

**“IDENTIFIKASI STRUKTUR BAWAH PERMUKAAN DAERAH PANAS
BUMI TG-11 DENGAN MENGGUNAKAN METODE GAYA BERAT ”**

Skripsi

Oleh

BAGUS HARDIANSYAH



**KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2016**

ABSTRACT

IDENTIFICATION OF SUBSURFACE STRUCTURE OF A GEOTHERMAL AREA TG-11 USING METHOD OF GRAVITY

By

BAGUS HARDIANSYAH

Method of gravity measuring the variations in the gravitational acceleration arising from the difference between the density of the rock beneath the surface. This research was conducted in east Kalimantan region with the aim of : Know Bouguer Anomaly research area, know the structure of the fault geothermal area TG-11 based on the analysis of data gravity, and know the structure of the subsurface area of research through modeling 2.5 D. Data processing is done in the research , include: Spectral analysis , SVD analysis and 2.5D modeling to know the subsurface structure of the research area . The results of the research show that : (1) Bouguer Anomaly full value ranges (37.7 until 76.1) mGal. Low anomaly occupies an area in the northwest to Southeast . Anomaly were occupying the northwest to southeast to follow the contours of the low anomaly . As well as high anomaly occupies the northwest to southeast . (2) SVD results show almost parallel to the fault direction faulting in regional geological map. (3) The results of modeling the subsurface 2.5D show , (a) Rocks found in the area of research that : There are four types of the research area in identifying as formation sajaw (TQps) with depth 0 – 150 meter below the surface, formation domaring (Tmpd) with depth 150-1000 meter below the surface, Formation birang (Tomb) with depth 1000-1200 meter below the surface and Formation Sembakung (Tes) with depth varyaty 0-1900 meter below the surface . Geothermal systems research area is the system that causes the cesarean.

Keyword : Gravity , Anomali Bouguer, Modeling 2.5 D

ABSTRAK

IDENTIFIKASI STRUKTUR BAWAH PERMUKAAN DAERAH PANAS BUMI TG-11 DENGAN MENGGUNAKAN METODE GAYA BERAT

Oleh

BAGUS HARDIANSYAH

Metode gayaberat digunakan untuk mengukur variasi percepatan gravitasi yang timbul dari perbedaan densitas antar batuan bawah permukaan. Penelitian ini dilakukan pada daerah Kalimantan Timur dengan tujuan untuk : Mengetahui *Anomali Bouguer* daerah penelitian, Mengetahui struktur patahan daerah panasbumi TG-11 berdasarkan analisis data gayaberat, dan mengetahui struktur bawah permukaan daerah penelitian melalui pemodelan 2,5D. Pengolahan data yang dilakukan dalam penelitian, meliputi : analisis spektral, analisis SVD dan pemodelan 2,5D untuk mengetahui struktur bawah permukaan daerah penelitian. Hasil dari penelitian menunjukkan bahwa : (1) Nilai anomali Bouguer Lengkap berkisar antara (37.7 sampai 76.1) mGal. Anomali rendah menempati daerah pada bagian barat laut hingga tenggara. Anomali sedang menempati arah barat laut hingga tenggara mengikuti kontur anomali rendah. Serta Anomali tinggi ini menempati arah barat laut hingga tenggara. (2) Hasil SVD menunjukkan arah patahan hampir sejajar dengan patahan yang ada dipeta geologi regional. (3) Hasil pemodelan bawah permukaan 2,5D menunjukkan, a) Batuan yang terdapat pada daerah penelitian yaitu : terdapat 4 jenis pada daerah penelitian yang diidentifikasi sebagai formasi sajaw (TQps) dengan kedalaman 0 sampai 150 meter di bawah permukaan, formasi domaring (TmPd) dengan kedalaman 150 sampai 1000 meter dibawah permukaan, formasi birang (Tomb) dengan kedalaman 1000 sampai 1200 meter dibawah permukaan dan formasi sembakung (tes) dengan kedalaman bervariasi mulai dari 0 sampai 1900 meter dibawah permukaan dengan kedalaman basement lebih dari 1900 meter dibawah permukaan. Sistem panasbumi daerah penelitian merupakan sistem yang diakibatkan oleh sesar.

Kata kunci : Gayaberat, Anomali Bouguer, Pemodelan 2,5D

**“IDENTIFIKASI STRUKTUR BAWAH PERMUKAAN DAERAH PANAS
BUMI TG-11 DENGAN MENGGUNAKAN METODE GAYA BERAT ”**

Oleh

BAGUS HARDIANSYAH

Skripsi

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

Pada

**Jurusan Teknik Geofisika
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2016**

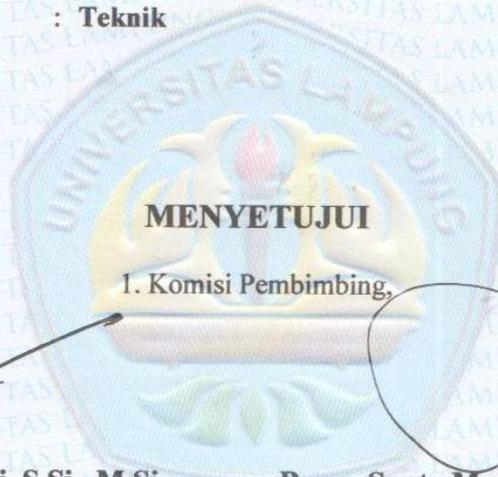
Judul Skripsi : **IDENTIFIKASI STRUKTUR BAWAH
PERMUKAAN DAERAH PANAS BUMI TG-11
DENGAN MENGGUNAKAN METODE GAYA
BERAT**

Nama Mahasiswa : **BAGUS HARDIANSYAH**

No. Pokok Mahasiswa : **1115051010**

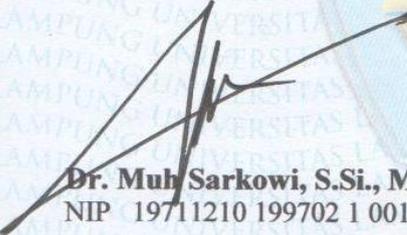
Jurusan : **Teknik Geofisika**

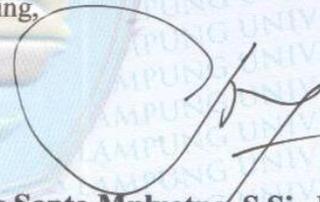
Fakultas : **Teknik**



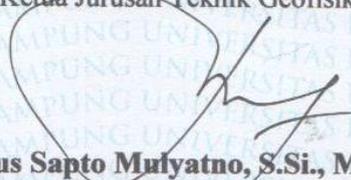
MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing,


Dr. Muh Sarkowi, S.Si., M.Si.
NIP 19711210 199702 1 001


Bagus Supto Mulyatno, S.Si., M.T.
NIP 19700120 200003 1 001

2. Ketua Jurusan Teknik Geofisika


Bagus Supto Mulyatno, S.Si., M.T.
NIP 19700120 200003 1 001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

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

Sekretaris : Bagus Spto Mulyatno, S.Si., M.T.

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

2. Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung

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

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 18 Agustus 2016

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah dilakukan orang lain, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini sebagaimana disebutkan dalam daftar pustaka, selain itu saya menyatakan pula 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, 18 Agustus 2016



Bagus Hardiansyah
Bagus Hardiansyah

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Lampung pada tanggal 16 Agustus 1993. Penulis merupakan anak kedua dari pasangan Bapak Lukmansyah dan Ibu Emilia Hartati. Penulis menyelesaikan pendidikan Sekolah Dasar di SD N 1 Purwodadi Simpang Kec. Tanjung Bintang, Lampung Selatan pada tahun 2005. Pendidikan Sekolah Menengah pertama di SMP Lentera Harapan Jati Agung, Lampung Selatan pada tahun 2008. Dan Pendidikan Sekolah Menengah Atas di SMA AL-AZHAR 3 Bandar Lampung pada tahun 2011.

Pada tahun 2011 penulis melanjutkan studi di perguruan tinggi dan terdaftar sebagai mahasiswa Jurusan Teknik Geofisika Fakultas Teknik Universitas Lampung. Pada tahun 2012 sampai 2014 penulis tercatat sebagai anggota Himpunan Mahasiswa Teknik Geofisika Bhuwana Universitas Lampung sebagai anggota bidang Kaderisasi komisi disiplin. Pada periode 2013/2014 penulis juga tercatat sebagai anggota Himpunan Mahasiswa Geofisika Indonesia. Pada Tahun 2014 penulis melakukan Kuliah Kerja Nyata Pada kelurahan Sumber Agung Kecamatan Kemiling Bandar Lampung.

Didalam pengaplikasian ilmu di bidang Teknik Geofisika penulis juga telah melaksanakan Kerja Praktek di Pusat Sumber Daya Geologi (PSDG) Bandung

Dengan Mengambil tema “ Akusisi dan Pengolahan data Gayabarat 2,5D Pada Lapangan Panasbumi TG-11A di Daerah Pulau Seram Ambon. Penulis melakukan Tugas Akhir untuk skripsi juga pada Pusat Sumber Daya Geologi (PSDG Bandung, hingga akhirnya penulis menyelesaikan pendidikan sarjana teknik pada tanggal 18 Agustus 2016 dengan judul skripsi **IDENTIFIKASI STRUKTUR BAWAH PERMUKAAN DAERAH PANAS BUMI TG-11 DENGAN MENGGUNAKAN METODE GAYA BERAT**

PERSEMBAHAN

Aku persembahkan karya ini untuk:

ALLAH SWT

Ayahanda Jercinta Bapak Lukmansyah

Ibunda Jercinta Ibu Emilia Hartati

Kakaku Jersayang Agung Putra Perdana

Adikku Jersayang Cich Septiana dan Della Ramadhanti

Keluarga Besaraku

Keluarga Teknik Geofisika Universitas Lampung Angkatan 2011

Keluarga Besar Teknik Geofisika UN²LA

Almamater Jercinta Universitas Lampung

MOTTO

**Berfikir, Berdoa, Berusaha, Bersabar,
Fokus dan Bersyukur**
(Bagus Hardiansyah)

**Yakinlah Bahwa Kemampuanmu Adalah
Senjata Utamamu dan Jadilah Diri Sendiri**
(Bagus Hardiansyah)

**Sesungguhnya Setelah Kesulitan Ada
Kemudahan**
(Qs 94. Al lam Nasyah:5)

**Hidup Harus Berguna Bagi Orang Lain
dan Jadi Panutan Bagi Orang Lain**
(Bagus Hardiansyah)

Alhamdulillah

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kepada Allah Swt, Tuhan Yang Maha Esa atas segala rahmat dan nikmatnya sehingga saya dapat menyelesaikan skripsi ini tepat pada waktunya. Tak lupa shalawat serta salam mari kita haturkan kepada Nabi Muhammad SAW yang telah mengantarkan kita melewati masa jahiliyah sampai ke masa sekarang ini.

Skripsi ini mengangkat judul “IDENTIFIKASI STRUKTUR BAWAH PERMUKAAN DAERAH PANAS BUMI TG-11 DENGAN MENGGUNAKAN METODE GAYA BERAT”. Skripsi ini merupakan hasil dari Tugas Akhir yang penulis laksanakan di Pusat Sumber Daya Geologi, Badan Geologi, Kementerian ESDM RI.

Penulis berharap semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca dan bermanfaat guna pembaruan ilmu di masa yang akan datang. Penulis sadar pada skripsi ini masih banyak kesalahan dan jauh dari kata sempurna, untuk itu jika ditemukan kesalahan pada penulisan skripsi ini, kiranya dapat memberikan saran maupun kritik pada penulis. Demikianlah kata pengantar yang dapat penulis sampaikan, apabila ada salah kata saya mohon maaf dan kepada Allah SWT saya mohon ampun.

Penulis

Bagus Hardiansyah

SANWACANA

Puji Syukur kehadiran Allah SWT, Karena atas rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Skripsi ini berjudul “IDENTIFIKASI STRUKTUR BAWAH PERMUKAAN DAERAH PANAS BUMI TG-11 DENGAN MENGGUNAKAN METODE GAYA BERAT ”. Penulis berharap, karya yang merupakan wujud kerja dan pemikiran maksimal serta dukungan dengan bantuan dan keterlibatan berbagai pihak ini akan dapat bermanfaat dikemudian hari.

Banyak pihak yang terlibat dalam dan memberikan kontribusi ilmiah, spiritual, dan informasi baik secara langsung maupun tidak langsung sehingga terbentuk skripsi ini. Pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan terimakasih kepada :

1. Allah SWT dan rasullullah Muhamad SAW atas segala rahmat dan hidayah-Nya selama penulis menjalankan Tugas Akhir.
2. Kedua Orangtuaku Bapak Lukmansyah dan Ibu Emilia Hartati yang tiada henti memberikan bimbingan, semangat serta doa yang tak pernah putus terhadap penulis.
3. Kakakku Agung Putra Perdana dan Adik-adikku Cicih Septiana dan Della Ramadhanti yang terus memberikan semangat kepada penulis.

4. Pusat Sumber Daya Geologi, Badan Geologi, Kementerian ESDM sebagai institusi yang telah memberikan kesempatan kepada penulis untuk melaksanakan Tugas Akhir.
5. Bpk. Bagus Sapto Mulyatno, M.T. selaku ketua Jurusan Teknik Geofisika Universitas Lampung.
6. Bpk Reza..... Selaku Pembimbing Tugas Akhir di Pusat Sumberdaya Geologi.
7. Bpk. Dr. H. Muh Sarkowi, S.Si., M.Si, Selaku pembimbing utama atas ketersediannya untuk memberikan bimbingan, saran dan kritik dalam proses penyelesaian skripsi ini.
8. Bpk. Bagus Sapto Mulyatno, M.T. selaku pembimbing kedua dalam Tugas Akhir ini yang telah memberikan bimbingan, saran serta kritikan dalam penulisan Tugas Akhir ini.
9. Bpk. Dr. Achmad Zaenudin, S.Si., M.T, selaku pembahas dalam Tugas Akhir ini yang telah memberikan masukan, saran serta kritikan dalam Tugas Akhir ini.
10. Dosen-Dosen Jurusan Teknik Geofisika Universitas Lampung yang telah memberikan ilmunya terhadap penulis.
11. Teman-teman TG 11 “Ooochhhhh” Achmadi, Agung, Arenda, Alwi Asri, Cristian sibu, Dhi, Doni, Farid, Fitri mala, Fitri Wahyu, Guspri, Hardeka,Hilda, Nanda, Rika, Syamsul, Guspri, Yunita, Leo, Titi, Mezzrin, lia, Sari Zam, Wanda, Ami, Tri, Cici, Yeni, Ucup, Ratu Annisa. Terimakasih atas dukungan serta Doanya yang telah diberikan , Dan terima kasih pula atas kisah, kenangan yang diberikan selama masa kuliah.

12. Sahabat- sahabat ku tercinta A'aw, Andika, Dimas, Dendi, Derri , Iren, Konita, Tiara Anugrah, dan Nurhayati *GAMBRENG dan Sahabat Kampusku Tercinta Agung, Alwi, Doni, Farid, Lia, Sari zam, Hardeka Empem, Leo, Mezrin Dan Mbah Ketho, Serta Anak Kos Manderway serta sahabat kecilku Agustin Ibu Polwan, Iis dan Putri Yang selalu memberikan DOA, semangat, dan canda tawanya . Semoga Pesahabatan dan tali saudara yang kita buat takan pernah berakhir.
13. Doni FAKTULL Yang telah membantu mengajarkan Skripsi ini.
14. Sahabat Perjuangan Kerja Praktek dan Tugas Akhir “Alwi Karya Sasmita”
15. Teman- Teman HIMA TG BHUANA Universitas Lampung, serta Kakak tingkan dan adik tingkat yang telah memberikan doa dan semangatnya.
16. Serta Semua Pihak yang telah memberikan Doa, Dukungan, Motifasinya dalam menyelesaikan skripsi ini.

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK	i
ABSTRACT	ii
HALAMAN JUDUL	iii
HALAMAN PERSETUJUAN	iv
HALAMAN PENGESAHAN	v
HALAMAN PERNYATAAN	vi
RIWAYAT HIDUP	vii
HALAMAN PERSEMBAHAN	ix
MOTTO	x
KATA PENGANTAR	xi
SANWACANA	xii
DAFTAR ISI	xv
DAFTAR GAMBAR	xix
DAFTAR TABEL	xxi
 I. PENDAHULUAN	
A. Latar Belakang	1
B. Tujuan Penelitian	4
C. Batasan Masalah	4
 II. TINJAUAN PUSTAKA	
A. Geomorfologi Daerah Penelitian	5
B. Geologi Regional	7

C. Struktire Geologi Daerah Penelitian	9
D. Daerah Penelitian Panasbumi	11
E. Sistem Panasbumi	11
F. Model Panasbumi Daerah Kalimantan.....	13

III. TEORI DASAR

A. Metode Gayaberat	16
B. Konsep Dasar Gayaberat	
B.1. Gaya Gravitasi (Newton I)	17
B.2. Percepatan Gravitasi (Newton II).....	18
B.3. Koreksi-Koreksi Pada MetodeGaya Berat.....	22
C. Anomali <i>Bouguer</i>	26
D. Analisis Spektrum	27
E. Pemisah Anomali Regional Dan Anomali Residual Dengan <i>Metode Moving Average</i> dan <i>Second Vertical Derrivative (SVD)</i>	31
E.1. <i>Filter Moving AverageI</i>	31
E.2. <i>Metode Second Vertical Derrivative (SVD)</i>	33
F. Forward Modeling	34
G. <i>Inverse Modeling</i> (Pemodelan Kebelakang)	35

IV. METODOLOGI PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat Penelitian	36
B. Alat dan Bahan	36
C. Diagram Alir Penelitian.....	37
D. Prosedur Pengolahan Data.....	38

V. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Titik Pengukuran Gayaberat.....	40
B. Pola Anomali Bougeur	41
C. Analisi Spektrum	43
D. Filter Moving Average	49
E. Anomali Regional	49
F. Anomali Residual.....	50
G. Interpretasi Kualitatif	51
H. Interpretasi Kuantitatif	55

VI. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan	61
B. Saran	62

DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR GAMBAR

	halaman
Gambar 1. Peta Lokasi Daerah Penelitian	5
Gambar 2. Peta Geologi Regional Daerah Penelitian.....	8
Gambar 3. Stratigrafi Daerah Penyelidikan	10
Gambar 4. Skema sebuah sistem geothermal yang ideal.....	13
Gambar 5. Sistem Panasbumi Kalimantan	15
Gambar 6. Gaya Tarik Menarik Antara Dua Benda.....	17
Gambar 7. Potensial Massa Tiga Dimensi	20
Gambar 8. Titik amat P pada ketinggian h terhadap permukaan acuan	25
Gambar 9. Kurva Ln A terhadap k	30
Gambar 10. Diagram Alir Analisis Data	37
Gambar 11. Peta Sebaran Titik Pengukuran Di Daerah Penelitia	40
Gambar 12. Peta Anomali Bougeur Daerah Penelitian	42
Gambar 13. Sayatan Pada Peta Anomali Bougeur	43
Gambar 14. Grafik K vs Ln A Lintasan 1	44
Gambar 15. Grafik K vs Ln A lintasan 2	45
Gambar 16. Grafik K vs Ln A lintasan 3	46
Gambar 17. Grafik K vs Ln A lintasan 4	47
Gambar 18. Grafik K vs Ln A lintasan 5	48

Gambar 19 Peta Anomali Regional	50
Gambar 20 Peta Anomali Residual Daerah Penelitian	51
Gambar 21. Peta Anomali Bouguer SVD Daerah Penelitian	53
Gambar 22. Peta Anomali Residual SVD Daerah Penelitian.....	54
Gambar 23. Model Bawah Permukaan Anomali Bougeur 2.5D	57
Gambar 24. Model Bawah Permukaan Anomali Residual SVD 2.5 D.....	58
Gambar 25. Tampilan <i>3D-View Forward Modeling</i>	60

DAFTAR TABEL

Tabel 1 Tabel Bidang Diskontunitas Penampang Lintasan 1 sampai 5	48
Tabel 2. Bilangan Gelombang (K) dan Lebar Jendela (N).....	49

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Indonesia terletak pada jalur vulkanik memiliki sekitar 200 buah gunung api yang dapat berpotensi menjadi sumber energi panasbumi, sehingga Indonesia merupakan salah satu negara di dunia yang kaya akan energi panasbumi. Total potensi panasbumi dunia menurut *World Geothermal Congress (WGC) 2010*, setara dengan 40.000 Gwe, sedangkan kebutuhan energi dunia setara dengan 15.000 Gwe, sehingga energi panasbumi secara logika dapat mengatasi keperluan energi dunia. Potensi panasbumi yang sedemikian besarnya belum dioptimalkan pemanfaatannya, bukan hanya di Indonesia namun juga negara-negara di dunia.

Energi panasbumi berpotensi menggantikan energi fosil sebagai sumber energi. Potensi panasbumi Indonesia yang mencapai 27 GWE jika keseluruhan sumber dayanya dipakai akan dapat menggantikan BBM (Bahan Bakar Minyak) sekitar 12 milyar barel. Sumber daya sebesar 27.000 MWE merupakan cadangan energi panasbumi terbesar di dunia (40% dari seluruh cadangan sumber energi panasbumi dunia). Namun, potensi tersebut belum dimanfaatkan secara optimal, bahkan sampai saat ini Indonesia baru memanfaatkan kurang dari 1.500 MWE.

Eksplorasi di Indonesia baru dilakukan pada tahun 1970 dengan tujuan untuk menemukan dan mengembangkan sistem panasbumi temperatur tinggi. Eksplorasi sumber panasbumi yang berhubungan dengan fumarol aktif dan medan solfatara dengan tujuan menghasilkan listrik kali pertama direncanakan pada tahun 1918. Pemboran eksplorasi awal dilakukan oleh *Volcanological Survey of Indonesia* (VSI) dari kolonial *Geological Survey of Indonesia* (GSI) di Kawah Kamojang, Jawa, pada tahun 1926. Selama awal PELITA (1969-1974), *Volcanological Survey of Indonesia* (VSI) menyelesaikan pendataan panasbumi di Sumatera, Sulawesi, dan Pulau Halmahera. Kemudian berdasarkan Dekrit Presiden 16/1974, Pertamina mulai mengembangkan eksplorasi panasbumi dari tahun 1974 dan bertanggung jawab atas semua eksplorasi panasbumi di Jawa dan Bali. Sejak saat itu, eksplorasi dan eksploitasi panasbumi semakin berkembang di Indonesia.

Dalam suatu eksplorasi panasbumi, metode geofisika merupakan salah satu metode utama yang digunakan untuk mendeteksi keberadaan suatu sistem panasbumi. Dalam eksplorasi panasbumi, metode geofisika yang digunakan biasanya adalah metode selain metode seismik aktif. Hal ini dikarenakan sebagian besar lapangan panasbumi berada pada daerah vulkanik dimana sebagian besar batuan penyusunnya adalah batuan beku dan metamorf. Selain itu, kondisi bawah permukaan daerah vulkanik yang umumnya tidak membentuk perlapisan sehingga sulit dideteksi menggunakan metode seismik aktif. Metode-metode yang umum digunakan diantaranya metode resistivitas, metode magnetik, metode gravitasi, dan juga metode elektromagnetik.

Metode gravitasi atau gaya berat digunakan untuk mengetahui atau mengidentifikasi sistem panasbumi dan struktur geologi bawah permukaan bumi berdasarkan nilai densitas batuan. Adanya struktur geologi ini bisa mengakibatkan adanya variasi massa jenis batuan yang ada dibawah permukaan. Penurunan struktur bawah permukaan ini didasarkan pada hubungan anomali Bouguer gravitasi yang merefleksikan variasi rapat massa (*density*) di bawah permukaan ke arah horizontal dan geometri (bentuk) benda dari anomalnya sendiri eksplorasi gaya berat dimulai pada awal abad 20, yang digunakan pada saat penemuan minyak dan gas bumi pertama kali. Sejak saat itu, metode gaya berat mengalami banyak pengembangan baik dalam hal instrumentasi, akuisisi data, pengolahan data, dan interpretasi data.

Penelitian menggunakan metode gaya berat dilakukan pada daerah panasbumi Sajau kabupaten Kalimantan Timur. Dalam eksplorasi energi panasbumi, metode gaya berat dapat mendeteksi perbedaan densitas batuan di bawah permukaan yang membentuk suatu sistem panasbumi. Metode gaya berat juga dapat digunakan untuk membuat model struktur bawah permukaan yang akan digunakan sebagai acuan untuk melakukan interpretasi. Dengan melakukan interpretasi tersebut diharapkan dapat memberikan informasi dan gambaran yang lebih baik tentang kondisi daerah prospek panasbumi Sajau.

B. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui *Anomali Bouguer* Daerah panasbumi “TG-11”.
2. Mengetahui struktur patahan Daerah panasbumi “TG-11” berdasarkan analisis SVD.
3. Mengetahui Struktur bawah permukaan berdasarkan pemodelan 2D *Anomali Bouguer*.

C. Batasan Masalah

Batasan dari penelitian ini adalah:

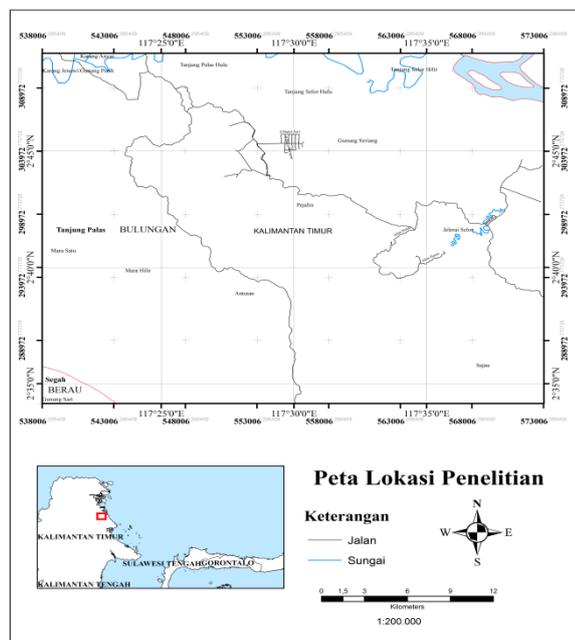
1. Penelitian ini menitikberatkan pada interpretasi bawah permukaan panasbumi menggunakan metode gaya berat pada daerah penelitian.
2. Data topografi diambil dari data SRTM Indonesia area Sajau Kalimantan Timur
3. Interpretasi struktur ditentukan menggunakan Anomali Bouguer dan Anomali Residual *Second Vertical Derivative (SVD)*

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Geomorfologi Daerah Penelitian

Manifestasi panasbumi yang telah didata di Kalimantan berada di 12 titik yang tersebar di tiga provinsi, yaitu provinsi Kalimantan Barat, Kalimantan Timur dan Kalimantan Selatan. Manifestasi panasbumi daerah Sajau berupa pemunculan beberapa mata air panas yang muncul saling berdekatan di tepi anak Sungai Sajau sepanjang kurang lebih 50 meter, yaitu di antara Desa Tanjung Agung dan Desa Sajau, Kecamatan Tanjung Palas Timur, Kabupaten Bulungan. Mata air panas dengan temperatur tertinggi muncul pada koordinat 554287 mT dan 296402 mU.



Gambar 1. Peta Lokasi Daerah Penelitian

Kalimantan memiliki wilayah daratan dengan hutan yang sangat luas. Letak geografisnya sangat menunjang terbentuknya siklus hidrologi di seluruh kawasan dan bahkan dengan curah hujan yang tinggi. Air yang terdapat di permukaan meresap melalui kantong-kantong daerah resapan terus masuk hingga menjangkau akuifer yang paling dalam. Di samping itu, batuan pun mengandung air yang dikenali sebagai *conate water* atau air yang terperangkap di dalam Formasi batuan. Umumnya, *conate water* ini terdapat pada batuan sedimen. Selain itu, kita pun mengenal adanya *juvenile water* atau *magmatic water* sebagai air yang terperangkap pada batuan magmatik, yaitu air yang terbawa sejak bahan-bahan pembentuk batuan itu masih berupa magma.

Dengan kehadiran jumlah air yang banyak terakumulasi di wilayah Kalimantan dan dengan iklim tropisnya, maka kemungkinan besar sistem panasbumi yang terbentuk di daerah Kalimantan adalah sistem hidrotermal. Dalam hal ini kehadiran batuan magmatik sebagai sumber panas dan juga pemasok air ke dalam *reservoir* menjadi sangat penting. Sedangkan cekungan sedimen yang terdapat di Kalimantan merupakan wadah atau tempat yang mengakumulasikan fluida tersebut dalam suatu *reservoir*.

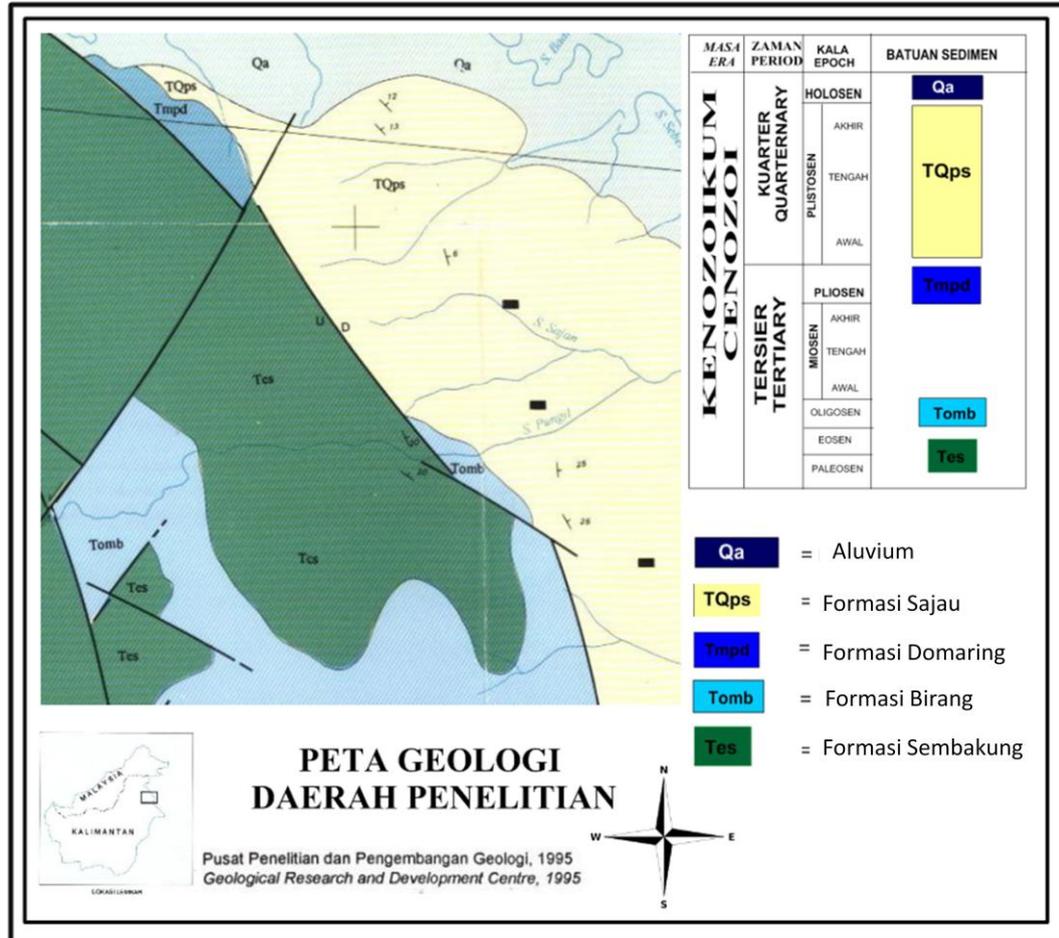
Di Sajau terdapat satu pemunculan mata air panas, air panas Sajau, yang terletak di antara desa Tanjung Agung dan Desa Sajau, Kecamatan Tanjung Palas Timur, Kabupaten Bulungan. Air panas ini muncul pada batugamping yang telah terkekarkan. Temperatur air panas Sajau merupakan yang terpanas, yaitu: $92,1^{\circ}\text{C}$ (bandingkan suhu udara sekitarnya yang terukur $26,8^{\circ}\text{C}$). Di sini pun seperti di Sebakis, tercium bau H_2S , bahkan cukup kuat, disekitar pemunculan air panas Sajau. Selain itu, disekitar mata air juga terdapat endapan sinter travertin dan

sedikit endapan belerang berwarna kuning. Air panas Sajau mempunyai pH normal sebesar 7,43 dan DHL sebesar 4360 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

B. Geologi Regional Daerah Penelitian

Pulau Kalimantan dinyatakan sebagai pulau yang terletak pada tepian benua Asia bagian tenggara yang berbatasan dengan lempeng mikro kontinen Australia. Pada jaman Kapur, Kalimantan Barat masih merupakan bagian dari tepi Timur Benua Eurasia. Kalimantan Barat kemudian memisahkan diri dari daratan Eurasia sebagai akibat dari membukanya Laut China Selatan (Wang, 1982). Akibatnya, terbentuk cekungan di Kalimantan Barat dan Tengah. Efek lainnya dari peristiwa pemisahan itu adalah terjadinya penyusupan lempeng samudera yang mengakibatkan terbentuknya busur magmatik di Kalimantan Barat ke arah Tengah (Kapur-Eosen).

Pada Paleosen, di bagian tenggara Kalimantan terjadi interaksi konvergen antara Lempeng mikro-Australia dengan Lempeng mikro-Sunda. Hasil interaksi ini berupa zona subduksi di sekitar Meratus berarah barat daya–timur laut yang biasa dikenal sebagai pola Meratus. Pembentukan magmatisme berlangsung hingga Tersier dan berhenti setelah terjadinya tumbukan Lempeng *Gondwana* menabrak subduksi Meratus di bagian utaranya. Pada *Oligo-Miosen* di Kalimantan Timur terbentuk subduksi yang mengakibatkan pembentukan vulkanisme di Kalimantan Timur sekitar Kelian dan Muara Wahau.



Gambar 2. Peta Geologi Regional Daerah Penelitian (Situmorang dan Burhan, 1995)

Litologi batuan Daerah Panasbumi Sajau tersusun oleh batuan sedimen yang terdiri dari persilangan batupasir kuarsa, serpih, dan lempung. Struktur geologi yang berkembang berupa struktur sesar normal berarah relatif Barat Laut ke Tenggara, Dimana bagian Timur Laut Relatif turun terhadap bagian Barat Daya. Keberadaan sesar ini sangat jelas terlihat pada peta DEM yang di tandai oleh kelurusan yang memanjang sesuai arah jurus sesarnya, dan kemungkinan besar struktur sesar ini adalah kontrol utama pembentukan manifestasi panasbumidipermukaan. Formasi batuan yang terlewati pada pengukuran gayaberat ialah:

a. Batuan Aluvium (Qa)

Batuan Aluvium adalah batuan sejenis tanah liat, halus dan bisa menampung air hujan. Biasanya terdapat ditebing sungai, delta sungai dan dataran banjir.

b. Formasi Birang (Tomb)

Persilangan napal, batugamping dan tuf dibagian atas dan persilangan napal, rijang, konglomerat, batupasir kuarsa dan batugamping di bagian bawah.

c. Formasi Sembukung (Tes)

Formasi Sembukung yang tersusun dari batulempung, batulanau dan batupasir pada bagian bawah ; batupasir kuarsa, batugamping, rijang dan tuf pada bagian atas.

d. Formasi Sajau (TQps)

Formasi Sajau tersusun dari persilangan batulempung, batu lanau, batu pasir, konglomerat dan disisipi batubara serta mengandung moluska, kuarsit dan mika.

e. Formasi Domaring (TmPd)

Formasi Domaring tersusun dari batugamping terumbu, batu gamping kapuran, napal dan sisipan batubara muda yang diendapkan dalam lingkungan rawa litoral.

C. Struktur Geologi Daerah Penelitian

Kegiatan tektonik terdapat pada akhir Miosen Akhir hingga Pliosen terendapkan Formasi Domaring di bagian timur lembar, sedangkan di bagian utara terjadi

pengendapan Formasi Tabul pada akhir Miosen Akhir diikuti kegiatan gunung api, sehingga terbentuk Formasi Sinjin di daerah Barat Daya dan di Utara lembar pada kala Pliosen dan selanjutnya diikuti pengendapan Formasi Sajau pada Plio-Plistosen. Pada kala Pliosen atau sesudah pengendapan Formasi Sajau terjadi kegiatan tektonik keempat, mengakibatkan Formasi Sajau dan Formasi yang lebih tua di bawahnya terlipat, tersesarkan dan menghasilkan bentuk morfologi atau fisiografi yang terlihat sekarang.

MASA ERA	ZAMAN PERIOD	KALA EPOCH	BATUAN SEDIMEN	
KENOZOIKUM CENOZOI	KUARTER QUATERNARY	HOLOSEN	Qa	
		PLISTOSEN	AKHIR	TQps
			TENGAH	
			AWAL	
		TERSIER TERTIARY	PLIOSEN	Tmpd
			MIOSEN	AKHIR
	TENGAH			
	AWAL			
	OLIGOSEN		Tes	
	EOSEN			
	PALEOSEN			

Gambar 3. Stratigrafi Daerah Penyelidikan (Situmorang dan Burhan, 1995)

Berdasarkan hasil penyelidikan, urutan formasi batuan di daerah panasbumi dapat dibagi dalam 5 formasi batuan yaitu : Aluvium (Qa), Formasi Sajau (TQps), Formasi Domaring (TmPd), dan Formasi Sembekung (Tes).

D. Daerah Penelitian Panasbumi

Morfologi daerah panasbumi Sajau terdiri dari morfologi pedataran, perbukitan bergelombang lemah dan perbukitan bergelombang sedang. Satuan morfologi perbukitan bergelombang lemah menempati lebih kurang 70% dari total area.

Manifestasi panasbumi daerah Sajau berupa pemunculan beberapa mata air panas yang muncul saling berdekatan di tepi anak sungai Sajau sepanjang kurang lebih 50 meter, yaitu di antara desa Tanjung Agung dan desa Sajau, Kecamatan Tanjung Palas Timur, Kabupaten Bulungan. Mata air panas dengan temperatur tertinggi muncul pada koordinat 554287 mT dan 296402 mU. Temperatur air berkisar antara 57,5oC – 90,1oC dengan pH 7,72, debit 1 liter/menit dan daya hantar listrik 9300 mS/cm (Tim Penyelidik Muda PSDG 2011).

E. Sistem Panas Bumi

Energi panas bumi merupakan energi yang tersimpan dalam bentuk air panas atau uap pada kondisi geologi tertentu pada kedalaman beberapa kilometer di dalam kerak bumi. Daerah panas bumi (*geothermal area*) atau medan panas bumi (*geothermal field*) adalah daerah di permukaan bumi dalam batas tertentu dimana terdapat energi panas bumi dalam suatu kondisi hidrologi batuan tertentu.

Sedangkan sistem panas bumi adalah terminologi yang digunakan untuk berbagai hal tentang sistem air dan batuan dalam temperatur tinggi di laboratorium atau lapangan, (Santoso, 2004). Komponen utama pembentuk suatu sistem panas bumi (Suharno, 2011) adalah:

1. Sumber panas (*heat source*)

Gunung api merupakan sumber panas potensial dari suatu sistem panas bumi, sehingga daerah yang berada di jalur gunung api akan berpotensi besar memiliki sistem panas bumi temperatur tinggi. Itulah sebabnya Indonesia yang terletak pada jalur cincin api (*ring of fire*) diklaim memiliki potensi panas bumi atau *geothermal* terbesar di dunia.

2. Batuan reservoir (*permeable rock*)

Reservoir panas bumi adalah formasi batuan dibawah permukaan yang mampu menyimpan dan mengalirkan *fluida thermal* (uap dan atau air panas). Reservoir lazimnya merupakan batuan yang memiliki porositas dan permeabilitas yang baik. Porositas berfungsi menyimpan fluida termal sedangkan permeabilitas berperan dalam mengalirkan fluida termal. Harus diketahui disini bahwa permeabilitas setiap batuan berbeda-beda.

3. Batuan penudung (*cap rock*)

Lapisan batuan di bagian atas dari reservoir dinamakan batuan penudung (*cap rock*) yang bersifat impermeabel atau teramat sulit ditembus oleh fluida. Lapisan penudung ini biasanya berupa batuan lempung karena batuan lempung ini mampu mengikat air, tetapi sulit untuk meloloskannya (*swelling*).

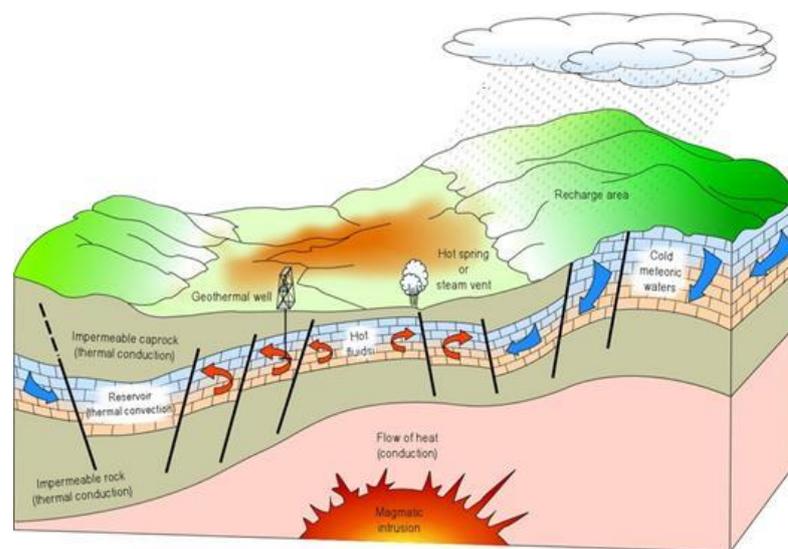
4. Struktur Geologi

Struktur geologi bawah permukaan bumi merupakan salah satu komponen utama suatu sistem panas bumi, seperti adanya patahan dan sesar yang merupakan tempat munculnya manifestasi panas bumi.

5. Manifestasi air panas

Manifestasi yang nampak di permukaan berupa mata air panas.

Skema suatu sistem panas bumi yang ideal dapat dilihat pada **Gambar 4**.



Gambar 4. Skema sebuah sistem geothermal yang ideal (Dickson, 2004).

F. Model Panasbumi Daerah Kalimantan

Munculnya sejumlah manifestasi panasbumi di daerah Kalimantan menjadi perhatian tersendiri, karena di pulau besar itu tidak ditemukan adanya gunung api aktif. Data tentang tanda-tanda panasbumi, terutama mataair panas, di Kalimantan telah dikumpulkan dan menambah data manifestasi panasbumi Indonesia. Hasil inventarisasi oleh Badan Geologi hingga saat ini mencatat sebanyak 312 lokasi manifestasi panasbumi yang tersebar baik di berbagai pulau besar maupun kecil, termasuk Pulau Kalimantan.

Sistem panasbumi dapat dibedakan berdasarkan kehadiran fluida panasnya menjadi dua sistem, yaitu sistem hidrotermal dan sistem *hot dry rock*. Sistem panasbumi hidrotermal membutuhkan kehadiran fluida panas dimana keterdapatannya sumber panas, fluida, *reservoir* dan batuan penutup terintegrasi dalam satu siklus hidrologi yang berkesinambungan. Sedangkan panasbumi sistem *hot dry rock* memiliki perbedaan dalam hal kehadiran *reservoir* dalam bentuk rekahan yang intensif dan fluidanya merupakan fluida buatan dimana fluida diinjeksikan melalui sumur supaya terperangkap dalam *reservoir* buatan.

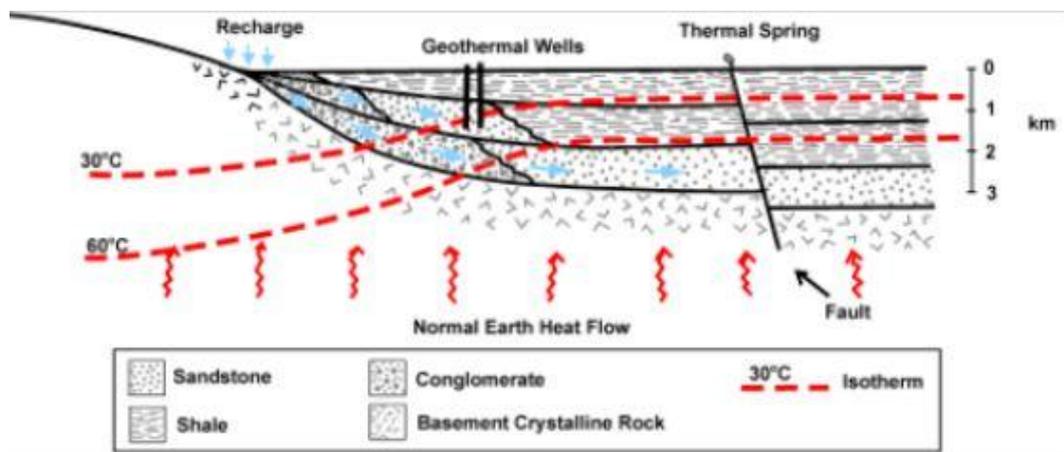
Komposisi litologi berjenis lempungan di suatu cekungan sedimen kemungkinan sebagai batuan penutup (*cap rock*) yang menahan keluarnya panas dan fluida di *reservoir*. Teori lain mengatakan bahwa terjadinya pembebanan oleh endapan di atasnya dalam waktu yang relatif singkat pada suatu cekungan mengakibatkan terakumulasinya panas yang kemudian menjadi sumber panas pada cekungan tersebut.

Sistem Panasbumi Kalimantan

Panasbumi di Kalimantan merupakan sistem panasbumi Non-vulkanik adalah sistem panasbumi yang tidak berkaitan secara langsung dengan vulkanisme dan umumnya berada di luar jalur vulkanik Kuartar. Fluida panasbumi tipe ini biasanya mempunyai temperatur lebih rendah dan disebut sistem *low entalphy*. Lingkungan non-vulkanik di Indonesia bagian barat pada umumnya tersebar di bagian timur Paparan Sunda. Batuan di daerah ini didominasi oleh batuan penyusun kerak benua Asia seperti batuan metamorf dan sedimen. Di Indonesia bagian timur lingkungan non-vulkanik berada di daerah lengan dan kaki Sulawesi,

Kepulauan Maluku hingga Irian. Batuannya terutama berupa batuan granit, metamorf dan sedimen laut.

Jones (1970) serta Duffield dan Sas (2003) menyatakan bahwa sistem panasbumi *geopressure* terbentuk ketika air panas terperangkap dan terjadi pertukaran atau pencampuran dengan batuan sekitarnya. Panasbumi di cekungan sedimen merupakan hasil interaksi dari berbagai sumber panas dan mekanisme pemindahan (transfer) panas dimana panas dari kedalaman dipindahkan ke permukaan



Gambar 5. Sistem Panasbumi Kalimantan (Lund and Anderson, 1979)

III. TEORI DASAR

A. Metode Gaya Berat

Gayaberat adalah salah satu metode dalam geofisika yang dipilih dalam penelitian ini karena aplikasi metode ini adalah studi geologi regional bawah permukaan sehingga dapat menggambarkan struktur geologi bawah permukaan yang lebih baik dibandingkan metode geofisika lainnya. Prinsip metode ini berdasarkan anomali gaya berat yang muncul karena adanya variasi rapat masa batuan yang menggambarkan adanya struktur geologi di bawah permukaan bumi.

Adanya variasi rapat masa batuan di suatu tempat dengan tempat lain, akan menimbulkan medan gaya gravitasi yang tidak merata dan perbedaan inilah yang terukur di permukaan bumi. Perbedaan medan gaya berat yang relatif kecil inilah maka digunakan alat ukur yang mempunyai ketelitian yang cukup tinggi. Alat ukur yang sering digunakan adalah Gravimeter.

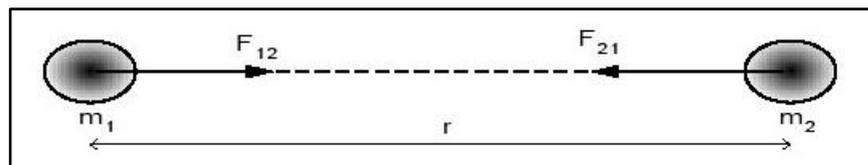
Di setiap tempat di permukaan bumi, nilai percepatan gravitasi bumi dipengaruhi oleh 5 faktor seperti lintang, ketinggian, topografi di setiap titik pengukuran, interaksi bumi dengan matahari dan bulan (pasang-surut), serta perbedaan (variasi) rapat massa batuan di bawah permukaan bumi. Perbedaan (variasi) rapat massa batuan di bawah permukaan bumi merupakan satu-satunya faktor yang

signifikan dalam eksplorasi gaya berat dan pada umumnya memiliki yang sangat kecil dibandingkan kombinasi keempat faktor lainnya. Dasar teori yang digunakan dalam metode gaya berat ini adalah Hukum Newton tentang gravitasi bumi.

B. Konsep Dasar Metode Gayaberat

B.1 Gaya gravitasi

Teori yang paling mendasar dalam metode gaya berat adalah hukum Newton tentang gaya tarik menarik antara benda dengan masa tertentu yang dapat dilihat pada **Gambar 6**.



Gambar 6. Gaya tarik menarik antara dua benda.

Kedua benda tertentu yang dipisahkan oleh jarak tertentu akan memiliki gaya tarik menarik yang besarnya dinyatakan oleh persamaan berikut (Grandis,2009):

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

dimana :

$\vec{F}(r)$: gaya tarik menarik (N)

G : konstanta Gravitasi Universal ($6,67 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg s}^{-2}$)

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

R : jarak antara dua buah benda (m)

\hat{r} : vector satuan (m)

B.2 Percepatan gravitasi

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

$$F = ma \quad (2)$$

Dimana a adalah percepatan yang indentik dengan percepatan gravitasi g , sehingga **persamaan (1)** dapat ditulis :

$$\vec{F}(r) = G \frac{m_1 m_2}{R^2} \hat{R} = m_2 g(r) \quad (3)$$

Besarnya medan gayaberat di titik m_2 akibat massa titik m_1 yang berjarak r adalah:

$$g(r) = G \frac{m_1}{R^2} \hat{R} \quad (4)$$

Terlihat bahwa besarnya gaya berat g berbanding lurus dengan massa m , yaitu perkalian antara densitas ρ dengan volume benda, sehingga besarnya gaya berat terukur merupakan pencerminan dari densitas dan volume massa tersebut.

Dalam kenyataannya, bentuk bumi tidak bulat, tetapi berbentuk elipsoid (agak gepat pada kutubnya). Dengan demikian, variasi gaya berat di setiap titik permukaan bumi dipengaruhi oleh 4 faktor, yaitu:

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

1. Potensial gaya berat distribusi massa

Potensial gaya berat 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 gravitasi tidak tergantung pada lintasan yang ditempuhnya tetapi hanya tergantung pada posisi awal dan akhir (Rosid, 2005).

Gaya berat merupakan sebuah vektor yang arahnya sepanjang garis yang menghubungkan pusat dari dua buah massa. Gaya ini menimbulkan suatu medan yang konservatif yang dapat diturunkan dari suatu potensial skalar dengan hubungan sebagai berikut.

$$\mathbf{g} = \nabla U(\vec{r}) \quad (5)$$

Persamaan diatas mengikuti konvensi oleh Kellog tahun 1953, yang menyatakan potensial gaya berat ialah usaha yang dilakukan oleh medan gaya berat pada partikel uji dan negatif dari energi potensial partikel. Beberapa buku menetapkan potensial gaya berat sebagai usaha yang dilakukan partikel uji, sehingga dalam persamaan (5) ditulis:

$$\mathbf{g} = -\nabla U(\vec{r}) \quad (6)$$

Fungsi U pada persamaan di atas disebut potensial gravitasi, sedangkan percepatan gaya berat g merupakan medan potensial. Tanda minus menandakan bahwa arah gaya berat menuju ke titik yang dituju.

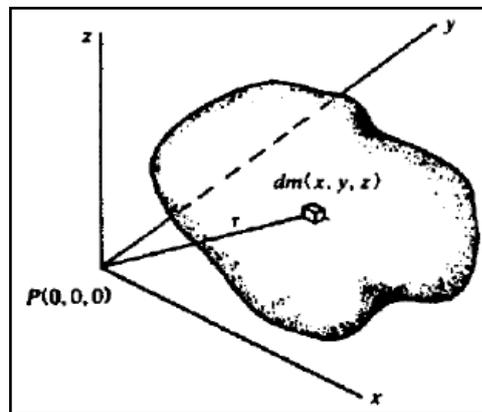
Dengan mengasumsikan bumi dengan massa M bersifat homogen dan berbentuk bola dengan jari-jari R , potensial gravitasi di permukaan dapat didefinisikan dengan persamaan:

$$\nabla U(\vec{r}) = -\frac{F(\vec{r})}{m_2} = -\mathbf{g}(\vec{r}) \quad (7)$$

$$U(\vec{r}) = \int_{\infty}^r (\nabla U) \cdot d\mathbf{r} = -\int_{\infty}^r \mathbf{g} \cdot d\mathbf{r} \quad (8)$$

$$U(r) = -Gm \int_{\infty}^r \frac{dr}{r^2} = G \frac{m}{r} \quad (9)$$

Potensial total gaya berat bersifat penjumlahan sedangkan potensial gaya berat distribusi massa yang kontinu atau benda yang berdimensi yaitu dalam ruang bervolume V dengan rapat massa dengan rapat massa yang konstan ditunjukkan pada **Gambar 7**.



Gambar 7. Potensial massa tiga dimensi (Telford dkk.,1990)

Berdasarkan Persamaan (9), potensial yang disebabkan oleh elemen massa dm pada titik (x, y, z) dengan jarak r dari $P(0, 0, 0)$ adalah:

$$dU = G \frac{dm}{r} = G\rho \frac{dx dy dz}{r} \quad (10)$$

dimana:

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

$$r^2 = x^2 + y^2 + z^2.$$

Potensial total dari massa adalah:

$$U = G \int_x \int_y \int_z \frac{\rho}{r} dx dy dz \quad (11)$$

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

$$g = -\left(\frac{\partial U}{\partial z}\right) = G\rho \int_x \int_y \int_z \frac{z}{r^3} dx dy dz \quad (12)$$

2. Satuan gaya berat

Satuan gaya berat g yang menyatakan percepatan gravitasi dalam sistem MKS adalah m/s^2 dan dalam sistem CGS adalah cm/s^2 . Pengukuran percepatan gravitasi pertama kali dilakukan oleh *Galileo*.

Untuk menghormati *Galileo*, kemudian didefinisikan :

$$1 \text{ Gall} = 1 \text{ cm/s}^2 = 10^{-2} \text{ m/s}^2 \text{ (dalam CGS)}$$

Satuan anomali gaya berat dalam kegiatan eksplorasi diberikan dalam orde miligall ($mGall$):

$$1 \text{ mGall} = 10^{-3} \text{ Gall}$$

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

Dalam satuan MKS, gravitasi diukur dalam g.u. (*gravity unit*) atau $\mu\text{m/s}^2$ (Octonovrilna, 2009):

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

Pengukuran Gaya Berat

a. Pengukuran absolut

Pengukuran absolut biasanya dilakukan di laboratorium-laboratorium. Pengukuran ini jarang sekali dilakukan karena banyak kendala-kendala yang sangat mempengaruhi hasil pengukuran dan juga melibatkan banyak faktor maupun alat. Cara mengukur menggunakan pengukuran absolut : pendulum, jatuh bebas, gravimeter.

b. Pengukuran relatif

Pada penelitian gaya berat, pengukuran relatif merupakan pengukuran yang lebih umum dan mudah dilakukan. Pengukuran ini dilakukan dengan membandingkan hasil pengukuran titik yang tidak diketahui nilai gaya beratnya dengan titik yang sudah diketahui yang telah diikat pada titik-titik referensi (Postdam, IGSN dsb).

B.3 Koreksi-Koreksi Pada Metode Gayaberat

Dalam memproses data metode gayaberat, terdapat beberapa koreksi-koreksi yang harus dilakukan untuk mereduksi noise-noise yang ditimbulkan. Adapun koreksi-koreksi tersebut antara lain sebagai berikut.

a. Koreksi apungan (*drift correction*)

Koreksi ini dilakukan akibat adanya perbedaan pembacaan nilai gaya berat di stasiun yang sama pada waktu yang berbeda karena adanya guncangan pegas alat gravimeter selama proses transportasi dari suatu stasiun ke stasiun lainnya.

$$D_n = \frac{gst(n) - gst(1)}{T_N - T_1} (T_n - T_1) \quad (13)$$

dimana :

D_n = *drift* pada stasiun ke - n

$g_{st(n)}$ = gravitasi terkoreksi tidal pada stasiun ke - n

$g_{st(1)}$ = gravitasi terkoreksi tidal pada stasiun ke - 1

T_N = waktu pengukuran stasiun akhir loop

T_1 = waktu pengukuran stasiun awal

T_n = waktu pengukuran stasiun ke - n

b. Koreksi bacaan alat

Koreksi bacaan alat adalah koreksi yang dilakukan apabila terjadi kesalahan dalam pembacaan alat gaya berat yang digunakan. Rumus umum dalam pembacaan alat dapat ditulis:

$$\text{Read (mGal)} = ((\text{Read (scale)-Interval}) \times \text{Counter Reading}) + \text{Value in mGal}$$

c. Koreksi pasang surut (*tide correction*)

Koreksi ini dilakukan untuk menghilangkan pengaruh gravitasi benda-benda di luar bumi seperti bulan dan matahari yang berubah terhadap lintang dan waktu. Untuk mendapatkan nilai pasang surut ini maka dilihatlah perbedaan nilai

gravitasi stasiun dari waktu ke waktu terhadap base. Gravitasi terkoreksi tidal dapat ditulis:

$$g_{st} = g_s \pm t \quad (14)$$

Dimana :

g_{st} = gravitasi terkoreksi pasang surut (tidal)

g_s = gravitasi pada pembacaan alat

t = nilai koreksi pasang surut (tidal)

d. Koreksi lintang (G.normal)

Koreksi ini dilakukan karena bentuk bumi yang tidak sepenuhnya bulat sempurna, tetapi pepat pada daerah ekuator dan juga karena rotasi bumi. Hal tersebut membuat adanya perbedaan nilai gravitasi karena pengaruh lintang yang ada di bumi. Secara umum gravitasi terkoreksi lintang dapat ditulis:

$$g(\theta) = 978031,846 (1+0,0053024\sin^2\theta + 0,0000058\sin^22\theta) \quad (15)$$

e. Koreksi Udara Bebas (*free air correction*)

Koreksi ini dilakukan untuk mengkompensasi ketinggian antara titik pengamatan dan datum (*mean sea level*). Koreksi ini dapat ditulis:

$$FAC = -0,3086 \times h \quad (16)$$

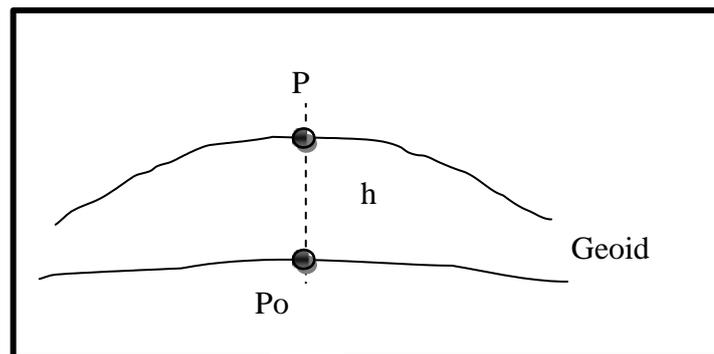
dimana :

FAC = koreksi udara bebas

h = ketinggian permukaan dari datum (msl) satuan meter

Titik amat P pada ketinggian h terhadap permukaan acuan dapat dilihat pada

Gambar 8.



Gambar 8. Titik amat P pada ketinggian h terhadap permukaan acuan (Sutopo,2008)

i. Koreksi *Bougeur*

Koreksi ini dilakukan untuk menghilangkan pengaruh adanya massa dari datum sampai ketinggian titik pengukuran. Koreksi ini dapat ditulis dengan rumus :

$$BC = 0,04193 \times \rho \times h \quad (17)$$

dimana :

BC = koreksi *bougeur*

ρ = densitas batuan (gr/cc)

h = ketinggian dari atas permukaan laut (meter)

j. Koreksi medan (*terrain correction*)

Koreksi medan mengakomodir ketidakaturan pada topografi sekitar titik pengukuran. Pada saat pengukuran, elevasi topografi di sekitar titik pengukuran, biasanya dalam radius dalam dan luar diukur elevasinya. Sehingga koreksi ini (Telford dkk.,1990) dapat ditulis :

$$TC = G\rho\theta[(r^2 - r^1) + \sqrt{r1^2 + H^2} - \sqrt{r2^2 + H^2}] \quad (18)$$

dimana :

TC = gravitasi terkoreksi medan

G = konstanta gaya berat umum

ρ = densitas batuan

\emptyset = sudut sektor (radian)

r_1 = jari-jari radius dalam

r_2 = jari-jari radius luar

H = beda tinggi titik amat dengan tinggi rata-rata sektor

C. Anomali *Bouguer*

Anomali *Bouguer* (dinamai oleh Pierre Bouguer) pada metode gaya berat disebabkan oleh benda anomali baik yang berada dekat dengan permukaan maupun yang jauh dari permukaan bumi. Karena tujuan eksplorasi geofisika pada umumnya untuk mempelajari struktur yang dekat permukaan (cekungan hidrokarbon, reservoir panas bumi, sumber daya alam, struktur geologi), maka berbagai usaha telah dilakukan untuk memisahkan efek residual dari efek regional.

Anomali *Bouguer* merupakan selisih antara harga gravitasi pengamatan (g_{obs}) dengan harga gravitasi teoritis (g_n) yang didefinisikan pada titik pengamatan bukan pada bidang referensi, baik elipsoid maupun muka laut rata-rata. Selisih tersebut merefleksikan variasi rapat massa yang terdapat pada suatu daerah dengan daerah sekelilingnya ke arah lateral maupun ke arah vertikal.

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 survei gaya berat di darat.

Setelah dilakukan koreksi terhadap data percepatan gaya berat hasil pengukuran maka akan diperoleh persamaan anomali percepatan gaya berat (Blakely, 1995), yaitu:

1. Anomali *Bouguer* Sederhana (ABS)

$$ABS = g_{ob} - g_n + 0.3086h - 0.04193\rho h \quad (19)$$

2. Anomali *Bouguer* Lengkap (ABL)

$$ABL = g_{ob} - g_n + 0.3086h - 0.04193\rho h + TC \quad (20)$$

D. Analisis Spektrum

Analisis spektrum dilakukan untuk mengestimasi lebar jendela (digunakan pada *moving average*) serta estimasi kedalaman anomali gaya berat. Analisis spektrum dilakukan dengan cara mentransformasi Fourier lintasan yang telah ditentukan pada peta kontur Anomali *Bouguer* Lengkap. 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 (Kadir, 2002). Untuk analisis lebih lanjut, gelombang-gelombang sinus tersebut didisplay sebagai fungsi dari frekuensinya. Secara otomatis, hubungan antara gelombang $s(t)$ yang akan diidentifikasi gelombang

sinusnya atau *input* dan $S(f)$ sebagai hasil *transformasi Fourier* diberikan oleh persamaan berikut :

$$S(f) = \int_{-\infty}^{\infty} s(t) e^{-j2\pi f t A = \pi r^2} dt \quad (21)$$

dimana $j = \sqrt{-1}$

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

$$F(U) = \gamma \mu F\left(\frac{1}{r}\right) \text{ dan } F\left(\frac{1}{R}\right) = 2\pi \frac{e^{|k|(z_0 - z^1)}}{|k|} \quad (22)$$

Dimana, U = potensial gaya berat

γ = konstanta gayaberat

μ = anomali rapat massa

r = jarak

sehingga persamaannya menjadi :

$$F(U) = 2\pi \gamma \mu \frac{e^{|k|(z_0 - z^1)}}{|k|} \quad (23)$$

Berdasarkan persamaan 20, transformasi Fourier anomali gaya berat yang diamati pada bidang horizontal diberikan oleh:

$$\begin{aligned}
 F(g_z) &= \gamma \mu F\left(\frac{\partial}{\partial z} \frac{1}{r}\right) \\
 &= \gamma \mu \frac{\partial}{\partial z} F\left(\frac{1}{r}\right)
 \end{aligned}$$

$$F(g_z) = 2\pi \gamma \mu e^{|k|(z_0 - z^1)} \quad (24)$$

dimana, g_z = anomali gaya berat

z_0 = ketinggian titik amat

k = bilangan gelombang

z = kedalaman benda anomali

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

$$A = C e^{|k|(z_0 - z^1)} \quad (25)$$

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 14

sehingga memberikan hasil persamaan garis lurus. Komponen k berbanding lurus dengan spektrum amplitudo.

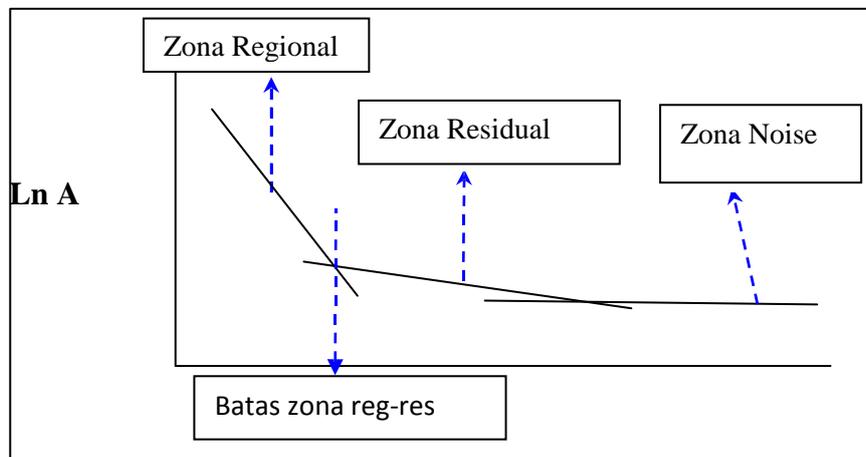
$$\ln A = (z_0 - z^1)|k| \quad (26)$$

Dari persamaan garis lurus di atas, melalui regresi linier diperoleh batas antara orde 1 (regional) dengan orde 2 (residual), sehingga nilai k pada batas tersebut digunakan sebagai batas penentu lebar jendela. Hubungan panjang gelombang λ dengan k diperoleh dari persamaan (Blakely, 1996) :

$$k = \frac{\alpha\pi}{\lambda}$$

$$k = (N - 1)\Delta x \quad (27)$$

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



Gambar 9. Kurva Ln A terhadap k (Blakely, 1996)

Untuk estimasi kedalaman didapatkan dari nilai gradien persamaan garis lurus dari masing-masing zona.

E. Pemisahan Anomali Regional dan Residual dengan metode *Moving Average* dan *Second Vertical Derivative* (SVD)

Anomali gaya berat yang terukur dipermukaan merupakan penjumlahan dari semua kemungkinan sumber anomali yang ada di bawah permukaan dimana salah satunya merupakan target 'event' dari eksplorasi. Sehingga untuk kepentingan interpretasi, target 'event' harus dipisahkan dari target lainnya. Jika target 'event' adalah anomali residual, maka target lainnya adalah anomali regional dan noise-nya. Secara sederhana, dari segi lebar anomali, noise akan memiliki lebar anomali lebih kecil dari target (residual), sedangkan regional lebih besar dari residual berdasarkan kedalaman, noise akan lebih dangkal dari residual, sedangkan regional lebih dalam.

Anomali regional berasosiasi dengan kondisi geologi umum yang dominan pada daerah penelitian, biasanya dicirikan oleh anomali berfrekuensi rendah. Anomali local/residual yang umumnya berfrekuensi tinggi mengandung informasi mengenai sumber anomali dangkal. Penelitian ini mengaplikasikan kontinuitas ke atas (*upward continuation*) dan filter panjang gelombang pada data geomagnetic sintetis (Effendi, 1976).

Untuk memisahkan anomali regional dan residual dari anomali bouguer lengkap, dilakukan beberapa metode yang akan dijelaskan yakni metode *moving average* dan metode *second vertical derivative*.

E.1 *Moving Average*

Penurunan dengan metode ini adalah secara tidak langsung karena keluaran dari *moving average* adalah regionalnya. Sehingga residual didapat dengan

mengurangkan regionalnya terhadap anomali hasil pengukurannya (data ini sebagai input dalam prosesnya). Jika dianalisa dari spektrum nya, karakter dari teknik *moving average* sama dengan '*low pass filter*', sehingga output dari proses ini adalah frekuensi rendah dari anomali *bouguer* yang memperlihatkan anomali regionalnya. Selanjutnya anomali residual dihasilkan dengan mengurangkan anomali regional terhadap anomali bouguernya.

Secara matematis persamaan *moving average* untuk 1 dimensi adalah sebagai berikut :

$$\Delta g_{reg}(i) = \frac{\Delta g(i-n) + \dots + \Delta g(i) + \dots + \Delta g(i+n)}{N} \quad (28)$$

dimana, i = nomor stasiun

N = lebar jendela

Δg_{reg} = besarnya anomali regional

Setelah didapatkan ΔT_{reg} , maka harga $\Delta T_{residual}$ dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut :

$$\Delta T_{residual} = \Delta T - \Delta T_{reg} \quad (29)$$

dimana, $\Delta T_{residual}$ = besarnya anomali residual

ΔT = besarnya anomali *bouguer*

ΔT_{reg} = besarnya anomali regional.

Persamaan tersebut merupakan dasar dari metode ini, dari persamaan tersebut akan dapat dihitung nilai anomali regional pada sebuah titik penelitian. Dimana nilai anomali regional pada sebuah titik penelitian, sangat tergantung pada nilai anomali yang terdapat di sekitar titik penelitian. Sehingga nilai anomali regional pada sebuah titik merupakan hasil rata-rata dari nilai anomali-anomali di sekitar daerah penelitian (Purnomo, 2013).

E.2. Metode *Second Vertical Derivative (SVD)*

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. Secara teoritis metode ini diturunkan dari Persamaan Laplace untuk anomali gaya berat di permukaan yang persamaannya dapat ditulis :

$$\nabla^2 \cdot \Delta g = 0 \quad (30)$$

Atau :

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

Sehingga *second vertical derivativenya* diberikan oleh :

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

Untuk data 1-D (data penampang) persamaannya diberikan oleh :

$$\frac{\partial^2 \Delta g}{\partial z^2} = \frac{\partial^2 \Delta g}{\partial x^2} \quad (32)$$

Persamaan SVD dan 1-D diatas menunjukkan bahwa *second vertical derivative* dari suatu anomali gaya berat permukaan adalah sama dengan negatif dan

derivatif orde dua horizon. Artinya bahwa anomali *second vertical derivative* dapat melalui derivatif horizontal yang secara praktis lebih mudah dikerjakan.

Beberapa filter *second vertical derivative* mempunyai respon amplitudo (Elkins, 1951) seperti contoh dibawah ini :

1. SVD tipe Henderson & Zietz (1949)

0.00	0.00	-0.0838	0.00	0.00
0.00	1.00	-2.6667	1.00	0.00
-0.0838	-2.6667	17.00	-2.6667	-0.0838
0.00	1.00	-2.6667	1.00	0.00
0.00	0.00	-0.0838	0.00	0.00

2. SVD tipe Elkins (1951)

0.00	-0.0833	0.00	-0.0833	0.00
-0.0833	-0.0667	-0.0334	-0.0667	-0.0833
0.00	-0.0334	1.0668	-0.0334	0.00
-0.0833	-0.0667	-0.0334	-0.0667	-0.0833
0.00	-0.0833	0.00	-0.0833	0.00

3. SVD tipe Rosenbach (1953)

0.00	-0.0416	0.00	-0.0416	0.00
-0.0416	-0.3332	-0.75	-0.3332	-0.0416
0.00	-0.75	4.00	-0.75	0.00
-0.0416	-0.3332	-0.75	-0.3332	-0.0416
0.0	-0.0416	0.00	-0.0416	0.00

F. *Forward Modeling* (Pemodelan ke Depan)

Forward modeling (pemodelan ke depan) adalah suatu metode interpretasi yang memperkirakan densitas bawah permukaan dengan membuat terlebih dahulu benda geologi bawah permukaan. Kalkulasi anomali dari model yang dibuat kemudian dibandingkan dengan anomali Bouger yang telah diperoleh dari survey gaya berat. Prinsip umum pemodelan ini adalah meminimumkan selisih anomali pengamatan untuk mengurangi ambiguitas.

Yang dimaksud benda dua dimensi di sini adalah benda tiga dimensi yang mempunyai penampang yang sama dimana saja sepanjang tak berhingga pada satu koordinatnya. Pada beberapa kasus, pola kontur anomali bouger adalah bentuk berjajar yang mengidentifikasi bahwa penyebab anomali tersebut adalah benda yang memanjang. Pemodelan dinyatakan dalam bentuk dua dimensi karena efek gravitasi dua dimensi dapat ditampilkan dalam bentuk profil tunggal.

G. *Inverse Modeling* (Pemodelan ke Belakang)

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).

BAB IV

METODOLOGI PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat Pelaksanaan

Penelitian ini dilakukan pada

Tempat : **Pusat Sumber Daya Geologi**

Alamat : **Jl Soekarno Hatta No 444. Bandung 40294**

Tanggal : **Desember 2015 sampai Januari 2015/2016**

Judul : **“Identifikasi Struktur Bawah Permukaan Daerah Panas Bumi TG 11 Dengan Menggunakan Metode Gaya Berat”**

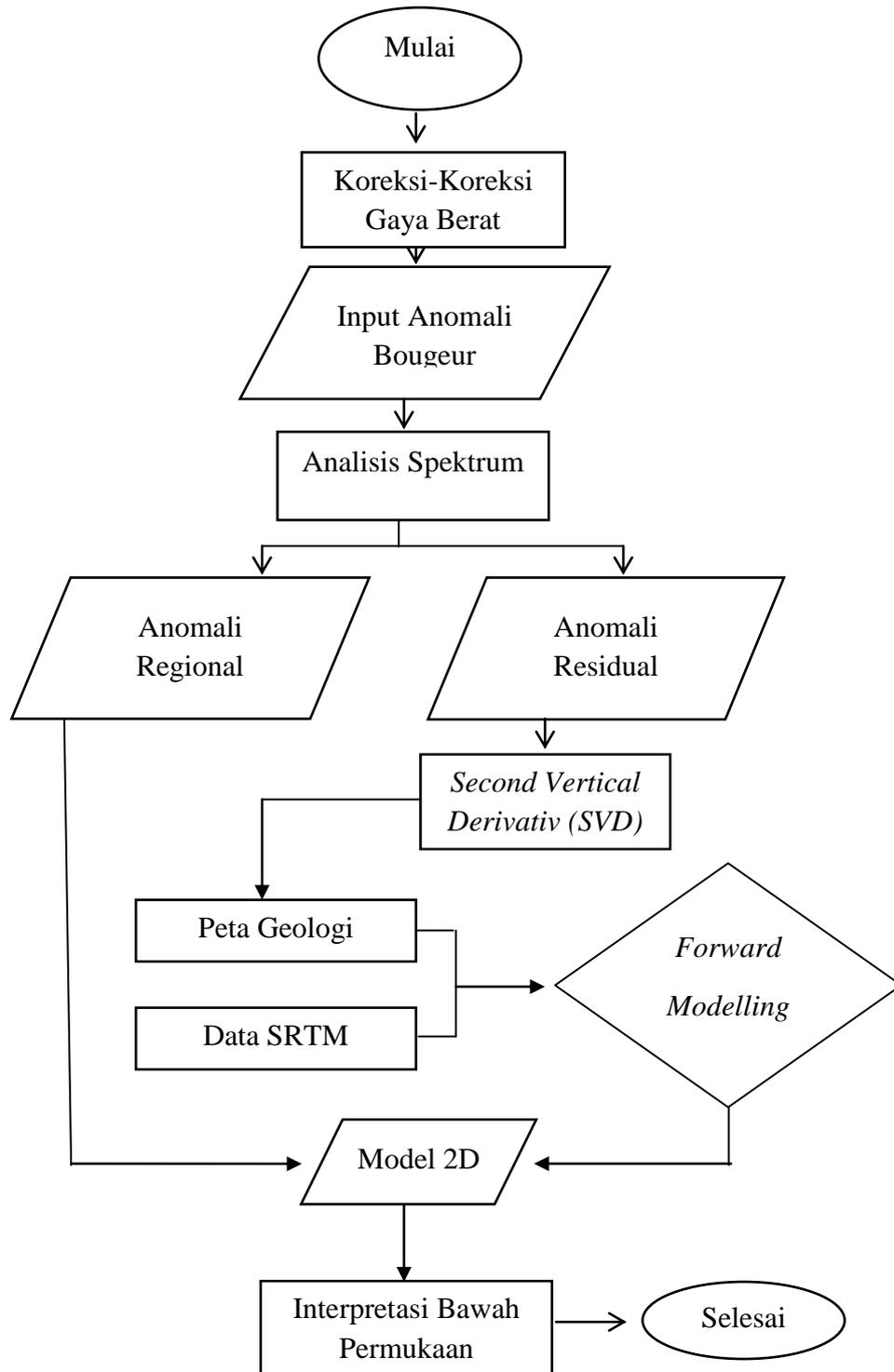
B. Alat dan Bahan

Adapun alat dan bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah:

1. Laptop dan data gaya berat
2. Lembar Peta geologi daerah penyelidikan
3. Peta SRTM daerah penelitian
4. Software Geosoft Oasis Montaj 6.4.2
5. Software Numeri
6. Software Surfer 10
7. Software Ms.Excel

C. Diagram Alir Penelitian

Adapun diagram alir dalam penelitian ini dibagi menjadi 2 bagian yaitu diagram pengolahan data dan pemodelan.



Gambar 10. Diagram Alir Analisis Data

D. Prosedur Pengolahan Data

Dalam penelitian ini, prosedur untuk melaksanakan penelitian dibagi menjadi dua bagian yaitu :

1. Prosedur Pengolahan Data

Dalam pengolahan data gaya berat, pertama tama harus mereduksi kesalahan *Noise* yang terjadi selama pengukuran maupun medan sekeliling titik pengukuran. Yang pertama kita lakukan adalah mereduksi pengaruh benda-benda luar bumi. Seperti matahari atau bulan. Kemudian mereduksi nilai ini dengan cara menambahkan nilai bacaan alat dengan pengaruh gravitasi matahari atau bulan. Kemudian mereduksi pengaruh pegas alat. Akibatnya bacaannya membesar dari yang seharusnya. Dalam mereduksi pengaruh kelelahan pegas alat, bacaan alat dikurangkan dengan pengaruh kelelahan pegas alat.

Kemudian hitung nilai gayaberat absolut tiap stasiun, berlanjut mereduksi ke nilai gayaberat normal di titik tersebut. Gravitasi normal berasumsi besar gravitasi bumi hanya berubah ke arah lintangnya saja. Karena jari-jari bumi hanya berubah ke arah lintangnya saja. Sedangkan ke arah bujurnya selalu sama. Setelah direduksi dengan gravitasi normal, data tersebut direduksi lagi dengan *Free Air Correction*. Pengaruh *FAC* mengakibatkan gravitasi bumi mengecil karena jari-jari bumi bertambah dengan ketinggian di titik ukur. Terakhir data tersebut direduksi karena pengaruh massa di bawah permukaan agar mendapatkan data *Complete Bougeur Anomaly*.

2. Prosedur Pemisahan dan Pemodelan

Dalam tahap ini data Anomali Bouguer Lengkap di transformasi *Fourier* untuk merubah dari spasial jarak ke spasial frekuensi dimana akan dipisahkan zona regional dan zona residual dengan filter *Low Pass* dan *High Pass*. Setelah didapat kedua zona tersebut, keduanya dianalisis menggunakan *Second Vertical Derivativ (SVD)* untuk mengetahui diskontinuitas dari suatu struktur bawah permukaan, khususnya adanya patahan pada suatu daerah. Pemodelan kedepan 2D (*Forward Modeling*) dibuat berdasarkan data residual. Yang terakhir adalah pembuatan model ke belakang (*Inverse Modeling*) 3D data data *Complete Bouguer Anomaly* dan lakukan Interpretasi model bawah permukaan daerah penelitian.

VI. KESIMPULAN

A. Kesimpulan

Adapun kesimpulan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Anomali Bougeur Lengkap didaerah penelitian mempunyai nilai antara 37.7 sampai 76.1 mGal , anomali rendah mempunyai nilai 37.7 sampai 61.3 mGal anomali ini berada pada bagian barat laut hingga tenggara sepanjang arah timur laut, Anomali sedang berada pada 61.3 sampai 72.4 mGal anomali ini menempati arah barat laut hingga tenggara, serta anomali tinggi berkisar antara 72.4 sampai 76.1 mGal anomali ini menempati arah barat laut hingga tenggara.
2. Hasil analisis SVD Anomali Residual menunjukkan bahwa patahan yang dihasilkan dari SVD mempunyai arah yang sama dengan patahan yang ada pada geologi regional daerah tersebut.
3. Pemodelan *Forward Modeling* pada model 1' menunjukkan adanya 2 lapisan bawah permukaan yang diidentifikasi sebagai formasi sembakung (Tes) dengan nilai densitas 2.4 gr/cc dengan kedalaman 0 sampai 700 meter di bawah permukaan dan formasi Latih sebagai *basemant* kedalaman lebih dari 700 meter di bawah permukaan.

4. Pemodelan *Forward Modeling* Pada lintasan 2' menunjukkan adanya 4 lapisan pada daerah penelitian yang diidentifikasi formasi saju (TQps) dengan kedalaman 0 sampai 150 meter di bawah permukaan, formasi domaring (Tmpd) dengan kedalaman 150 sampai 1000 meter dibawah permukaan, formasi birang (Tomb) dengan kedalaman 1000 sampai 1200 meter dibawah permukaan dan formasi sembakung (tes) dengan kedalaman bervariasi mulai dari 0 sampai 1900 meter dibawah permukaan dan *basement* lebih dari 1900 meter .
5. Sistem panasbumi daerah penelitian merupakan sistem panasbumi akibat sistem sesar.

B. Saran

Studi gravitasi difokuskan dengan area yang lebih luas agar dapat memetakan struktur bawah permukaan yang lebih detail dan dapat mengetahui reservoir daerah panasbumi tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

- Bammelen, van R.W., 1949. *The Geology of Indonesia*. Vol. I A. The Hague, Netherlands.
- C. A. Heiland, Sc.D., 1963. *Geophysical Exploration*. New York and London.
- Dickson, Mary H., dan Mario, Fanelli., 2004, *What is Geothermal Energy?*, www.iga.igg.cnr.it, diakses pada 26 September 2014.
- Dutro, J.T, 1989, *AGI Data Sheet for Geology In the Field, Laboratory and Office*, Alexandria, US.
- Elkins, T.A., 1951, *The Second Derivative Method of Gravity Interpretation*, *Geophysics*, v.23, h.97-127.
- Grandis, H., 2009, *Pengantar Pemodelan Inversi Geofisika*, HAGI, Jakarta.
- Heldman, D. R. dan Lund, D. B. 2007. *Handbook of Food Engineering*. Edisi ke 2. CRC-Press, USA.
- Hochstein, MP;1982: *Introduction to Geothermal Prospecting*, Geothermal Institute, University of Auckland, New Zealand.
- Lawless, J., 1995. *Guidebook: An Introduction to Geothermal System*. Short course. Unocal Ltd. Jakarta.

- Lund, Anderson, 1979. Sistem Panas Bumi Silturasi Non Vulkanik,
- Rosid, Syamsu., 2005, *Gravity Method in Exploration Geophysics*, Universitas Indonesia, Depok.
- Octonovriya, Litanya dkk. 2009. *Analisa Perbandingan Anomaly Gravitasi dengan persebaran intrusi air asin (Studi kasus Jakarta 2006-2007)*. Jurnal Meteorologi dan Geofisika Vol.10 No.1 : AMG
- R.L. Sitomorang dan G. Burhan.1995. *Peta Geologi Lembar Tanjung Rede, Kalimantan*.
- Santoso, Djoko.,2004,*Catatan Kuliah "Eksplorasi Energi Geothermal"*, ITB, Bandung.
- Supriyanto. 2007. *Analisis Data Geofisika : Memahami teori Inversi*. Department Fisika FMIPA UI : Depok.
- Telford, W.M., Goldrat, L.P., dan Sheriff, R.P., 1990, *Applied Geophysics 2nd ed*, Cambridge University Pres, Cambridge.
- Tim Survei Terpadu, 2011, *Penyelidikan Terpadu Geologi dan Geokimia Daerah Panas Bumi Sajau, Kalimantan Timur*. Pusat Sumber Daya Geologi, Bandung.