ \text{mGall} \quad (23)$$

Massa jenis diatas dapat kita asumsikan sementara dengan nilai 2,67 gr/cc, dan dengan menggunakan metode parasnis dan netletton kita diharapkan dapat mengestimasi densitas untuk menentukan massa jenis sebenarnya sehingga koreksi Bouguer dan terrain dapat dilakukan, sehingga nilai anomali Bouguer lengkap dapat diperoleh.



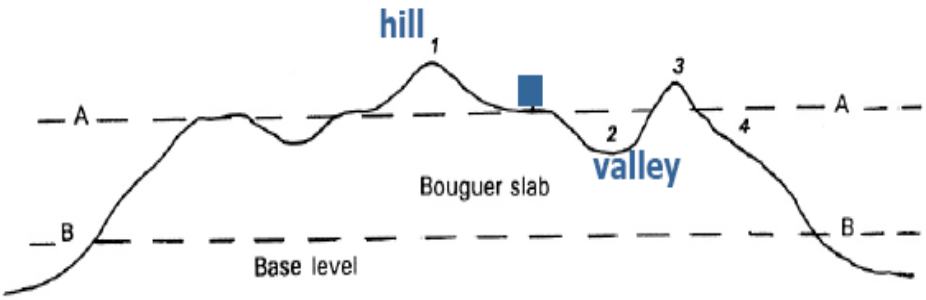
Gambar 13. Koreksi Bouguer (Hidayat, 2016).

3.3.6. Koreksi Medan (*Terrain Correction*)

Adanya massa yang terletak di bawah permukaan antara titik pengamatan dan bidang spheroid pada ketinggian h sangat mempengaruhi gayaberat. Massa yang terletak antara titik ukur dengan bidang spheroid dapat disederhanakan menjadi dua bagian :

1. Bagian lempeng datar dengan ketebalan yang sama dengan ketinggian titik ukur dengan permukaan *spheroid*. Tarikan massa ini disebut dengan efek Bouguer.

2. Bagian yang berada di atas atau bagian yang hilang di bawah permukaan lempeng. Bagian ini dikatakan sebagai efek topografi (efek medan).



Gambar 14. Penggambaran Nilai Koreksi Medan

Koreksi topografi dilakukan untuk mengoreksi adanya penyebaran massa yang tidak teratur di sekitar titik pengukuran. Pada koreksi Bouguer mengandaikan bahwa titik pengukuran di lapangan berada pada bidang datar yang sangat luas. Sedangkan kenyataan di lapangan bisa saja terdapat topografi yang tidak datar akan tetapi ada kumpulan gunung atau perbukitan, maka jika hanya dilakukan koreksi Bouguer saja hasilnya akan kurang baik.

Dari kenyataan diatas, pengaruh material yang ada di sekitar baik material yang ada berada diatas maupun dibawah titik pengukuran turut memberi tambahan terhadap hasil pengukuran di titik pengukuran tersebut sehingga harus dilakukan koreksi topografi terlebih jika di medan pengukuran memiliki topografi yang tidak beraturan seperti rangkaian pegunungan ataupun bukit. Jika medan pengukuran relatif datar maka koreksi topografi/medan dapat diabaikan. Menurut Reynolds (1997), besarnya koreksi topografi dengan menggunakan pendekatan cincin silinder dituliskan dalam persamaan :

$$Tc = \frac{2\pi\rho G}{N}\left\{(r_2 - r_1) + \sqrt{r_1^2 + L^2 - \sqrt{r_2^2 + L^2}}\right\} \text{mGall} \qquad (24)$$

Dimana :

Tc : Respon Gayaberat

G : Konstanta Gayaberat Universal

ρ : Densitas

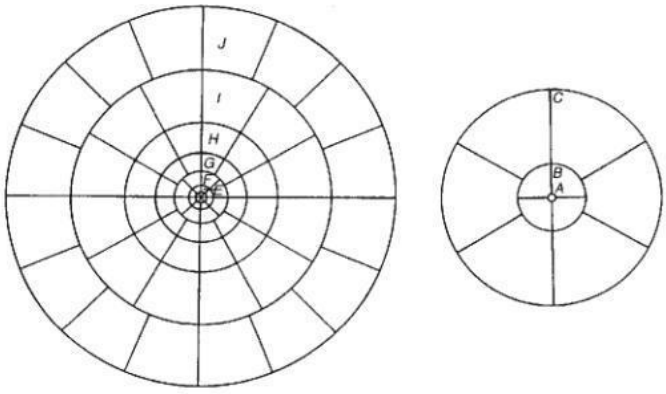
r1 : Jari-jari radius dalam

r2 : Jari-jari radius luar

L : Ketinggian (untuk bukit nilai nya +, lembah -)

N : Jumlah kompartemen pada zona yang digunakan

Untuk menghitung pengaruh medan digunakan template transparan, yang disebut *Hammer Chart*, yang ditempatkan di atas peta topografi. Hammer chart akan membagi daerah sekitar titik amat dengan beberapa zona dan sektor yang merupakan bagian dari silinder konsentris. Chart yang sesuai dengan skala peta topografi diletakkan pada pada posisi titik amat yang akan dihitung koreksinya, ketinggian sektor adalah rata-rata kontur topografi yang melaluinya di ketinggian titik amat. Jumlah dari seluruh koreksi pada tiap zona dan sektor merupakan koreksi medan untuk titik amat.



Gambar 15. *Hammer Chart*

Setelah melakukan proses koreksi di atas, maka akan didapatkan nilai yang disebut Anomali Bouguer (Bouguer *Anomaly*). Anomali Bouguer adalah anomali yang disebabkan oleh variasi densitas secara lateral pada batuan di kerak bumi yang telah berada pada bidang referensi yaitu bidang *geoid*. Persamaan untuk mendapatkan nilai anomali Bouguer (g_{AB}) adalah:

$$g_{obs} = g_{read} - g_{tide} - g_{drift} \qquad (25)$$

$$g_{AB} = g_{obs} - g_{\emptyset} + g_{FA} - g_{sB} + T_c \qquad (26)$$

Dimana:

g_{read} = nilai pembacaan gayaberat di lapangan

g_{tide} = koreksi pasang surut

g_{drift} = koreksi apungan

$g_{\emptyset}$ = koreksi lintang

g_{FA} = koreksi udara bebas

g_{sB} = koreksi *simple* Bouguer

Nilai anomali Bouguer di atas sering disebut sebagai *Complete* Bouguer *Anomaly* (*CBA*). Sedangkan anomali Bouguer yang didapatkan tanpa memasukkan koreksi medan ke dalam perhitungan disebut *Simple* Bouguer *Anomaly* (*SBA*). Sementara nilai lain yang biasa digunakan untuk survei daerah laut adalah *Free Air Anomaly* (*FAA*). *FAA* adalah nilai anomali Bouguer yang tidak memperhitungkan efek massa batuan sehingga tidak memasukkan koreksi Bouguer ke dalam perhitungan.

3.4. Penentuan Densitas Permukaan

Dalam eksplorasi geofisika dengan metode gayaberat dimana besaran yang menjadi sasaran utama adalah rapat masa (kontras densitas), maka perlu diketahui distribusi harga rapat massa batuan baik untuk keperluan pengolahan data maupun interpretasi. Rapat massa batuan dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya adalah rapat massa butir atau matriks pembentuknya, porositas, dan kandungan fluida yang terdapat dalam pori-porinya. Namun demikian, terdapat banyak faktor

lain yang ikut mempengaruhi rapat massa batuan, diantaranya adalah proses pembentukan, pemadatan (kompaksi) akibat tekanan, kedalaman, serta derajat pelapukan yang telah dialami batuan tersebut. Ada beberapa cara yang dapat digunakan untuk menentukan rapat massa rata-rata, yaitu :

3.4.1. **Metode Netletton**

Metoda ini didasarkan pada pengertian tentang koreksi Bouguer dan koreksi medan dimana jika rapat massa yang digunakan sesuai dengan rapat massa permukaan, maka penampang atau profil anomali gayaberat menjadi *smooth*. Dalam aplikasi, penampang dipilih melalui daerah topografi kasar dan tidak ada anomali gayaberat target. Secara kuantitatif, estimasi rapat massa permukaan terbaik dapat ditentukan dengan menerapkan korelasi silang antara perubahan elevasi terhadap suatu referensi tertentu dengan anomali gayaberatnya. Sehingga rapat massa terbaik diberikan oleh harga korelasi silang terkecil sesuai dengan persamaan sebagai berikut :

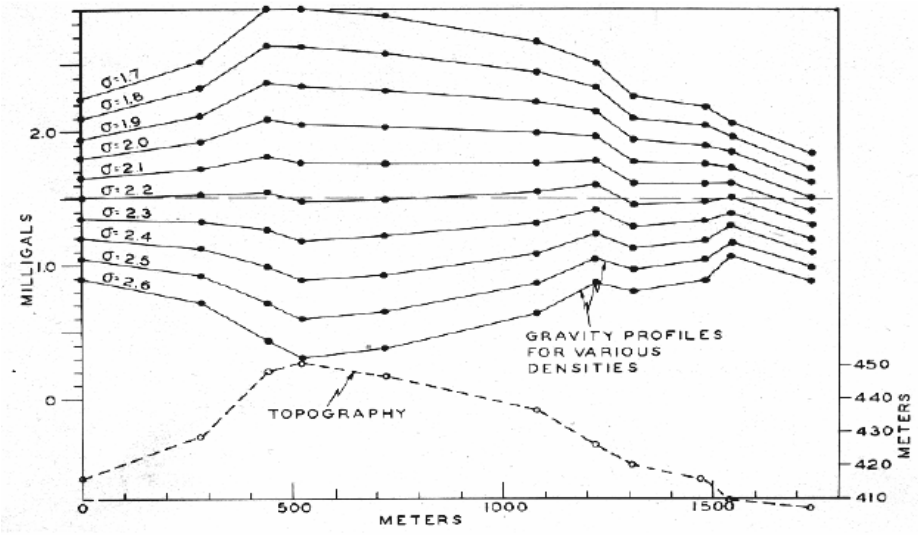
$$k = -\frac{\sum_{i=1}^{N} \delta(\Delta g)_{.i}\delta h_i}{\sum_{i=1}^{N}(\delta h_i)^2} \qquad (27)$$

Dimana N adalah jumlah stasion pada penampang tersebut.

Prosedur Penentuan Densitas Permukaan Bouguer menggunakan metode Netletton :

1. Plot distribusi titik pengukuran gayaberat.
2. Buat peta topografi di daerah penelitian.
3. Pilih titik-titik gayaberat yang relatif sejajar, selanjutnya dari titik-titik tersebut diplot sebagai penampang.

4. Buatlah penampang peta topografi sesuai titik yang telah dipilih pada nomor 3.
5. Hitung anomali Bouguer Lengkap dari titik-titik yang telah ditentukan pada nomor 3, dengan memasukkan densitas yang bervariasi (biasanya mulai dari 1.8 – 2.8 gr/cc).
6. Buatlah penampang anomali Bouguer berdasarkan data perhitungan nomor 5.
7. Cari korelasi antara penampang topografi dengan penampang anomali Bouguer untuk densitas yang bervariasi.
8. Korelasi terkecil antara penampang topografi dengan penampang anomali Bouguer merupakan nilai densitas permukaan Bouguer.



Gambar 16. Grafik Korelasi Antara Sebaran Nilai Anomali Bouguer Dengan Ketinggian (Topografi) (Telford, 1990)

3.4.2. **Metode Parasnis**

Estimasi rapat massa metoda ini diturunkan dari anomali gayaberat dituliskan sebagai berikut :

BAnomali = Gobs – Glintang + FAC – GBouguer (28)

dimana suku terakhir bagian kanan adalah koreksi medan dengan c nilai koreksi medan sebelum dikalikan dengan rapat massa. Dari persamaan tersebut didapat :

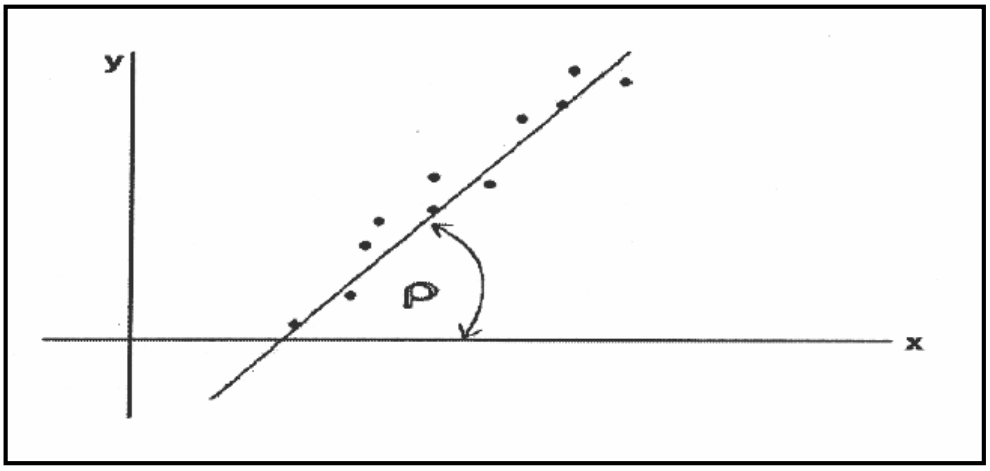
(Gobs – Glintang + FAC) = (GBouguer + Banomali)

(29)

FAA = ρ (0.04193 . *h*) + Banomali (30)

y = m x + C (31)

Dari persamaan tersebut, maka rapat massa **ρ** dapat diperoleh dari gradien garis garis lurus terbaik seperti diberikan pada **Gambar 14.** dimana Bouguer Anomali diasumsikan sebagai penyimpangan terhadap garis lurus tersebut.



Gambar 17. Grafik Yang Menunjukkan Hubungan Antara (Gobs – Glintang + 0.308765h) dan ρ(2πG*h)* (Telford, 1990)

Prosedur Penentuan Densitas Permukaan Bouguer Menggunakan Metode Parasnis :

1. Siapkan data gayaberat yang akan dihitung nilai densitasnya

2. Hitung nilai (Gobs – gR +0.3085h) dan asumsikan sebagai sumbu Y
3. Hitung nilai ((2$\pi\gamma h$))
4. Buatlah grafik hubungan antara (Gobs – gR +0.3085h) sebagai sumbu y dan ((2$\pi\gamma h$)) sebgai sumbu x
5. Hitung gradien dari grafik pada langkah no 4.
6. Nilai densitas permukaan merupakan gradien dari grafik tersebut.

3.5. Pemodelan Bawah Permukaan

3.5.1. Anomali Bouguer Lengkap

Anomali Bouguer adalah selisih antara harga gayaberat pengamatan (Gobs) dengan harga gayaberat teoritis (GN) yang didefinisikan pada titik pengamatan bukan pada bidang referensi, baik elipsoid maupun muka laut rata-rata. **Anomali Bouguer Lengkap (ABL)** dinyatakan sebagai anomali udara bebas dikurangi dengan reduksi lempeng Bouguer dan reduksi Terrain yang dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut :

$$\Delta g(x,y,z) = g_{obs} - \left(g_{(\varphi)} - FAC + BC - TC\right) \quad (32)$$

Anomali Bouguer dapat bernilai positif ataupun negatif. Nilai Anomali positif mengindikasikan adanya kontras densitas yang besar pada lapisan bawah permukaan biasanya ditemukan pada survey di dasar samudera. Anomali negatif menggambarkan perbedaan densitas yang kecil dan pada umumnya didapat pada saat survey gayaberat di darat. Peta Anomali ABL lazim digunakan untuk eksplorasi sumber daya alam seperti cebakan mineral ekonomis, eksplorasi minyak dan gas bumi dalam rangka

memperlajari tatanan mineralisasi, cekungan sedimenter dan juga untuk mempelajari geotektonik secara regional dan lain-lain.

Dari kontur anomali Bouguer dapat diketahui adanya anomali, namun masih merupakan gabungan dari anomali regional dan residual (lokal), sehingga anomali regional harus terlebih dahulu diketahui agar dapat menemukan anomali residualnya. Salah satu metode penentuan anomali regional adalah dengan metode *Trend Surface Analysis*. Target akhir dari metode gayaberat adalah mendapatkan anomali lokal untuk selanjutnya diinterpretasi.

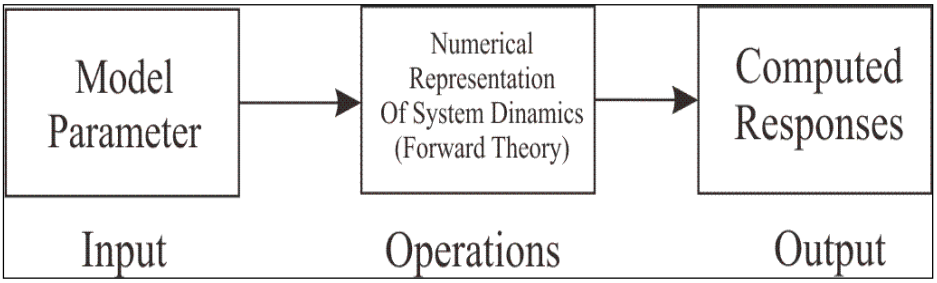
3.5.2. Pemodelan Gayaberat

Untuk mendapatkan pola struktur bawah permukaan dari data gayaberat, maka anomali Bouguer hasil pengukuran dan perhitungan harus dilakukan pemodelan baik dengan metode *forward modelling* atau *inversion modelling* sehingga akan diketahui distribusi densitas dan struktur di daerah penelitian. Selanjutnya berdasarkan distribusi densitas tersebut dilakukan interpretasi dengan menggabungkan data-data geologi yang ada didaerah tersebut sehingga akan diperoleh struktur bawah permukaan di daerah tersebut.

a. ***Forward Modelling***

Pemodelan ke depan (*Forward Modelling*) merupakan proses perhitungan data dari hasil teori yang akan teramati di permukaan bumi jika parameter model diketahui. Pada saat melakukan interpretasi, dicari model yang menghasilkan respon yang cocok dan fit dengan data pengamatan atau data lapangan. Sehingga diharapkan kondisi model itu bisa mewakili atau mendekati keadaan sebenarnya.

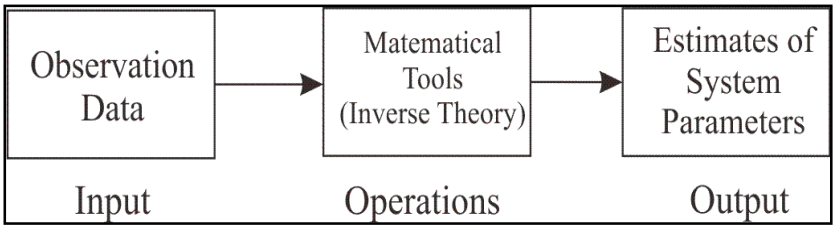
Seringkali istilah forward modelling digunakan untuk proses *trial* and *error*. *Trial* and *error* adalah proses coba-coba atau tebakan untuk memperoleh kesesuaian antara data teoritis dengan data lapangan. Diharapkan dari proses trial and error ini diperoleh model yang cocok responnya dengan data (Grandis, 2008).



Gambar 18. Proses pemodelan kedepan (*forward modelling*).

b. ***Inverse Modelling***

Inverse Modelling adalah pemodelan berkebalikan dengan pemodelan ke depan. Pemodelan inversi berjalan dengan cara suatu model dihasilkan langsung dari data. Pemodelan jenis ini sering disebut data *fitting* atau pencocokan data karena proses di dalamnya dicari parameter model yang menghasilkan respon yang cocok dengan data pengamatan. Diharapkan untuk respon model dan data pengamatan memiliki kesesuaian yang tinggi, dan ini akan menghasilkan model yang optimum (Supriyanto, 2007).



Gambar 19. Proses pemodelan inversi (*inverse modelling*).

3.6. Analisis Spektrum

Analisis spektrum dilakukan untuk mengestimasi lebar jendela (digunakan pada *moving average*) serta estimasi kedalaman anomali gayaberat. Analisis spektrum dilakukan dengan cara mentransformasi *Fourier* lintasan yang telah ditentukan pada peta kontur CBA.

Secara umum, suatu transformasi *Fourier* adalah menyusun kembali/mengurai suatu bentuk 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 di*display* seba*g*ai fun*g*si dari frekuensinya. Secara matematis hubun*g*an antara *g*elomban*g* s(t) yang akan diidentifikasi gelombang sinusnya *(input)* dan S(f) sebagai hasil transformasi *Fourier* diberikan oleh persamaan berikut :

$$S(f) = \int_{-\infty}^{\infty} s(t) e^{-j2\pi ft} dt \tag{33}$$

Dimana

$$j = \sqrt{-1} \tag{34}$$

Pada metoda gayaberat, spektrum diturunkan dari potensial gayaberat yang teramati pada suatu bidang horizontal dimana transformasi *Fourier*nya sebagai berikut (Blakely, 1996) :

$$F(U) = \gamma\, \mu\, F\left(\frac{1}{r}\right) \quad \text{dan} \quad F\left(\frac{1}{r}\right) = 2\pi \frac{e^{|k|\left(z_0 - z'\right)}}{|k|} \tag{35}$$

dimana, U = potensial gayaberat

μ = anomali rapat massa

γ = konstanta gayaberat r = jarak

sehin*gg*a persamaannya menjadi :

$$F(U) = 2\pi\gamma\mu\frac{e^{|k|(z_0 - z')}}{|k|} \tag{36}$$

Berdasarkan persamaan (43), Transformasi *Fourier* anomali *g*ayaberat yan*g* diamati pada bidan*g* horizontal diberikan oleh :

$$F(g_z) = \gamma\mu F\left(\frac{\partial}{\partial z}\frac{1}{r}\right) \tag{37}$$

$$= \gamma\mu\frac{\partial}{\partial z}F\left(\frac{1}{r}\right) \tag{38}$$

$$F(g_z) = 2\pi\gamma\mu e^{|k|(z_0 - z')} \tag{39}$$

dimana g_z = anomali *g*ayaberat z_0 = ketin*gg*ian titik amat

k = bilan*g*an *g*elomban*g* z' = kedalaman benda anomali

Jika distribusi rapat massa bersifat random dan tidak ada korelasi antara masin*g*-masin*g* nilai gayaberat, maka μ = 1, sehin*gg*a hasil transformasi *Fourier* anomali gayaberat menjadi :

$$A = C\, e^{|k|(z_0 - z')} \tag{40}$$

dimana A = amplitudo,

C = konstanta

Estimasi lebar jendela dilakukan untuk menentukan lebar jendela yang akan digunakan untuk memisahkan data regional dan residual. Untuk mendapatkan estimasi lebar jendela yang optimal dilakukan dengan cara menghitung logaritma spektrum amplitudo yang dihasilkan dari transformasi *Fourier* pada persamaan (43) sehingga memberikan hasil persamaan garis lurus. Komponen k menjadi berbanding lurus dengan spektrum amplitudo.

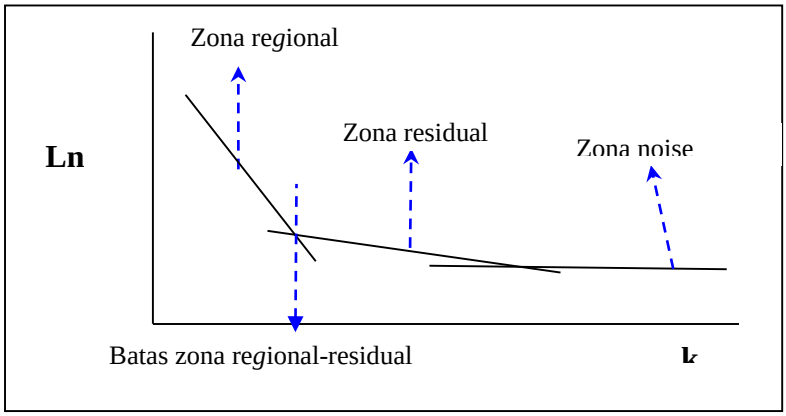
$$Ln\ A = (z_0 - z')|k| \tag{41}$$

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

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} \tag{42}$$

$$\lambda = (N-1)\Delta x \tag{43}$$

dimana N = lebar jendela, maka didapatkan nilai estimasi lebar jendela.



Gambar 20. Kurva Ln A terhadap k (Sarkowi, 2011)

Untuk estimasi kedalaman didapatkan dari nilai *g*radien persamaan *g*aris lurus dari masin*g*-masin*g* zona.

3.7. Pemisahan Anomali Regional Dan Residual

Proses pemisahan anomali regional dilakukan dengan metode filter frekuensi dengan mengaplikasikan operasi transformasi Fourier. *Filtering* dilakukan dengan metransformasi data spasial ke data frekuensi menggunakan Transformasi Fourier, membuang komponen-komponen frekuensi tertentu dan melakukan inversi ke dalam data spasial (Telford dkk., 1990) untuk kemudian ditampilkan dalam bentuk kontur-kontur anomali.

Pada prinsipnya metode filter frekuensi atau panjang gelombang merupakan filter yang digunakan dalam proses pemisahan anomali regional-residual berdasarkan kelompok frekuensi atau panjang gelombang tertentu. Jenis-jenis filter frekuensi/panjang gelombang diantaranya:

1. *Lowpass filter* merupakan filter frekuensi yang membuang frekuensi atau bilangan gelombang tinggi dan menampilkan anomali dengan frekuensi atau bilangan gelombang rendah yang berasosiasi dengan anomali regional.
2. *Highpass filter* merupakan filter frekuensi yang membuang frekuensi atau bilangan gelombang rendah dana menampilkan anomali dengan frekuensi atau bilangan gelombnag tinggi yang berasosiasi dengan anomali residual.
3. *Bandpass filter* merupakan filter frekuensi yang digunakan untuk membuang frekuensi-frekuensi atau bilangan gelombang pada *range* tertentu sesuai dengan kebutuhan saat pengolahan data.

3.8. Metode *Moving Average*

Anomali Bouguer merupakan suatu nilai anomali gayaberat 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. Proses ini bertujuan untuk memisahkan antara anomali residual dengan anomali regional yang terdapat pada anomali Bouguer. Selain itu, hasil pemisahan anomali regional dan residual berguna sebagai bahan untuk interpretasi kualitatif tentang kondisi bawah permukaan sebelum melakukan pembuatan model struktur bawah permukaan (interpretasi kuantitatif).

Moving average window filter merupakan suatu metode atau teknik pemisahan yang jika dianalisis dari spektrumnya akan menyerupai *low pass filter* sehingga *output* dari proses ini adalah frekuensi rendah dari anomali Bouguer yang akan merepresentasikan kedalaman yang lebih dalam (regional). Karena frekuensi rendah ini mempunyai penetrasi yang lebih dalam. Selanjutnya anomali residual didapatkan dengan cara mengurangkan anomali regional dari anomali Bouguernya. Persamaan *moving average* untuk lebar window N N adalah:

$$\Delta g_{regional}\left(\frac{N+1}{2},\frac{N+1}{2}\right)=\sum_{i=1}^{N}\sum_{j}^{N}\frac{\Delta g(i,j)}{N^2} \tag{44}$$

Untuk anomali residualnya adalah :

$$\Delta g_{residual}(i.j)=\Delta g(i,j)-\Delta g_{regional}(i,j) \tag{45}$$

Dan untuk estimasi lebar jendelanya didapatkan dari

$$n=\frac{2\pi}{\Delta s.k_{cut-off}} \tag{46}$$

Dimana :

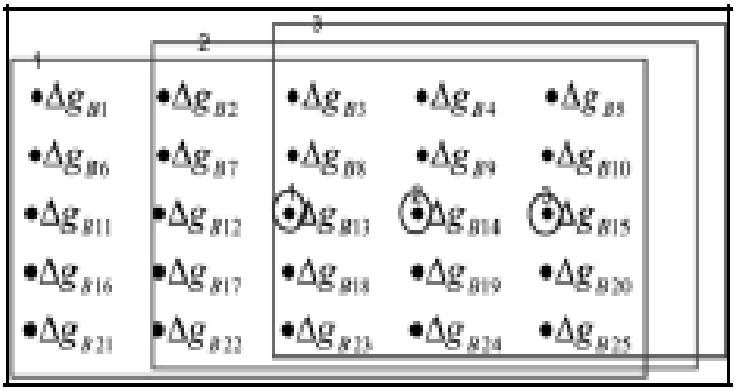
Δs = *grid* spasi

$k_{cut-off}$ = frekuensi cut off regional dan residual

Penerapannya pada peta 2D dimana harga pada suatu titik dapat dihitung dengan merata-ratakan semua nilai di dalam sebuah kotak persegi dengan titik pusat adalah titik yang akan dihitung harga (Robinson, 1988). Contoh penerapannya dengan jendela 5x5 pada data 2D sesuai dengan persamaan (47) berikut:

(47)

$$\Delta g_R = \frac{1}{25}\left[(\Delta g_{B1}) + (\Delta g_{B2}) + \cdots + (\Delta g_{25})\right]$$



Gambar 21. Sketsa *moving average* 2-D jendela 5x5 (Robinson, 1988).

3.9. *Second Vertical Derivative (SVD)*

Second Vertical Derivative (SVD) bersifat sebagai *High Pass Filter* sehingga dapat menggambarkan anomali residual yang berasosiasi dengan struktur dangkal yang dapat digunakan untuk mengidentifikasi jenis patahan turun atau patahan naik.

Perhitungan SVD diturunkan langsung dari persamaan *Laplace* untuk anomali gayaberat di permukaan, yang dituliskan dalam persamaan:

$$\nabla^2 g = 0 \qquad (48)$$

Atau

(49)

$$\frac{\partial^2 g}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 g}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 g}{\partial z^2} = 0$$

Sehingga SVD diberikan oleh persamaan:

$$\frac{\partial^2 g}{\partial z^2} = -\frac{\partial^2 g}{\partial x^2} - \frac{\partial^2 g}{\partial y^2} \quad (50)$$

SVD dari suatu anomali gayaberat permukaan adalah sama dengan negatif dari *Second Horizontal Derivative* (SHD). Anomali yang disebabkan oleh struktur cekungan mempunyai nilai harga mutlak minimal SVD selalu lebih besar daripada harga maksimalnya. Sedangkan anomali yang disebabkan struktur intrusi berlaku sebaliknya, harga mutlak minimalnya lebih kecil dari harga maksimalnya.

Menurut Reynolds (1998), kriteria untuk menentukan jenis struktur patahan dapat dijabarkan sebagai berikut:

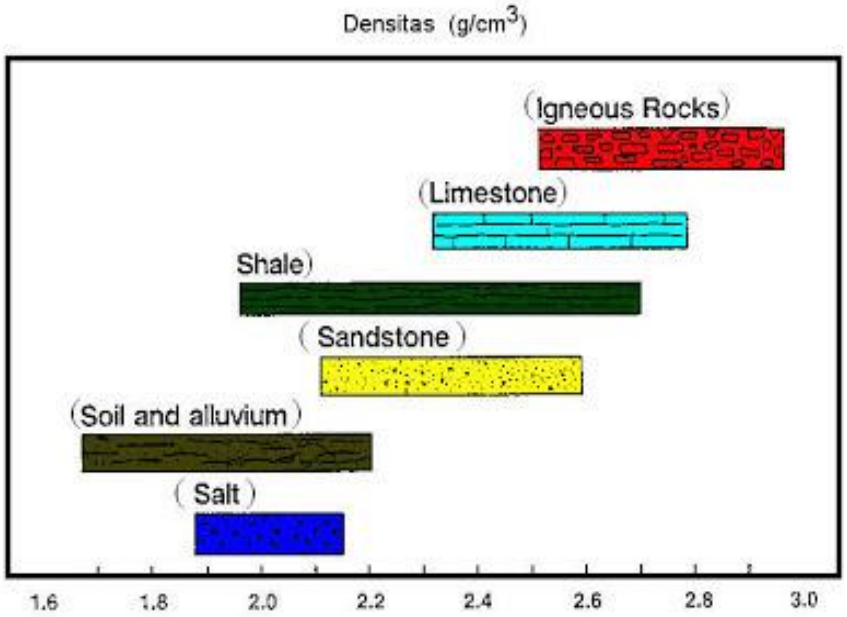
$\left(\frac{\partial^2 \Delta g}{\partial z^2}\right)_{maks} > \left|\left(\frac{\partial^2 \Delta g}{\partial z^2}\right)\right|_{min}$ untuk patahan normal

$\left(\frac{\partial^2 \Delta g}{\partial z^2}\right)_{maks} < \left|\left(\frac{\partial^2 \Delta g}{\partial z^2}\right)\right|_{min}$ untuk patahan naik

Prinsip dasar teknik perhitungan dari metode ini telah dijelaskan oleh *Henderson dan Zietz* (1949), *Elkins* (1951), dan *Rosenbach* (1953). Pada data gayaberat, nilai anomali akan mengalami perubahan secara vertikal yang diakibatkan oleh adanya efek distribusi massa yang tidak merata secara vertikal sehingga turunan keduanya akan memperlihatkan besar efek gayaberat dari struktur-struktur yang lebih luas dan dengan letak yang lebih dalam. Oleh karena itu, struktur-struktur kecil/lokal dan sama-samar dapat diperjelas keberadaannya atau lebih dipertajam bentuk kurvanya dibandingkan struktur-struktur regional yang lebih melebar bentuknya.

3.10. Densitas batuan

Densitas adalah massa batuan per unit volume. Berikut kisaran densitas meterial bumi:



Gambar 22. Contoh Jenis-Jenis Batuan

Densitas (Kepadatan batuan) dalam tabel di bawah ini dinyatakan sebagai berat jenis, yang adalah densitas dari batuan relatif terhadap kepadatan air. Itu tidak aneh karena dapat berpikir, karena itu densitas air adalah 1 gram per sentimeter kubik atau 1 g/cm^3. Jadi angka-angka ini diterjemahkan langsung ke g/cm^3, atau ton per meter kubik (t/m^3). Seperti yang Anda lihat, batu dari jenis yang sama dapat memiliki kepadatan apapun dalam berbagai kepadatan, karena mereka dapat berisi proporsi yang berbeda mineral dan void.

Densitas sangat sensitif terhadap mineral yang membentuk jenis batu tertentu. Batuan sedimen (dan granit), yang kaya akan kuarsa dan felspar, cenderung kurang

padat dari batuan volkanik. Dan jika Anda tahu petrologi batuan beku, Anda akan melihat bahwa batu lebih mafik adalah, semakin besar kerapatannya.

Tabel 1. Nilai Densitas Batuan

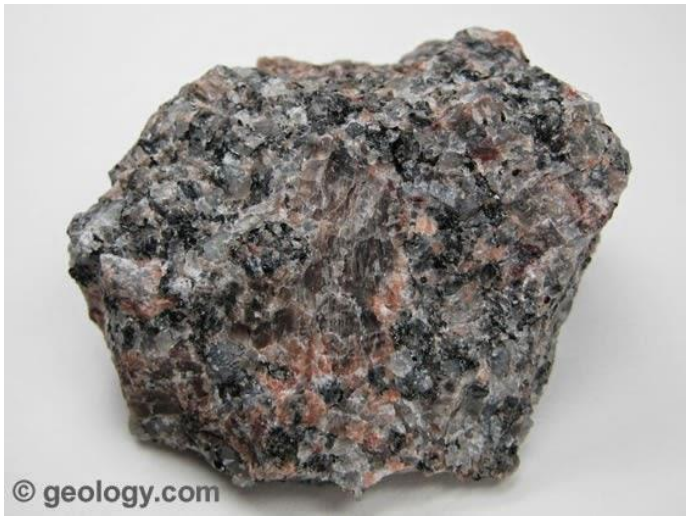
Nama Batuan	Densitas $gram/cc$
Andesit	2.5 - 2.8
Basal	2.8 - 3.0
Batubara	1.1 - 1.4
Diabas	2.6 – 30
Diorit	2.8 - 3.0
Dolomit	2.8 - 2.9
Gabro	2.7 - 3.3
Gneiss	2.6 - 2.9
Granit	2.6 - 2.7
Gips	2.3 - 2.8
Batu Kapur	2.3 - 2.7
Marmer	2.4 - 2.7
Mika Sekis	2.5 - 2.9
Peridotit	3.1 - 3.4
Kuarsit	2.6 - 2.8
Riolit	2.4 - 2.6
Garam Batu	2.5 - 2.6
Batu Pasir	2.2 - 2.8
Serpih	2.4 - 2.8
Batu Tulis	2.7 - 2.8

3.11. Batuan Granit

3.10.1. Pengertian

Batuan Granit adalah salah satu jenis batuan beku yang memiliki warna cerah, butirannya kasar, tersusun dari mineral dominan berupa kuarsa dan feldspar, serta sedikit mineral mika dan amfibol. Menurut ilmu petrologi, granit didefinisikan sebagai batuan beku yang di dalamnya terkandung mineral kuarsa sebesar 10 – 50 persen dari kendungan total mineral felseik, serta mineral alkali feldspar sebanyak 65 – 90 persen dari jumlah seluruh mineral feldspar. Sedangkan dalam dunia industri, granit diartikan sebagai batuan yang butiran atau biji- bijiannya dapat dilihat dengan jelas dan mempunyai kepadatan yang lebih keras dari marmer.

Seperti yang telah disebutkan pada definisi, bahwa karakteristik dari batuan granit adalah memiliki butiran kasar dan berwarna cerah. Warna batuan granit meliputi warna merah, abu- abu, putih dan merah muda, dengan butiran warna gelap seperti hijau tua, coklat tua dan hitam. Warna tersebut diperoleh dari komposisi mineral yang terkandung dalam batuan granit. Karakteristik lain dari batuan granit yaitu bersifat asam, serta ukuran butiran kristalnya relatif sama dan besar. Tekstur butiran batuan granit disebut tekstur *phaneritic* yang tidak memiliki retakan dan lubang- lubang bekas pelepasan gas (*vasculer*). Batuan ini sangat masif (padat) dengan kepadatan rata- rata 2,75 gram per centimeter kubik dan kekuatan tekanan lebih dari 200 Mpa. Kepadatan tersebut memungkinkan batuan granit untuk tahan terhadap erosi dan abrasi, mampu menahan beban yang berat serta tahan terhadap pelapukan batuan

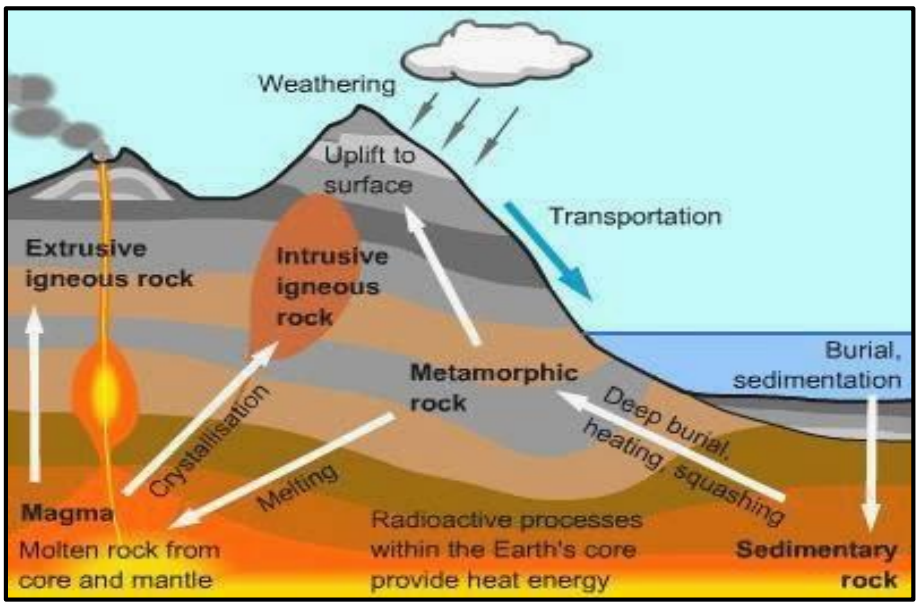


Gambar 23. Contoh Batuan Granit (Google.com)

3.10.2. Proses Terbentuknya Batuan

Batuan ganit termasuk kategori batuan beku intrusif, yaitu batuan beku yang terjadi akibat proses intrusi magma. Arti dari intrusi magma sendiri

adalah proses menerobosnya magma dari dalam perut bumi melalui celah-celah kerak bumi, tapi tidak sampai ke permukaan . Proses terbentuknya batuan granitmerupakan bagian dari proses pembentukan batuan beku, akan tetapi tidak sama dengan proses terbentuknya batuan sedimen maupun batuan metamorf. Berikut adalah uraian yang lebih jelas tentang proses terbentuknya batuan granit.



Gambar 24. Proses terjadinya pembentukan batuan

Proses pembentukan batuan granit diawali dari bergeraknya magma dari dapur magma. Setelah itu magma mendapat tekanan dari bawah. Magma yang bersifat lebih ringan dari batuan lain terus ditekan sehingga bergerak ke atas mendekati permukaan bumi. Pergerakan magma terhenti hanya sampai di bawah lapisan tanah karena tekanan yang diberikan terlalu kecil.

Magma yang berada di dalam lapisan kulit bumi lama kelamaan mengalami proses kristalisasi karena suhu di dekat permukaan bumi lebih rendah daripada suhu di dalam dapur magma. Setelah mengalami proses kristalisasi,

maka magma akan membeku dan menjadi batuan granit yang termasuk dalam jenis batuan beku.

3.10.3. Manfaat Batuan Granit

Sifat batuan granit yang keras dan kuat membuat batuan tersebut banyak dimanfaatkan dalam berbagai bidang. Masyarakat sering melakukan penambangan batu granit. Bahkan batu granit menjadi salah satu dari jenis jenis batuanyang paling sering dicari sebagai batuan dimensi, yaitu potongan batu alam berbentuk lembaran tebal atau balok dengan panjang dan lebar tertentu. Saat ini batuan granit dapat ditemukan dengan mudah oleh para penambang, padahal letaknya jauh di dalam kerak bumi. Hal tersebut menunjukkan bahwa lapisan bumi terutama lapisan batuan sedimen sudah mengalami pengikisan yang parah.

Batuan granit diketahui mempunyai kualitas yang lebih baik dibandingkan batuan lain seperti pasir dan marmer. Sifat asam dari batuan granit membuat batuan ini tahan terhadap hujan asam sehingga banyak dimanfaatkan dalam bidang kontruksi.

1. **Sebagai acuan alat ukur**

Batuan granit bersifat kaku, non-higroskopis, kedap air dan memiliki koefisien termal yang rendah. Sifat- sifat tersebut membuat batuan ini dicari untuk dijadikan bidang acuan dalam pembuatan alat pengukur. Contoh implikasinya adalah sebagai bidang acuan pada alat pengukur koordinat (*coordinate measuring machine*).

2. **Sebagai interior bangunan**

Manfaat kedua dari batu granit yaitu sebagai bahan dasar interior bangunan. Warna batu granit yang terang dapat memperindah interior bangunan. Setelah diasah dan

dihaluskan, batuan granit lembaran dapat dipotong- potong dan dijadikan ubin dengan warna- warna yang alami. Pada umumnya ubin tersebut digunakan untuk ubin lantai, anak tangga maupun dinding berbagai ruangan seperti kamar mandi dan dapur.

3. **Sebagai eksterior bangunan**

Manfaat ketiga dari batuan granit yaitu sebagai bahan dasar eksterior bangunan. Jenis batuan ini dapat dijadikan paving dan bahan dasar konstruksi bangunan seperti monumen, jembatan dan gedung- gedung perkantoran. Selain itu, batuan granit yang dihancurkan dapat dimanfaatkan sebagai agregat dalam pembangunan rel kereta api dan jalan raya.

4. **Sebagai media panjat tebing**

Bongkahan batuan granit yang masih berada di alam dapat dimanfaatkan sebagai media panjat tebing. Contoh lokasi batuan granit alami yang digunakan untuk *wall climbing* adalah *Mont Blanc Massif* di Pegunungan Alpen Barat

BAB IV
METODOLOGI PENELITIAN

4.1. Lokasi dan Waktu Pelaksanaan Penelitian

Penelitian ini telah dilaksanakan pada bulan Maret 2017 sampai bulan September 2017 di Laboraturium Jurusan Teknik Geofisika Fakultas Teknik Universitas Lampung, Jln. Sumantri Brojonegoro No.1 Bandar Lampung. Jadwal kegiatan dapat dilihat pada tabel berikut ini :

Tabel 2. Jadwal Kegiatan

JADWAL KEGIATAN																							
Kegiatan	BULAN																						
	1				2				3				4				5				6		
Studi Literatur																							
Pengolahan Data																							
Presentasi Usul																							
Pemodelan 3D																							
Presentasi Hasil																							

4.2. Alat dan Bahan

Adapun alat dan bahan yang digunakan selama penelitian adalah sebagai berikut :

1. Data *Microgravity*
2. Laptop
3. *Software Micrograv3D*

4. *Software* Surfer
5. *Software Numeri*
6. *Software Microsoft Excel*
7. Peta Geologi Daerah Penelitian

4.3. Prosedur Penelitian

Pada penelitian kali ini penulis memperoleh data *microgravity*. Dari lapangan, data yang diperoleh telah terdapat nilai UTM X, UTM Y, elevasi dan nilai G observasi. Kemudian dari dari data yang ada dilakukan perhitungan koreksi dan reduksi untuk mencari nilai anomali Bouguer-nya. Nilai dari anomali Bouguer ini dapat digunakan untuk pengolahan data selanjutnya. Setelah diperoleh nilai dari anomali Bouguer, proses selanjutnya dilakukan dengan menggunakan *software Surfer*. Nilai data yang telah terkoreksi kemudian dilakukan proses *gridding* data untuk memperoleh peta kontur elevasi, G observasi dan CBA. Jika peta kontur elevasi dan G observasi berkebalikan maka data dianggap benar. Perbandingan peta kontur ketinggian dan G observasi dilakukan sebagai QC data.

Kemudian pada peta CBA dilakukan digitasi dengan membuat 3 lintasan. Setelah diperoleh hasil digitasi, dilakukan proses *slice* pada setiap lintasan. Nilai *slice* CBA tersebut kemudian diproses dengan menggunakan *software* numeri untuk mengetahui lebar jendela yang akan digunakan pada filter *moving average*. Proses ini biasanya dikenal dengan Analisis Spektrum.

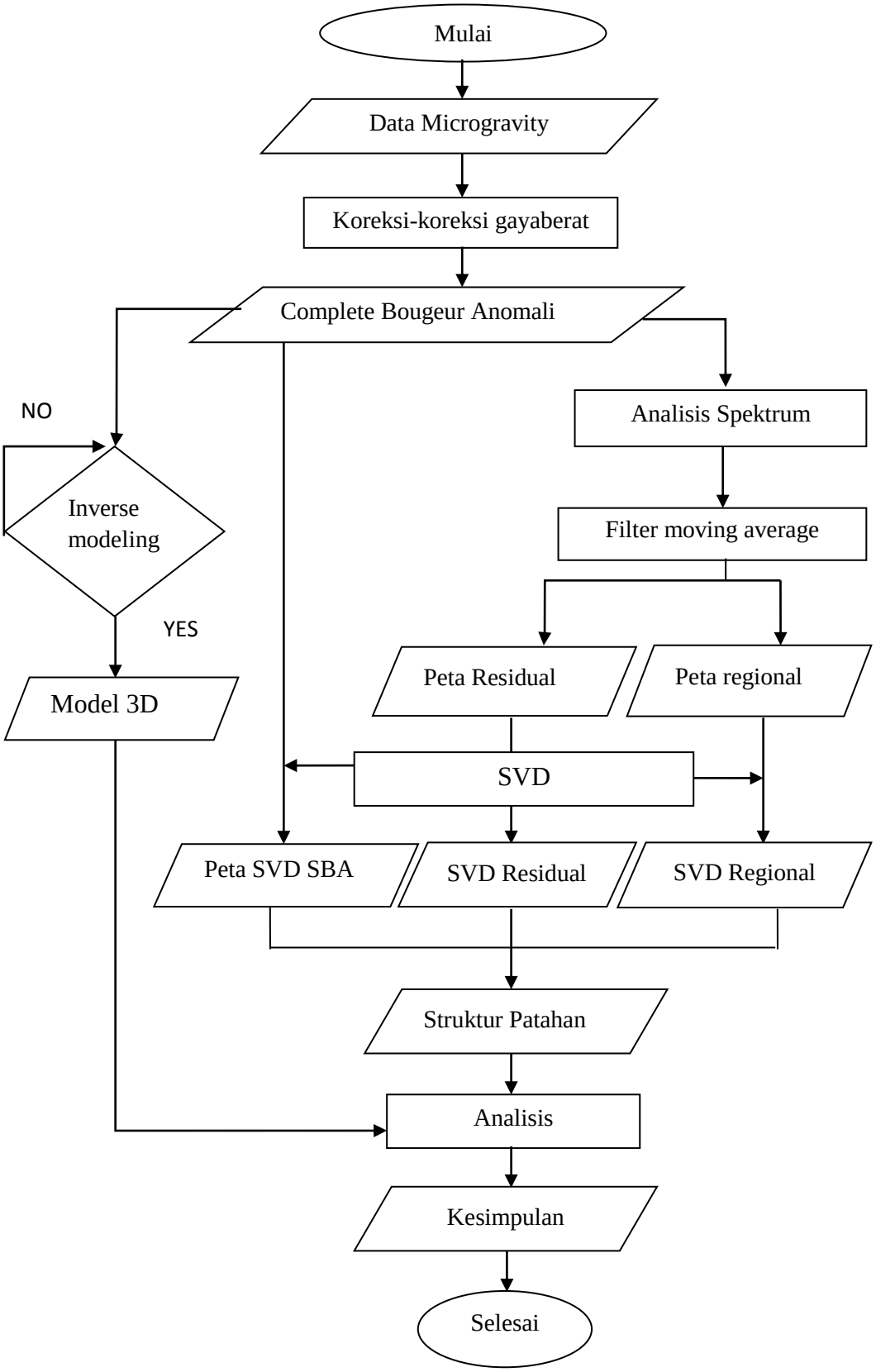
Pada tahap selanjutnya kita akan membuat peta kontur anomali regional dengan menggunakan filter *moving average*. Pada filter *moving average* ini dimasukan nilai lebar jendela dari hasil perhitungan numeri pada tahap sebelumnya. Setelah kita memperoleh nilai regional, kemudian kita dapat mencari anomali residual dengan perhitungan nilai anomali Bouguer lengkap dikurang nilai anomali regional. Setelah diperoleh nilai regional dan residual, dilakukan pembuatan peta kontur regional dan peta kontur residual.

Pada tahapan selanjutnya dilakukan analisis *Second Vertical Derivative* (SVD) untuk menentukan batas- batas struktur yang ada pada daerah penelitian. Analisis *Second Vertical Derivative* (SVD) dilakukan dengan menggunakan metode Elkins yang diterapkan pada peta anomali Bouguer dan peta anomali residualnya.

Kemudian dilakukan pemodelan 3D anomali Bouguer untuk melihat lebih jelas struktur bawah permukaan dari daerah penelitian berupa sebaran densitasnya. Untuk pemodelan 3D dilakukan dengan menggunakan *software* Grav3D, dengan input data *mesh* dan data anomali Bouguer beserta topografinya untuk menghasilkan model 3D dari daerah penelitian yang mendekati model yang sebenarnya.

4.4. Diagram Alir

Adapun diagram alir dari penelitian adalah sebagai berikut :



Gambar 25. Diagram Alir Penelitian

BAB VI
KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Analisis data dari anomali bouguer menunjukkan hasil sebagai berikut:
    a. Sebaran anomali terekonstruktsi dari peta Anomali Gayaberat mempunyai nilai sekitar 153,8 – 155,8 mGall. Nilai anomali tinggi terdapat pada daerah Utara dan Timur Laut, serta nilai anomali rendah terdapat pada daerah Selatan.
    b. Anomali tinggi pada data gayaberat (Anomali Bouguer) terdapat pada rentang 155,1 – 155,8 mgal. Nilai anomali yang tinggi pada data anomali bouguer diasumsikan sebagai daerah terdapatnya batuan granit.
2. Analisis kualitatif pada analisa spektrum batas regional dan residual kisaran 75 m dan 5 m.
3. Analisa kuantitaif model 3D Anomali Bouguer, menunjukan bahwa keberadaan batuan granit berada pada ketinggian 7 meter di atas permukaan laut atau sekitar 40 - 50 m dari titik pengukuran yang tertutup oleh endapan Alluvial dengan volume kisaran 326.160 m^3.

4. Analisa kuantitatif model 3D Anoali Residual, menunjukan bahwa batuan granit berada pada kedalaman ± 5 m dan sebagian tersingkap ke permukaan.
5. Analisis *Second Vertical Derivative* menunjukan bahwa nilai nol pada peta kontur SVD merupakan patahan batuan yang menjadi batas antara batuan target dengan batuan disekitarnya.

B. Saran

Berdasarkan pada hasil penelitian yang telah dilakukan, informasi yang diperoleh masih bersifat umum dan luasan daerah penelitian tidak terlalu luas, Sehingga perlu dilakukan penelitian lanjutan dengan jumlah sebaran data yang lebih rapat dan luas agar kontars anomali yang diperoleh lebih jelas sehingga tingkat ambiguitas yang tinggi dalam penelitian ini dapat diminimalisir, serta dapat melihat kemenerusan dari persebaran batuan granit tersebut. Pemetaan geologi lembar Ternate ini pun perlu dilakukan pembaharuan data, sehingga akurasi pemetaan geologi pun lebih akurat dalam menentukan batas-batas batuan yang ada.

DAFTAR PUSTAKA

Alaudin, 2015. *Geologi Regional Halmahera*. Diunduh pada tanggal 13 oktober 2015.

Apandi T. dan Sudana D., 1980, *Geologi Lembar Ternate, Maluku Utara Skala 1:250.000*, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.

Blakely, R.J., 1996. *Potential Theory in Gravity and Magnetic Applications.* Cambridge university Press, Cambridge.

Caffrey, R. M. dan Silver, E. A. (1980): Crustal structure of the Molucca Sea collision zone Indonesia, *Geophysical Monograph The Tectonic and Geological Evolution of Southeast Asian Seas and Island*, **23**, 161-177.

Citra. 2016. *http://ilmugeografi.com/geologi/batuan-granit.* Diunduh pada tanggal 18 November

Darman, H. dan Hasan, S. F. (2000): *An Outline of The Geology Indonesia,* Indonesian Association of Geologist.

Grandis, H.. 2008. *Pemodelan Inversi Geofisika. Badan Meteorologi dan Geofisika* : Jakarta.

Hall, R., Audley, M.G., Banner, F.T., Hidayat, S., dan Tobing, S.L. (1988): Late Paleogene–Quaternary geology of Halmahera, Eastern Indonesia: Initiation of a volcanic island arc, *Journal of the Geological Society,* **48**, 577-590.

Hall, R. (1999): Neogene history of collision in the Halmahera region, Indonesia, *Proc. 27th Ann. Conv. Indonesian Petrol. Assoc., G014*, hal. 8.

Hall, R. dan Wilson, M.E.J. 2000 : Neogene sutures in Eastern Indonesia, *Jurnal of Asian Earth Sciences*, 1**8,** 781-808.

Hamilton, W., 1979. *Tectonic of Indonesia Region*. U.S. Geol. Survey Prof. Papper 1078.

Hidayat, R. 2016. *Pemetaan dan Estimasi volume Batuan Granit Menggunakan Data Anomali Gayaberat dan Magnetik Daerah Lampung Bagian Timur*. Universitas Lampung. Lampung

Katili dan Tjia HD, 1980 *Geotectonic of Indonesia, a modern view*, Department of Geology, Bandung Institute of Technology, Bandung

Lewerissa, R., 2013. *Pemodelan 3D Struktur Bawah Permukaan Bumi Berdasarkan analisis data Gravitasi.*. Universitas Gajah Mada. Yogyakarta.

Malcolm G. Baillie and Gregory C. Cock, 2000, *Weda Bay Laterite Project*, Indonesia, PT Weda Bay Nickel.

Robinson, E., and Coruh, C., 1988. *Basic Exploration Geophysics*. Wiley and Sons.

Sarkowi, M. 2009. *Modul Praktikum Metode Gaya Berat*. Bandar Lampung : Universitas Lampung.

Sarkowi, M. 2011. *Diktat Kuliah : Metode Ekplorasi Gayaberat*. Bandar Lampung : FT Universitas Lampung

Supriatna, S., 1980*, Geologi Lembar Morotai, Maluku Utara Skala 1:250.000*, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.

Satsuma A.1975*, Geology and Ore Deposits of Oeboelie-Gebe Island*, Indonesia Sukirno Djaswadi, 1995, *Eksplorasi Mineral Logam di Maluku Utara*, Direktorat Sumberdaya Mineral, Bandung.

Sutiono T., Eko P.S., dan Lukman E., Buli Lateritic Nickel Deposits, *Halmahera : Prospecting to Reserves Estimation*, unpublished paper.

Tanjung, R. 2015. *Analisis Dan Pemodelan Struktur Bawah Permukaan Berdasarkan Data Anomali Gayaberat Daerah Danau Toba Provinsi Sumatera Utara*. Universitas Lampung.

Telford, W.M. Geldart, L.P. Sherrif, R.E. 1990. *Applied Geophysics*. USA : Cambridge University

Van B.R.W., 1949, *The Geology of Indonesia. Vol. IA, 1st Edition. Govt.Printing office*, The Hague, pp 104136.

Weda Bay Nickel PT.,2006, *Fourth Quarterly Report* (October 1- December 31, 2006 Exploration Period