

ANALISIS GEOFISIKA MENGGUNAKAN DATA GRAVITASI DALAM
PENENTUAN STRUKTUR KARST BAWAH PERMUKAAN PADA DAERAH
MALIM NAWAR, PERAK, MALAYSIA

TUGAS AKHIR

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Meraih Gelar Sarjana
Pada Jurusan Teknik Geologi Fakultas Teknik
Universitas Islam Riau
Pekanbaru



Oleh :

Sri Ary Sayekti
143610129

**PROGRAM STUDI TEKNIK GEOLOGI
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS ISLAM RIAU
PEKANBARU
2019**

UCAPAN TERIMAKASIH

Karya tulis skripsi ini saya persembahkan untuk semua pihak yang telah membantu baik moril ataupun materil. Dengan segala ucapan terimakasih dari dalam lubuk hati penulis kepada :

1. Bapak Sagiman Soebroto dan ibu Suyati selaku orang tua penulis yang telah memberikan doa,dukungan dan semangat yang tidak terkira serta terbalaskan sepanjang masa. Pak dan mak terimakasih atas seluruh dukungan dan untaian doa sehingga anakmu dapat menyelesaikan kewajiban gelar ST yang diinginkan. Ucapan terimakasih juga penulis ucapkan untuk Mbah putri Sogiyem, ke tujuh saudara Mbak Sri Hastuti, Mbak Sri Satiti, Mbak Sri mulyani, Kang Agus Suprayitno, Dek Gunawan Santoso, Dek Saputra Dan Dek Sri Saputri. Serta, Almarhumah Budhe Badyun yang selalu menyemangati dan memberikan kekuatan, terimakasih budhe.
2. Bapak Ir.H.Abdul Kudus Zaini, MT selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Islam Riau.
3. Ibu Dr Kurnia Hastuti, ST.,MT selaku Wakil Dekan I Fakultas Teknik, Universitas Islam Riau.
4. Ibu Yuniarti Yuskar, ST.,MT selaku Kepala Program Studi Teknik Geologi Bumi Lancing Kuning, Universitas Islam Riau.
5. Kepada pembimbing I bapak Adi Suryadi B.Sc. (Hons)., M.Sc dan pembimbing II bapak Dewandra Bagus Eka Putra B.Sc. (Hons)., M.Sc yang telah bersabar membimbing dan memberikan arahan serta motivasinya kepada penulis.
6. Pak Bat yang sudah bersedia membantu dan mengarahkan penulis sehingga skripsi ini dapat diselesaikan tepat pada waktunya.
7. Bapak Tiggi Choanji, ST., MT selaku pembimbing Pemetaan Geologi Pendahuluan yang bersedia dengan sabar mengajari penulis.
8. Ibu Catur Cahyaningsih B.Sc. (Hons)., M.Sc selaku pembimbing Pemetaan Geologi Lanjut yang bersedia dengan tabah menghadapi sikap anomali penulis.

9. Staf Dosen Pengajar Program Studi Teknik Geologi bapak dan ibu dosen yang telah memberikan ilmunya dengan ikhlas.
10. Staf Tata Usaha Fakultas Teknik atas pelayanan administrasi.
11. Terimakasih penulis juga ucapkan kepada bang Bayu Harpani yang sudah banyak membantu penulis dalam penyelesaian tugas akhir.
12. Teman – teman geng pemetaan pendahuluan Talago Gunung AA(Agus Hendrianto), Agil Dwi P, Rehan Addisyafri, Kudil(Fadillah Octavri), Virnando Kolungga.
13. Pasukan Sijunjung Atika Wulandari, Sandy Masdrianto, M.Rismadi, Rudi Hermawan, Virnando Kolungga, Firman Suhaindra.
14. Teman tim tugas akhir Geofisika Anzas latief Ritonga dan Nadya Wulandari yang memberikan arahan dan ajarannya.
15. Teman Sejawat Nadya Wulandari, Ledy Redy Afri dan Widya Puspa D.H.
16. Terimakasih Juga penulis ucapkan untuk penghuni kontrakan hijau dan Kontrakan biru.
17. Teman dan sahabat PMR Wira SMANDUTA Putri Y, Melisa Situmorang, Irvan Habib, Yanda S, Fajar Kurniawan.
18. Terimakasih kepada teman – teman Geo'14 semoga kita tetap kompak. Sakit satu sakit semua, senang satu senang semua semoga kita tidak pernah melupakan ataupun terlupakan.
19. Kepada yang selalu memberikan motivasi kak Rydho Irawan.

SARI

Malim Nawar berada di daerah Perak, Malaysia yang terletak pada koordinat $101^{\circ}7'48''$ - $101^{\circ}6'11''$ Bujur barat dan $4^{\circ}20'26''$ - $4^{\circ}19'21''$ Lintang utara. Daerah penelitian berada di kawasan karst yang merupakan lokasi padat penduduk dan fasilitas umum yaitu jalan raya. Tujuan dari penelitian adalah mendapatkan nilai anomali Bouguer lengkap, anomali regional dan anomali residual untuk penentuan struktur karst bawah permukaan daerah penelitian. Metode yang digunakan dalam penelitian adalah metode gravitasi. Nilai anomali bouguer Lengkap (ABL) daerah penelitian adalah -34.96 mGal – 85.79 mGal, nilai anomali regional adalah 7.08 mGal – 32.42 mGal dan nilai anomali residual adalah -59.45 mGal – 57.41 mGal. Struktur karst bawah permukaan di daerah penelitian berarah timurlaut – baratdaya berupa lubang runtuh terkubur. Batas kedalaman anomali regional sebesar ± 266.6 m dan anomali residual sebesar ± 90.9 m berdasarkan analisa spektrum. Sebaran nilai densitas di bawah permukaan daerah penelitian berkisar antara 1.9 gr/cm^3 – 2.4 gr/cm^3 diinterpretasikan sebagai endapan sedimen berupa pasir lempungan dan 2.4 gr/cm^3 – 2.6 gr/cm^3 diinterpretasikan sebagai litologi batugamping.

Kata kunci : Gravitasi, Anomali Bouguer, Struktur Karst Bawah Permukaan, Lubang runtuh, dan Malim Nawar.

ABSTRACT

Malim Nawar is in the Perak area, Malaysia which is located in the coordinates longitude $101^{\circ}7'48''$ - $101^{\circ}6'11''$ West and latitude $4^{\circ}20'26''$ - $4^{\circ}19'21''$ North. The research area is in the karst area which is a densely populated location and public facilities, namely the highway. The purpose of the study was to obtain complete Bouguer anomaly, regional anomaly and residual anomaly for the determination of subsurface karst structures in the study area. The method used in research is the gravity method. The complete Bouguer anomaly (ABL) value of the study area was -34.96 mGal - 85.79 mGal, the regional anomaly value was 7.08 mGal - 32.42 mGal and the residual anomaly value was -59.45 mGal - 57.41 mGal. The subsurface karst structure in the study area is northeast-southwest in the form of a buried sinkhole. The regional anomaly depth limit is ± 266.6 m and the residual anomaly is ± 90.9 m based on spectrum analysis. The distribution of subsurface density values of the study area ranged from 1.9 gr / cm³ - 2.4 gr / cm³ interpreted as sediment deposits in the form of clay sand and 2.4 gr / cm³ - 2.6 gr / cm³ interpreted as limestone lithology.

Keywords : Gravity, Bouguer Anomaly, Subsurface Karst Structure, Sinkhole, and Malim Nawar.

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah,puji dan syukur penulis ucapkan kehadiran Allah SWT,sebagai penguasa alam sejati yang telah memberi sentuhan indah dan mengilhami dalam setiap langkah nadi jiwa bersama nikmat dan karunia-Nya yang tidak ternilai,sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “Analisis Geofisika Menggunakan Data Gravitasi Dalam Penentuan Struktur Karst Bawah Permukaan Pada Daerah Malim Nawar, Perak, Malaysia”.

Terimakasih penulis ucapkan kepada semua pihak yang telah membantu baik moril maupun materil hingga selesainya skripsi ini. Serta terimakasih kepada prodi Teknik geologi Universitas Islam Riau yang sudah memberikan arahan dan motivasi.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan skripsi ini masih terdapat kekurangan dan kesalahan. Untuk itu penulis mengharapkan saran dan kritik yang bersifat membangun,demi kesempurnaan skripsi ini.

Pekanbaru, Maret 2019

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN PENELITIAN.....	i
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI PENELITIAN UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS.....	ii
UCAPAN TERIMAKASIH.....	iii
SARI.....	v
ABSTRACT.....	vi
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR TABEL.....	xii
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Maksud dan Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Manfaat Penelitian.....	2
1.5 Batasan Masalah.....	2
1.6 Geografi Umum.....	2
1.7 Waktu Penelitian.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Dasar Teori.....	5
2.1.1 Metode Gravitasi.....	5
2.1.2 Reduksi Gravitasi (Koreksi Metode Gravitasi).....	7
2.1.3 Total Anomali Bouguer.....	12
2.2 Geologi Regional Umum dan Daerah Penelitian.....	12
2.2.1 Geologi Regional Umum Daerah Malim Nawar.....	13
2.2.2 Geologi Regional Daerah Malim Nawar.....	14

2.2.3 Struktur Karst pada Batugamping	15
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	19
3.1 Objek Penelitian	19
3.2 Waktu dan Tempat Penelitian	19
3.3 Peralatan Penelitian	19
3.4 Metode Penelitian	19
3.4.1 Metode Gravitasi	20
3.4.2 Metode Nettleton	21
3.5 Tahapan Penelitian	21
3.5.1 Menghitung Nilai Koreksi Drift	22
3.5.2 Menghitung Nilai Koreksi Udara Bebas	22
3.5.3 Menghitung Nilai Koreksi Bouger	23
3.5.4 Menghitung Nilai Koreksi Lintang	25
3.5.5 Menghitung Nilai Koreksi Terrain	26
3.5.6 Menghitung Nilai Anomali Bouguer	28
3.6 Analisa Spektrum	28
3.7 Pemodelan Struktur Bawah Permukaan dengan GM-SYS 2D	29
3.8 Alur Penelitian	30
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	32
4.1 Ketersediaan data	32
4.2 Hasil Pengolahan Data	32
4.3 Analisa Interpretasi Kuantitatif Anomali gravitasi	45
4.4 Analisa Struktur Karst Bawah Permukaan Pada Daerah Penelitian	55
4.5 Analisa Spektrum	56
4.6 Interpretasi Kualitatif	57
BAB V KESIMPULAN	61
DAFTAR PUSTAKA	63

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1.1 Peta Wilayah Penelitian Malim Nawar, Perak, Negara Malaysia	3
2.1 Gaya Tarik Menarik antara dua benda m1 dan m2.....	5
2.2 Koreksi apungan (Reynolds,1997)	8
2.3 Perbedaan nilai gayaberat dikutub dan dikhatulistiwa (Sarkowi,2011)	8
2.4 Stasiun yang berada dekat dengan gunung (Reynolds, 1997).....	9
2.5 Stasiun yang berada dekat dengan lembah (Reynolds, 1997)	9
2.6 Hammer Chart (Reynolds,1997).....	10
2.7 Koreksi udara bebas terhadap data gayaberat (Zhou,dkk.,1990).....	11
2.8 Koreksi Bouguer (Zhou, dkk., 1990).....	12
2.9 Zona dari peninsular Malaysia.....	13
2.10 Peta Geologi daerah Penelitian.....	14
2.11 Jenis Sinkhole pada Struktur Karst.....	16
2.12 Tipe Klasifikasi Karst (Waltham,dkk 2003).....	17
3.1 Determinasi Nilai Density berdasarkan Metode Nettleton.....	21
3.2 Koreksi apungan (Reynolds,1997)	22
3.3 Koreksi udara bebas terhadap data gayaberat (Zhou,dkk.,1990).....	23
3.4 Koreksi Bouguer (Zhou, dkk., 1990).....	25
3.5 Perbedaan nilai gayaberat dikutub dan dikhatulistiwa (Sarkowi,2011)	25
3.6 Hammer Chart (Reynolds,1997).....	27
3.7 Grafik Hubungan Antara Amplitudo dan bilangan gelombang pada analisa Spektrum (Sarkowi, 2011).....	29
3.8 Diagram Alir Tugas Akhir.....	31
4.1 Grafik Pengukuran Koreksi Drift Hari Pertama	33
4.2 Grafik Pengukuran Koreksi Drift Hari Kedua.....	35
4.3 Grafik Pengukuran Koreksi Drift Hari Ketiga.....	36
4.4 Grafik Pengukuran Koreksi Udara Hari Pertama	37
4.5 Grafik Pengukuran Koreksi Udara Hari Kedua.....	39

4.6	Grafik Pengukuran Koreksi Udara Hari Ketiga.....	41
4.7	Grafik Nettleton Menunjukkan Nilai Densitas Pada Setiap Stasiun	43
4.8	Peta Anomali Bouguer Lengkap (ABL).....	47
4.9	Peta Anomali Regional Nilai Filter Low Pass a.)3000;b)4000 dan c)5000	50
4.10	Peta Anomali Regional dengan Low Pass Filter 4000	51
4.11	Peta Anomali Residual	52
4.12	Peta THD Anomali Bouguer Lengkap	53
4.13	Peta THD Anomali Regional	54
4.14	Peta THD Anomali Residual	55
4.15	Arah Dominan Kelurusan menggunakan Diagram Rose.....	55
4.16	Analisa bidang batas anomali regional, anomali residual dan noise	57
4.17	Penampang sayatan A-A' pada Peta Anomali Bouguer Lengkap	58
4.18	Pemodelan 2D Bawah permukaan didaerah Penelitian	59

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1.1 Pelaksanaan Waktu Kegiatan Penelitian (Tahun 2018 dan 2019)	4
2.1 Tipe Klasifikasi Karst (Waltham,Fookes 2013).....	18
3.1 Nilai Densitas Batuan Sedimen (Telford,1990).....	24
3.2 Nilai Koreksi Medan	28
4.1 Hasil Pengukuran Koreksi Drift Hari Pertama.....	33
4.2 Hasil Pengukuran Koreksi Drift Hari kedua	34
4.3 Hasil Pengukuran Koreksi Drift Hari Ketiga	35
4.4 Hasil Pengukuran Koreksi Udara Bebas Pertama.....	36
4.5 Hasil Pengukuran Koreksi Udara Bebas Hari Kedua	38
4.6 Hasil Pengukuran Koreksi Udara Bebas Hari Ketiga	40
4.7 Hasil Pengukuran Koreksi Bouguer dan Nilai Densitas	41
4.8 Hasil Pengukuran Koreksi Lintang pada Stasiun Pengamatan	43

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Daerah penelitian berada di Malimnawar, Perak, Malaysia. Secara geologi terletak pada satu formasi yaitu formasi Kinta (Ki) karekteristik dari formasi tersebut yaitu batugamping yang banyak membentuk struktur karst. Oleh karena itu, pengambilan data survey dengan metode gravitasi digunakan untuk mengetahui struktur karst yang terdapat pada daerah penelitian. Kawasan karst pada daerah penelitian perlu di analisa lebih dalam dikarenakan struktur karst yang nantinya berdampak untuk masyarakat terutama jika karst berada pada kawasan padat penduduk dan fasilitas umum yaitu jalan raya. Kawasan karst merupakan kawasan yang terbentuk oleh batugamping, yang mana batugamping merupakan litologi yang mudah mengalami pelarutan.

Hasil dari pelarutan batugamping tersebut nantinya akan menciptakan struktur karst terutama yang perlu diperhatikan apabila struktur karst tersebut berada dibawah permukaan. Metode gravitasi termasuk kedalam metode tidak langsung dalam kegiatan survey geofisika. Metode ini digunakan untuk mengetahui kondisi bawah permukaan pada daerah penelitian yaitu dengan cara mengamati variasi lateral dari densitas batuan bawah permukaan (berdasarkan informasi geologi daerah setempat). Survey dengan metode gravitasi memanfaatkan nilai percepatan gravitasi pada daerah penelitian. Perubahan nilai percepatan gravitasi antara titik stasiun satu dengan yang lainnya mengindikasikan adanya struktur pada bawah permukaan. Alat yang digunakan dalam pengukuran percepatan gravitasi tersebut adalah gravimeter.. Pada metode gravitasi ini nilai percepatan gravitasi yang dihasilkan juga dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya yaitu lintang, ketinggian, topografi, dan variasi rapat massa bawah permukaan. Dalam metode gravitasi ini terdapat koreksi data yaitu koreksi apungan, koreksi udara bebas, koreksi lintang (Latitude Correction), koreksi medan, dan koreksi bouger sampai nantinya didapatkan nilai anomali bouger pada

daerah penelitian. Dari hasil nilai anomali bouguer dapat di interpretasikan bentuk bawah permukaan (subsurface).

1.2. Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah yang menjadi batasan masalah dalam pembahasan penelitian penulis, yaitu :

1. Apa saja faktor reduksi gravitasi (koreksi) yang digunakan dalam mendapatkan nilai anomali bouguer?
2. Bagaimanakah sebaran nilai anomali Bouguer yang diperoleh pada daerah penelitian?
3. Bagaimanakah struktur karst pada daerah penelitian berdasarkan nilai anomali Bouguer lengkap yang dihasilkan?

1.3. Maksud dan Tujuan Penelitian

Pengolahan data gravitasi ini dilakukan dengan maksud untuk mengetahui kondisi geologi dan menganalisa struktur karst pada daerah Malimnawar. Adapun tujuan yang akan dicapai adalah :

1. Mengetahui faktor reduksi gravitasi (koreksi) pada perhitungan data gravitasi.
2. Mengetahui sebaran nilai anomali Bouguer yang didapat.
3. Mengetahui struktur karst bawah permukaan berdasarkan nilai anomali Bouguer Lengkap.

1.4. Manfaat Penelitian

Kegiatan penelitian bermanfaat mengidentifikasi daerah penelitian yang rawan dan tidak rawan berdasarkan keberadaan struktur karst berupa lubang runtuh (*Sinkhole*).

1.5. Batasan Masalah

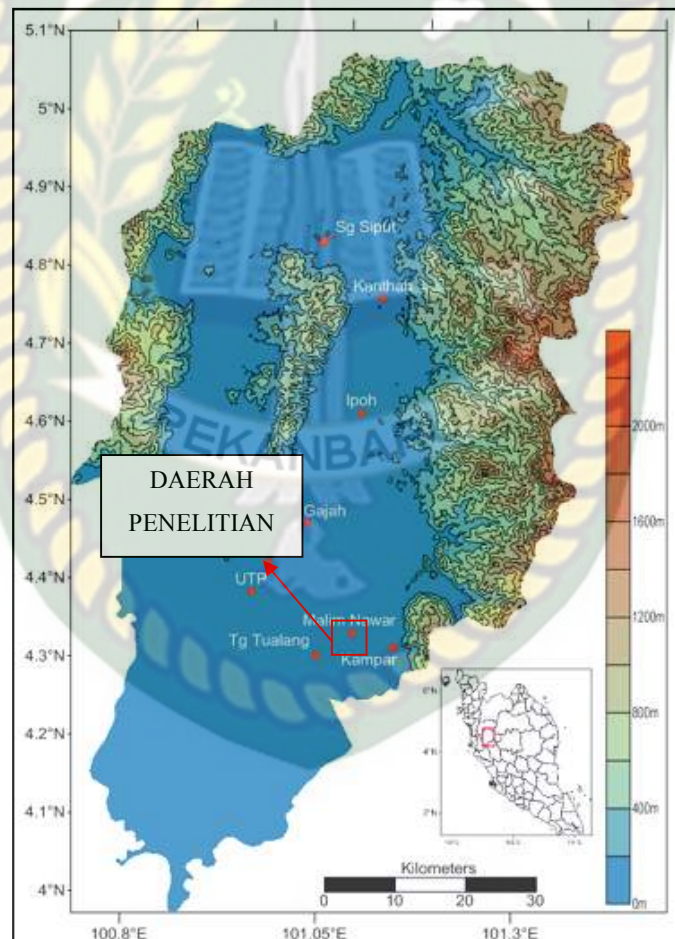
Batasan masalah yang akan dikaji pada data penelitian yaitu melakukan prosesing data gravitasi untuk mengetahui nilai anomali Bouguer pada penentuan struktur karst bawah permukaan di daerah penelitian dengan luas 3x2 Km.

1.6. Geografi Umum

Daerah penelitian terletak pada daerah Kawasan Malimnawar,Perak, Malaysia. Terletak disemenanjung Malaysia pada koordinat $101^{\circ}7'48''$ -

101°6'11" LU dan 4°20'26"- 4°19'21" BB. Beriklim tropis dengan dua musim yaitu musim kemarau dan musim hujan. Secara administrasi daerah penelitian memiliki batas wilayah, yang mana sebelah Utara berbatasan dengan Ipoh, bagian Selatan berbatasan dengan Kampar, sebelah Timur berbatasan dengan Tanah Rata dan pada sebelah Barat berbatasan dengan Parit (Gambar 1.1)

Topografi dari daerah penelitian memiliki topografi landai sampai datar dengan ketinggian rata – rata 12.5 sampai 45 meter diatas permukaan laut. Luas dari kapling daerah penelitian 3x2 Km yang berada pada kawasan Malimnawar, Perak, Malaysia.



Gambar 1.1. Peta wilayah Penelitian Pada Malim Nawar, Perak, Negara Malaysia (Peta Topografi Kinta valley (Tahun,2017), Semenanjung Malaysia) dikutip dari *Turkish Journal of Earth Sciences*

1.6 Waktu Penelitian

Dalam melakukan tugas akhir perlu adanya rencana kerja yang terprogram dapat dilihat pada (Tabel 1.1).

Tabel 1.1 Pelaksanaan Waktu Kegiatan (Tahun 2018 dan 2019)

Bulan	November (2018)				Desember (2018)				Januari (2019)				Februari (2019)				Maret (2019)			
Kegiatan	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Pembuatan Proposal dan SK Tugas Akhir	█	█																		
Pengolahan Data Gravitasi			█	█	█	█	█	█												
Pembuatan Peta Anomali Bouguer									█	█	█	█								
Analisis Data											█	█	█	█	█	█				
Pembuatan Laporan													█	█	█	█	█	█	█	█
Seminar Hasil																			█	█

BAB II

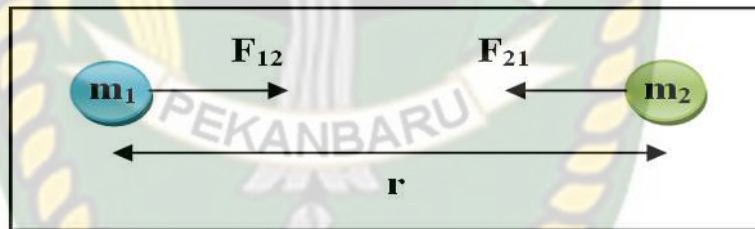
TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Dasar Teori

Teori dasar dalam penelitian ini didasarkan pada hukum Newton tentang gravitasi yang dipublikasikan oleh Newton pada tahun 1687 yang menyatakan besar gaya gravitasi antar dua massa sebanding dengan perkalian massa keduanya dan berbanding terbalik dengan kuadrat jarak antar kedua pusat massa.

2.1.1. Metode Gravitasi

Metode gravitasi didasarkan oleh hukum Newton tentang gravitasi. Hukum gravitasi Newton yang menyatakan bahwa gaya tarik menarik antara dua buah benda adalah sebanding dengan massa kedua benda tersebut dan berbanding terbalik dengan jarak kuadrat antara pusat massa kedua benda tersebut. Hukum gravitasi Newton (Gambar 2.1):



Gambar 2.1. Gaya tarik menarik antara dua benda m_1 dan m_2 .

Gaya tarik menarik antara 2 buah benda tersebut dapat dinyatakan dengan persamaan berikut:

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

Keterangan :

F = gaya tarik menarik (Newton)

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

m_1 = massa benda 1 (kg)

m_2 = massa benda 2 (kg)

r = jarak antar pusat massa (m)

Hukum Newton menghubungkan percepatan sebuah benda dengan massanya dan gaya-gaya yang bekerja padanya. Ada tiga hukum Newton tentang gerak, yaitu hukum I Newton, hukum II Newton, dan hukum III Newton. Adapun hukum Newton tersebut adalah :

a. Hukum Newton I

Pada hukum Newton I dinyatakan bahwasannya benda yang diam akan bergerak jika diberi gaya. Benda yang sudah bergerak dengan kecepatan tertentu, akan tetap bergerak dengan kecepatan itu jika tidak ada gangguan (gaya). Hal diatas merupakan dasar dari Hukum Newton I yang dapat dituliskan sebagai berikut: Jika gaya total yang bekerja pada benda itu sama dengan nol, maka benda yang sedang diam akan tetap diam dan benda yang sedang bergerak lurus dengan kecepatan tetap akan tetap bergerak lurus dengan kecepatan tetap. Secara sederhana Hukum Newton I mengatakan bahwa percepatan benda nol jika gaya total (gaya resultan) yang bekerja pada benda sama dengan nol. Secara matematis dapat ditulis:

$$\Sigma F = 0$$

Keterangan :

ΣF : Resultan gaya yang bekerja pada benda (N)

b. Hukum Newton II

Apabila resultan gaya yang timbul pada sebuah benda tidak sama dengan nol maka benda tersebut akan bergerak dengan percepatan tertentu. Sebuah benda bermassa m mendapat gaya F akan bergerak dengan percepatan a . Jika benda semula dalam keadaan diam maka benda itu akan bergerak dipercepat dengan percepatan tertentu. Adapun jika benda semula bergerak dengan kecepatan tetap maka benda akan berubah menjadi gerak dipercepat atau diperlambat.

$$\Sigma F = m \cdot a$$

Keterangan :

m : Massa benda (Kg)

a : Percepatan benda (m/s^2)

c. Hukum Newton III

Hukum ketiga menyatakan bahwa tidak ada gaya timbul di alam semesta ini, tanpa keberadaan gaya lain yang sama dan berlawanan dengan gaya itu. Jika sebuah gaya bekerja pada sebuah benda (aksi) maka benda itu akan mengerjakan gaya yang sama besar namun berlawanan arah (reaksi). Dengan kata lain gaya selalu muncul berpasangan. Tidak pernah ada gaya yang muncul sendirian.

$$F_{\text{aksi}} = - F_{\text{reaksi}}$$

Keterangan :

F_{aksi} : Gaya yang bekerja pada benda

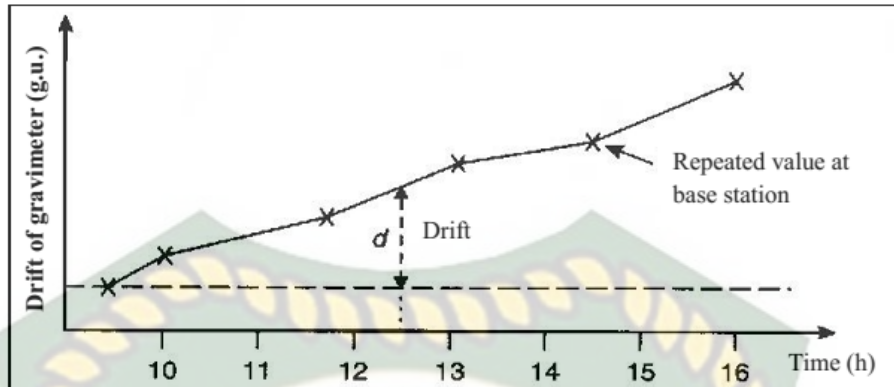
F_{reaksi} : Gaya reaksi benda akibat gaya aksi

2.1.2. Reduksi Gravitasi (Koreksi Metode Gravitasi)

Besar nilai gravitasi bergantung kepada lima faktor, yaitu lintang, elevasi topografi daerah sekitar pengukuran, pasang surut bumi, dan variasi densitas di bawah permukaan (Telford, dkk., 1990). Eksplorasi gravitasi lebih menekankan pada perubahan besar nilai gravitasi oleh karena variasi densitas di bawah permukaan. Sementara nilai gravitasi yang terukur pada alat *gravimeter* tidak hanya berasal dari nilai gravitasi yang disebabkan oleh variasi densitas di bawah permukaan, tetapi juga dari keempat faktor lainnya. Koreksi dalam metode gravitasi diperlukan untuk menghilangkan faktor-faktor lain yang mempengaruhi besar nilai gravitasi sehingga didapatkan nilai gravitasi yang hanya disebabkan oleh pengaruh variasi densitas di bawah permukaan. Berikut adalah koreksi-koreksi yang dilakukan kepada data gravitasi lapangan (g_{read}):

a. Koreksi Apungan (*Drift Correction*)

Koreksi apungan merupakan koreksi pada data gravitasi, sebagai akibat perbedaan pembacaan nilai gravitasi di stasiun yang sama pada waktu yang berbeda oleh alat *gravimeter* (Gambar 2.2).

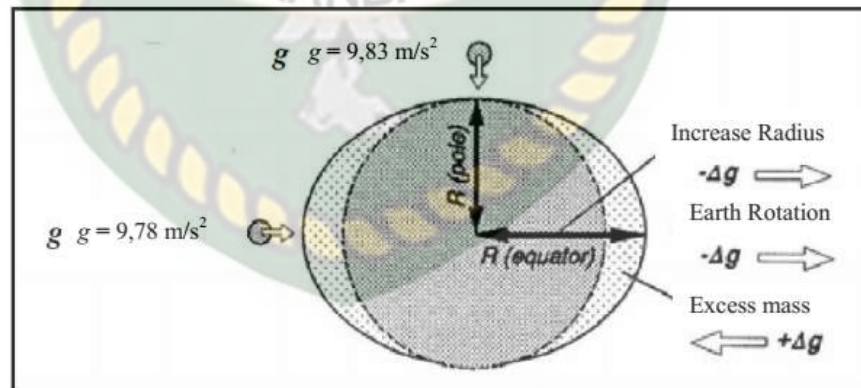


Gambar 2.2. Koreksi apungan (Reynolds, 1997).

Perbedaan tersebut disebabkan karena terjadi guncangan pegas dan perubahan temperature pada alat *gravimeter* selama proses perjalanan dari satu stasiun ke stasiun berikutnya. Komponen *gravimeter* dirancang dengan sistem keseimbangan pegas yang dilengkapi dengan massa beban yang tergantung diujungnya.

b. Koreksi lintang (*Latitude Correction*)

Koreksi lintang pada data gravitasi diperlukan sebagai akibat dari rotasi bumi. Hasil dari rotasi bumi tersebut akan menyebabkan perbedaan nilai percepatan gravitasi di seluruh permukaan bumi, yaitu bervariasi dari ekuator ke kutub atau bervariasi terhadap lintang.



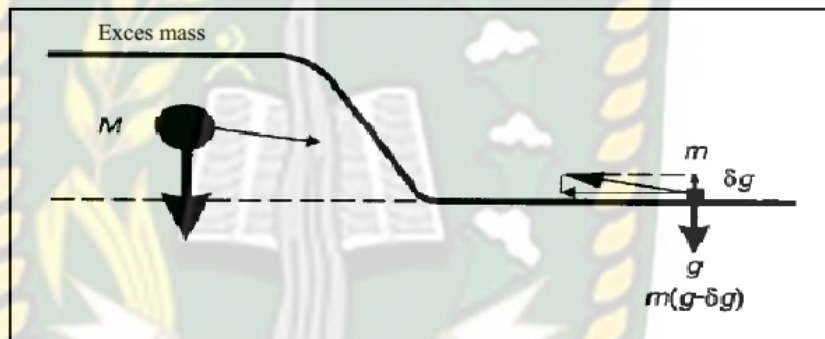
Gambar 2.3. Perbedaan nilai gayaberat di kutub dan khatulistiwa (Sarkowi, 2011).

Koreksi ini dilakukan untuk mengoreksi nilai gaya berat pada setiap lintang geografis yang disebabkan oleh bentuk bumi yang berbentuk ellipsoid dan adanya gaya sentrifugal yang disebabkan oleh

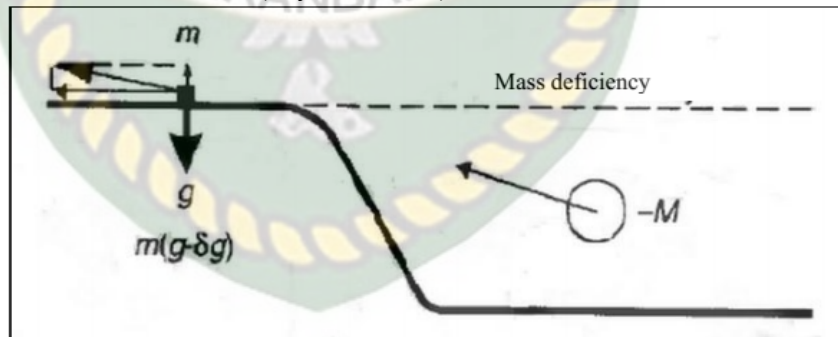
rotasi bumi. Dari persamaan dibawah ini terlihat bahwa semakin tinggi letak garis lintang suatu tempat maka semakin cepat percepatan gravitasinya.

c. Koreksi Medan (Terrain Correction)

Koreksi medan atau topografi dilakukan untuk mengoreksi adanya pengaruh penyebaran massa yang tidak teratur di sekitar titik pengukuran. Dalam koreksi *Bouguer* diasumsikan bahwa titik pengukuran di lapangan berada pada suatu bidang datar yang sangat luas. Sedangkan seringkali kenyataan di lapangan memiliki topografi yang berundulasi seperti adanya lembah dan gunung. Maka jika hanya dilakukan koreksi bouguer saja hasilnya akan kurang sempurna.



Gambar 2.4. Stasiun yang berada dekat dengan gunung (Reynolds, 1997).



Gambar 2.5. Stasiun yang berada dekat dengan lembah (Reynolds, 1997).

Jika stasiun pengukuran berada dekat dengan gunung, maka akan terdapat gaya ke atas yang menarik pegas pada *gravimeter*, sehingga akan mengurangi nilai pembacaan gravitasi (Gambar 2.5).

Sementara jika stasiun pengukuran berada dekat dengan lembah, maka akan ada gaya ke bawah yang hilang sehingga pegas pada *gravimeter* tertarik ke atas. Hal ini akan mengurangi pembacaan nilai gravitasi (Gambar 2.6). Dengan demikian pada kedua kondisi tersebut, koreksi medan ditambahkan kepada nilai gravitasi. Cara perhitungan koreksi topografi dapat dilakukan dengan menggunakan *Hammer Chart* yang dikembangkan oleh Sigmund Hammer. *Hammer Chart* membagi area ke dalam beberapa zona dan kompartemen (segmen). Hammer melakukan pendekatan pengaruh topografi dengan suatu cincin yang terlihat pada Gambar (gambar 2.7) di bawah ini:

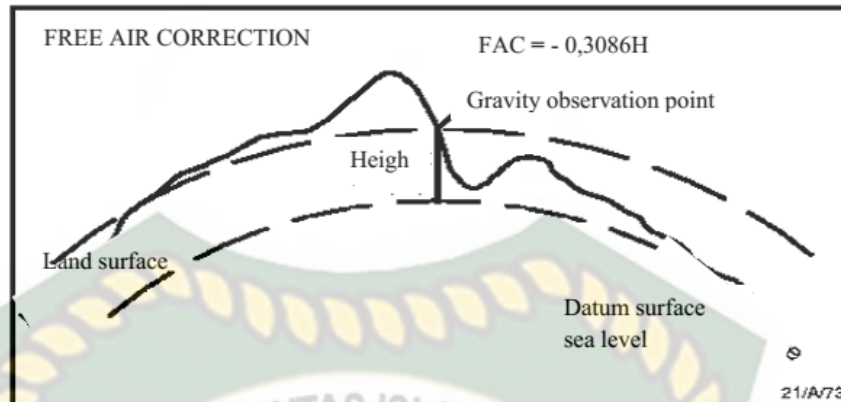


Gambar 2.6. *Hammer Chart* (Reynolds, 1997).

Menurut Reynolds (1997), besarnya koreksi topografi dengan menggunakan pendekatan cincin silinder. Sehingga besar nilai koreksi medan pada setiap stasiun pengukuran gayaberas adalah total dari koreksi medan (TC) sektor-sektor dalam satu stasiun pengukuran tersebut.

d. Koreksi Udara Bebas (Free Air Correction)

Koreksi udara bebas (FAC) merupakan koreksi yang disebabkan karena pengaruh variasi ketinggian terhadap medan gravitasi bumi. Koreksi ini dilakukan untuk menarik bidang pengukuran (P) ke bidang datum yaitu bidang *geoid* (P_0) (Gambar 2.8).



Gambar 2.7. Koreksi udara bebas terhadap data gayaberat (Zhou, dkk., 1990).

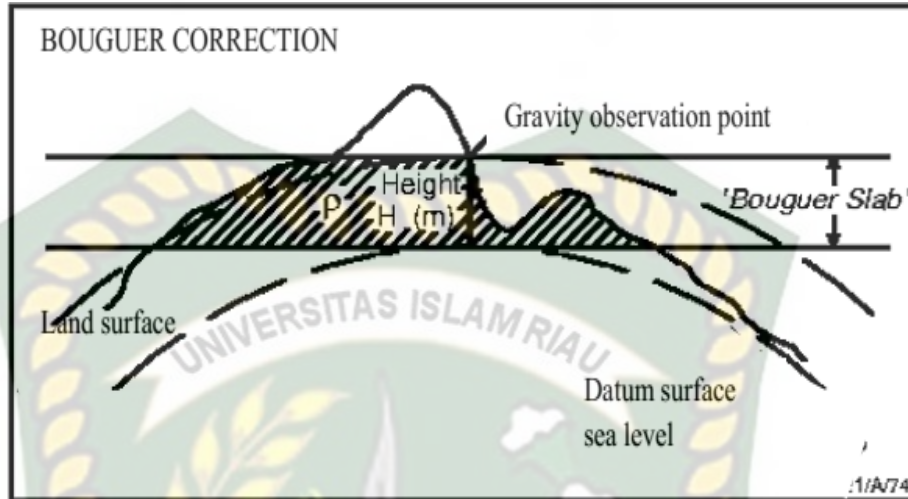
Koreksi udara bebas (*free air correction*) tidak memperhitungkan massa batuan yang terdapat di antara stasiun pengukuran dengan bidang *geoid*. Koreksi akan dijumlah jika titik pengukuran berada di atas *geoid*. Karena semakin tinggi h , maka g akan semakin kecil sehingga untuk menyamakan dengan bidang *geoid* koreksi harus ditambah. Dan juga sebaliknya, koreksi akan dikurang jika titik pengukuran berada di bawah *geoid*. Namun, pada umumnya koreksi ini dijumlah karena permukaan bumi berada di atas bidang *geoid*.

e. Koreksi Bouguer (Bouguer Correction)

Koreksi *Bouguer* memperhitungkan massa batuan yang terdapat di antara stasiun pengukuran dengan bidang *geoid*. Koreksi ini dilakukan dengan menghitung tarikan gravitasi yang disebabkan oleh batuan berupa *slab* dengan ketebalan H dan densitas rata-rata ρ (Gambar 2.9).

Tanda koreksi *Bouguer* berbanding terbalik dengan koreksi udara bebas. Pada koreksi *Bouguer*, jika titik pengukuran berada di atas bidang *geoid*, maka koreksi akan dikurang. Hal ini dikarenakan kandungan massa di atas bidang *geoid* membuat nilai g titik pengukuran lebih besar dari nilai g pada bidang *geoid*, sehingga untuk menarik titik pengukuran ke bidang *geoid* koreksi harus dikurang. Dan

juga sebaliknya, jika titik pengukuran berada di bawah bidang *geoid*, koreksi akan ditambah.



Gambar 2.8. Koreksi *Bouguer* (Zhou, dkk., 1990).

2.1.3. Total Anomali Bouguer

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*.

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.

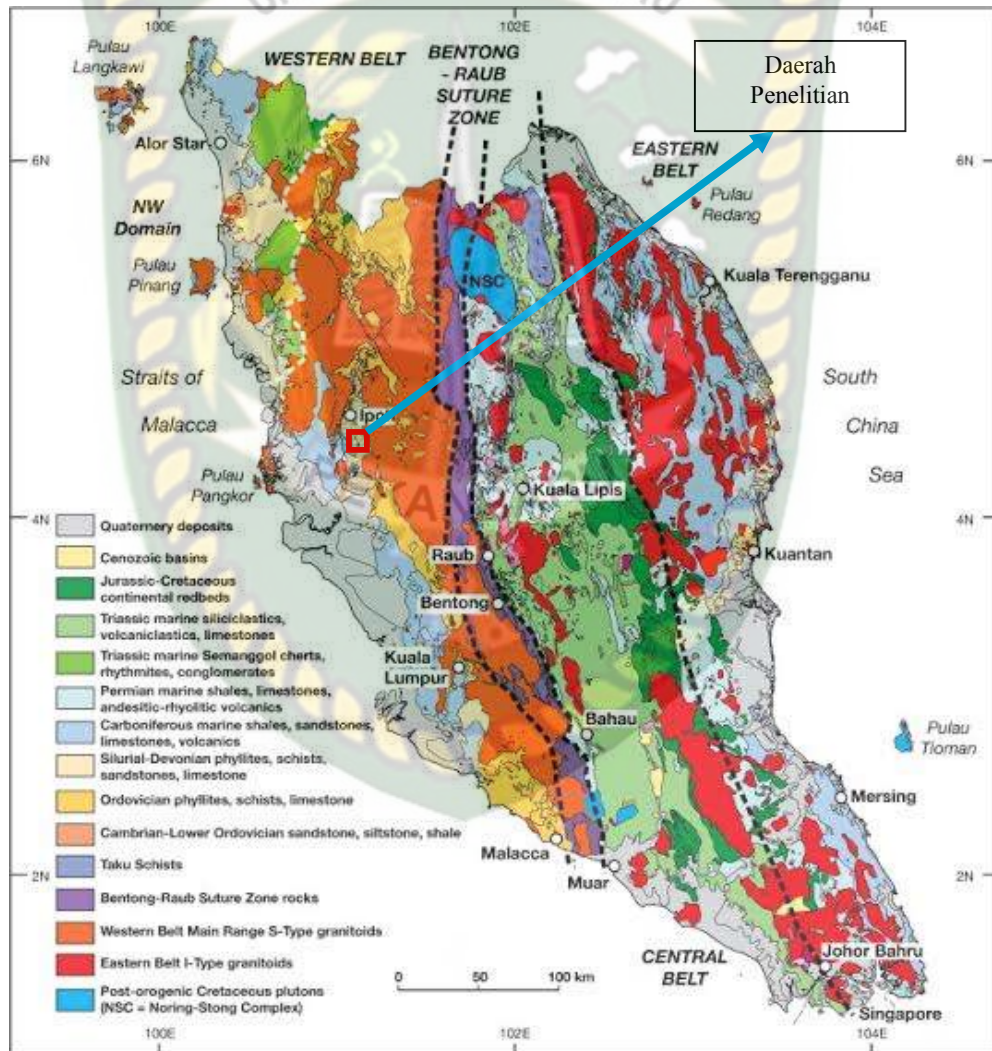
2.2. Geologi Regional Umum dan Daerah Penelitian

Secara geologi regional umum daerah penelitian terletak pada kawasan peninsular dengan jalur busur Barat yang bertepatan di daerah Malimnawar, Perak, Malaysia.

2.2.1. Geologi Regional Umum Daerah Malimnawar

Berdasarkan peta geologi Semenanjung Malaysia negara Malaysia bagian barat (Serawak) termasuk kedalam zona peninsular yang memiliki tiga jalur busur utama yang membentuk kondisi geologi daerah tersebut. Daerah penelitian terletak pada jalur busur barat. Adapun ketiga jalur busur utama tersebut adalah :

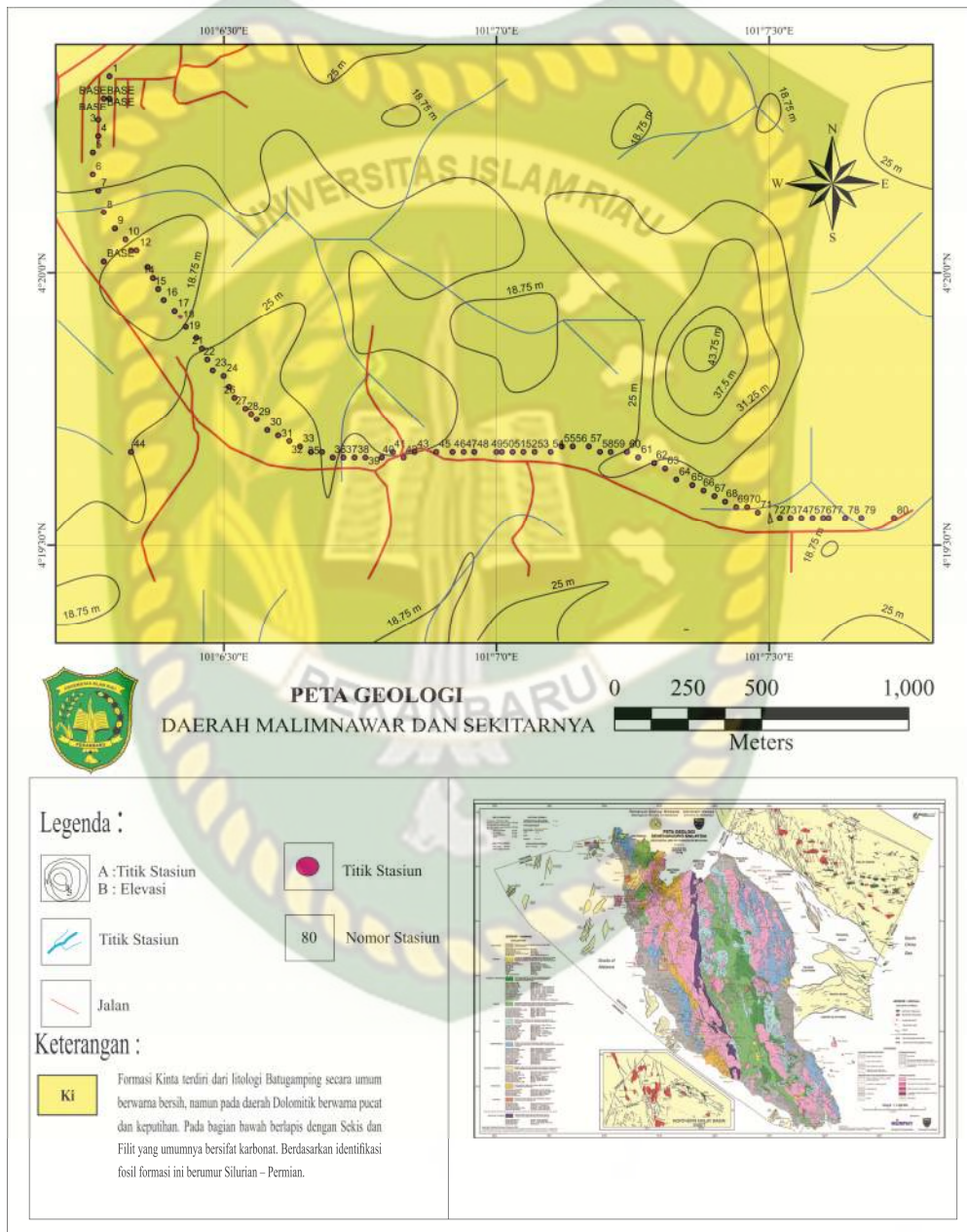
- a. Jalur Busur Timur
- b. Jalur Busur Tengah
- c. Jalur Busur Barat



Gambar 2.9. Zona dari Peninsular Malaysia , dikutip dari Persatuan Geologi Malaysia dan University Malaysia (Tahun 2008)

2.2.2. Geologi Regional Daerah MalimNawar

Secara regional daerah penelitian berada pada formasi yaitu formasi Kinta batugamping. Formasi Kinta batugamping yang dominan berlitologi Batugamping.



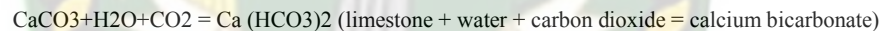
Gambar 2.10. Peta Geologi Daerah Penelitian

a. Formasi Kinta (Ki)

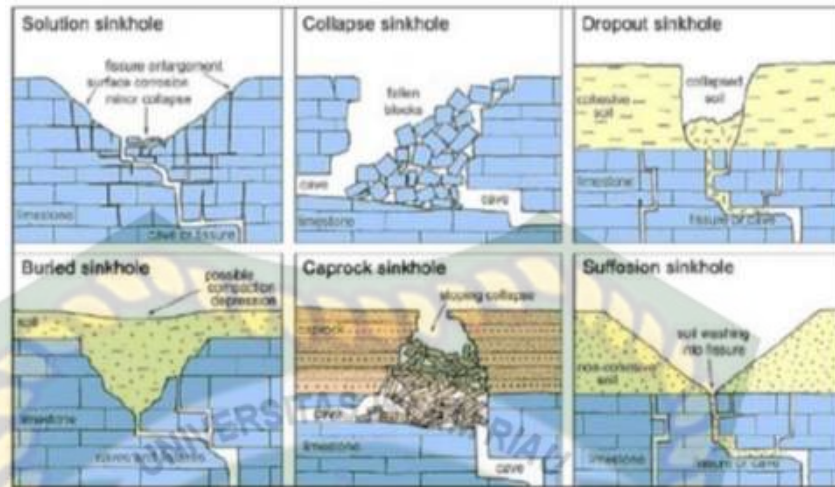
Dimana daerah formasi ini dikenal dengan Formasi kapur yaitu Batugamping Kinta. Batugamping secara umum berwarna bersih, namun pada daerah Dolomitik berwarna pucat dan keputihan. Pada bagian bawah berlapis dengan Sekis dan Filit yang umumnya bersifat karbonat. Berdasarkan identifikasi fosil formasi ini berumur Silurian – Permian. Suntharalingam (1968) menjelaskan hubungan umur pada daerah Kampar bagian barat berdasarkan identifikasi fosil Devon – awal Perm. Formasi Kinta terbentuk pada zaman calcareous/ Kapur (Ingham and Bradford, 1960).

2.2.3. Struktur Karst Pada Batugamping

Pembentukan karst terjadi pada litologi batugamping yang mengandung kalsium karbonat. Struktur dari karst terbentuk karena sifat batugamping yang karbonatan ketika larut oleh asam karbonat (H_2CO_3). Berikut senyawa pembentukan batugamping :



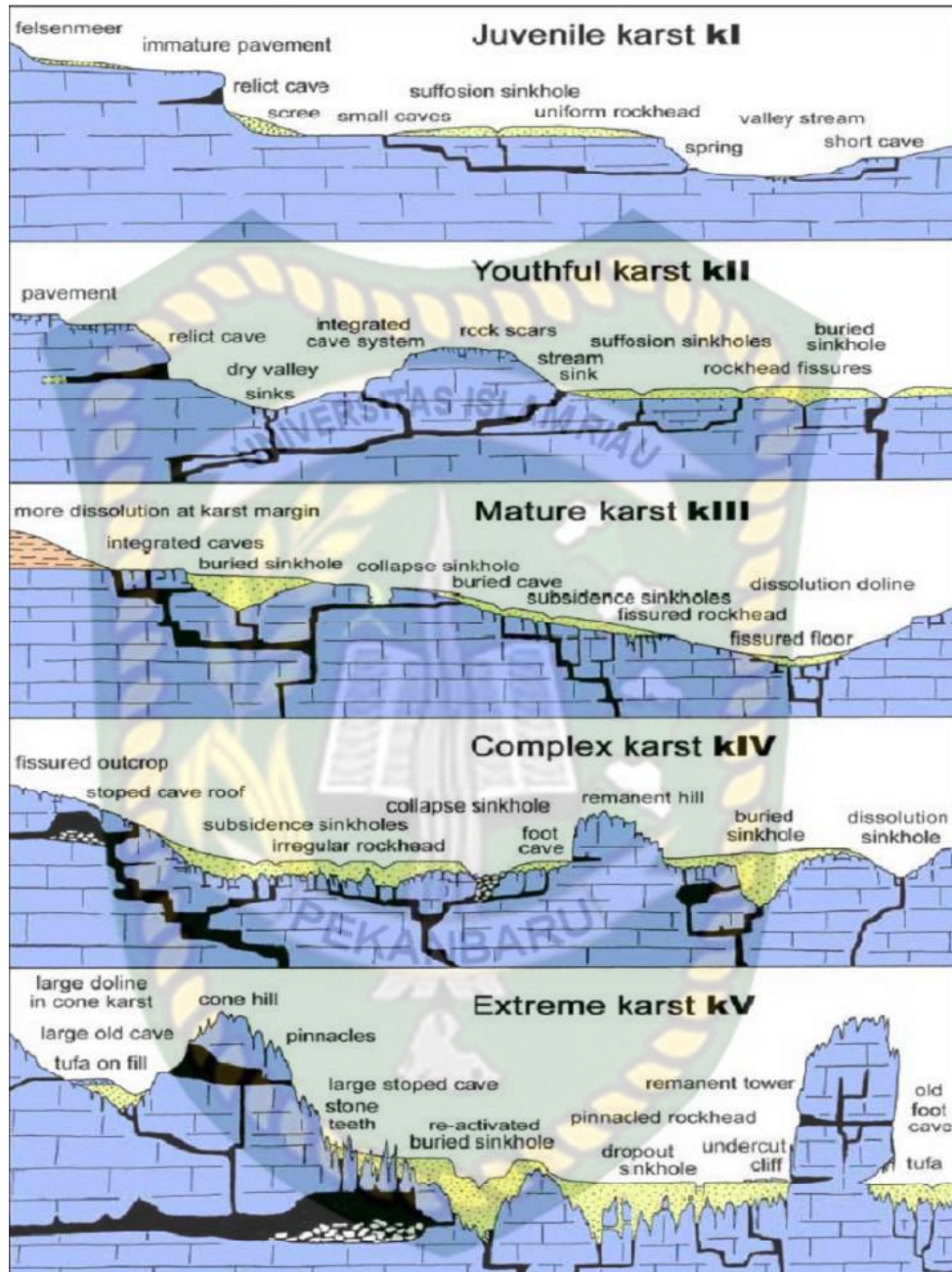
Karstifikasi dipengaruhi oleh dua kelompok faktor, faktor pengontrol dan faktor pendorong. Faktor pengontrol menentukan dapat tidaknya proses karstifikasi berlangsung, sedangkan faktor pendorong menentukan kecepatan dan kesempurnaan proses karstifikasi. Pada saat karst terbentuk selanjutnya batuan akan mengalami pelarutan dan membentuk fitur – fitur struktur sinkhole. Adapun jenis sinkhole ditinjau dari genesa pembentukannya sebagai berikut :



Gambar 2.11. Jenis Sinkhole pada Struktur Karst (Waltham, dkk 2003)

Waltham, dkk menjelaskan bahwa *solution sinkhole* dan *collapse sinkhole* tidak memiliki litologi atau endapan penutup di atas batugamping. Apabila lapisan penutup di atas batugamping berupa tanah yang kohesif seperti lempung, maka tipe amblesan yang terjadi adalah *dropout sinkhole*. Jika lapisan penutup tersusun atas endapan pasiran, maka amblesan yang terjadi bertipe *suffusion sinkhole*. Dan, apabila litologi yang mengalami amblesan merupakan lapisan batuan lain maka proses pembentukan sinkhole disebut *caprock sinkhole*. Sedangkan *buried sinkhole* terjadi karena adanya proses pembebanan dan kompaksi yang dialami oleh endapan penutup secara perlahan dan waktu yang lama pada saat batugamping mengalami pelarutan.

Karst terbagi atas beberapa kelas klasifikasi ditinjau dari proses pembentukannya terbagi atas lima kelas, diantaranya yaitu :



Gambar 2.12. Tipe klasifikasi Karst (Waltham, Fookes, 2003)

Tabel 2.1. Tipe klasifikasi Karst (Waltham, Fookes, 2003)

Tipe Karst	Location	Sinkhole	Rockhead	Fissuring	Caves	Ground investigation	Foundation
Tipe Juvenile (KI)	hanya di zona gurun dan periglacial, atau pada karbonat tidak murni	rare NSH <0,001	Hampir seragam; celah kecil	minimal; permeabilitas sekunder rendah	langka dan kecil; beberapa fitur batuan terisolasi	konvensional	konvensional
Youthful Karst (KII)	minimum di daerah beriklim	suffusion sinkhole atau dropout sinkhole, aliran terbuka NSH 0,001-0,05	banyak celah kecil	di beberapa meter permukaan terdekat	banyak gua kecil; kebanyakan <3 m	umumnya konvensional, probe rock sampai 3 m	kontrol drainase
Mature Karst (KIII)	daerah beriklim sedang; minimum di tropik basah	banyak suffusion dan dropout sinkhole, sinkhole disolusi besar; runtuh kecil dan lubang pembuangan yang terkubur NSH 0,05 - 1,0	fisura luas; relief <5m; blok longgar di tanah penutup	pembukaan sekunder luas sebagian besar celah	banyak <5 m di berbagai tingkat	penyelidikan 4 m, survei mikrogravity	balok tanah, pertimbangkan geotek, tiang pancang untuk rockhead; kontrol drainase
Complex Karst (KIV)	dilokalkan di daerah beriklim sedang; normal di daerah tropis	banyak sinkhole disolusi besar, banyak sinkhole subsidence; dropout sinkholes dan terkubur sinkhole NSH 0,5 - 2.0	pinnacled; relief 5-20m; longgar pilar	bukaan disolusi besar yang luas, jauh dari celah besar	banyak > 5 m di berbagai tingkat	probe rockhead, probe rock 5 m dengan probe terentang, survei mikrogravity	tiang pancang ke pijakan, atau tutup grouting di rockhead, tumpukan didorong ke rockhead; kontrol drainase dan abstraksi
Extreme Karst (KV)	hanya di tropis basah	sangat besar dari semua jenis; pemadatan tanah dan lubang pembuangan terkubur NSH > 1	pinnacles tinggi; relief > 20m; pilar longgar melemahkan celah tanah yang dalam	lubang pelarutan yang melimpah dan sangat kompleks	banyak sistem gua 3-D yang rumit. ruang kamar > 15 m	melakukan investigasi tanah individu untuk setiap situs tiang, survei mikrogravity	menanggung tanah dengan geogrid, kontrol semua drainase dan kontrol abstraksi



Dokumen ini adalah Arsip Milik :

Perpustakaan Universitas Islam Riau

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1. Objek Penelitian

Dalam penelitian tugas akhir ini, yang menjadi sasaran objek penelitian adalah sebagai berikut :

- a. Melakukan pengoreksian pada data gravitasi yang telah diperoleh adapun data koreksi yang dilakukan adalah koreksi Drift, koreksi pasangsurut, koreksi lintang, koreksi udara bebas, koreksi terrain, dan koreksi bougeur.
- b. Mengetahui nilai anomali bougeur dari data koreksi dan data core.
- c. Membuat pemodelan peta kontur anomali dari hasil data gravitasi berupa anomali bougeur dengan menggunakan metode pemetaan menggunakan *software Surfer, Geosoft, GlobalMapper, GoogleEarth, Mapinfo, dan ArcGis.*

3.2. Waktu dan Tempat Penelitian

Waktu pengolahan data dilakukan mulai dari bulan 02 November 2018 sampai 30 Desember 2018. Tempat pengambilan data penelitian berada pada daerah, Malimnawar, Perak, Malaysia dengan koordinat 101°7'48"- 101°6'11" LU dan 4°20'26"- 4°19'21" BB.

3.3. Peralatan Penelitian

Peralatan yang digunakan dalam penelitian metode gravitasi ini berupa:

- a. Data gravitasi berupa data Longitude dan latitude, *gravity reading*, standar deviasi, elevasi dan data core .
- b. Komputer dan beberapa *software open source (Surfer, Geosoft, GlobalMapper, GoogleEarth, Mapinfo, dan ArcGis.)*.
- c. Peta Geologi.
- d. Peta Topografi.

3.4. Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam pengerjaan data gravitasi ini dengan menggunakan metode :

3.4.1. Metode Gravitasi

Dilakukan dengan cara pengumpulan data gravitasi permukaan saat dilapangan yang kemudian diproses dengan beberapa parameter reduksi gravitasi (koreksi) yang akan menghasilkan nilai anomali *Bouger* lengkap. Dalam menentukan sebuah besaran tertentu dari anomaly bouguer yang telah diperoleh, perlu adanya proses lanjutan yakni analisa berupa interpretasi data. Interpretasi pada metode gravitasi secara umum terbagi menjadi dua :

1. Interpretasi Kualitatif

Interpretasi kualitatif dilakukan dengan cara mengamati data gravitasi berupa anomali bouguer. Anomali tersebut akan memberikan hasil secara global yang masih mempunyai anomaly regional dan residual. Hasil interpretasi dapat menafsirkan pengaruh anomali terhadap bentuk benda, tetapi tidak sampai memperoleh besaran matematisnya. Dengan interpretasi ini dapat dilihat nilai anomali dan penyebaran anomalnya.

Hal – hal yang perlu diperhatikan dari peta anomali bouguer sebagai berikut :

- a. Kondisi anomali ditunjukkan oleh pola kontur yang menutup dan berurutan, dengan harga percepatan semakin bertambah atau berkurang menurut interval kontur menuju pusat yang dihasilkan kurva penampang anomali.
- b. Gradient horizontal yang cukup tajam baik berkurang maupun bertambah dapat memberi informasi adanya kontak batuan yang mempunyai kontras densitas yang nyata.
- c. Besar anomali dan ketajaman kurva sangat penting untuk penafsiran model – model benda anomali karena hal ini sangat berkaitan dengan kontras densitas dan kedalaman benda. Jika kontur benda semakin dangkal maka semakin tajam gradientnya.

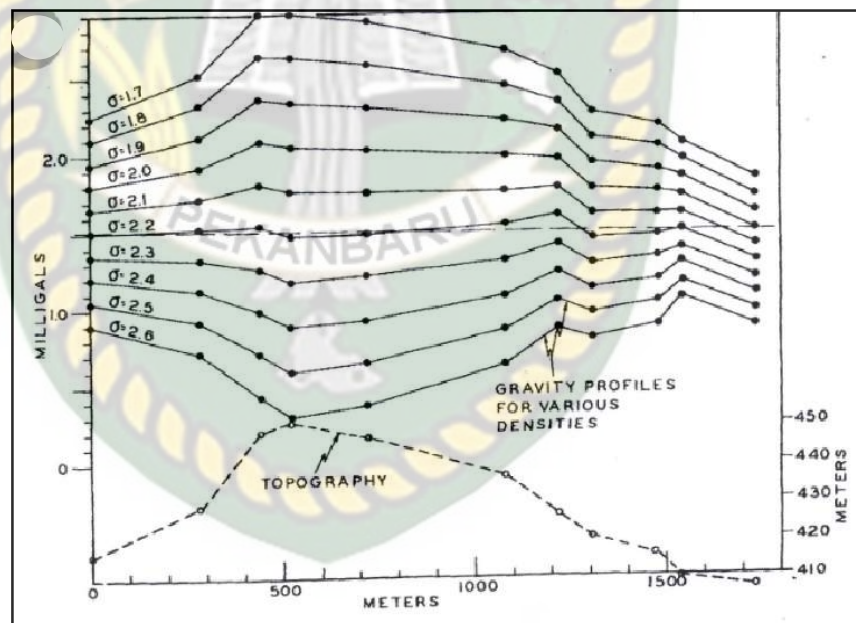
2. Interpretasi Kuantitatif

Interpretasi kuantitatif dilakukan untuk memahami lebih dalam hasil interpretasi kualitatif dengan membuat penampang gravitasi pada peta

kontur anomaly. Teknik interpretasi kuantitatif mengansumsikan distribusi rapat massa dan menghitung efek gaya gravitasi yang diamati. interpretasi kuantitatif pada penelitian ini adalah hasil model bawah permukaan dari suatu penampang anomali bouguer dengan menggunakan metode pengukuran gravitasi permukaan.

3.4.2. Metode Nettleton

Metode ini didasarkan pada hasil perhitungan koreksi Bouguer dan koreksi medan dengan jika densitas yang digunakan sesuai dengan densitas permukaan, maka penampang atau profil anomali gayaberat menjadi *smooth*. Dalam aplikasi, penampang dipilih melalui daerah topografi kasar dan tidak ada anomali gayaberat target. Metode nettleton digunakan dalam hal penentuan rapat massa atau densitas batuan pada daerah penelitian dengan mencocokkan nilai koreksi bouguer dengan grafik determinasi densitas.



Gambar 3.1. Determinasi Nilai Density berdasarkan Metode Nettleton

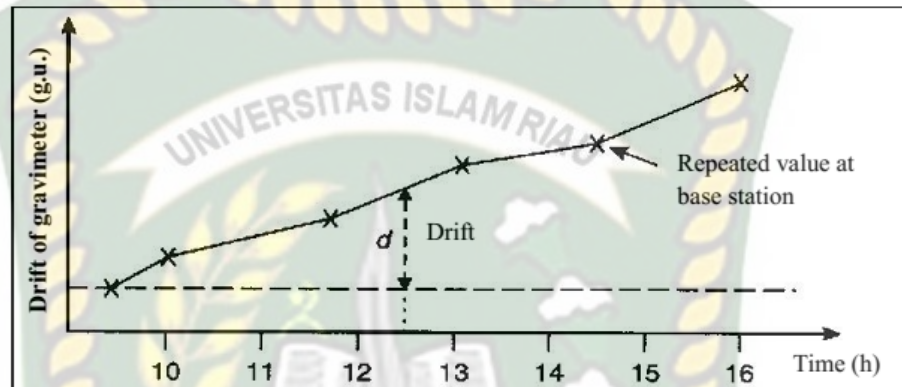
3.5. Tahapan Penelitian

Tahapan pengolahan data dari metode gravitasi yaitu dengan penentuan nilai anomali Bouguer. Untuk mendapatkan nilai anomali Bouguer lengkap perlu

adanya pereduksian data (koreksi data). Adapun tahapan pengolahan data sebagai berikut :

3.5.1. Menghitung Nilai Koreksi Drift (Δg Drift Correction)

Koreksi apungan merupakan koreksi pada data gravitasi, sebagai akibat perbedaan pembacaan nilai gravitasi di setiap stasiun pada waktu yang berbeda oleh alat *gravimeter* (Gambar 2.2).



Gambar 3.2. Koreksi apungan (Reynolds, 1997).

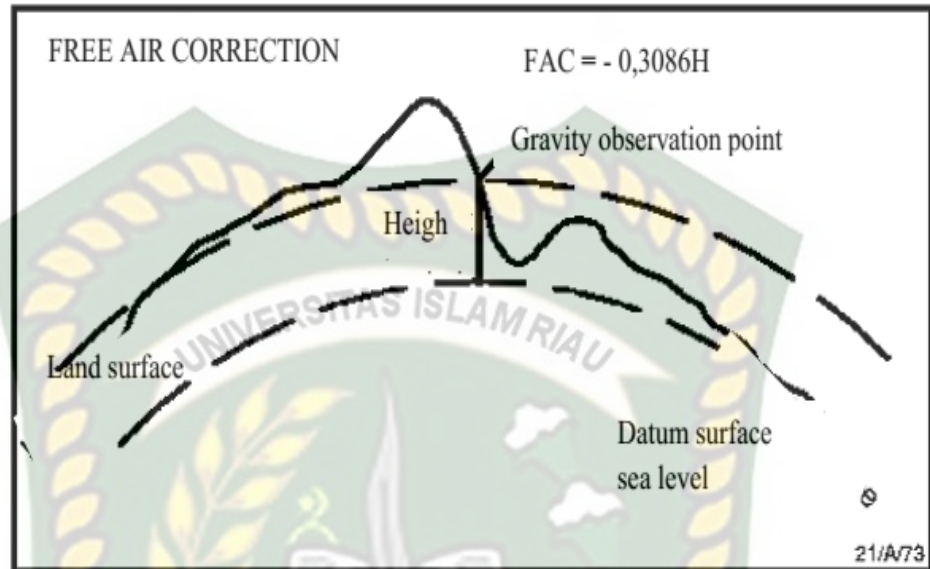
Komponen *gravimeter* dirancang dengan sistem keseimbangan pegas yang dilengkapi dengan massa beban yang tergantung diujungnya. Karena pegas yang tidak elastis sempurna, maka sistem pegas mengembang dan menyusut perlahan sebagai fungsi waktu. Untuk menghilangkan efek tersebut, proses akuisisi data atau pengukuran dirancang dalam suatu lintasan tertutup sehingga besar penyimpangan tersebut dapat diketahui. Pada sumbu x merupakan nilai waktu dan sumbu y merupakan nilai bacaan pada gravimeter. Untuk mencari nilai koreksi drift adalah dengan cara menghitung nilai d (drift) pada setiap stasiun. Koreksi apungan diberikan oleh persamaan berikut ini:

$$\Delta g \text{ Drift Correction} = \text{Gravity Reading} + \text{Drift}$$

3.5.2. Menghitung Nilai Koreksi Udara Bebas (Δg FAC)

Koreksi udara bebas (FAC) merupakan koreksi yang disebabkan karena pengaruh variasi ketinggian terhadap medan gravitasi bumi. Koreksi

ini dilakukan untuk menarik bidang pengukuran (P) ke bidang datum yaitu bidang *geoid* (P_0) (Gambar 2.8).



Gambar 3.3. Koreksi udara bebas terhadap data gayaberat (Zhou, dkk., 1990).

$$FAC = (Total\ Barometer\ Reading\ (meter) - Barometer\ Reading\ Stasiun)$$

$$\Delta g_{FAC} = (0.3086 \times Correction\ Height) + FAC$$

Koreksi udara bebas (*free air correction*) tidak memperhitungkan massa batuan yang terdapat di antara stasiun pengukuran dengan bidang datum. Koreksi akan dijumlah jika titik pengukuran berada di atas datum. Karena semakin tinggi h , maka g akan semakin kecil sehingga untuk menyamakan dengan bidang *geoid* koreksi harus ditambah. Dan juga sebaliknya, koreksi akan dikurang jika titik pengukuran berada di bawah datum. Maka, dapat disimpulkan jika nilai koreksi FAC berada diatas garis datum akan bernilai positif (+) dan sebaliknya jika nilai koreksi FAC akan bernilai negative (-).

3.5.3. Menghitung Nilai Koreksi Bouguer (Δg Bouguer)

Koreksi *Bouguer* memperhitungkan massa batuan yang terdapat di antara stasiun pengukuran dengan bidang *geoid*. Koreksi ini dilakukan

dengan menghitung tarikan gravitasi yang disebabkan oleh batuan berupa *slab* dengan ketebalan H dan densitas rata-rata ρ (Gambar 2.9). Koreksi ini dihitung dengan persamaan (6) (Telford, dkk., 1990):

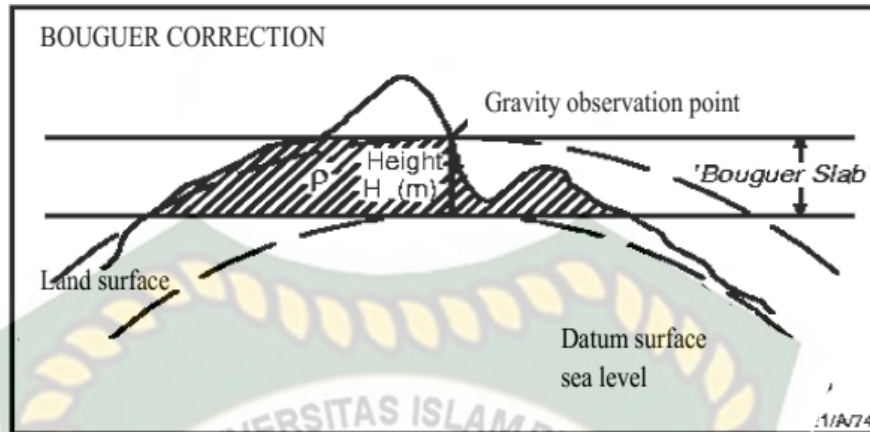
$$\Delta g_{\text{Bouguer}} = 0.0419 \times \rho \times \text{Drift}$$

Keterangan : ρ = Densitas Batuan rata – rata

Tabel 3.1. Nilai Densitas Batuan Sedimen (Telford,1990)

Tipe Batuan	Rentang Densitas (gr / cm ³)	Rata-rata (gr / cm ³)
Batuan Sedimen		
Overburden	-	1.92
Soil	1.20 – 2.40	1.92
Clay	1.63 – 2.60	2.21
Gravel	1.70 – 2.40	2.00
Sand	1.70 – 2.30	2.00
Sandstone	1.61 – 2.76	2.35
Shale	1.77 – 3.20	2.40
Limestone	1.93 – 2.90	2.55

Tanda koreksi *Bouguer* berbanding terbalik dengan koreksi udara bebas. Pada koreksi *Bouguer*, jika titik pengukuran berada di atas bidang *geoid*, maka koreksi akan dikurang. Hal ini dikarenakan kandungan massa di atas bidang *geoid* membuat nilai g titik pengukuran lebih besar dari nilai g pada bidang *geoid*, sehingga untuk menarik titik pengukuran ke bidang *geoid* koreksi harus dikurang. Dan juga sebaliknya, jika titik pengukuran berada di bawah bidang *geoid*, koreksi akan ditambah.

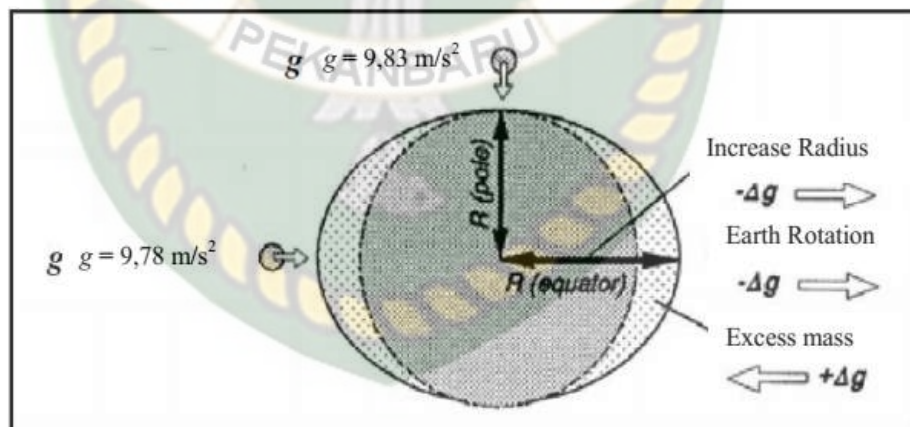


Gambar 3.4. Koreksi Bouguer (Zhou, dkk., 1990).

3.5.4. Menghitung Koreksi Lintang (Latitude Correction)

Koreksi lintang pada data gravitasi diperlukan sebagai akibat dari rotasi bumi. Hasil dari rotasi bumi tersebut akan menyebabkan perbedaan nilai percepatan gravitasi di seluruh permukaan bumi, yaitu bervariasi dari ekuator ke kutub atau bervariasi terhadap lintang.

$$\Delta g_{\phi} = 9.780318 \times (1 + (0.0053024 \sin^2 \phi) - (0.000058 \sin^2 2\phi))$$



Gambar 3.5. Perbedaan nilai gayaberat di kutub dan khatulistiwa (Sarkowi, 2011).

Koreksi ini dilakukan untuk mengoreksi nilai gaya berat pada setiap lintang geografis yang disebabkan oleh bentuk bumi yang berbentuk ellipsoid dan adanya gaya sentrifugal yang disebabkan oleh rotasi bumi. Dari persamaan

dibawah ini terlihat bahwa semakin tinggi letak garis lintang suatu tempat maka semakin cepat percepatan gravitasinya. Jadi, medan gravitasi bumi cenderung bertambah besar ke arah kutub.

3.5.5. Menghitung Nilai Koreksi Terrain

Koreksi medan atau topografi dilakukan untuk mengoreksi adanya pengaruh penyebaran massa yang tidak teratur di sekitar titik pengukuran. Dalam koreksi *Bouguer* diasumsikan bahwa titik pengukuran di lapangan berada pada suatu bidang datar yang sangat luas. Sedangkan seringkali kenyataan di lapangan memiliki topografi yang berundulasi seperti adanya lembah dan gunung. Maka jika hanya dilakukan koreksi *Bouguer* saja hasilnya akan kurang sempurna.

Jika stasiun pengukuran berada dekat dengan gunung, maka akan terdapat gaya ke atas yang menarik pegas pada *gravimeter*, sehingga akan mengurangi nilai pembacaan gravitasi (Gambar 2.5). Sementara jika stasiun pengukuran berada dekat dengan lembah, maka akan ada gaya ke bawah yang hilang sehingga pegas pada *gravimeter* tertarik ke atas. Hal ini akan mengurangi pembacaan nilai gravitasi (Gambar 2.6). Dengan demikian pada kedua kondisi tersebut, koreksi medan ditambahkan kepada nilai gravitasi. Cara perhitungan koreksi topografi dapat dilakukan dengan menggunakan *Hammer Chart* yang dikembangkan oleh Sigmund Hammer. *Hammer Chart* membagi area ke dalam beberapa zona dan kompartemen (segmen). Hammer melakukan pendekatan pengaruh topografi dengan suatu cincin yang terlihat pada Gambar (gambar 2.7) di bawah ini:



Gambar 3.6. Hammer Chart (Reynolds, 1997).

Menurut Reynolds (1997), besarnya koreksi topografi dengan menggunakan pendekatan cincin silinder. Sehingga besar nilai koreksi medan pada setiap stasiun pengukuran gayaberat adalah total dari koreksi medan (TC) sektor-sektor dalam satu stasiun pengukuran tersebut. Berdasarkan besarnya radius dari titik pengukuran gravitasi, Hammer Chart tersebut dikelompokkan menjadi beberapa zona :

a. Inner Zone

Memiliki radius yang tidak terlalu besar sehingga bisa didapatkan dari pengamatan langsung dilapangan. Inner zone dibagi menjadi 2 zona :

1. Zona B (radius 6,56 ft dan dibagi menjadi 4 sektor).
2. Zona C (radius 54,6 ft dan dibagi menjadi 6 sektor).

b. Outer Zone

Memiliki radius yang cukup jauh, sehingga biasanya perbedaan ketinggian dengan titik pengukuran gravitasi menggunakan analisa peta kontur. Outer zone dibagi menjadi zona :

1. Zona D (radius 175 ft dan dibagi menjadi 6 sektor).
2. Zona E (radius 558 ft dan dibagi menjadi 8 sektor).
3. Zona F (radius 1280 ft dan dibagi menjadi 8 sektor).
4. Zona G (radius 2936 ft dan dibagi menjadi 12sektor).
5. Zona H (radius 5018 ft dan dibagi menjadi 12 sektor).

6. Zona I (radius 8575 ft dan dibagi menjadi 12 sektor).
7. Zona J (radius 14.612 ft dan dibagi menjadi 12 sektor).
8. Zona K (sampai M dan dibagi menjadi 12 sektor).

Tabel 3.2. Nilai Koreksi Medan

Zone B 4 sectors 6.56' - 54.6'		Zone C 6 sectors 54.6' - 175'		Zone D 6 sectors 175' - 558'		Zone E 8 sectors 558' - 1280'		Zone F 8 sectors 1280' - 2936'		Zone G 12 sectors 2936' - 5018'		Zone H 12 sectors 5018' - 8578'		Zone I 12 sectors 8578' - 14612'	
± z	d _{gr}	± z	d _{gr}	± z	d _{gr}	± z	d _{gr}	± z	d _{gr}	± z	d _{gr}	± z	d _{gr}	± z	d _{gr}
0.0-1.1	0.00000	0.0-4.3	0.00000	0.0-7.7	0.00000	0-18	0.00000	0-27	0.00000	0-58	0.00000	0-75	0.00000	0-99	0.00000
1.1-1.9	0.00133	4.3-7.5	0.00133	7.7-13.4	0.00133	18-30	0.00133	27-46	0.0133	58-100	0.00133	75-131	0.00133	99-171	0.00133
1.9-2.5	0.00267	7.5-9.7	0.00267	13.4-17.3	0.00267	30-39	0.00267	46-60	0.00267	100-129	0.00267	131-169	0.00267	171-220	0.00267
2.5-2.9	0.0040	9.7-11.5	0.0040	17.3-20.5	0.0040	39-47	0.0040	60-71	0.0040	129-153	0.0040	169-200	0.0040	220-261	0.0040
2.9-3.4	0.0053	11.5-13.1	0.0053	20.5-23.2	0.0053	47-53	0.0053	71-80	0.0053	153-173	0.0053	200-226	0.0053	261-296	0.0053
3.4-3.7	0.0067	13.1-14.5	0.0067	23.2-25.7	0.0067	53-58	0.0067	80-88	0.0067	173-191	0.0067	226-250	0.0067	296-327	0.0067
3.7-7	0.0133	14.5-24	0.0133	25.7-43	0.0133	58-97	0.0133	88-146	0.0133	191-317	0.0133	250-414	0.0133	327-540	0.0133
7-9	0.0267	24-32	0.0267	43-56	0.0267	97-126	0.0267	146-189	0.0267	317-410	0.0267	414-535	0.0267	540-698	0.0267
9-12	0.040	32-39	0.040	56-66	0.040	126-148	0.040	189-224	0.040	410-486	0.040	535-633	0.040	698-827	0.040
12-14	0.053	39-45	0.053	66-76	0.053	148-170	0.053	224-255	0.053	486-552	0.053	633-719	0.053	827-938	0.053
14-16	0.067	45-51	0.067	76-84	0.067	170-189	0.067	255-282	0.067	552-611	0.067	719-796	0.067	938-1038	0.067
16-19	0.080	51-57	0.080	84-92	0.080	189-206	0.080	282-308	0.080	611-666	0.080	796-866	0.080	1038-1129	0.080
19-21	0.0935	57-63	0.0935	92-100	0.0935	206-222	0.0935	308-331	0.0935	666-716	0.0935	866-931	0.0935		
21-24	0.107	63-68	0.107	100-107	0.107	222-238	0.107	331-353	0.107	716-764	0.107	931-992	0.107		
24-27	0.120	68-74	0.120	107-114	0.120	238-252	0.120	353-374	0.120	764-809	0.120	992-1050	0.120		
27-30	0.133	74-80	0.133	114-120	0.133	252-266	0.133	374-394	0.133	809-852	0.133	1050-1105	0.133		
		80-86	0.147	120-127	0.147	266-280	0.147	394-413	0.147	852-894	0.147				
		86-91	0.160	127-133	0.160	280-293	0.160	413-431	0.160	894-933	0.160				
		91-97	0.174	133-140	0.174	293-306	0.174	431-449	0.174	933-972	0.174				
		97-104	0.187	140-146	0.187	306-318	0.187	449-466	0.187	972-1009	0.187				
		104-110	0.200	146-152	0.200	318-331	0.200	466-483	0.200	1009-1046	0.200				

Note: $d_{gr} = \frac{2\pi}{360} \{ \rho_0 (\xi + \rho_i (\xi^2 + z^2) - \rho_o (\xi^2 + z^2)) \}$, ρ_i, ρ_o = inner, outer sector radii, $\gamma = 6.67 \times 10^{-8}$, d_{gr} in milligals, z, ξ, ρ_i in feet, and z = average sector elevation.
Source: From Hammer (1939), but based on average density $\rho = 2.67 \text{ g/cm}^3$.

3.5.6. Menghitung Nilai Anomali Bouguer

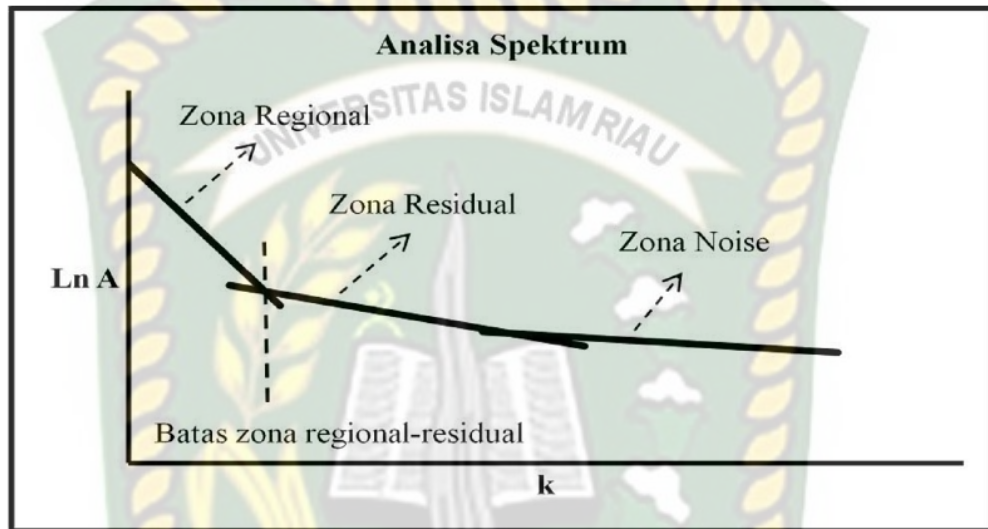
Setelah melakukan proses koreksi di atas, maka akan didapatkan nilai yang disebut Anomali Bouguer (*Bouguer Anomaly*). Anomali Bouguer adalah anomali yang disebabkan oleh variasi densitas secara lateral pada batuan di kerak bumi yang telah berada pada bidang referensi yaitu bidang *geoid*. Persamaan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

$$g_{AB} = \Delta g_{Drift} - \Delta g_{FAC} - \Delta g_{Bouguer} - \Delta g_{\emptyset} + \Delta g_{TC}$$

3.6. Analisa Spektrum

Analisis spektrum merupakan proses Transformasi Fourier (transformasi dari domain waktu ke dalam domain frekuensi) untuk mengubah suatu sinyal menjadi penjumlahan beberapa sinyal sinusoidal dengan berbagai frekuensi. Hasil dari transformasi ini akan berupa *spektrum amplitude* dan *spektrum phase* sehingga dapat memperkirakan kedalaman dengan mengestimasi nilai bilangan

gelombang (k) dan amplitudo (A) yang dapat digunakan untuk menghitung lebar jendela *filter* yang selanjutnya dijadikan sebagai *input* data dalam proses *filtering*, pemisahan anomali regional, dan anomali residual. Blakely (1995) menurunkan spektrum dari potensial gayaberat yang teramati pada suatu bidang horizontal. Ilustrasi penentuan kedalaman proses regresi data logaritma hasil Transformasi Fourier ini akan ditunjukkan pada **Gambar 3.9**.



Gambar 3.7. Grafik hubungan antara amplitudo dan bilangan gelombang pada analisa spektrum (Sarkowi, 2011)

3.7. Pemodelan Struktur Bawah Permukaan dengan GM-SYS 2D

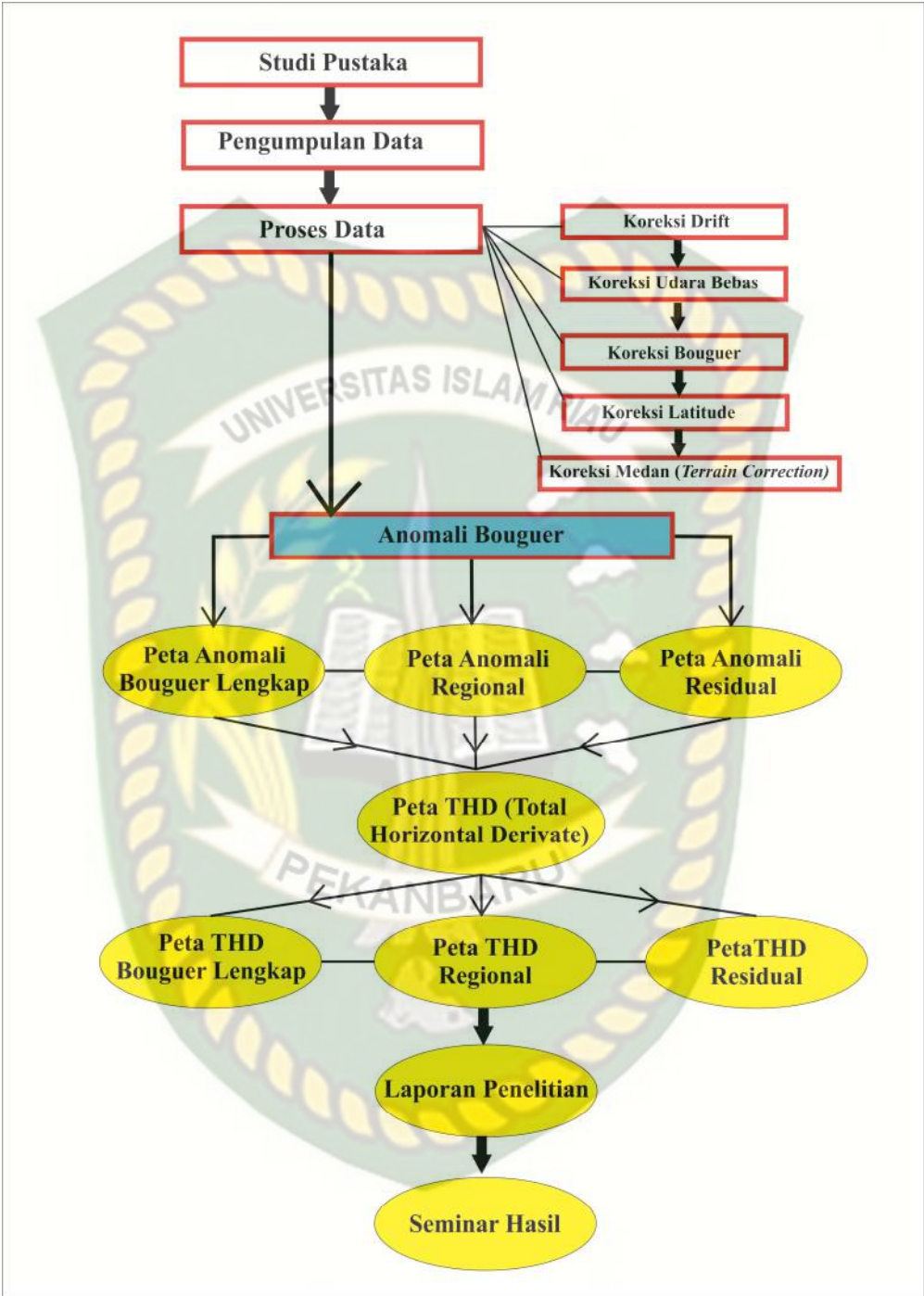
Untuk mendapatkan struktur bawah permukaan dari data gayaberat, maka anomali Bouguer lengkap hasil pengukuran dan perhitungan harus dilakukan pemisahan anomali regional dan residual yang nantinya dilakukan analisa pada pola anomali yang memiliki nilai tinggi berdasarkan peta THD (*Total Horizontal Derivative*) regional dan residual. Kemudian, ditarik kelurusan dari kenampakan nilai anomali yang tinggi. Selanjutnya dilakukan interpretasi dengan menggabungkan data-data geologi yang ada di daerah tersebut sehingga akan diperoleh pemodelan struktur bawah permukaan di daerah tersebut dengan pemodelan menggunakan GM-SYS 2D yang mana menggunakan metode forward modeling yaitu pencocokan profil model dengan profil data lapangan.

3.8. Alur Penelitian

Kegiatan penelitian dilakukan dengan alur yang sistematis dan terperinci bertujuan agar kegiatan dapat berjalan lancar. Adapun alur kegiatan penelitian dimulai dari studi pustaka, pengumpulan data dan proses data penelitian berupa koreksi data (koreksi *drift*, koreksi *FAC*, koreksi *Bouguer*, koreksi latitude, koreksi medan), analisa data dari hasil nilai anomali bouguer yang diperoleh beberapa peta diantaranya :

1. Peta Anomali Bouguer Lengkap
2. Peta Anomali Regional
3. Peta Anomali Residual
4. Peta THD Bouguer Lengkap
5. Peta THD Regional
6. Peta THD Residual

Setelah penyusunan peta selesai kemudian, dilakukan interpretasi anomali dari masing – masing peta dilanjutkan dengan penyusunan data berupa laporan dan seminar hasil. Adapun alur kegiatan penelitian dari awal sampai akhir dapat dilihat pada gambar dibawah ini (**gambar 3.8**).



Gambar 3.8. Diagram Alir Tugas Akhir

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini membahas mengenai hasil dari pengolahan data gravitasi yang kemudian diinterpretasikan. Hasil dari interpretasi tersebut untuk mengetahui struktur bawah permukaan pada daerah karst.

4.1. Ketersediaan Data

Data yang digunakan adalah data hasil pengukuran dilapangan (data skunder) terdiri dari 86 titik pengambilan data, adapun 86 titik tersebut terdiri dari 6 titik *base/ikat* dan 80 titik pengamatan.

4.2. Hasil Pengolahan Data

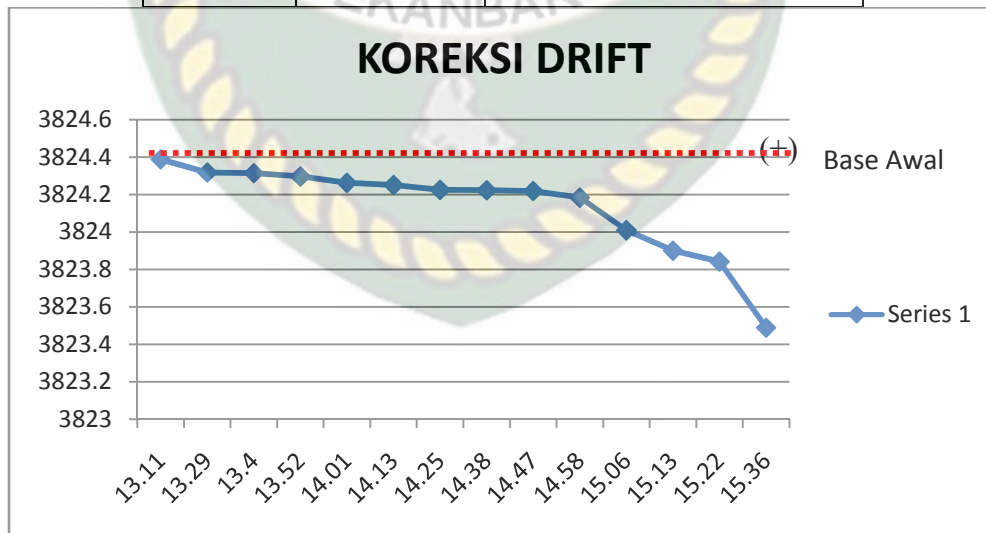
Data yang didapatkan kemudian diproses dan dikoreksi dengan perangkat lunak berupa Microsoft Excel dengan memasukkan faktor-faktor koreksi yang mempengaruhi gravitasi bawah permukaan bumi. Pengolahan data hasil pengukuran dilapangan bertujuan untuk menghilangkan pengaruh yang tidak diinginkan. Setelah data diolah maka akan didapatkan nilai anomali Bouguer lengkap. Kemudian, diinterpretasi dengan dua cara yaitu interpretasi kualitatif dan interpretasi kuantitatif. Untuk mengetahui struktur yang terdapat pada daerah penelitian dengan menginterpretasikan anomali Bouguer pada peta gravitasi yang dihasilkan dari perangkat lunak berupa *Oasis Montaj versi 8.4*. Adapun hasil pengolahan data berupa koreksi data gravitasi diantaranya sebagai berikut :

4.2.1. Koreksi Drift

Koreksi drift merupakan salah satu koreksi yang digunakan untuk pereduksian perbedaan bacaan nilai gravitasi disetiap stasiun pengamatan pada waktu yang berbeda oleh alat gravimeter. Bila grafik menunjukkan nilai koreksi drift naik maka akan bernilai negative (-) namun sebaliknya, jika grafik menunjukkan penurunan maka nilai dari koreksi drift bernilai positif (+). Berikut hasil dan grafik pembacaan koreksi drift pada hari pertama, kedua, dan ketiga :

Tabel 4.1. Hasil Pengukuran Koreksi Drift Hari Pertama

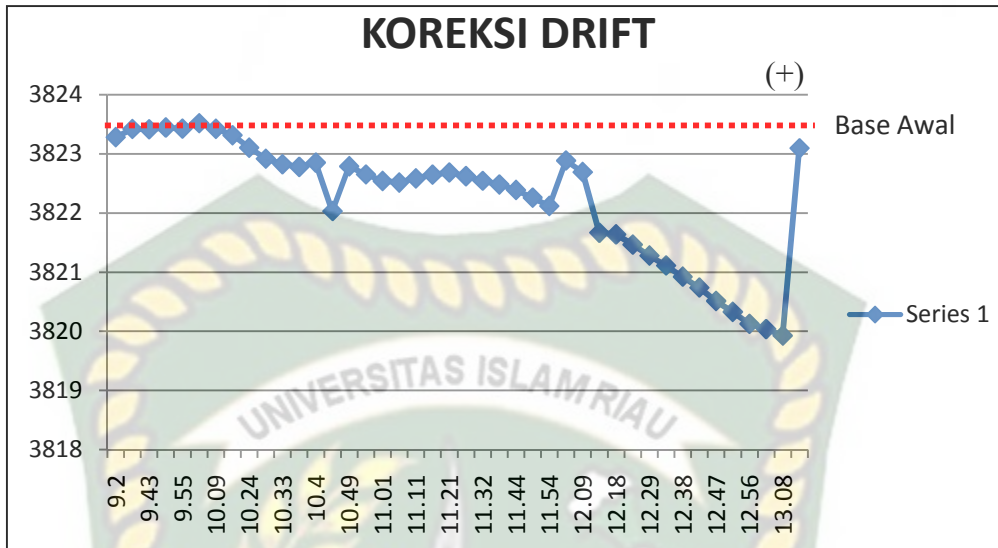
STASIUN	TIME	KOREKSI DRIFT
Base	13.11	0
1	13.29	0.07
2	13.40	0.073
3	13.52	0.091
4	14.01	0.125
5	14.13	0.137
6	14.25	0.163
7	14.38	0.165
8	14.47	0.169
9	14.58	0.204
10	15.06	0.378
11	15.13	0.487
12	15.22	0.546
Base	15.36	0.898



Gambar 4.1. Grafik Pengukuran Koreksi Drift Hari Pertama, bernilai positif (+)

Tabel 4.2. Hasil Pengukuran Koreksi Drift
Hari Kedua

STASIUN	WAKTU	KOREKSI DRIFT	STASIUN	WAKTU	KOREKSI DRIFT
Base	9.20	0	33	11.26	0.659
13	9.35	-0.138	34	11.32	0.737
14	9.43	-0.134	35	11.39	0.798
15	9.50	-0.162	36	11.44	0.892
16	9.55	-0.145	37	11.49	1.021
17	10.03	-0.235	38	11.54	1.162
18	10.09	-0.142	39	12.04	0.395
19	10.19	-0.033	40	12.09	0.589
20	10.24	0.178	41	12.13	1.614
21	10.28	0.363	42	12.18	1.642
22	10.33	0.457	43	12.23	1.815
23	10.38	0.502	44	12.29	2
24	10.4	0.43	45	12.32	2.168
25	10.43	1.249	46	12.38	2.357
26	10.49	0.492	47	12.43	2.541
27	10.56	0.629	48	12.47	2.767
28	11.01	0.739	49	12.52	2.951
29	11.05	0.766	50	12.56	3.154
30	11.11	0.696	51	13.02	3.241
31	11.16	0.633	52	13.08	3.352
32	11.21	0.596	Base	13.18	0.187

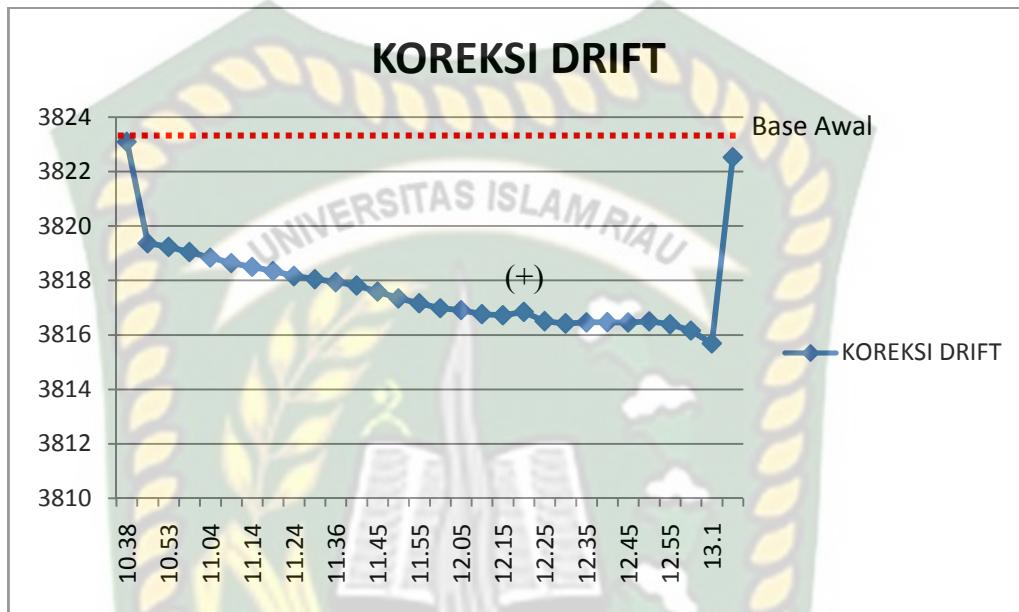


Gambar 4.2. Grafik Pengukuran Koreksi Drift Hari Kedua, bernilai positif (+)

Tabel 4.3. Hasil Pengukuran Koreksi Drift Hari Ketiga

STASIUN	WAKTU	KOREKSI DRIFT	STASIUN	WAKTU	KOREKSI DRIFT
Base	10.38	0	67	12.00	6.115
53	10.47	3.729	68	12.05	6.184
54	10.53	3.861	69	12.11	6.336
55	10.58	4.051	70	12.15	6.372
56	11.04	4.254	71	12.20	6.25
57	11.09	4.457	72	12.25	6.592
58	11.14	4.598	73	12.30	6.673
59	11.20	4.751	74	12.35	6.636
60	11.24	4.932	75	12.40	6.63
61	11.29	5.048	76	12.45	6.638
62	11.36	5.155	77	12.50	6.599
63	11.41	5.279	78	12.55	6.707

64	11.45	5.504	79	13.03	6.939
65	11.51	5.755	80	13.10	7.407
66	11.55	5.936	Base	13.22	0.569



Gambar 4.3. Grafik Pengukuran Koreksi Drift Hari Ketiga, bernilai positif (+)

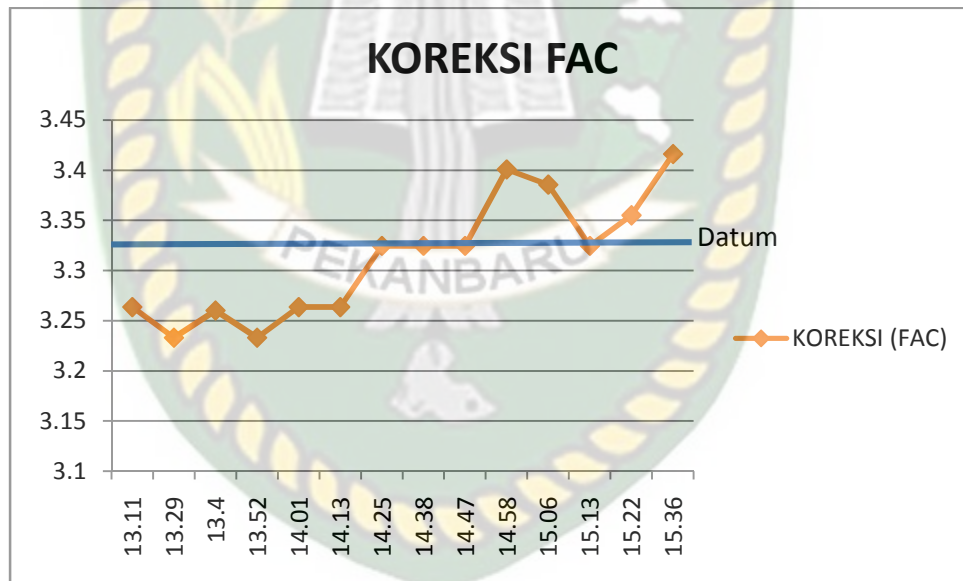
4.2.2. Koreksi Udara Bebas (Free Air Correction)

Koreksi udara bebas dihitung dari nilai datum dimana jika nilai berada dibawah garis datum bernilai negative (-) dan jika berada diatas garis datum maka bernilai positif (+). Berikut ini merupakan hasil dan grafik dari nilai koreksi udara bebas :

Tabel 4.4. Hasil Pengukuran Koreksi Udara Bebas Hari Pertama

STASIUN	WAKTU	BAROMETER READING (meter)	KOREKSI FAC
Base	13.11	3.2635	-42.4118
1	13.29	3.233	-73.3531
2	13.40	3.26	-42.4119

3	13.52	3.233	-73.3531
4	14.01	3.2635	-42.4119
5	14.13	3.2635	-42.4119
6	14.25	3.3245	-58.5294
7	14.38	3.3245	-58.5294
8	14.47	3.3245	-58.5294
9	14.58	3.40075	98.82363
10	15.06	3.3855	36.35303
11	15.13	3.3245	20.47053
12	15.22	3.355	52.41177
Base	15.36	3.416	100.2942
Datum		3.312517857	



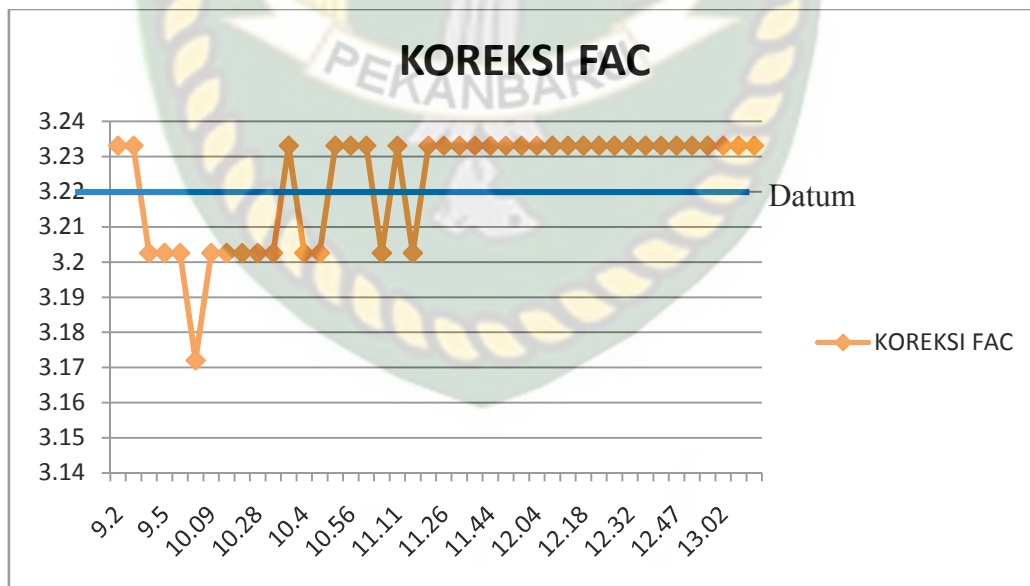
Gambar 4.4. Grafik Pengukuran Koreksi Udara Bebas nilai diambil dari penarikan nilai datum Hari Pertama

Tabel 4.5. Hasil Pengukuran Koreksi Udara Bebas
Hari Kedua

STASIUN	WAKTU	BAROMETER READING (meter)	KOREKSI FAC
Base	9.20	3.233	16.14693
13	9.35	3.233	16.14697
14	9.43	3.2025	-15.2943
15	9.50	3.2025	-15.2943
16	9.55	3.2025	-15.2943
17	10.03	3.172	-16.7355
18	10.09	3.2025	-15.2943
19	10.19	3.2025	-15.2942
20	10.24	3.2025	-15.2944
21	10.28	3.2025	-15.2943
22	10.33	3.2025	-15.2944
23	10.38	3.233	16.14687
24	10.4	3.2025	-15.2943
25	10.43	3.2025	-15.2943
26	10.49	3.233	16.14687
27	10.56	3.233	16.14689
28	11.01	3.233	16.14689
29	11.05	3.2025	-15.2943
30	11.11	3.233	16.1469
31	11.16	3.2025	-15.2943
32	11.21	3.233	16.14692
33	11.26	3.233	16.14688
34	11.32	3.233	16.14692
35	11.39	3.233	16.14695
36	11.44	3.233	16.14695
37	11.49	3.233	16.14688
38	11.54	3.233	16.1469

Dokumen ini adalah Arsip Milik :

39	12.04	3.233	16.14692
40	12.09	3.233	16.14689
41	12.13	3.233	16.1469
42	12.18	3.233	16.14689
43	12.23	3.233	16.1469
44	12.29	3.233	16.14692
45	12.32	3.233	16.14691
46	12.38	3.233	16.14692
47	12.43	3.233	16.14691
48	12.47	3.233	16.1469
49	12.52	3.233	16.14694
50	12.56	3.233	16.14691
51	13.02	3.233	16.14691
52	13.08	3.233	16.14692
Base	13.18	3.233	16.14694
DATUM		3.222833333	

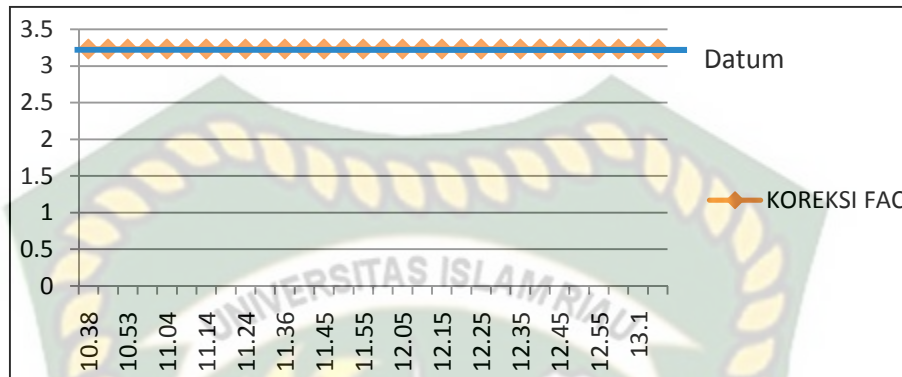


Gambar 4.5. Grafik Pengukuran Koreksi Udara Bebas nilai diambil dari penarikan nilai datum Hari Kedua

Tabel 4.6. Hasil Pengukuran Koreksi Udara Bebas
Hari Ketiga

STASIUN	WAKTU	BAROMETER READING (meter)	KOREKSI FAC
Base	10.38	3.23	5.64
53	10.47	3.23	5.64
54	10.53	3.23	5.64
55	10.58	3.23	5.64
56	11.04	3.23	5.64
57	11.09	3.23	5.64
58	11.14	3.23	5.64
59	11.20	3.23	5.64
60	11.24	3.23	5.64
61	11.29	3.23	5.64
62	11.36	3.23	5.64
63	11.41	3.23	5.64
64	11.45	3.23	5.64
65	11.51	3.23	5.64
66	11.55	3.23	5.64
67	12.00	3.23	5.64
68	12.05	3.23	5.64
69	12.11	3.23	5.64
70	12.15	3.23	5.64
71	12.20	3.23	5.64
72	12.25	3.23	5.64
73	12.30	3.23	5.64
74	12.35	3.23	5.64
75	12.40	3.23	5.64
76	12.45	3.23	5.64
77	12.50	3.23	5.64
78	12.55	3.23	5.64
79	13.03	3.23	5.64
80	13.10	3.23	5.64
Base	13.22	3.23	5.64
DATUM		3.233	

KOREKSI FAC



Gambar 4.6. Grafik Pengukuran Koreksi Udara Bebas nilai diambil dari penarikan nilai datum Hari Ketiga

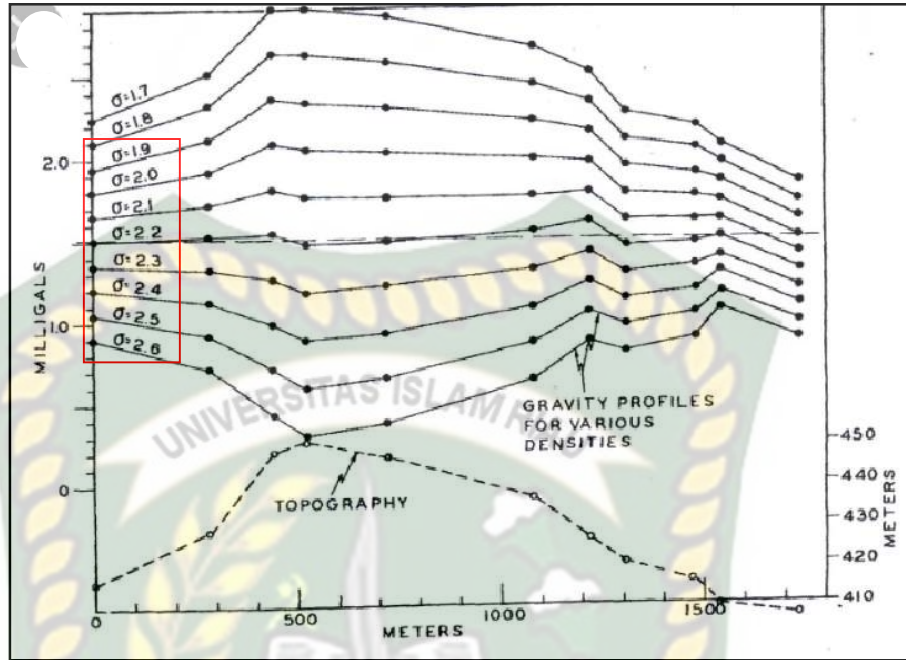
4.2.3. Koreksi Bouguer

Pada koreksi bouguer memperhitungkan masa batuan rata – rata yang terdapat pada stasiun pengamatan kemudian diperoleh nilai koreksi bouguer masing – masing stasiun pengamatan. Setelah itu, dilakukan plotting nilai koreksi bouguer pada grafik nettleton untuk mendapatkan densitas batuan masing masing daerah pengamatan. Berikut hasil dari koreksi bouguer dan nilai densitas batuan berdasarkan penarikan diagram nettleton :

Tabel 4.7. Hasil Pengukuran Koreksi Bouguer dan Nilai Densitas pada Stasiun Pengamatan

STASIUN	$\Delta g_{Bouguer}$	ρ (gr/cm ³)	STASIUN	$\Delta g_{Bouguer}$	ρ (gr/cm ³)
Base	1.282446	2.4	41	0.5343525	2.6
1	1.0473309	2.5	42	0.5129784	2.6
2	0.9618345	2.6	43	0.45954315	2.6
3	0.854964	2.6	44	0.4061079	2.6
4	0.84427695	2.6	45	0.37404675	2.6
5	0.7694676	2.6	46	0.33129855	2.6
6	0.5984748	2.6	47	0.28855035	2.6
7	0.43816905	2.6	48	0.2564892	2.6
8	0.427482	2.6	49	0.213741	2.6
9	0.3419856	2.6	50	0.18167985	2.6
10	0.26717625	2.6	51	0.1282446	2.6
11	0.213741	2.6	52	0.0854964	2.6
12	0.1496187	2.6	Base	0.01068705	2.6

Base	0.03206115	2.6	Base	0.54503955	2.6
Base	1.97710425	1.9	53	0.5129784	2.6
13	1.84885965	2	54	0.4916043	2.6
14	1.74198915	2.1	55	0.48091725	2.6
15	1.7313021	2.1	56	0.45954315	2.6
16	1.6885539	2.1	57	0.45954315	2.6
17	1.6244316	2.1	58	0.427482	2.6
18	1.57099635	2.2	59	0.41679495	2.6
19	1.496187	2.3	60	0.39542085	2.6
20	1.4534388	2.3	61	0.3847338	2.6
21	1.4106906	2.3	62	0.3633597	2.6
22	1.3679424	2.3	63	0.3419856	2.6
23	1.33588125	2.3	64	0.33129855	2.6
24	1.31450715	2.3	65	0.30992445	2.6
25	1.29313305	2.4	66	0.2992374	2.6
26	1.18626255	2.5	67	0.2351151	2.6
27	1.1755755	2.5	68	0.26717625	2.6
28	1.1328273	2.5	69	0.24580215	2.6
29	1.10076615	2.5	70	0.2351151	2.6
30	1.0473309	2.6	71	0.22442805	2.6
31	1.01526975	2.6	72	0.20305395	2.6
32	0.97252155	2.6	73	0.1923669	2.6
33	0.9404604	2.6	74	0.1709928	2.6
34	0.8763381	2.6	75	0.16030575	2.6
35	0.82290285	2.6	76	0.13893165	2.6
36	0.78015465	2.6	77	0.1282446	2.6
37	0.73740645	2.6	78	0.1068705	2.6
38	0.69465825	2.6	79	0.0854964	2.6
39	0.60916185	2.6	80	0.0641223	2.6
40	0.5771007	2.6	Base	0.0213741	2.6



Gambar 4.7. Grafik Nettleton menunjukkan Nilai Densitas pada Setiap Stasiun Pengamatan

4.2.4. Koreksi Latitude

Koreksi latitude (lintang) digunakan untuk mengkoreksi nilai lintang atau latitude pada setiap stasiun pengamatan. Sehingga dihasilkan nilai koreksi lintang pada tabel dibawah ini :

Tabel 4.8. Hasil Pengukuran Koreksi Lintang pada Stasiun Pengamatan

STASIUN	Koreksi Latitude ($\Delta g\theta$)	STASIUN	Koreksi Latitude ($\Delta g\theta$)
Base	9.780601887	41	9.780600473
1	9.780601974	42	9.780600452
2	9.780601887	43	9.780600473
3	9.7806018	44	9.780600473
4	9.780601734	45	9.780600473
5	9.780601669	46	9.780600473
6	9.780601582	47	9.780600473
7	9.780601517	48	9.780600473
8	9.78060143	49	9.780600473
9	9.780601364	50	9.780600473
10	9.780601321	51	9.780600473

11	9.780601277	52	9.780600473
12	9.780601277	Base	9.780601887
Base	9.780601234	Base	9.780601887
Base	9.780601887	53	9.780600473
13	9.780601212	54	9.780600473
14	9.780601169	55	9.780600495
15	9.780601125	56	9.780600495
16	9.780601082	57	9.780600495
17	9.780601038	58	9.780600473
18	9.780601016	59	9.780600473
19	9.780600973	60	9.780600473
20	9.78060093	61	9.780600452
21	9.780600886	62	9.78060043
22	9.780600843	63	9.780600408
23	9.780600799	64	9.780600365
24	9.780600777	65	9.780600343
25	9.780600734	66	9.780600321
26	9.78060069	67	9.780600299
27	9.780600647	68	9.780600278
28	9.780600625	69	9.780600256
29	9.780600604	70	9.780600256
30	9.78060056	71	9.780600234
31	9.780600538	72	9.780600213
32	9.780600517	73	9.780600213
33	9.780600495	74	9.780600213
34	9.780600473	75	9.780600213
35	9.780600473	76	9.780600213
36	9.780600452	77	9.780600213
37	9.780600452	78	9.780600213
38	9.780600452	79	9.780600213
39	9.780600452	80	9.780600213
40	9.780600452	Base	9.780601887

4.2.5. Koreksi Medan (Terrain Corection)

Koreksi medan atau topografi digunakan untuk pereduksian adanya perbedaan nilai topografi. Namun, dikarenakan daerah penelitian merupakan kawasan landai dan tidak memiliki perbedaan nilai topografi yang signifikan maka, nilai dari koreksi medan dianggap bernilai 1 (satu).

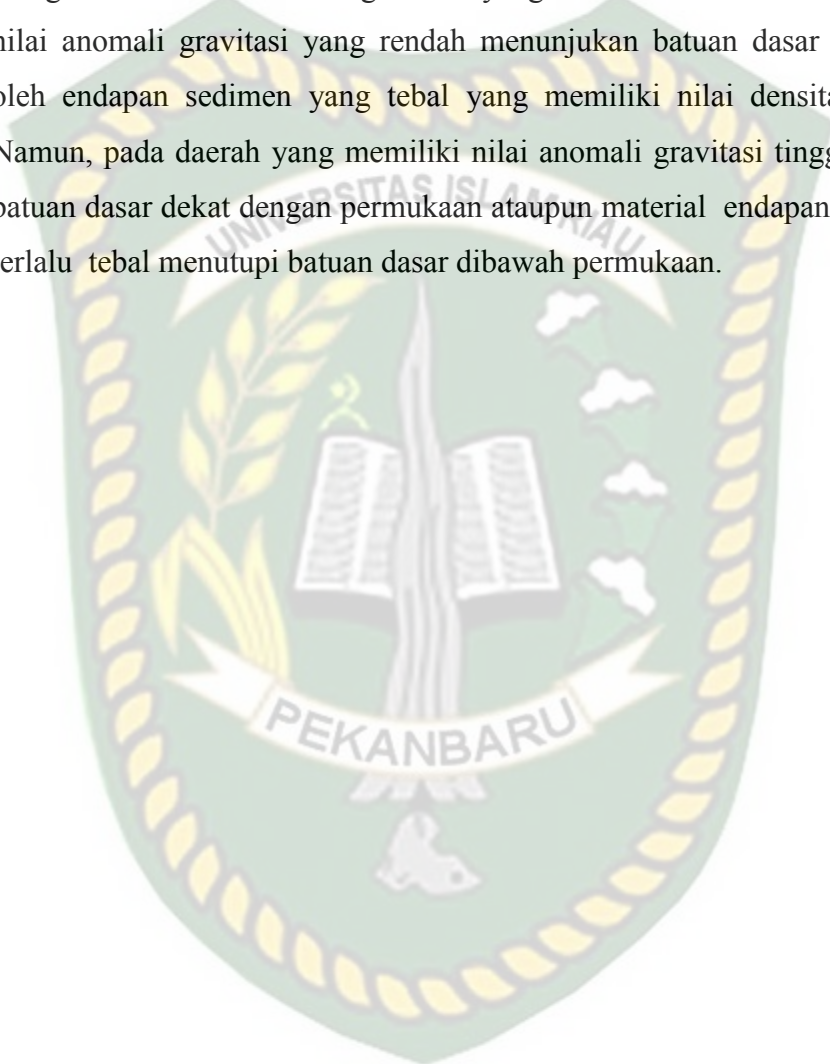
4.3. Analisa Interpretasi Kuantitatif Anomali Gravitasi

Analisa secara kuantitatif adalah analisa yang dianalisis secara subjektif yang dilakukan terhadap data gravitasi dan membandingkannya dengan geologi daerah penelitian. Data gravitasi yang didapat akan dilakukan koreksi data diantaranya koreksi apungan, koreksi udara bebas, koreksi bouguer, koreksi lintang dan koreksi medan. Selanjutnya, dari pereduksian (koreksi) data tersebut didapatkan nilai anomali gravitasi yang akan dilakukan interpretasi kualitatif. Pada tahap interpretasi kualitatif dilakukan dengan cara membaca pola anomali gravitasi yang terdapat pada peta gravitasi yang dihasilkan. Peta yang dihasilkan dari tahap interpretasi kualitatif terdiri dari enam jenis peta diantaranya berupa peta anomali Bouguer lengkap, peta anomali regional, peta anomali residual, peta THD (Total Horizontal Derivate) anomali bouguer lengkap, peta THD (Total Horizontal Derivate) anomali regional, dan peta THD (Total Horizontal Derivate) anomali residual.

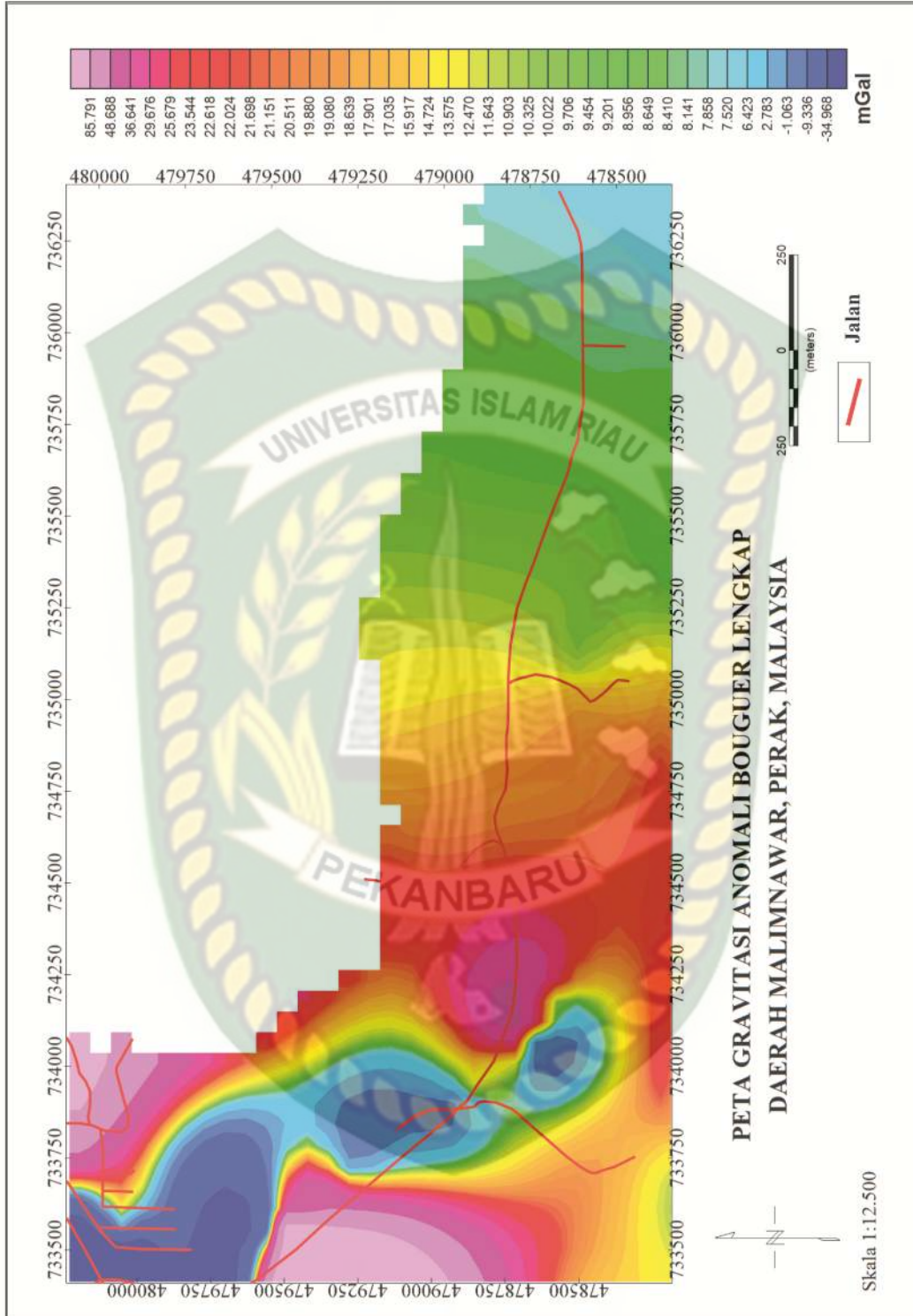
4.3.1. Peta Anomali Bouguer Lengkap (ABL)

Pengolahan data gravitasi menghasilkan Anomali Bouguer pada daerah Malim Nawar dan sekitarnya yang disajikan dalam bentuk peta Anomali Bouguer Lengkap (**Gambar 4.8**). Pola anomali yang dihasilkan terdiri dari dua pola yaitu pola anomali tinggi dengan rentang nilai anomali berkisar 17.035 mGal – 85.79 mGal (dengan kenampakan kontur jingga muda sampai merah muda), dan pola anomali rendah dengan rentang nilai anomali berkisar -34.96 mGal – 17.035 mGal (dengan kenampakan kontur warna biru tua sampai jingga muda). Perbedaan pada nilai kontur disebabkan oleh perbedaan densitas batuan ataupun struktur batuan yang terdapat pada daerah penelitian. Nilai anomali yang tinggi tersebut diduga oleh kontras densitas batuan yang tinggi, pola anomali yang tinggi ini juga diduga kuat adanya bukit karst batuan bawah permukaan dan untuk nilai anomali rendah diindikasikan oleh adanya batuan yang memiliki densitas lebih kecil dibandingkan batuan sekitarnya serta adanya bagian lapisan batuan yang turun akibat struktur karst. Nilai anomali gravitasi memiliki hubungan berbanding lurus dengan nilai densitas batuan ataupun

material dibawah permukaan pada daerah penelitian. Nilai densitas batuan yang tinggi akan menghasilkan nilai anomali gravitasi yang tinggi pula. Sedangkan, untuk batuan yang memiliki nilai densitas yang rendah akan menghasilkan nilai anomali gravitasi yang rendah. Pada daerah yang memiliki nilai anomali gravitasi yang rendah menunjukkan batuan dasar yang tertutupi oleh endapan sedimen yang tebal yang memiliki nilai densitas yang kecil. Namun, pada daerah yang memiliki nilai anomali gravitasi tinggi menunjukkan batuan dasar dekat dengan permukaan ataupun material endapan sedimen tidak terlalu tebal menutupi batuan dasar dibawah permukaan.



Dokumen ini adalah Arsip Milik :



Gambar 4.8. Peta Anomali Bouguer Lengkap (ABL)

Pada daerah penelitian anomali tinggi berada disebelah Barat, Utara, dan dibagian tengah (dengan warna jingga muda – merah muda) dengan nilai densitas $2.4 \text{ gr/cm}^3 - 2.6 \text{ gr/cm}^3$ yang diinterpretasi berupa litologi batugamping, dan anomali rendah berada pada sebelah Baratlaut, dan bagian Timur daerah penelitian (dengan warna biru tua – jingga muda) dengan nilai densitas $1.9 \text{ gr/cm}^3 - 2.4 \text{ gr/cm}^3$ yang diinterpretasikan sebagai material endapan sedimen berupa pasir. Dari data ABL di bidang datar memperlihatkan kontras perbedaan kontur dan pola yang tidak beraturan sehingga sudah merepresentasikan struktur geologi bawah permukaan. Namun, dalam data ini masih perlu dilakukan pemisahan nilai anomali regional dan residual untuk dilakukan pemrosesan lebih lanjut.

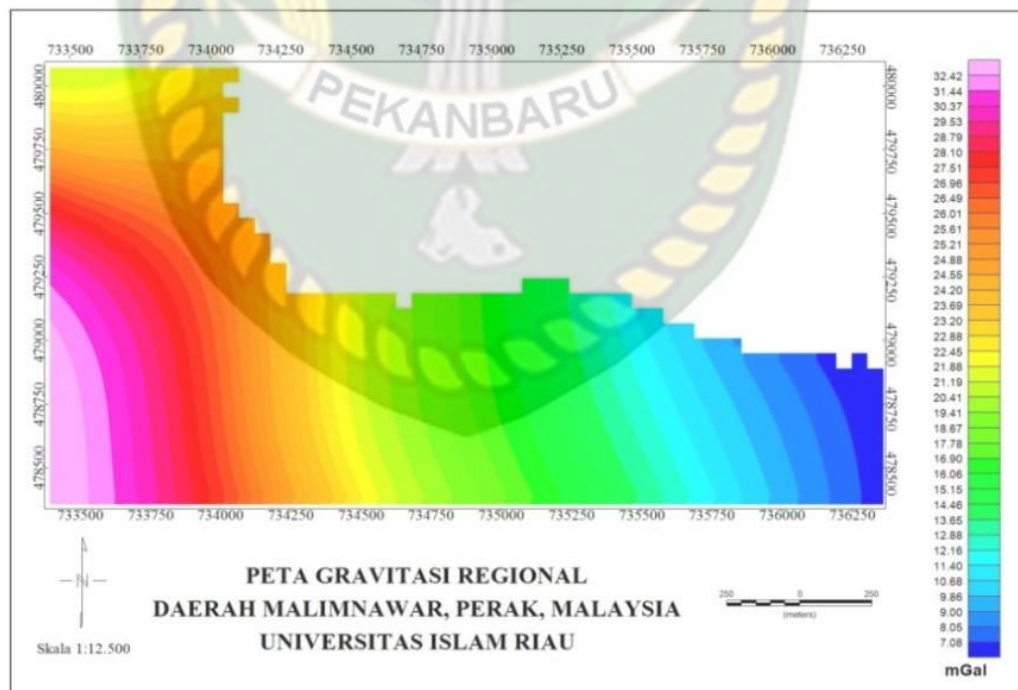
4.3.2. Pemisahan Anomali Regional dan Residual

Pemisahan anomali regional dan residual menggunakan teknik filter Gaussian. Anomali Bouguer sendiri merupakan komponen dari nilai anomali regional dan residual. Anomali regional adalah informasi geologi batuan dasar atau yang dicirikan sebagai anomali yang berfrekuensi rendah dan biasanya digunakan untuk mendapatkan informasi geologi bawah permukaan yang lebih dalam, sementara anomali residual informasi geologi permukaan diindikasikan sebagai anomali yang berfrekuensi tinggi digunakan untuk mendapatkan informasi geologi bawah permukaan yang lebih dangkal lebih dekat dengan permukaan bumi. Pada peta anomali regional digunakan nilai filter *Low pass* dengan nilai 3000,4000 dan 5000. Sebelumnya, digunakan beberapa nilai filter guna mendapatkan kontur yang halus dan ideal dimulai dari nilai filter 200 sampai dengan 13.000 sampai kontur halus dan tidak berubah agar objek anomali yang terletak lebih dalam dibawah permukaan teridentifikasi. Pada nilai filter 3000 kenampakan anomali regional masih tampak berubah signifikan. Kemudian, pada nilai 4000 menuju 5000 kenampakan anomali regional tidak berubah dan *smooth*. Berikut kenampakan perubahan Peta

anomali regional dari masing – masing nilai filter dimulai dari 3000, 4000 dan 5000 (Gambar 4.9).



(a)



(b)



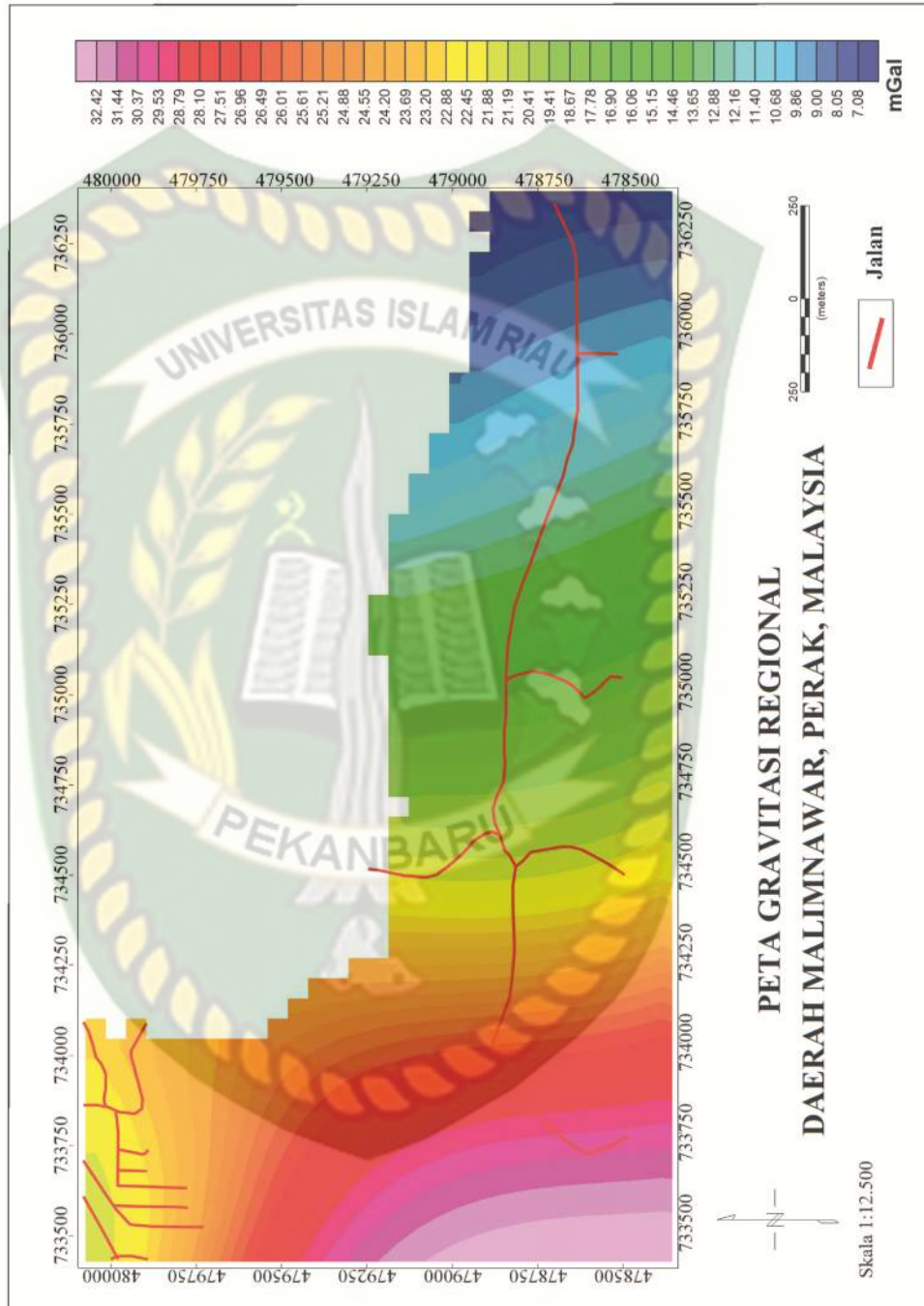
(c)

Gambar 4.9. Peta Anomali Regional Nilai Filter
Low Pass 3000; b) 4000; dan c) 5000

Setelah dilakukan filter maka, diambil peta anomali regional dengan nilai filter 4000 sebagai anomali regional ideal. Pada peta anomali regional daerah penelitian terdapat dua pola anomali, diantaranya anomali tinggi berkembang disebelah Baratdaya dengan rentang nilai berkisar 23.20 mGal – 32.42 mGal (diinterpretasikan dengan warna jingga muda – merah muda dan anomali rendah berkembang disebelah barat dengan rentang nilai 7.08 mGal – 23.20 mGal (diinterpretasikan dengan warna biru tua – jingga muda).

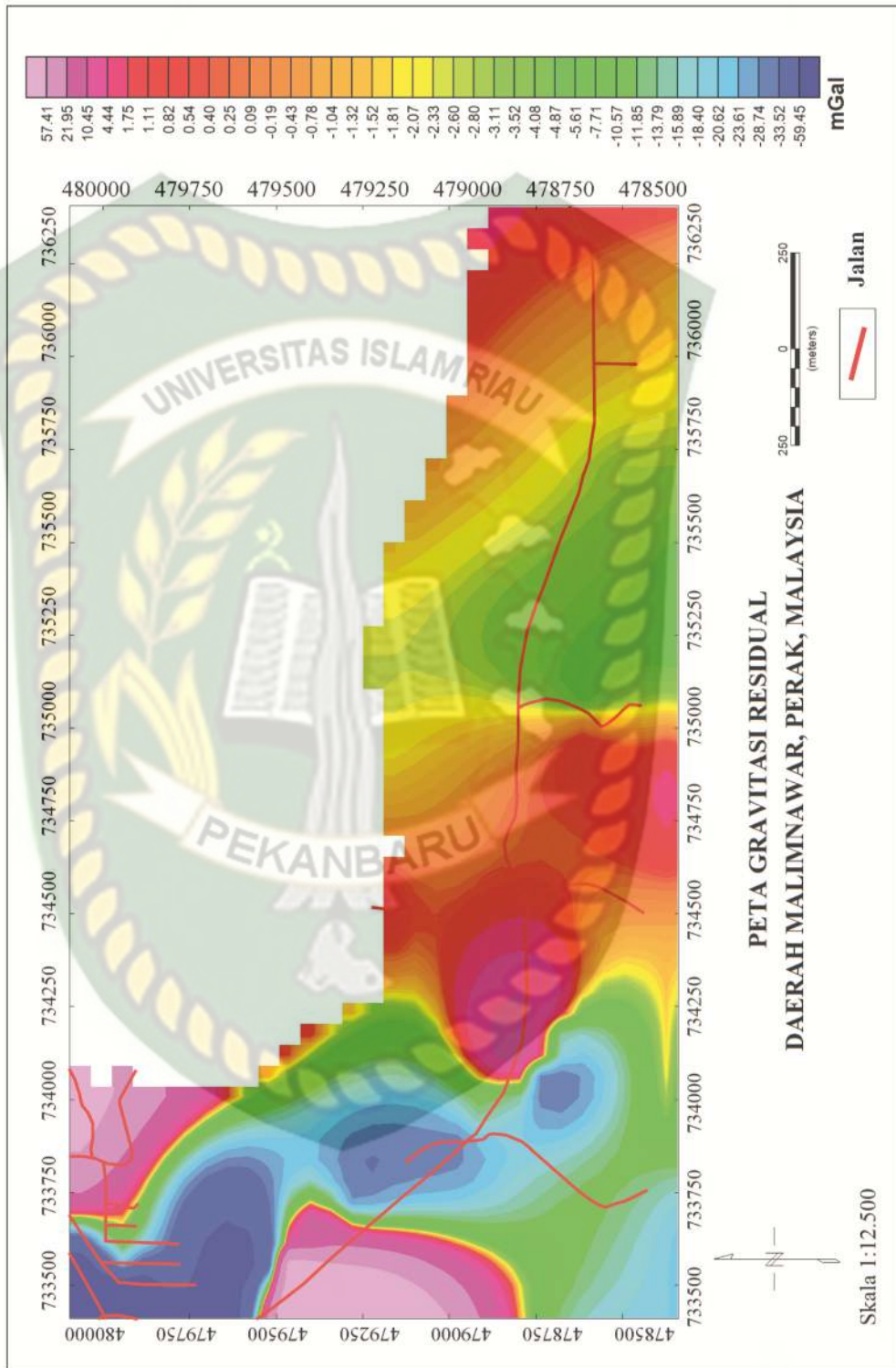
Peta anomali residual (sisa) dihasilkan dari pengurangan anomali regional dengan anomali Bouguer. Peta anomali residual daerah penelitian terdapat 2 pola anomali, diantaranya anomali tinggi berkembang disebelah Baratdaya dengan rentang nilai berkisar 0.25 mGal – 57.41 mGal (dengan warna jingga muda – merah muda), dan anomali rendah berkembang disebelah barat dengan rentang nilai -59.45 mGal – 0.25 mGal (dengan warna biru tua – jingga muda).

Dokumen ini adalah Arsip Milik :



Gambar 4.10. Peta Anomali Regional dengan *Low Pass Filter* 4000

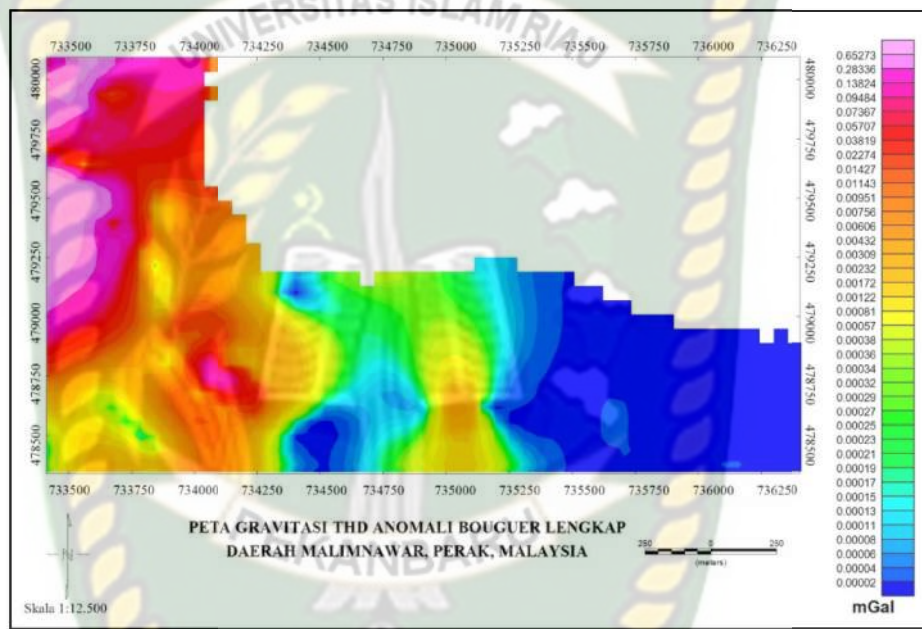
Dokumen ini adalah Arsip Milik :



Gambar 4.11. Peta Anomali Residual

4.3.3. Peta THD (Total Horizontal Derivate) Anomali Bouguer Lengkap

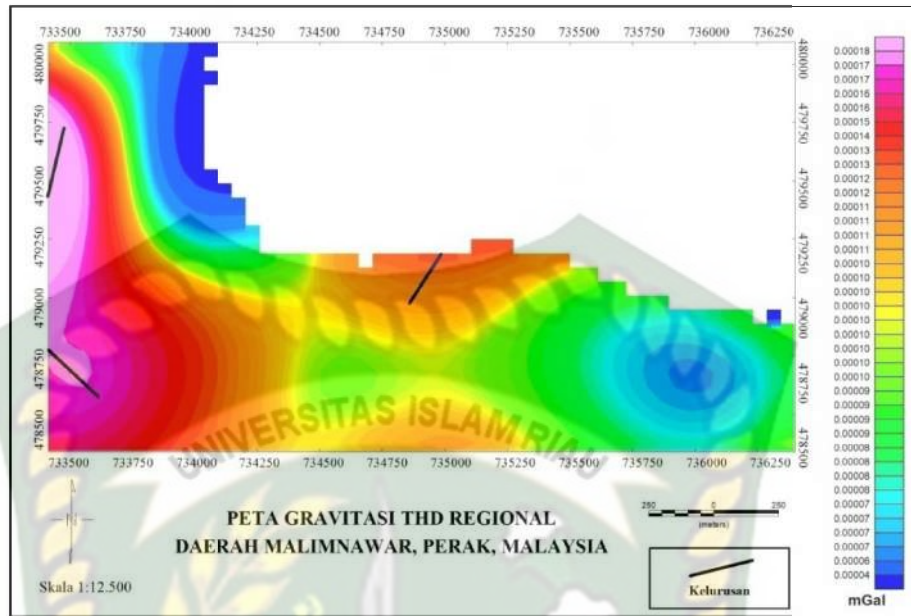
Pada peta THD Anomali Bouguer lengkap terdapat dua pola anomali yaitu anomali tinggi yang berkembang dibagian Barat laut dan tengah daerah penelitian dengan nilai anomali berkisar 0.00057 mGal – 0.65273 mGal(kontur warna kuning sampai merah muda), dan anomali rendah berkembang dibagian Timur dan tengah dengan nilai anomali berkisar 0.00002 mGal – 0.00057 mGal(kontur warna biru tua sampai hijau muda).



Gambar 4.12. Peta THD Anomali Bouguer Lengkap

4.3.4. Peta THD (Total Horizontal Derivate) Anomali Regional

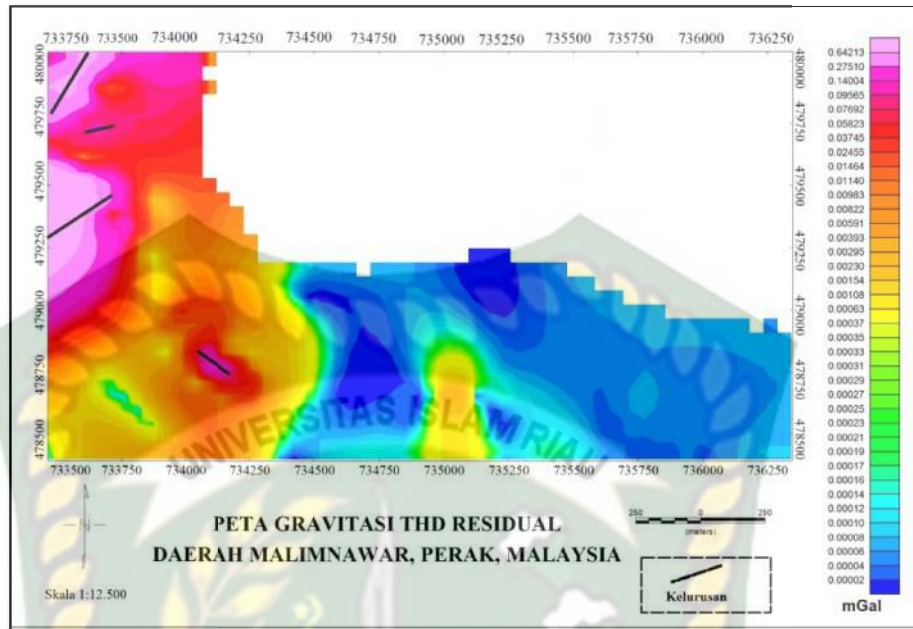
Pada peta THD regional terdapat dua pola anomali yaitu anomali tinggi yang berkembang dibagian Barat dan tengah daerah penelitian dengan nilai anomali berkisar 0.00010 mGal – 0.00018 mGal(kontur warna kuning sampai merah muda), dan anomali rendah berkembang dibagian Tenggara dan Utara dengan nilai anomali berkisar 0.00004 mGal – 0.00010 mGal(kontur biru tua sampai biru muda). Pola anomali tinggi pada peta THD regional diindikasikan adanya struktur patahan pada daerah karst bawah permukaan.



Gambar 4.13. Peta THD Anomali Regional

4.3.5. Peta THD (Total Horizontal Derivate) Anomali Residual

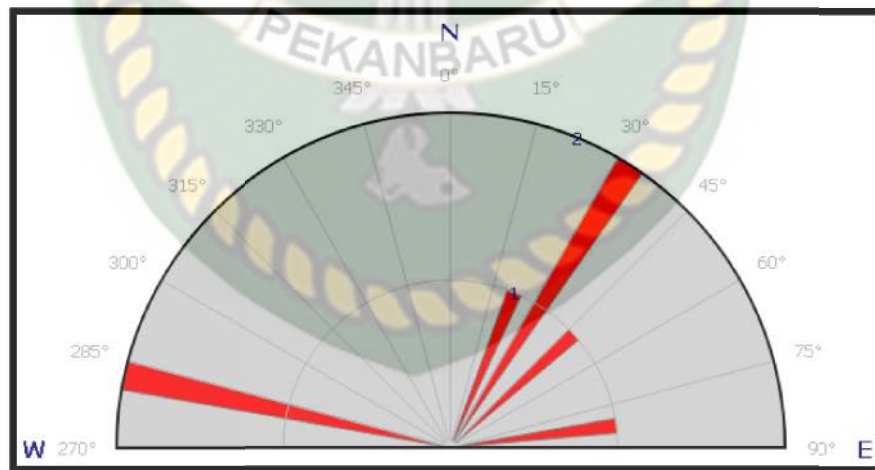
Pada peta THD residual terdapat dua pola anomali yaitu anomali tinggi yang berkembang dibagian Barat dan tengah daerah penelitian dengan nilai anomali berkisar 0.00037 mGal – 0.64213 mGal (kontur warna kuning sampai merah muda dan anomali rendah berkembang dibagian Selatan dengan nilai anomali berkisar 0.00002 mGal – 0.00037 mGal (kontur warna biru tua sampai kuning). Pada pola anomali tinggi diindikasikan sebagai struktur maka, ditarik kelurusan. Dari kelurusan akan dilakukan *plotting* menggunakan diagram kipas (Diagram *Rose*) sehingga didapatkan arah kelurusan dominan dan arah tegasan dengan menggabungkan nilai kelurusan yang ada pada peta THD regional dan residual. Untuk menentukan struktur bawah permukaan pada daerah penelitian digunakan analisa pemodelan 2D dengan menggunakan Software berupa GM-SYS sehingga dapat dengan jelas diketahui jenis struktur yang terdapat pada daerah penelitian.



Gambar 4.14. Peta THD Anomali Residual

4.4. Analisa Struktur Karst bawah permukaan Pada Daerah Penelitian

Dari penarikan kelurusan peta THD anomali regional dan residual didapatkan arah kelurusan dominan struktur karst bawah permukaan pada daerah penelitian terlihat pada Gambar 4.15 berikut :



Gambar 4.15. Arah Dominan Kelurusan menggunakan Diagram Rose

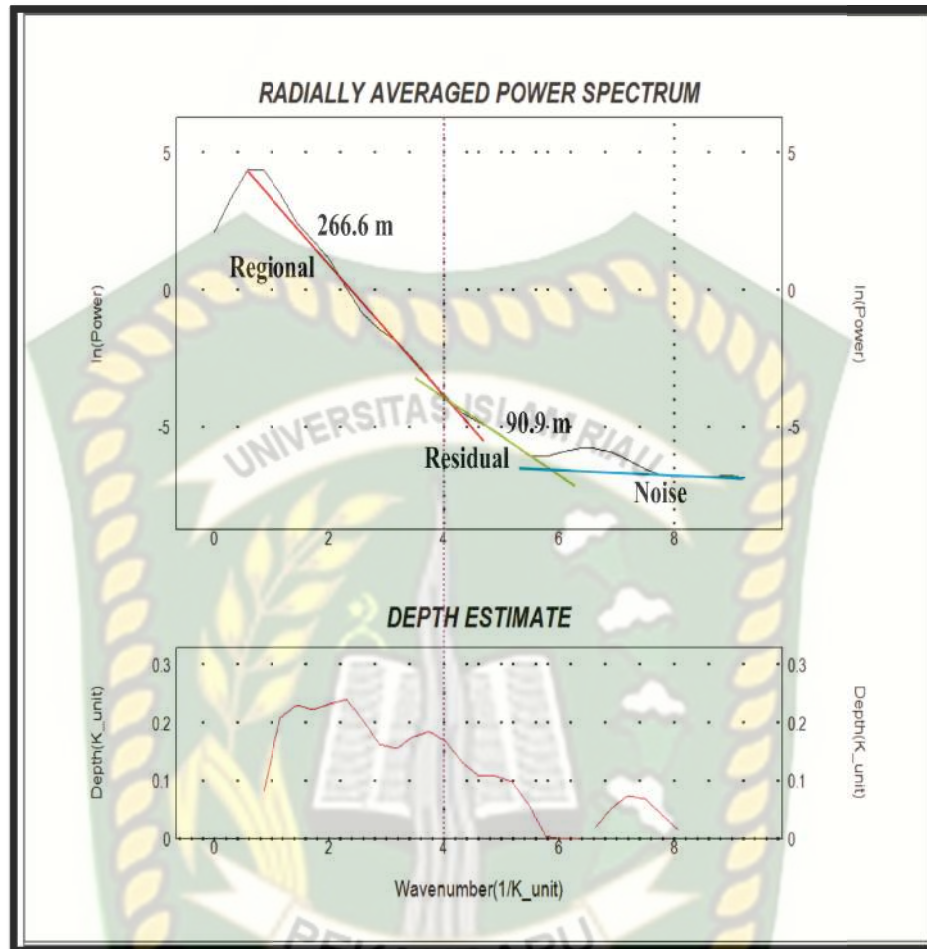
Berdasarkan gambar diatas didapatkan arah dominan kelurusan pada struktur karst bawah permukaan yaitu berarah Timurlaut – Baratdaya. Arah

kelurusan didapat berdasarkan nilai anomali yang didapat pada peta THD berupa pola anomali tinggi kemudian ditarik arah kelurusan dari kenampakan kontur yang bernilai anomali tinggi.

4.5. Analisa Spektrum

Analisis spektrum dilakukan dengan mentransformasi data anomali Bouguer ke domain frekuensi berdasarkan Transformasi Fourier. Tujuan dari analisis spektrum ini adalah untuk mengetahui kedalaman bidang batas dari sumber penyebab anomali secara analisis numerik baik itu anomali regional, anomali residual dan noise. Batas kedalaman didapatkan berdasarkan perhitungan nilai gradient (m) masing-masing anomali yang ditarik berdasarkan grafik yang dihasilkan. Kedalaman bidang batas dalam hal ini adalah besar kemiringan (harga mutlak *slope*) dari Log Power Spektrum (Ln Amplitudo) terhadap frekuensi. Penerapan analisis spektrum terhadap data anomaly Bouguer akan menghasilkan spektrum seperti diperlihatkan pada **Gambar 4.16**.

Berdasarkan grafik analisa spectrum kedalaman anomali pada daerah penelitian mencapai ± 500 meter. Diagram spektrum tersebut digunakan dalam melakukan pemisahan batas anomali regional-residual. Berdasarkan hasil analisis spektrum diperoleh bahwa batas sumber anomali regional berasal dari kedalaman ± 266.6 meter, batas sumber anomali residual berasal dari kedalaman ± 90.9 meter, dan sumber *noise* berasal dari kedalaman < 90.9 meter. Densitas rata-rata batuan pada zona regional maupun residual adalah 2.55 gr/cm^3 yang diindikasikan sebagai batugamping ditinjau dari kondisi geologi daerah penelitian yang berlitologi batugamping.



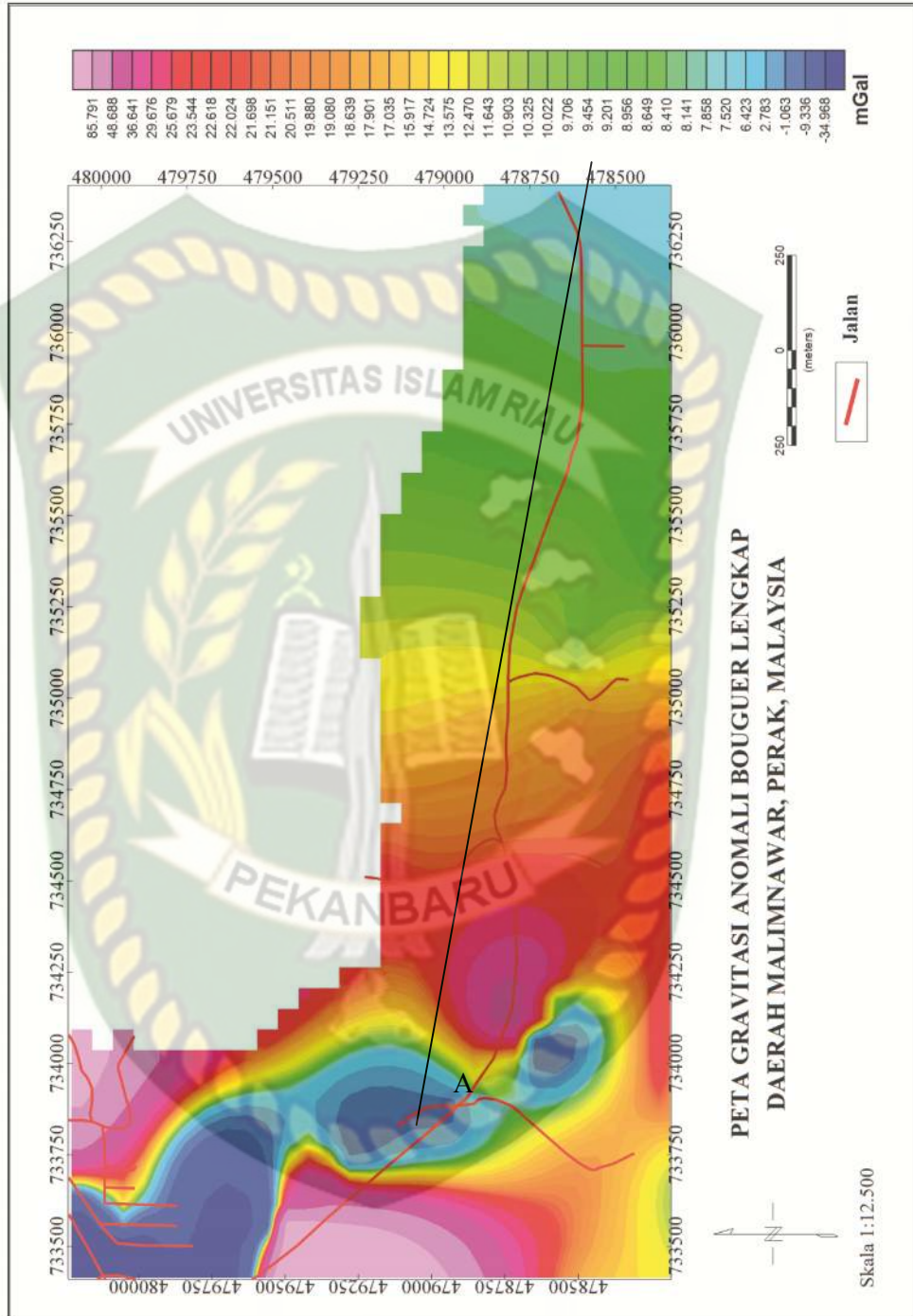
Gambar 4.16.Analisa Spektrum Bidang Batas Anomali Regional, Anomali Residual dan Noise pada Daerah Penelitian

4.6. Interpretasi Kualitatif

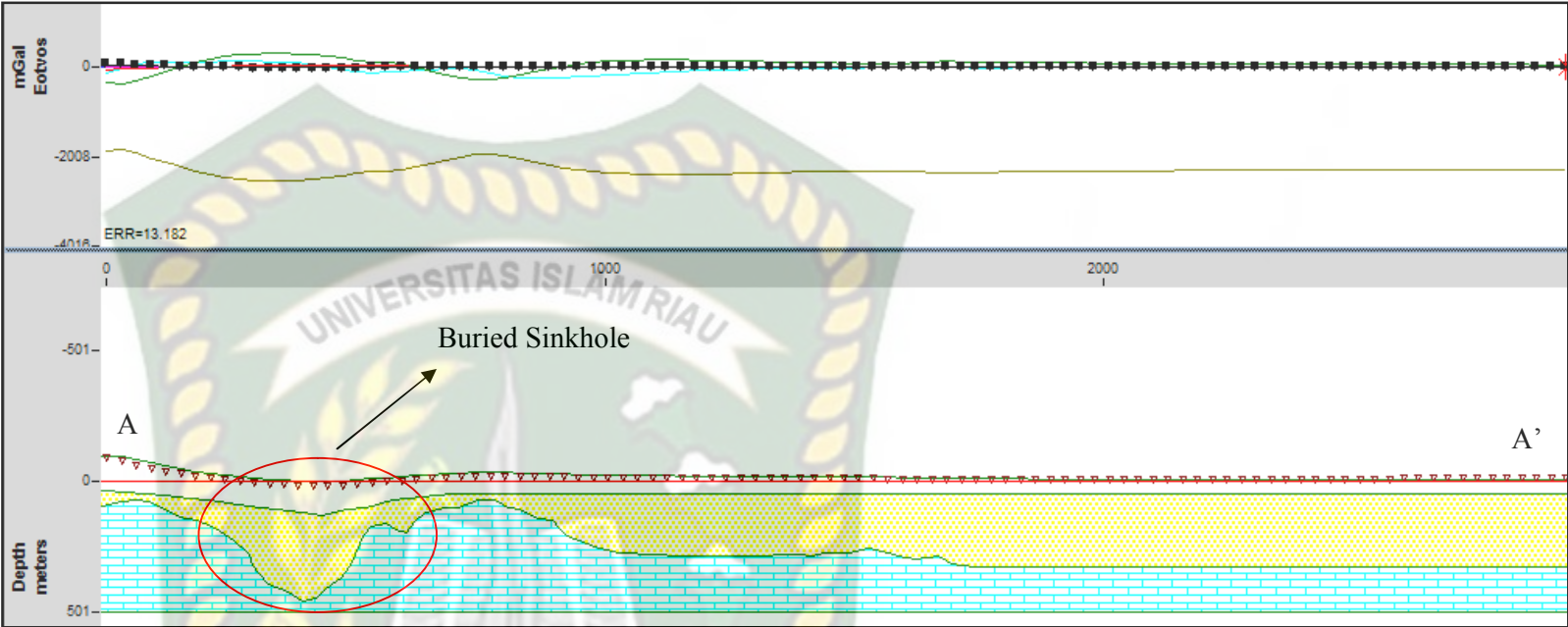
Interpretasi kualitatif dilakukan dengan membuat pemodelan bawah permukaan yang dimodelkan dalam bentuk model gravitasi dua dimensi (2-D). pada pemodelan dua dimensi ini akan diketahui bentuk lapisan batuan yang ada dibawah permukaan dan kedalaman yang didapatkan dengan menghubungkan grafik spektrum dan sumber kedalaman.

Analisa ini dilakukan dengan membuat pemodelan sayatan dari anomali gravitasi Bouguer lengkap (peta ABL) diperlihatkan pada **Gambar 4.17**, sedangkan model bawah permukaan ditunjukkan pada **Gambar 4.18**.

Dokumen ini adalah Arsip Milik :



Gambar 4.17. Penampang Sayatan A-A' pada Peta Anomali Bouguer Lengkap



Gambar 4.18. Pemodelan 2D Bawah Permukaan didaerah Penelitian.

Dari hasil pemodelan ini dapat dilihat bahwa daerah penelitian kondisi bawah permukaannya diestimasi tersusun oleh 2 lapisan dan struktur karst berupa *sinkhole* dengan jenis *buried sinkhole*. Daerah penelitian dimodelkan secara dua dimensi dengan membuat penampang pada lintasan AA' seperti lintasan yang terlihat pada **Gambar 4.17**. Pemodelan dilakukan dengan menggunakan teknik pemodelan kedepan dengan menggunakan *software* GM-SYS 2D, dengan bantuan informasi data geologi dan analisis spektral lintasan penelitian. Peta penyebaran Anomali Bouguer Lengkap ini menggambarkan struktur bawah permukaan dangkal maupun dalam. Anomali tinggi yang memiliki topografi rendah dan nilai anomali rendah yang memiliki topografi tinggi ditafsirkan kemungkinan pada kawasan ini lapisan endapan sedimen yang ada cukup tebal. Pada informasi kuantitatif diinterpretasi sebagai hasil adanya interaksi *buried sinkhole* akibat amblesan yang terjadi cukup lama akibat dari endapan sedimen diatas batugamping tersebut yang berarah Baratlaut - Tenggara. Batuan dasar (*body layer* warna biru) yang diinterpretasikan sebagai batugamping dengan nilai densitas antara $2.4 \text{ gr/cm}^3 - 2.6 \text{ gr/cm}^3$ dengan kedalaman dari 92.66 meter sampai 501 meter. Kemudian, pada bagian atas diendapkan dan ditutupi oleh endapan sedimen yang diinterpretasikan pasir lempungan dengan densitas $1.9 \text{ gr/cm}^3 - 2.4 \text{ gr/cm}^3$ dengan kedalaman 66.33 meter sampai 498.07 meter.

Buried sinkhole sendiri terjadi karena adanya proses pembebanan dan kompaksi yang dialami oleh endapan penutup secara perlahan dan waktu yang cukup lama. Tipe karst pada daerah penelitian merupakan tipe kompleks (tipe IV). Proses dari *buried sinkhole* bermula saat batugamping bawah permukaan mengalami pelarutan terjadi ketidakstabilan untuk menahan beban endapan aluvial sedimen diatasnya. Setelah, jangka waktu yang lama endapan alluvial sedimen semakin tebal dan terkompaksi menekan batugamping dibawahnya menyebabkan terjadinya amblesan pada batugamping tersebut. Untuk itu, pada bagian sebelah barat pada daerah penelitian merupakan kawasan rawan amblesan mengingat pada kawasan tersebut merupakan padat penduduk dan terutama terdapat fasilitas publik yaitu jalan raya. Sedangkan, sebelah timur merupakan kawasan cukup aman atau tidak rawan.

BAB V PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Setelah dilakukan penelitian dengan metode gravitasi pada daerah penelitian yang berada di Malimnawar, Perak, Malaysia dapat disimpulkan bahwa :

1. Dari hasil interpretasi kualitatif dapat diketahui bahwa pola kontur anomali bouger lengkap dapat dibedakan menjadi 2 pola yaitu pola anomali tinggi dengan rentang nilai anomali berkisar 17.035 mGal – 85.79 mGal (kenampakan kontur jingga muda sampai merah muda), dan pola anomali rendah dengan rentang nilai anomali -34.96 mGal – 17.035 mGal (kenampakan kontur warna biru tua sampai jingga muda).
2. Batuan dasar/ *basement* (*body layer* warna biru) yang diinterpretasikan sebagai batugamping dengan nilai densitas antara 2.4 gr/cm³ – 2.6 gr/cm³ dengan kedalaman dari 92.66 meter sampai 501 meter. Kemudian, pada bagian atas diendapkan dan ditutupi oleh endapan sedimen dengan densitas 1.8 gr/cm³ – 2.4 gr/cm³ diinterpretasikan sebagai pasir lempungan dengan kedalaman 66.33 meter sampai 498.07 meter.
3. Berdasarkan kenampakan anomali pada peta THD regional dan THD residual dari kedua peta tersebut terlihat arah struktur karst bawah permukaan yang dominan berarah Timurlaut – Baratdaya. Berdasarkan interpretasi kuantitatif melalui pemodelan GM-Sys 2 dimensi dengan penarikan penampang AA' didapatkan struktur karst berupa *sinkhole* dengan jenis *buried sinkhole*.
4. Kawasan rawan amblesan akibat struktur *sinkhole* (*buried sinkhole*) pada bagian barat daerah penelitian dan kawasan yang cukup aman berada dibagian timur dari daerah penelitian.

5.2. Saran

Bagi peneliti yang ingin melanjutkan penelitian ini diharapkan dapat menggunakan data pendukung seperti data sampel *core* dan seismik bawah

permukaan agar data yang dihasilkan lebih akurat. Penulis juga menyarankan kepada semua pihak terutama pemerintah setempat untuk lebih memperhatikan kawasan dibagian sebelah barat karna merupakan kawasan rawan akan amblesan. Perlu adanya *Treatment* lebih lanjut untuk kestabilan dalam pembangunan konstruksi rumah dan jalan raya pada kawasan tersebut.



DAFTAR PUSTAKA

- Abdul Hamid M.B., Asmuri M.M., Azman A. Ghani, Umor, M.R. & Ismail M.A. (2002). Petrology of igneous rocks from the Pemanggil island. *Geological Society of Malaysia Bulletin*, **45**, 247–251.
- Ahmad Jantan (1973). *Stratigraphy of the Singa Formation (Upper Palaeozoic) in the southwestern part of the Langkawi Island Group, West Malaysia*. Unpubl. M.Sc. thesis, Dept. of Geology, University of Malaya.
- Blakely, Richard J. (1996). *Potential theory in gravity and magnetic applications*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Borhan Doya, M. (1995). *Petrology and geochemistry of granitoid from Penang, Kedah-Perak and general geology*. Unpubl. B.Sc. (Hons) thesis, Dept. of Geology, University of Malaya.
- Gobbett, D. J., 1971. Joint Pattern and Faulting in Kinta, West Malaysia. *Bulletin of the Geological Society of Malaysia*, **5**, 39-48.
- Hammer, S. (1939). Terrain corrections for gravimeter stations. *Geophysics*, **4**(3), 184-194.
- Hooijer, D.A. (1963). Report upon a collection of Pleistocene mammals from tin-bearing deposits in a limestone cave near Ipoh, Kinta Valley, Perak. *Federation Museums Journal*, **7**, 1–5.
- Ingham, F. T. & Bradford, E.P., 1960. Geology and Mineral Resources of the Kinta Valley, Perak. Federation of Malaya Geological Survey District Memoir 9, Malaya: Government Press.
- Latifah, Iif. Penentuan anomali bouguer dan densitas rata-rata batuan berdasarkan data gravitasi di Daerah Semarang.
- Nettleton, L. L. (1939). Determination of density for reduction of gravimeter observations. *Geophysics*, **4**(3), 176-183.
- Putra, D. B. E. (2012). Geophysical survey using gravity method at Bukit Bunuh area, Lenggong, Perak. Proceedings of the National Geoscience Conference 2012, 102–121.

- Putra, D. B. E., Samsudin, A. R., & Choanji, T. (2016). Geophysical Modelling Using Gravity Data Of Meteorite Impact Crater At Bukit Bunuh, Lenggong, Perak, Malaysia. *Proceeding of The 7th Indonesia Japan Joint Scientific Symposium*, 1, 515–524.
- Putra, D. B. E., Yuskar, Y., & Hadian, M. S. D. (2017). HYDROGEOLOGY ASSESSMENT USING PHYSICAL PARAMETER IN BENGKALIS RIAU. *Proceedings of the 2nd Join Conference of Utsunomiya University and Universitas Padjadjaran*, 274–279.
- Samsudin, A. R., Saidin, M., Harun, A. R., Ariffin, M. H., Hamzah, U., Putra, D. B. E., & Karamah, M. S. S. (2013). A Possible Structure Of Impact Crater At Lenggong Perak : Gravity Evidences. *Proceedings of the National Geoscience Conference 2013*, 89.
- Suryadi, A. (2016). Fault Analysis to Determine Deformation History of Kubang Pasu Formation at South of UniMAP Stadium Hill, Ulu Pauh, Perlis, Malaysia. *Journal of Geoscience, Engineering, Environment, and Technology*, 1(1), 1-6.
- Syam, B., Permana, W., Pradana, A., & Choanji, T. (2007). The Petroleum System of Sibolga Basin Based on Correlation Seismic and Well Log Data.
- Reynolds, J.M. (1998). *An introduction to applied and environmental geophysics*. Chicester: John Wiley & Sons Ltd.
- Samsudin, A. R., Saidin, M., Harun, A. R., Ariffin, M. H., Hamzah, U., Putra, D. B. E., & Karamah, M. S. S. A possible structure of impact crater at Lenggong Perak: Gravity evidences.
- Sarkowi, M. (2011). *Diktat Kuliah: Metode Eksplorasi Gayaberat*.
- Serway, Raimond A. dan Jhon W.Jewett, Jr. 2009. *Fisikka untuk Sains dan Teknik*. Jakarta: Salemba Teknika.
- Suntharalingam, T., 1968. Upper Palaeozoic stratigraphy of the area west of Kampar, Perak. *Bulletin of the Geological Society of Malaysia*, 1, 1-15.

- Sum, Chow Weng, et al. "Construction in Terrain with Subsurface Karstic Limestone Bedrock." *ICIPEG 2014*. Springer, Singapore, 2015. 373-378.
- Telford, W.M., Geldart, L.P., & Sheriff, R.E.(1990). *Applied geophysics*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Tsegab, Haylay, et al. Higher-resolution biostratigraphy for the Kinta Limestone and an implication for continuous sedimentation in the Paleo-Tethys, Western Belt of Peninsular Malaysia. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 2017, 26.5: 377-394.
- Yuskar, Y. (2014). Interpretasi Fasies Pengendapan Formasi Tondo, Pulau Buton, Sulawesi Tenggara Berdasarkan Data Pemetaan Geologi dan Potensinya Sebagai Batuan Reservoir Minyakbumi. *Journal of Earth Energy Engineering*, 3(1), 31-40.
- Yuskar, Y. (2014). Stuktur Geologi Dan Model Tektonostratigrafi Daerah Gonda Dan Sekitarnya Kecamatan Sorawolio, Kabupaten Buton Sulawesi Tenggara. *Jurnal Relevansi, Akurasi Dan Tepat Waktu (RAT)*, 3(2), 473-480.
- Yuskar, Y., & Choanji, T. (2016b). *Sedimentologi Dasar* (1st ed.). Pekanbaru, Indonesia: UIR PRESS.
- Yuskar, Y., & Choanji, T. (2017). Uniqueness Deposit of Sediment on Floodplain Resulting From Lateral Accretion on Tropical Area: Study Case at Kampar River, Indonesia. *Journal of Geoscience, Engineering, Environment, and Technology*, 2(1), 14–19.
- Yuskar, Y., Harisma, H., & Choanji, T. (2017). Karstifikasi dan Pola Struktur Kuartar Berdasarkan Pemetaan Lapangan dan Citra SRTM Pada Formasi Wapulaka, Pasar Wajo, Buton, Sulawesi Tenggara. *Journal of Earth Energy Engineering*, 6(1), 1–10.
- Zhou, X. (2009). 3D vector gravity potential and line integrals for the gravity anomaly of a rectangular prism with 3D variable density contrast. *Geophysics*, 74(6), I43-I53.