

**ANALISIS *HORIZONTAL GRADIENT*, *TILT ANGLE*, MODEL 2D, DAN
3D GAYABERAT DALAM IDENTIFIKASI ZONA SESAR
DAERAH PANAS BUMI GUNUNG UNGARAN, JAWA TENGAH**

(Skripsi)

Dian Sanjaya



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

**“HORIZONTAL GRADIENT, TILT ANGLE, 2D, AND 3D GRAVITY
MODEL ANALYSIS IN IDENTIFYING FAULT ZONE OF GUNUNG
UNGARAN GEOTHERMAL AREA, CENTRAL JAVA”**

by

Dian Sanjaya

ABSTRACT

Mount Ungaran is a geothermal area where there is a geothermal system in the area that is characterized by certain characteristics such as the presence of hot springs, fumaroles, hot soils, deposits of travertine and altered rocks. The location of geothermal manifestations is mainly located on the northwest, southwest and southeast slopes of Mount Ungaran. This research was conducted using gravity method to identify fault zones which is controller of geothermal system, in this case in Mount Ungaran area, using Horizontal Gradient and Tilt Angle. The regional zone at study area is at a depth of 3.5 km and the residual zone at a depth of 0.6 km. The manifestations of Nglimut, Diwak, Banaran, Gedongsongo, and Kendalisodo are associated with the existence of faults. Fault structures are scattered in the study area at North West-South East and North-South direction. There are 5 types of rock lithology, namely Gajahmungkur Formation (2.39 gr / cc), Kaligesik Formation (2.64 gr / cc), Jongkong Formation (2.51 gr / cc), Penyatan Formation (2.4 gr / cc), and Basement (3.1 gr / cc). The existence of Basement layer based on the research final result model is estimated placed in Kaligetas Formation. High bouguer anomaly value is influenced by Kaligesik Formation which exposed to the surface and low bouguer anomaly is caused by the presence of magma chamber that has high porosity. Ungaran Mountain geothermal reservoir is in Gedongsongo, exactly, at a depth until 2700 m below sea level.

Keywords: gravity, faults, Mount Ungaran.

“ANALISIS *HORIZONTAL GRADIENT*, *TILT ANGLE*, MODEL 2D, DAN MODEL 3D GAYABERAT DALAM IDENTIFIKASI ZONA SESAR DAERAH PANAS BUMI GUNUNG UNGARAN, JAWA TENGAH”

Oleh

Dian Sanjaya

ABSTRAK

Gunung Ungaran merupakan salah satu area sistem panas bumi yang ditandai dengan mata air panas, fumarol, tanah panas, endapan travertin dan batuan teralterasi. Lokasi manifestasi panas bumi terutama terletak di lereng Barat Laut, Barat Daya dan Tenggara Gunung Ungaran. Penelitian ini dilakukan menggunakan metode gayaberat untuk mengidentifikasi zona sesar sebagai pengontrol sistem panas bumi daerah Gunung Ungaran menggunakan *Horizontal Gradient* dan *Tilt Angle*. Zona regional pada daerah penelitian memiliki kedalaman 3.5 km dan zona residual memiliki kedalaman 0.6 km. Manifestasi Nglimut, Diwak, Banaran, Gedongsongo, dan Kendalisodo berasosiasi dengan keberadaan sesar. Struktur sesar tersebar di daerah penelitian dengan arah Barat Laut-Tenggara dan Utara-Selatan. Terdapat 5 jenis litologi batuan yaitu Formasi Gajahmungkur (2.39 gr/cc), Formasi Kaligesik (2.64 gr/cc), Formasi Jongkong (2.51 gr/cc), Formasi Penyatan (2.4 gr/cc), dan *Basement* (3.1 gr/cc), *Basement* pada model hasil penelitian diperkirakan berada pada Formasi Kaligetas. Nilai anomali bouguer tinggi dipengaruhi oleh Formasi Kaligesik yang tersingkap ke permukaan, kemudian anomali bouguer rendah disebabkan karena adanya kantong magma yang memiliki porositas tinggi. Reservoir panas bumi Gunung Ungaran berada di Gedongsongo dengan kedalaman mencapai 2700 m di bawah permukaan laut.

Kata kunci: gayaberat, sesar, Gunung Ungaran

**ANALISIS *HORIZONTAL GRADIENT*, *TILT ANGLE*, MODEL 2D, DAN
3D GAYABERAT DALAM IDENTIFIKASI ZONA SESAR
DAERAH PANAS BUMI GUNUNG UNGARAN, JAWA TENGAH**

**Oleh
DIAN SANJAYA**

**Skripsi
Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNIK**

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



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

Judul Skripsi : ANALISIS HORIZONTAL GRADIENT, TILT ANGLE, MODEL 2D, DAN 3D GAYABERAT DALAM IDENTIFIKASI ZONA SESAR DAERAH PANAS BUMI GUNUNG UNGARAN, JAWA TENGAH

Nama Mahasiswa : Dian Sanjaya

Nomor Pokok Mahasiswa : 1515051034

Program Studi : Teknik Geofisika S-1

Jurusan : Teknik Geofisika

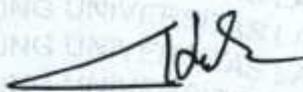
Fakultas : Teknik



MENYETUJUI

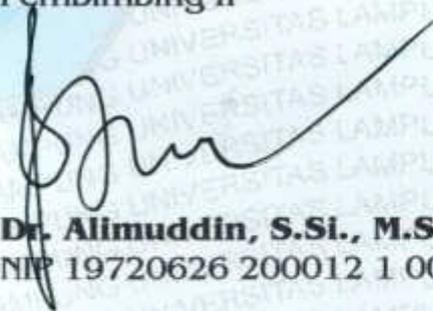
1. Komisi Pembimbing

Pembimbing I



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

Pembimbing II



Dr. Alimuddin, S.Si., M.Si.
NIP 19720626 200012 1 001

2. Ketua Jurusan Teknik Geofisika



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

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

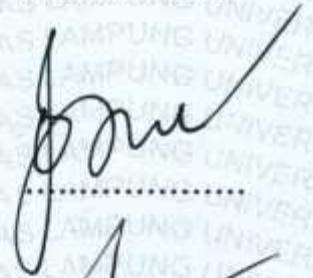
Ketua

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



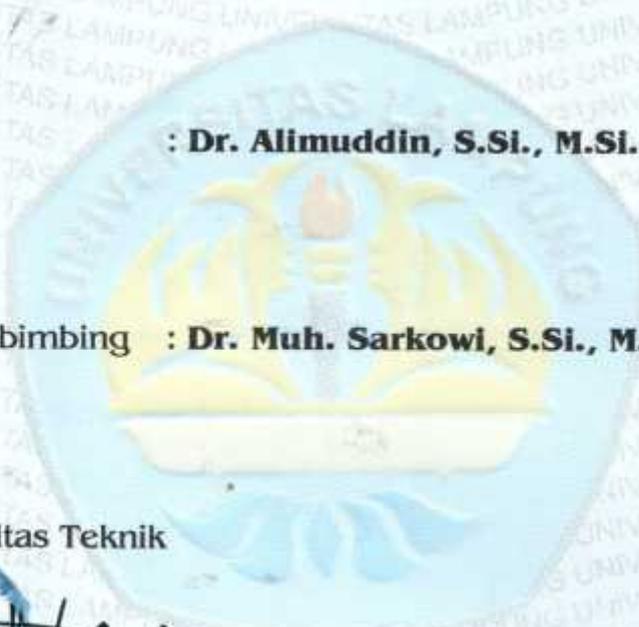
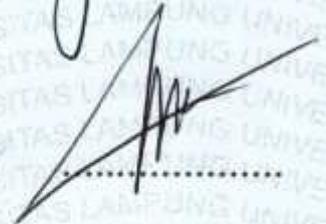
Sekretaris

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



Penguji

Bukan Pembimbing : Dr. Muh. Sarkowi, S.Si., M.Si.



2. Dekan Fakultas Teknik



Prof. Drs. Suharno, M.Sc., Ph.D.

NIP 19620717 198703 1 002



Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 19 Juni 2019

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa 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 juga 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, 2 Juli 2019

Penulis,



Dian Sanjaya
NPM. 1515051034

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Sumberjaya pada tanggal 28 Juni 1997. Penulis merupakan anak pertama dari pasangan Bapak Saepul Anwar dan Ibu Ina Kusuma Diana. Penulis menyelesaikan pendidikan Sekolah Dasar di SD N 02 Tugusari, Sumberjaya pada tahun 2009. Lalu menyelesaikan pendidikan Sekolah Menengah Pertama di SMP N 1 Sumberjaya pada tahun 2012. Selanjutnya menyelesaikan pendidikan Sekolah Menengah Atas di SMA N 1 Sumberjaya pada tahun 2015.

Pada tahun 2015 penulis melanjutkan studi di Perguruan Tinggi dan terdaftar sebagai mahasiswa Jurusan Teknik Geofisika Fakultas Teknik Universitas Lampung. Penulis terdaftar sebagai anggota Sosial Budaya Masyarakat Hima TG Bhuwana pada periode 2016/2017, dan sebagai Kepala Bidang Sosial Budaya Masyarakat Hima TG Bhuwana pada periode 2017/2018. Penulis juga terdaftar sebagai anggota Dinas Pendidikan dan Pengabdian BEM FT Universitas Lampung pada periode 2016/2017.

Pada tahun 2018 penulis melakukan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Pekon Pariaman, Kecamatan Limau, Kabupaten Tanggamus. Dalam pengaplikasian ilmu geofisika, pada bulan September tahun 2018 melakukan Praktik Kerja Lapangan

di Pusat Survey Geologi (PSG) Badan Geologi, Kementerian ESDM, dan melakukan Tugas Akhir di Laboratorium Teknik Geofisika Universitas Lampung.

PERSEMBAHAN

Aku persembahkan karyaku ini untuk

ALLAH SWT

Ibu Bapak serta keluarga besarku

Teknik Geofisika Universitas Lampung 2015

Keluarga Besar Teknik Geofisika Universitas Lampung

Almamater Tercinta Universitas Lampung

MOTTO

“Seberapa besarpun masalah, yakinkan hatimu bahwa semua pasti baik-baik saja,
dengan begitu hatimu bisa tenang, All is Well“

3 Idiots

“Hidup itu sederhana yaitu menjalankan perintah Allah SWT dan menjauhi
larangan-Nya”

Dian Sanjaya

KATA PENGANTAR

Syukur Alhamdulillah saya ucapkan kepada Allah SWT, Tuhan Yang Maha Esa atas rahmat dan nikmatnya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Tak lupa shalawat serta salam saya ucapkan kepada Nabi Muhammad SAW yang kita tunggu syafaatnya di hari akhir nanti.

Skripsi ini berjudul “Analisis *Horizontal Gradient, Tilt Angle*, Model 2D, dan 3D Gayaberat dalam Identifikasi Zona Sesar Daerah Panas Bumi Gunung Ungaran, Jawa Tengah”. Skripsi ini merupakan hasil dari Tugas Akhir yang penulis laksanakan di Laboratorium Teknik Geofisika Fakultas Teknik Universitas Lampung.

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 pada Allah SWT saya mohon ampun.

Penulis

Dian sanjaya

SANWACANA

Banyak sekali pihak yang telah berkontribusi dalam penyusunan Skripsi ini. Terimakasih atas seluruh bantuan, informasi dan bimbingan serta kritik dan saran secara langsung atau tidak langsung yang telah diberikan selama ini. Tentunya penulis tidak dapat menyebutkan satu-persatu dari banyak sekali pihak yang telah banyak membantu. Pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan terimakasih kepada:

1. Allah SWT, Tuhan Yang Maha Esa. Berkat rahmat dan hidayah-Nya saya diperkenankan untuk menimba ilmu hingga saat ini sehingga dapat menyelesaikan Skripsi ini dengan baik.
2. Rasulullah Muhammad SAW yang telah membawa umat manusia keluar dari lubang kegelapan ke dunia yang terang benderang.
3. Bapak Dr. Nandi Haerudin, S.Si., M.Si. selaku pembimbing I dalam Skripsi ini serta selaku Ketua Jurusan Teknik Geofisika Universitas Lampung.
4. Bapak Dr. Alimuddin, S.Si., M.Si. selaku pembimbing II dalam Skripsi ini.
5. Bapak Dr. Muh, Sarkowi, S.Si., M.Si. selaku pembahas dalam Skripsi ini.
6. Bapak Syamsurijal Rasimeng, S.Si., M.Si. selaku pembimbing akademik yang selalu membantu dalam perkuliahan.
7. Orang tua, Adik, serta keluarga besar yang selalu memberikan doa, dukungan, cinta, semangat dan kepercayaan dalam bentuk lahir maupun batin.
8. Putri Yulia yang selalu menemani dan menyemangati untuk menyelesaikan skripsi ini, Nurman dan Elpin yang membantu selama perkuliahan.
9. Anggota kontrakan ungu Aldo, Ferdy, Juli, Monang, Ravi, dan Yuda yang selalu memberi dukungan dan bantuan untuk *survive* selama kuliah, anggota Batal Squad, Blok O yang selalu membantu dalam kondisi apapun.

10. Keluarga Teknik Geofisika 2015 terimakasih banyak telah memberi banyak kenangan suka dan duka bersama.
11. Agam dan Kak Martin, teman diskusi dan belajar dalam skripsi ini.
12. Kakak serta adik tingkat keluarga besar Teknik Geofisika Universitas Lampung.
13. Serta semua pihak yang telah membantu menyelesaikan skripsi ini.

Semoga Allah SWT membalas semua bantuan dari semua pihak dengan sebaik-baiknya. Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan dalam penulisan Skripsi ini. Oleh karena itu penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun demi perbaikan mendatang. Penulis juga berharap Skripsi ini dapat membawa manfaat positif bagi kita semua.

Bandar Lampung, 2 Juli 2019

Penulis,

Dian Sanjaya

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRACT	i
ABSTRAK	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.....	xiv
DAFTAR GAMBAR.....	xvi
DAFTAR TABEL	xix
BAB I PENDAHULUAN	
A. Latar Belakang	1
B. Tujuan Penelitian.....	2
C. Batasan Masalah.....	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
A. Lokasi Penelitian	3
B. Geomorfologi	3
C. Stratigrafi.....	4

D. Struktur Geologi	5
E. Geologi Regional	6
F. Studi Literatur	10

BAB III TEORI DASAR

A. Konsep dasar Metode Gayaberat.....	16
1. Gaya Gravitasi (Hukum Newton I).....	16
2. Percepatan Gravitasi (Hukum Newton II)	17
3. Potensial Gravitasi	18
4. Rapat Massa Batuan.....	18
B. Definisi Anomali Gayaberat.....	20
C. Anomali Bouguer	21
D. Filter <i>Moving Average</i>	22
E. Analisis Spektrum.....	23
F. Analisis <i>Horizontal Gradient</i> dan <i>Tilt Angle</i>	26
G. Teori Dasar Pendekatan Model 2D dan 3D Gayaberat	29
H. <i>Forward Modelling</i> dan Inversi	31
I. <i>Geosoft Oasis Montaj</i>	32

BAB IV METODOLOGI PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat Penelitian.....	33
B. Alat dan Bahan.....	34
C. Prosedur Pengolahan Data	34
D. Diagram Alir	38

BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Anomali Bouguer.....	40
B. Analisis Spektrum	41
C. Anomali Regional dan Residual	50
D. Analisis <i>Horizontal Gradient</i> dan <i>Tilt Angle</i> Gayaberat	53
E. <i>Forward Modelling</i>	72
F. <i>Inverse Modelling</i>	76
G. Analisis Kedalaman Reservoir	80

BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan.....	88
B. Saran	89

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1. Lokasi Penelitian	3
Gambar 2. Peta Geomorfologi Pulau Jawa.....	4
Gambar 3. Urutan terbentuknya Gunung Ungaran sampai Merapi.....	6
Gambar 4. Peta Geologi Ungaran.....	9
Gambar 5. Gaya tarik menarik antara dua benda	16
Gambar 6. Hubungan antara bidang gravitasi dan komponen massa gravitasi ...	20
Gambar 7. Kurva Ln A terhadap k	26
Gambar 8. a) Model Geologi, b) Anomali gayaberat, c) <i>Tilt Angle</i> , d) <i>Horizontal Gradient</i>	28
Gambar 9. Pemodelan ke depan	29
Gambar 10. Diagram alir	39
Gambar 11. Peta Anomali Bouguer daerah penelitian	41
Gambar 12. Peta lintasan yang digunakan pada analisis spektrum	42
Gambar 13. Hasil analisis spektrum Lintasan 1	43
Gambar 14. Hasil analisis spektrum Lintasan 2	44
Gambar 15. Hasil analisis spektrum Lintasan 3	45
Gambar 16. Hasil analisis spektrum Lintasan 4	46
Gambar 17. Hasil analisis spektrum Lintasan 5	47
Gambar 18. Hasil analisis spektrum Lintasan 6	48

Gambar 19. Peta anomali regional daerah penelitian	51
Gambar 20. Peta anomali residual daerah penelitian	52
Gambar 21. Peta <i>Gradient Horizontal</i> anomali residual daerah penelitian.....	53
Gambar 22. Peta <i>Tilt Angle</i> anomali residual daerah penelitian.....	54
Gambar 23. Kurva Lintasan A-A'	56
Gambar 24. Kurva Lintasan B-B'	57
Gambar 25. Kurva Lintasan C-C'	58
Gambar 26. Kurva Lintasan D-D'	59
Gambar 27. Kurva Lintasan E-E'	60
Gambar 28. Kurva Lintasan F-F'	61
Gambar 29. Kurva Lintasan G-G'	62
Gambar 30. Kurva Lintasan H-H'	63
Gambar 31. Kurva Lintasan I-I'	64
Gambar 32. Kurva Lintasan J-J'	65
Gambar 33. Sesar Geofisika pada Peta <i>Horizontal Gradient</i>	67
Gambar 34. Sesar Geofisika pada Peta <i>Tilt Angle</i>	68
Gambar 35. Sesar Geofisika berdasarkan Peta <i>Horizontal Gradient</i> arah N45W	69
Gambar 36. Sesar Geofisika berdasarkan Peta <i>Horizontal Gradient</i> arah N90E	70
Gambar 37. Sesar Geofisika pada Peta <i>Second Horizontal Derivative</i>	71
Gambar 38. Peta lintasan <i>Forward Modeling</i>	73
Gambar 39. <i>Forward Modelling</i> Lintasan AB	74
Gambar 40. <i>Forward Modelling</i> Lintasan CD	75

Gambar 41. (a) Model 3D bawah permukaan dilihat dari arah Barat Daya; (b) Model 3D bawah permukaan dilihat dari arah Timur Laut.....	76
Gambar 42. (a) Profil anomali residual Lintasan AB; (b) Model bawah permukaan Lintasan AB hasil <i>forward modeling</i> ; (c) Model bawah permukaan Lintasan AB hasil <i>inverse modeling</i> ; (d) Model bawah permukaan Lintasan AB hasil integrasi model <i>forward</i> dan <i>inverse</i>	77
Gambar 43. (a) Profil anomali residual Lintasan CD; (b) Model bawah permukaan Lintasan CD hasil <i>forward modeling</i> ; (c) Model bawah permukaan Lintasan CD hasil <i>inverse modeling</i> ; (d) Model bawah permukaan Lintasan CD hasil integrasi model <i>forward</i> dan <i>inverse</i>	78
Gambar 44. Penampang model hasil inversi pada Lintasan AB dan Lintasan CD	79
Gambar 45. Peta Sebaran Densitas Sumber Anomali Bouguer Lengkap pada Kedalaman 600 m	80
Gambar 46. Peta Sebaran Kedalaman Nilai Densitas 2.4 gr/cc.....	81
Gambar 47. Peta Anomali Bouguer Lengkap.....	82
Gambar 48. Peta Elevasi Daerah Penelitian	83
Gambar 49. Kurva Analisis Reservoir Kurva Analisis Reservoir Lintasan R-R' pada peta kedalaman densitas 2.4 gr/cc, peta densitas kedalaman 600 m, elevasi, dan anomali bouguer lengkap	84
Gambar 50. (a) Profil anomali residual Lintasan R-R'; (b) Model bawah permukaan Lintasan R-R' hasil <i>forward modeling</i> ; (c) Model bawah permukaan Lintasan R-R' hasil <i>inverse modeling</i>	85

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1. Nilai Densitas Batuan.....	19
Tabel 2. Susunan Jadwal Penelitian.....	33
Tabel 3. Hasil analisis spektrum.....	49
Tabel 4. Penelitian Metode Gayaberat di Gunung Ungaran.....	86

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Gunung Ungaran merupakan salah satu area sistem panas bumi yang ditandai dengan mata air panas, fumarol, tanah panas, endapan travertin dan batuan teralterasi. Secara administratif Gunung Ungaran termasuk dalam Kabupaten Semarang, Jawa Tengah. Lokasi manifestasi panas bumi terutama terletak di lereng baratlaut, baratdaya dan tenggara Gunung Ungaran. Untuk memanfaatkan potensi panas bumi suatu area dibutuhkan suatu proses penelitian yang bertujuan mengidentifikasi sistem panas buminya. Karakteristik sistem panas bumi meliputi sumber panas, lapisan reservoir, lapisan penudung, dan fluida panasnya (Zarkasyi dkk., 2011). Selain karakteristik sistem panas bumi perlu juga untuk mengetahui pengontrol sistem panas bumi, yaitu struktur sesar.

Gayaberat merupakan salah satu metode geofisika yang dapat digunakan untuk mengetahui struktur geologi bawah permukaan bumi. Metode ini didasarkan pada variasi medan gravitasi bumi karena adanya perbedaan densitas (rapat massa) antar batuan di bawah permukaan. Dengan adanya perbedaan nilai densitas ini akan menimbulkan anomali dari sebuah struktur seperti sesar. Prospek gayaberat melibatkan pengukuran dari variasi medan gayaberat di permukaan bumi. Metode ini digunakan untuk mengetahui massa lokal dengan

densitas tinggi atau dengan densitas rendah di sekeliling formasi tersebut dan mengetahui sesuatu tentang bawah permukaan berdasarkan perbedaan massa di bawah permukaan (Telford dkk., 1990). Pada penelitian ini metode gayaberat diterapkan untuk mengidentifikasi zona sesar sebagai pengontrol sistem panas bumi daerah Gunung Ungaran.

B. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah :

1. Menentukan kedalaman regional dan residual dengan menggunakan analisis spektrum.
2. Mengidentifikasi sesar di daerah penelitian menggunakan analisis *Horizontal Gradient* dan *Tilt Angle*.
3. Menganalisis struktur bawah permukaan berdasarkan model 2D dan model inversi 3D anomali gayaberat.

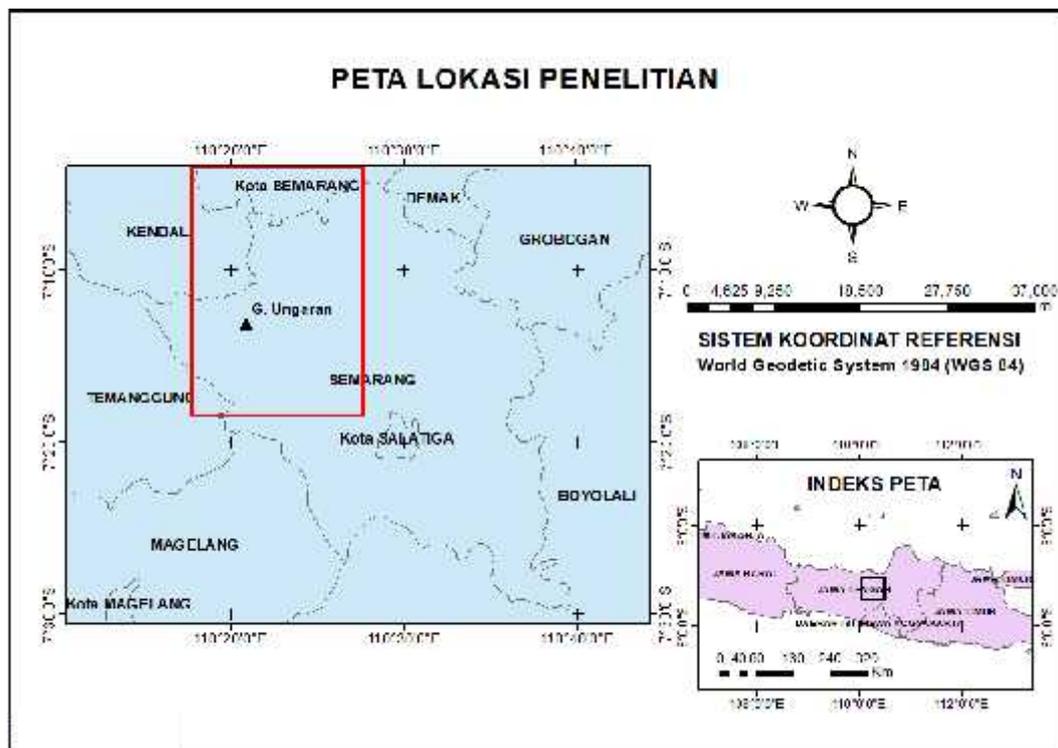
C. Batasan Masalah

Batasan masalah penelitian ini yaitu dalam pemisahan anomali bouguer dilakukan menggunakan metode *Moving Average*. Selain itu, analisis derivatif yang dilakukan hanya menentukan zona struktur, tidak untuk jenis struktur.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Lokasi Penelitian

Secara geografis, lokasi ini terletak pada posisi $110^{\circ}20'$ BT dan $7^{\circ}10'$ LS dengan ketinggian sekitar 1900 m di atas permukaan laut. Secara administrasi lokasi ini berada di Kabupaten Semarang, Jawa Tengah, Indonesia.

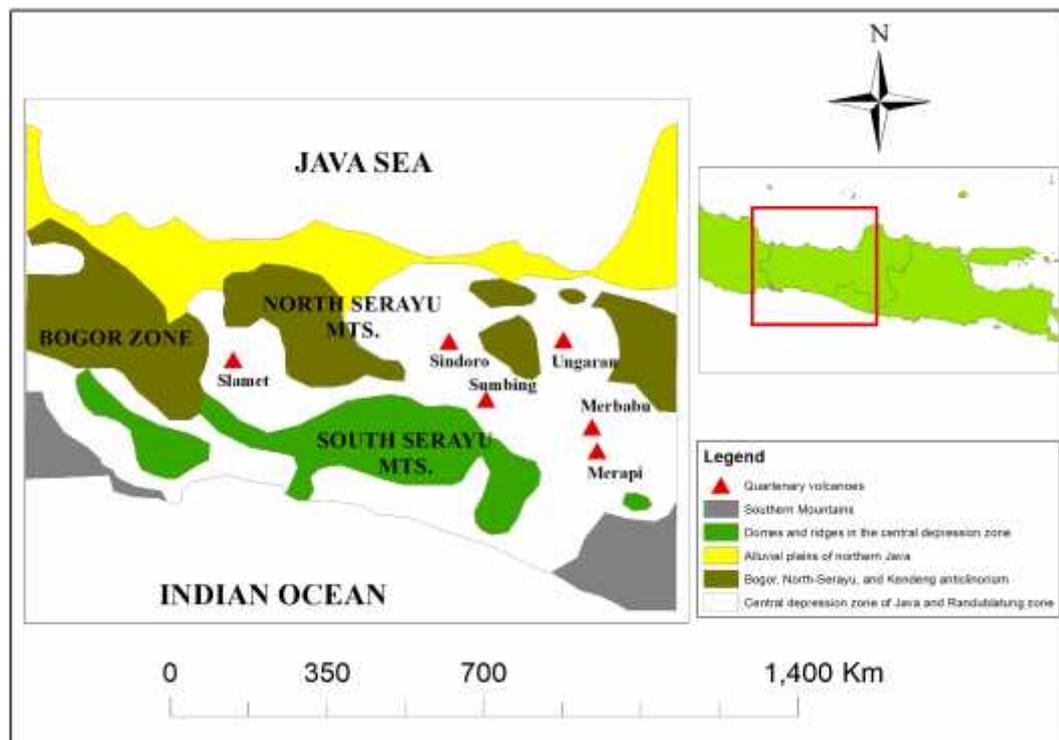


Gambar 1. Lokasi Penelitian

B. Geomorfologi

Van Bemmelen (1949), membagi pegunungan di Jawa Tengah menjadi dua puncak geantiklin, yaitu Pegunungan Serayu Utara dan Pegunungan Serayu

Selatan. Pegunungan Serayu Utara membentuk garis penghubung antara Zona Pegunungan Kendeng di Jawa Tengah. Sedangkan Pegunungan Serayu Selatan merupakan elemen yang muncul dari Zona Depresi Bandung yang membujur longitudinal di Jawa Barat. Pembagian geomorfologi Pulau Jawa berdasarkan fisiografinya (Jawa Tengah dan Madura) seperti dapat dilihat pada Gambar 2 di bawah ini.



Gambar 2. Peta Geomorfologi Pulau Jawa (Andalucia, 2017).

C. Stratigrafi

Gunung Ungaran adalah gunung berapi dengan tipe strato yang terdiri dari andesit dan basalt. Produk dari bentuk stratovolcano vulkanik bersinggungan dengan formasi tersier. Gunung Ungaran selama perkembangannya mengalami pergeseran ambrolan-tektonik yang disebabkan oleh gravitasi karena pada dasarnya lemah. Gunung Ungaran pertumbuhan menunjukkan dua kekuatan

dipisahkan oleh puing-puing dua kali. Ungaran pertama menghasilkan andesit di Bawah Pliosen Kala, di andesit Pliosen Tengah menghasilkan lebih dan berakhir dengan puing-puing. Siklus kedua dimulai di Kala Atas Pliosen dan Holosen. Kegiatan ini menghasilkan Ungaran siklus kedua dan ketiga. Stratigafi Gunung Ungaran terdiri dari batu andesit lava, gunung berapi perlitik lava dan breksia Ungaran selama siklus kedua dan ketiga. Struktur geologi daerah Ungaran dikontrol oleh struktur runtuh (runtuhnya struktur) yang memanjang dari barat ke tenggara dari Ungaran. Batuan vulkanik yang membentuk pra-kaldera dikendalikan oleh sistem sesar berarah barat laut-barat daya dan tenggara-barat daya, sedangkan batuan vulkanik yang membentuk pasca-kaldera ada sedikit struktur di mana struktur dikendalikan oleh sistem sesar regional (Utami dkk., 2016).

Stratigrafi regional sangat berkaitan erat dengan fisiografi daerah tersebut, yang mana telah diuraikan sebelumnya. Untuk stratigrafi regional ini berdasarkan pada stratigrafi Van Bemmelen (1949) dimana urutan Formasi yang paling tua hingga yang paling muda, diantaranya : Formasi Lutut, Formasi Merawu, Formasi Penyatan : (Penyatan Bagian Bawah, Penyatan Bagian Tengah, Penyatan Bagian Atas), Formasi Banyak, Formasi Cipluk, Anggota Kapung, Formasi Kalibiuk, Formasi Damar, Formasi Notopuro (Andalucia, 2017).

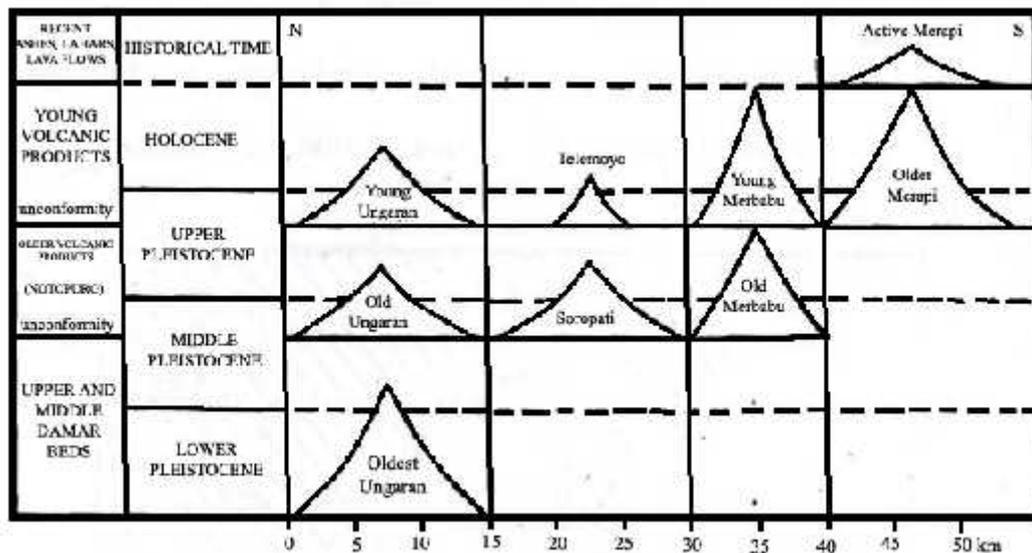
D. Struktur Geologi

Van Bemmelen (1949) menyatakan bahwa periode tektonik Miosen Bawah hingga Pliosen Atas, memegang peranan penting dalam perkembangan struktur geologi Jawa Tengah. Menurut teori tektonik lempeng, pada kala miosen akhir

hingga pleistosen cekungan Jawa Tengah Utara merupakan cekungan belakang busur. Struktur geologi daerah Ungaran dikontrol oleh struktur runtuhan (*collapse structure*) yang memanjang dari Barat hingga Tenggara dari Ungaran. Batuan vulkanik penyusun pre-caldera dikontrol oleh sistem sesar yang berarah barat laut-barat daya dan tenggara-barat daya, sedangkan batuan vulkanik penyusun postcaldera hanya terdapat sedikit struktur dimana struktur ini dikontrol oleh sistem sesar regional (Budiardjo dkk. dalam Andalucia, 2017).

E. Geologi Regional

Gunung Ungaran merupakan gunungapi kuarter yang berada di utara deretan Pegunungan Serayu Utara, yaitu gunungapi Ungaran – Telomoyo – Merbabu – Merapi.



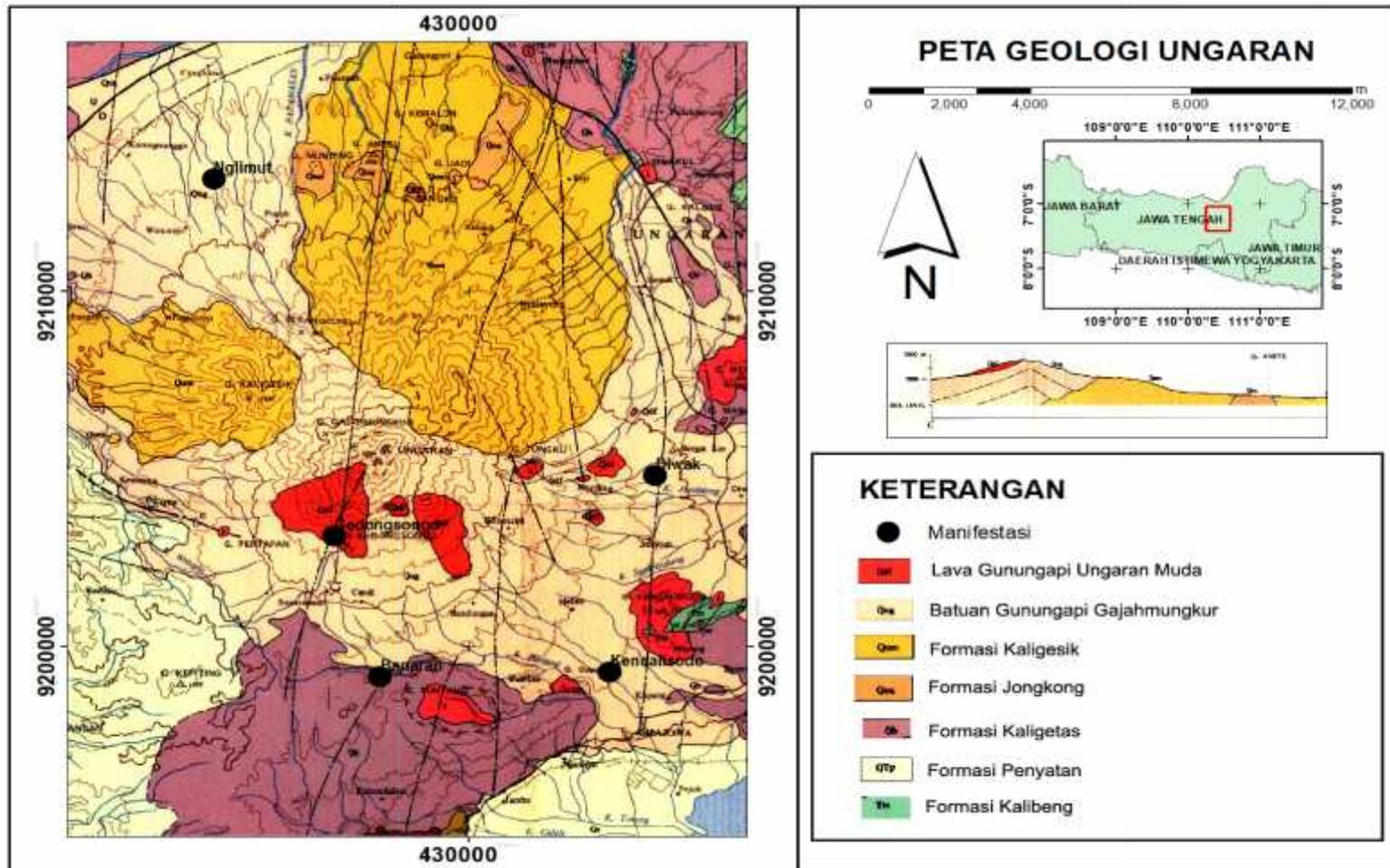
Gambar 3. Urutan terbentuknya deretan Gunung Ungaran sampai Merapi (Bemmelen dalam Meilisa dan Sarkowi, 2013)

Evolusi gunung Ungaran yang pada Gambar 3 secara umum dibagi menjadi tiga, yaitu morfologi gunung Ungaran paling Tua, kedua Ungaran Tua, dan ketiga Ungaran Muda. Masing-masing periode dibedakan antara satu terhadap yang

lainnya oleh proses runtuh karena volkano-tektunik. Periode pertama, Gunung Ungaran Paling Tua terbentuk pada Plestosen Bawah yang produknya terdiri dari aliran piroklastik dan lava andesit basaltik. Produk letusan Gunung Ungaran Paling Tua ini diendapkan sebagai formasi Damar Tengah dan Damar Atas. Kemudian menyusul tufa andesit augithornblende dan piroklastik aliran andesitik. Periode pertumbuhan Gunung Ungaran Paling Tua ini diakhiri dengan perusakan tubuhnya pada Plestosen Muda. Periode kedua, Gunung Ungaran Tua terbentuk dan produknya terdiri dari basalt andesitik augit-olivin. Produk letusan Gunung Ungaran Tua ini kemudian diendapkan di atas Formasi Damar secara tidak selaras yang disebut Formasi Notopuro. Formasi Notopuro terdiri dari endapan aliran piroklastik. Periode kedua ini berakhir dengan keruntuhan yang bersamaan dengan terjadinya sistem sesar volkano-tektunik. Akibat dari fase perusakan ini Gunung Ungaran Tua hancur dan tersisa tiga blok bagian yang dikelilingi oleh suatu sistem sesar cincin dimana Formasi Notopuro sedikit terlipat. Akibat sistem sesar cincin ini maka terjadi beberapa kerucut parasit seperti Gunung Turun, Gunung Mergi dan Gunung Kendalisodo (van Bemmelen dalam Meilisa dan Sarkowi, 2013).

Periode ketiga, Gunung Ungaran Muda terbentuk melalui Pusat letusan Gunung Ungaran Tua. Hadisantono dan Sumpena (1993) menjelaskan bahwa hasil pengamatannya di lapangan menunjukkan bahwa Gunung Ungaran Muda menghasilkan banyak aliran lava yang komposisinya berkisar antara basaltik sampai andesitik. Endapan aliran piroklastik dapat ditemukan di lereng Barat Laut, Timur Laut, utara, Barat Daya, timur-tenggara dan selatan. Data petrografi dari peneliti terdahulu menunjukkan bahwa komposisi batuan Gunung Ungaran

Muda adalah andesit augithornblende tanpa olivine. Sistem Panas bumi yang berkembang di Gunung Ungaran secara geologi berada di zona depresi dengan litologi permukaan didominasi oleh batuan vulkanik berumur Kuartar berupa kerucut-kerucut muda. Prospek panas bumi daerah ini bersistem dominasi air, yang secara struktural dikontrol oleh struktur kaldera Ungaran. Batuan vulkanik penyusun pra-Kaldera dikontrol oleh sistem sesar yang berarah Barat Laut – Barat Daya dan Tenggara-Barat. Pada batuan vulkanik penyusun post-Kaldera hanya terdapat sedikit struktur yang dikontrol oleh sistem sesar regional (Budiarjo dkk. dalam Meilisa dan Sarkowi, 2013).



Gambar 4. Peta Geologi Ungaran (Thaden dkk., 1975)

F. Studi Literatur

Berdasarkan hasil dari interpretasi itu didapatkan spesifikasi dari batuan yang diperkirakan merupakan reservoir geotermal sebagai berikut:

Densitas : 2,75 gr/cc

Kedalaman atas : 500 m

Kedalaman bawah : 2500 m

Bujur : 110°20'47" - 110°21'37" BT

Lintang : 7°12'4,6" - 7°11'29" LS

Lokasi : Gedongsongo

Posisinya persis di bawah permukaan kawah dan fumarol Gedongsongo. Batuan merupakan batuan andesit, yang mana sistem geotermal Ungaran berasosiasi dengan produk Ungaran muda kuartar yang berupa batuan andesit (Haerudin, 2002).

Rata-rata pelepasan panas di wilayah Gedongsongo yaitu sekitar 1,25 MW menggunakan *infrared imagery* dan *visual record* menggunakan data *hot spring* berdasarkan penelitian sebelumnya. Beberapa anomali positif *Spontaneous-Potential (SP)* dideteksi di sekitar *collapsed wall*, sekitar fumarol dan zona *hot spring* serta bagian paling selatan daerah penelitian. 270 kejadian gempa-mikro termasuk 4 kelompok seismik yang terekam selama pengamatan seismik pada hari ke-5 tahun 2005, dan distribusi hiposenter pada wilayah dangkal (< 500 m) di sekitar *Collapsed wall*. Kami mempertimbangkan hasil penelitian ini dan membangun model sistem hidrotermal secara konseptual untuk wilayah Gedongsongo, yang menjelaskan bahwa salah satu bagian aliran geotermal yang naik dari bagian terdalam Gunung Ungaran yang berubah menjadi aliran lateral,

mencapai lapisan dasar dan membentuk wilayah fumarol Gedongsongo. Sehubungan dengan penelitian ini, kami menganalisis ulang data gayaberat wilayah Ungaran diukur oleh tim UGM, dan menggambar peta anomali Bouguer bahwa sesuai dengan distribusi tubuh Ungaran Muda dan Ungaran Tua. Terdapat anomali Bouguer tinggi di dekat wilayah Gedongsongo. Anomali tersebut memungkinkan berhubungan dengan manifestasi panas bumi pada wilayah tersebut (Fujimitsu dkk., 2007).

Sebuah model konseptual dibangun berdasarkan hasil penelitian geofisika seperti gayaberat, *spontaneous-potential*, gempa-mikro, *infrared imagery* dan suhu daerah dangkal. Fluida panas bumi yang dalam bersumber dari bawah gunung api bagian tengah lalu berubah menjadi aliran lateral, sebagian fluida panas bumi mencapai permukaan dan membentuk wilayah fumarol Gedongsongo. Latar belakang distribusi suhu dan pola flux massa terhitung dari 150.000 tahun untuk mendapatkan *quasi-steady state*. Pola aliran air meteorik menggambarkan aliran utama ke bawah dengan flux massa bervariasi antara 10^{-8} g/cm²s - 10^{-7} g/cm²s. Perubahan panas telah dihitung hingga 30.000 tahun. Fluida panas bumi yang dalam bersumber dari bawah gunung api bagian tengah memiliki nilai entalpi 1085 kJ/kg (250°C) dan aliran massa 230 kg/s hingga 250 kg/s. Selain mengestimasi potensi panas bumi untuk produksi daya listrik konvensional, kami menggunakan suhu reservoir minimum 150°C dan kinerja reservoir telah diprediksi untuk produksi selama 30 tahun. Kedalaman reservoir diasumsikan dari 0,5 km hingga 3 km di atas permukaan laut. Hasilnya, estimasi potensi panas bumi yaitu 2,3 MW hingga 40,4 MW berdasarkan perbedaan ketebalan reservoir (Setyawan dkk., 2010).

Sistem panas bumi yang berkembang di Gunung Ungaran berada di zona depresi yang membatasi kompleks vulkanik Gunung Ungaran dengan litologi permukaan didominasi oleh batuan vulkanik berumur Kuartar. Adanya tubuh vulkanik dengan densitas 2,7 - 2,9 gr/cc terindikasi di bawah Gunung Ungaran berada pada kedalaman sekitar 250 – 400 m. Hal ini diperkuat oleh kehadiran mineral apatit dan biotit sekunder pada sumur USL-1 pada kedalaman 10 – 400,35 m yang mengindikasikan proses alterasi yang berkaitan dengan intrusi. Lapisan konduktif di daerah Gedongsongo disisipi oleh lapisan batuan dengan tahanan jenis 11 - 15 ohmmeter, sedangkan di daerah Nglimut terindikasi lapisan batuan konduktif (<10 ohmmeter), memiliki ketebalan sekitar 300 - 500 m di daerah Nglimut dan sekitar 1.400 m di daerah Gedongsongo. Puncak reservoir berada pada ketinggian sekitar 300 m di atas permukaan laut, dengan tahanan jenis diatas 30 ohm-m, terbentuk pada batuan vulkanik pra-Ungaran yang kaya akan rekahan dan bersifat permeabel dengan temperatur reservoir sebesar 300⁰C. Sumber panas sistem panas bumi Gedongsongo dan Nglimut diperkirakan dari sisa panas dapur magma Gunung Ungaran Muda. Sedangkan di daerah Kendalisodo sumber panas diperkirakan berasal dari tubuh intrusi yang berasosiasi dengan kubah lava (Rezky dkk., 2012).

Anomali Bouguer tinggi berada di bagian utara puncak gunung Ungaran, yang selaras dengan gunung api Ungaran tua. Umumnya, struktur regional gunung Ungaran terbagi menjadi 2 lapisan dengan kontras densitas 0,25 gr/cc. Kuartar muda batuan vulkanik Ungaran memiliki rata-rata densitas $2,39 \pm 0,12$ gr/cc dan terdiri atas andesit lava dari vulkanik Gajahmungkur, ketika rata-rata densitas dari kuartar tua batuan vulkanik Ungaran, terdiri atas basaltik lava dari formasi

Kaligesik, yaitu $2,64 \pm 0,01$ gr/cc. Analisis horizontal gradient mengindikasikan bahwa ciri panas bumi yang masih ada di Ungaran secara struktural dikontrol oleh struktur sirkular dan berlokasi di gunung api Ungaran muda. Hasilnya, horizontal gradient dari komponen regional gayaberat bermanfaat dalam menentukan lokasi struktur yang mengontrol manifestasi panas bumi (Setyawan dkk., 2009).

Aplikasi dari horizontal gradient dan Euler dekonvolusi data gayaberat untuk mengklarifikasi struktur bawah permukaan gunung Ungaran, di mana dapat berkontribusi dalam eksplorasi panas bumi. Gradient horizontal menggambarkan sesar bawah permukaan yang tidak memiliki jejak di permukaan dan bisa juga tidak di permukaan oleh pemetaan geologi. Hasil yang menarik bahwa hot spring (Gedongsongo, Nglimut, Diwak, dan Banaran) berkorelasi baik antara anomali tinggi gradient horizontal dengan interpretasi batas sesar. Ini mengindikasikan bahwa manifestasi panas bumi di Ungaran dikontrol secara struktural. Hot spring (Kendalisodo, Gedongsongo, Diwak, dan Banaran) berlokasi dekat dengan sesar-sesar geologi. Kecuali pada hot spring Kendalisodo yang berada di magnitude rendah gradien horizontal tetapi dekat dengan sesar permukaan. Perbedaan ini dapat disebabkan karena kurangnya stasiun pengukuran gayaberat di sekitar hot spring Kendalisodo. Tingginya gayaberat berkorelasi dengan batuan tua Ungaran, yang memiliki kandungan silika rendah yang meningkatkan densitas batuan. Metode gradien horisontal mewakili batas litologi antara unit vulkanik yang terbentuk saat evolusi gunung api. metode tersebut dapat mendeteksi struktur sirkular yang berhubungan dengan struktur runtuh gunung Ungaran. Metode Euler dekonvolusi menunjukkan kedalaman sumber gayaberat sekitar 1 hingga 4 km. Kombinasi teknik interpretasi gradien gayaberat yang berbeda penting untuk

meningkatkan pemahaman kita terhadap struktur bawah permukaan (Saibi dkk., 2012).

Hasil analisis data gayaberat menunjukkan adanya anomali rendah di daerah utara penelitian yang berhubungan dengan adanya prospek geotermal di daerah tersebut. Dari pemodelan 3D menunjukkan bahwa daerah Gedongsongo merupakan daerah prospek panas bumi dengan nilai densitas berkisar 2,2 - 2,5 gr/cc. Struktur yang mengontrol daerah manifestasi panas bumi Gedongsongo berarah Barat Laut - Barat Daya dan BaratTimur. Daerah reservoir prospek panas bumi Gedongsongo ini memiliki nilai rapat massa batuan yang lebih rendah dibanding dengan sekitarnya dikarenakan daerah prospek berkaitan dengan patahan-patahan (Meilisa dan Sarkowi, 2013).

Sebuah jaringan syaraf tiruan *Multilayer Perceptron Neural Network* yang diaplikasikan pada kasus geofisika Jaringan terbaik yang dihasilkan memiliki nilai optimum dengan empat layer tersembunyi dimana 40 neuron pada lapisan ke-1, 30 neuron lapisan ke-2, 20 neuron lapisan ke-3, 10 neuron lapisan ke-4 dan 1 output Dimana dapat ditemukan struktur bawah permukaan pada hasil keluaran jaringan syaraf tiruan yaitu Struktur geologi bawah permukaan daerah penelitian terdiri dari dua kontras batuan dimana pada nilai densitas tertinggi 2,80 – 3,0 gr/cc yang merupakan batuan basalt sebagai merupakan produk Gunung Ungaran Tua, densitas terendah pada daerah penelitian diperoleh batuan penyusun endapan andesit piroklastik dengan nilai densitas 2,40-2,80 gr/cc produk Gunung Ungaran Muda (Utami dkk., 2016).

Potensi panas bumi gunung Ungaran dikontrol oleh sistem struktur. SVD mengartikan bahwa patahan Gedongsongo merupakan patahan normal yang

menghasilkan sisi menjadi turun di sekitar kerucut gunung. Kesamaan pola dan bentuk anomali regional-residual diindikasikan bahwa basement berhubungan dengan patahan normal. Patahan ini merupakan sistem potensial untuk menghasilkan rekahan dan zona permeabel. Kejadian di kerucut gunung merupakan potensi sumber panas. Kesamaan fraktal dimensi pada skala grid tertentu menyatakan invarian skala dari sistem alami sebagai ciri obyek umum pada fenomena geologi. Nilai periodisitas fraktal dimensi di atas bouguer dan pola aliran sebagai kondisi untuk fenomena alami yang dapat diprediksi. Pada kasus ini, fenomena permukaan dan bawah permukaan memiliki korelasi pada fraktal dimensi. Dua variabel, bouguer dan jaringan aliran, memiliki korelasi negatif tetapi tidak hubungan lebih kuat (Alam dan Saputra, 2017).

III. TEORI DASAR

A. Konsep Dasar Metode Gayaberat

1. Gaya Gravitasi (Hukum Newton I)

Prinsip dasar teori gravitasi adalah hukum Newton yang menjelaskan tentang gaya tarik menarik antara dua massa m_1 dan m_2 yang terpisahkan oleh jarak, dapat diformulakan sebagai berikut (Serway dan Jhon, 2009):

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

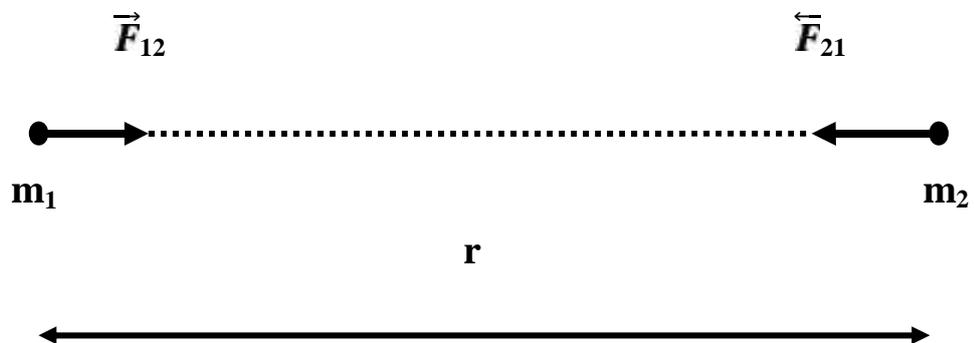
Dimana :

$\vec{F}(r)$: Gaya Tarik Menarik (N)

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

\vec{r} : Jarak antara dua buah benda (m)

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



Gambar 5. Gaya tarik menarik antara dua benda (Blakely, 1996)

2. Percepatan Gravitasi (Hukum Newton II)

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.

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

Percepatan sebuah benda bermassa m_2 yang disebabkan oleh tarikan benda bermassa M_1 pada jarak R secara sederhana dapat dinyatakan dengan :

$$\vec{g} = \frac{-\vec{F}}{m} \quad (3)$$

Bila ditetapkan pada percepatan gaya tarik bumi persamaan di atas menjadi

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

Dimana :

\vec{g} : Percepatan gaya tarik bumi

M : Massa bumi

m : Massa benda

\vec{F} : Gayaberat

\vec{r} : Jari-Jari bumi

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

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

Satuan anomali gaya berat dalam kegiatan eksplorasi diberikan dalam ordemiligal

(mGal) :

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

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

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

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

3. Potensial Gravitasi

Potensial pada suatu titik, pada medan gravitasi dinyatakan sebagai usaha yang diperlukan untuk memindahkan satu massa (m) dari jauh tak berhingga ke titik tertentu dalam medan gravitasi bumi bermassa m adalah:

$$V = - \int_{\infty}^r \vec{g} \cdot d\vec{r} \quad (5)$$

$$V = -G \int_{\infty}^r \frac{m}{r^2} d\vec{r} \quad (6)$$

$$V = G \frac{m}{r} \quad (7)$$

Dengan :

V = Potensial gravitasi

M = Massa benda (kg)

r = Jarak (m)

G = Konstanta universal gravitasi ($6.67 \times 10^{-11} \text{ m}^3\text{kg}^{-1}\text{s}^{-2}$) (Saputra dalam Islamiyah, 2015).

4. Rapat Massa Batuan

Rapat massa (*density*) batuan merupakan besaran utama dalam menentukan nilai percepatan gravitasi. Variasi rapat massa pada batuan sedimen disebabkan oleh tekanan gaya tektonik. Densitas batuan dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu rapat massa butir pembentuknya, porositas, kandungan fluida yang mengisi

pori-porinya, serta pemadatan akibat tekanan dan pelapukan yang dialami batuan tersebut (Kirbani, 2001).

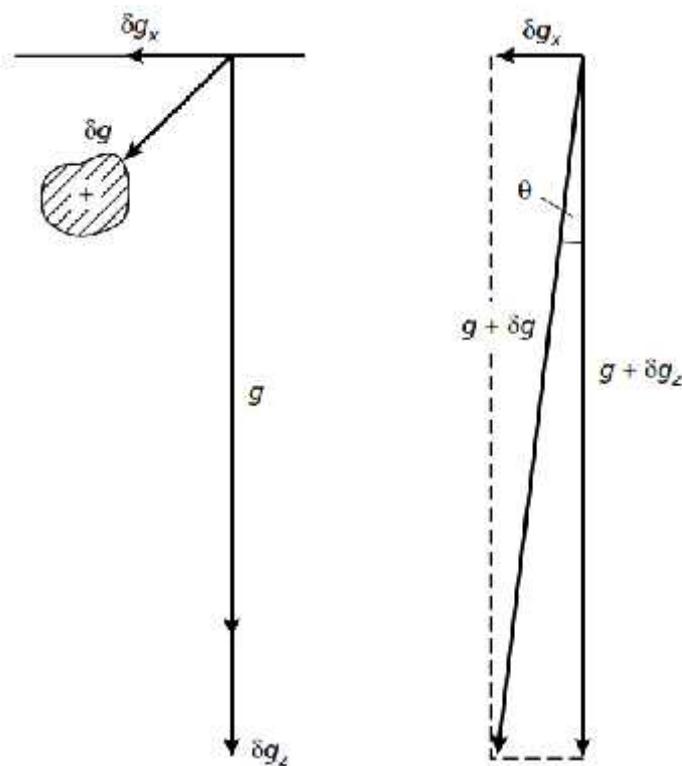
Tabel 1. Nilai Densitas Batuan (Telford dkk., 1990)

Rock Type	Range (g/cm ³)	Average (g/cm ³)
<i>Sediments (wet)</i>		
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
Dolomite	2.28-2.90	2.70
Sedimentary rocks (av.)		2.50
<i>Igneous rocks</i>		
Rhyolite	2.35-2.70	2.52
Andesite	2.40-2.80	2.61
Granite	2.50-2.81	2.64
Granodiorite	2.67-2.79	2.73
Porphyry	2.60-2.89	2.74
Quartz diorite	2.62-2.96	2.79
Diorite	2.72-2.99	2.85
Lavas	2.80-3.00	2.90
Diabase	2.50-3.20	2.91
Basalt	2.70-3.30	2.99
Gabbro	2.70-3.50	3.03
Peridotite	2.78-3.37	3.15
Acid igneous	2.30-3.11	2.61
Basic igneous	2.09-3.17	2.79
<i>Metamorphic rocks</i>		
Quartzite	2.50-2.70	2.60
Schists	2.39-2.90	2.64
Graywacke	2.60-2.70	2.65
Marble	2.60-2.90	2.75
Serpentite	2.40-3.10	2.78
Slate	2.70-2.90	2.79

Rock Type	Range (g/cm ³)	Average (g/cm ³)
Gneiss	2.59-3.00	2.80
Amphibolite	2.90-3.04	2.96
Eclogite	3.20-3.54	3.37
Metamorphic	2.40-3.10	2.74

B. Definisi Anomali Gravitasi

Gravimeter secara efektif hanya merespon komponen vertikal dari tarikan gravitasi massa anomali. Mempertimbangkan efek gravitasi dari massa anomali (δg), dengan komponen horisontal dan vertikal (δg_x dan δg_z), masing-masing, di bidang gravitasi lokal (g) dan itu direpresentasikan pada diagram vektor seperti pada **Gambar 6**.



Gambar 6. Hubungan antara bidang gravitasi dan komponen massa anomali gravitasi

$$g + \delta g = \sqrt{((g + \delta g_z)^2 + \delta g_x^2)} \quad (8)$$

Ketentuan dalam δg_x^2 tidak kecil dan dengan demikian dapat diabaikan.

Pengembangan binomial dari persamaan menjadi

$$g + \delta g \approx g + \delta g_z \quad (9)$$

sehingga

$$\delta g \approx \delta g_z$$

Akibatnya, gangguan terukur dalam g secara efektif sesuai dengan komponen vertikal tarikan dari tubuh kausatif. Defleksi lokal dari vertikal diberikan oleh

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{\delta g_x}{g} \right) \quad (10)$$

dan $\delta g_z \ll g$, biasanya tidak signifikan. Sangat besar anomali massa seperti pegunungan, namun menghasilkan pengukuran defleksi vertikal lokal (Kearey dkk., 2002).

C. Anomali Bouguer

Peta anomali Bouguer pada dasarnya mirip dengan peta topografi dimana ada kontur tinggian dan rendahan, kesamaan kenampakan area dengan kontur (*isogals*) yang rapat dan renggang. Kontur yang merefleksikan panjang gelombang yang panjang pada peta anomali Bouguer merupakan respon dari benda-benda dalam dan disebut anomali regional. Sedangkan anomali residual memiliki panjang gelombang yang lebih pendek dan merupakan respon dari benda-benda yang lebih dangkal yang biasanya terisolasi untuk analisis yang lebih dalam. Pemisahan anomali regional dari anomali Bouguer akan menyisakan anomali residual (Reynolds, 1998).

D. Filter *Moving Average*

Nilai gayaberat yang terukur di permukaan merupakan penjumlahan dari berbagai macam anomali dan struktur dari permukaan sampai inti bumi, sehingga anomali Bouguer yang diperoleh merupakan gabungan dari beberapa sumber anomali dan struktur. Anomali Bouguer adalah superposisi dari anomali yang bersifat regional dan yang bersifat residual atau lokal. Anomali regional berkaitan dengan kondisi geologi umum secara keseluruhan pada daerah yang bersangkutan, dicirikan oleh anomali yang berfrekuensi rendah, sedangkan anomali residual dicirikan oleh anomali yang berfrekuensi tinggi.

Untuk memperoleh anomali yang terasosiasi dengan kondisi geologi yang diharapkan dan untuk meningkatkan resolusi sebelum diinterpretasi secara kuantitatif maka perlu dilakukan pemisahan anomali regional dan residual sehingga anomali yang diperoleh sesuai dengan anomali dari target yang dicari. Pemisahan anomali juga dimaksudkan untuk membantu dalam interpretasi gaya berat secara kualitatif. Pemisahan anomali ini salah satunya dapat dilakukan dengan *filter moving average*.

Moving average dilakukan dengan cara merata-ratakan nilai anomalinnya. Hasil perata-rataan ini merupakan anomali regionalnya, sedangkan anomali residualnya diperoleh dengan mengurangkan data hasil pengukuran gayaberat dengan anomali regional.

$$\Delta g_r (i) = \frac{\Delta g(i-n) + \dots + \Delta g(i) + \dots + \Delta g(i+n)}{N} \quad (11)$$

Keterangan :

i = Nomor stasiun

N = Lebar jendela

$$N = \frac{N-1}{2}$$

Δg_r = Nilai anomali regional

Sedangkan penerapan *moving average* pada peta dua dimensi, harga pada suatu titik dapat dihitung dengan merata-ratakan semua nilai di dalam sebuah kotak persegi dengan titik pusat adalah titik yang akan dihitung harganya. Misalnya *moving average* dengan lebar jendela 3, maka:

$$\Delta g_r = \frac{1}{3} \sum_{N-1}^N \Delta g(n) \quad (12)$$

Nilai anomali residual Δg_r dapat dihitung dengan menggunakan persamaan

$$\Delta g_r = \Delta g - \Delta g_r \quad (13)$$

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

E. Analisis Spektrum

Analisis spektrum dilakukan untuk untuk mengestimasi lebar jendela serta estimasi kedalaman anomali gayaberat. 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 gelombang sembarang ke dalam gelombang sinus dengan frekuensi bervariasi dimana hasil penjumlahan gelombang-gelombang sinus tersebut adalah bentuk gelombang aslinya (Kadir, 2000).

Untuk analisis lebih lanjut, amplitudo gelombang-gelombang sinus tersebut didisplay sebagai fungsi dari frekuensinya. Secara matematis hubungan antara gelombang $s(t)$ yang akan diidentifikasi gelombang sinusnya (*input*) dan $S(f)$ sebagai hasil transformasi Fourier diberikan oleh persamaan berikut :

$$F(x) = \int_{-\infty}^{\infty} f(x) e^{-i\omega x} dx \quad (14)$$

Dimana $i = \sqrt{-1}$

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

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

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

U = Potensial gayaberat μ = Anomali rapat masa

γ = Konstanta gayaberat r = Jarak

Percepatan gravitasi dihubungkan pada potensial gravitasi oleh persamaan $g = \nabla U$. Gerak vertikal gravitasi yang disebabkan oleh suatu titik massa adalah turunan dari potensial gaya beratnya :

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

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

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

Transformasi Fourier pada lintasan yang diinginkan adalah :

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

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

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

Dimana A = Amplitudo; C = Konstanta

Untuk memperoleh hubungan antara amplitudo (A) dengan bilangan gelombang (k) dan kedalaman (z_0, z_1) dilakukan dengan melogaritmakan

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

$$\ln A = \ln C + |k|(z_0 - z_1) \quad (21)$$

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

Persamaan di atas dapat dianalogikan dalam persamaan garis lurus:

$$y = m x + c \quad (23)$$

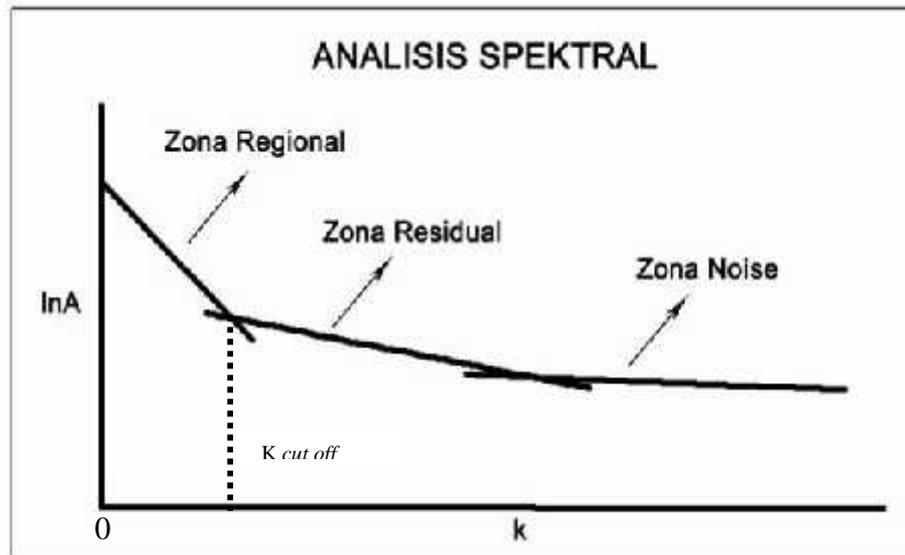
Dimana $\ln A$ sebagai sumbu y , $|k|$ sebagai sumbu x , dan $(z_0 - z_1)$ sebagai kemiringan garis (gradien). Oleh karena itu, kemiringan garisnya merupakan kedalaman bidang dalam dan dangkal. $|k|$ sebagai sumbu x didefinisikan sebagai bilangan gelombang yang besarnya $\frac{2\pi}{\lambda}$ dan satuannya *cycle/meter*, dengan λ adalah panjang gelombang. Hubungan λ dengan Δx diperoleh dari persamaan :

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{2\pi}{k_c \Delta x} \quad (24)$$

Nilai λ sama dengan Δx , ada faktor lain pada Δx yang disebut konstanta pengali, sehingga $\lambda = N \cdot \Delta x$, konstanta N didefinisikan sebagai lebar jendela, jadi lebar jendela dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$N = \frac{2\pi}{k_c \Delta x} \quad (25)$$

Dimana Δx adalah domain spasi yang akan digunakan dalam *Fast Fourier Transform* (FFT), dan k_c adalah bilangan gelombang *cutoff*.



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

F. Analisis *Horizontal Gradient* dan *Tilt Angle*

Pengertian *horizontal gradient* pada data anomali gayabarat adalah perubahan nilai anomali gayabarat dari satu titik ke titik lainnya dengan jarak tertentu. *Horizontal gradient* dari anomali gayabarat yang disebabkan oleh suatu *body* cenderung untuk menunjukkan tepian dari *body*-nya tersebut. Jadi metode *horizontal gradient* dapat digunakan untuk menentukan lokasi batas kontak kontras densitas horisontal dari data gaya berat (Cordell dalam Zaenudin dkk., 2013). Kelebihan dari metode *horizontal gradient* adalah metode ini tidak rentan terhadap *noise* karena hanya memerlukan perhitungan turunan horizontal pertama yang dikuadratkan dari data (Salem. A. dalam Zaenudin dkk., 2013). Metode ini dapat digunakan untuk menggambarkan struktur bawah permukaan yang dangkal maupun dalam. Amplitudo dari *horizontal gradient* ditunjukkan sebagai berikut:

$$HG = \sqrt{\left(\frac{\partial}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial}{\partial y}\right)^2} \quad (26)$$

di mana $\frac{\partial}{\partial x}$ dan $\frac{\partial}{\partial y}$ adalah turunan horizontal gayaberat pada arah x dan y. Satuan dari HG adalah mGal/m (Zaenudin dkk., 2013).

Tilt Angle mengatasi masalah menggunakan rasio dari *vertical derivative* dengan *horizontal gradient*. Karena keduanya akan lebih kecil untuk sumber yang lebih dalam, rasio akan lebih besar dari sumbernya. Ini menjadi nol di atas atau di dekat tepi di mana *vertical derivative* adalah nol dan *horizontal gradient* maksimum, sementara menjadi negatif di luar tubuh di mana *vertical derivative* negatif. Dengan menunjukkan hal tersebut sebagai *tilt angle* daripada rasio, maka akan tetap berada pada rentang $-90^\circ < \text{TILT} < 90^\circ$. *Tilt angle* relatif tidak sensitif terhadap kedalaman sumber dan harus menyelesaikan sumber dangkal dan dalam yang sama. Miller dan Singh memperkenalkan *tilt angle*, turunan vertikal dinormalisasi amplitudo:

$$T = \tan^{-1} \left[\frac{\frac{\partial}{\partial x}}{\sqrt{\left(\frac{\partial}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial}{\partial y}\right)^2}} \right] \quad (27)$$

di mana f adalah bidang magnetik atau gayaberat.

Jika menempatkan $z = 0$, kami memiliki formula untuk menghitung turunan vertikal pertama pada bidang pengamatan yang dapat ditulis,

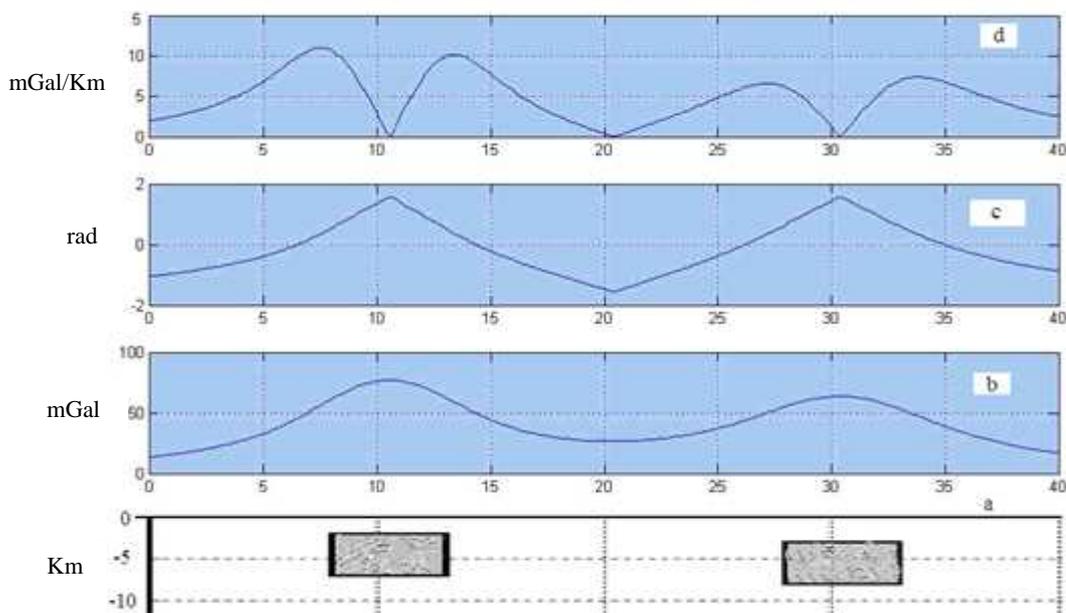
$$\left[\frac{\partial(\Delta\Phi)}{\partial z} \right]_{z=0} \approx \frac{1}{a} \left(1 + \frac{1}{2} + \frac{1}{3} + \frac{1}{4} + \frac{1}{5} \right) \Delta\Phi(0) + \frac{1}{a} \sum_{m=1}^{\infty} \frac{(-1)^m m!}{m^2 (m-1)! (\infty - m)!} \Delta\Phi(-m) \quad (28)$$

Untuk mendapatkan set koefisien untuk komputasi $[(\Delta\Phi)/\partial z]_{z=k}$, menggunakan sepuluh cincin-rata-rata $\Delta\bar{\Phi}(r_i)$ kita ambil $a = \text{satuan}$, sehingga rumusnya menjadi,

$$\left[\frac{\partial(\Delta\Phi)}{\partial z} \right]_{z=k} \approx \sum_{i=0}^1 \Delta\bar{\Phi}(r_i) D'(r_i, k) \quad (29)$$

di mana $D'(r_i, k)$ adalah koefisien turunan vertikal pertama yang sesuai untuk interval K mesh di bawah bidang (Henderson, 1960).

Seperti yang dapat dilihat pada persamaan (27), *tilt angle* meningkatkan amplitudo besar dan kecil dari anomali dengan baik. Hal tersebut berdasarkan fakta itu, *tilt angle* ditentukan berdasarkan rasio dari *horizontal gradient* ke *vertical derivative*. Perlu diketahui bahwa *tilt angle* bernilai positif dari sumber anomali dan melewati nol ketika berada jauh atau dekat dengan batas anomali. *Tilt angle* efektif dalam menyeimbangkan amplitudo dari anomali kuat dan lemah, tetapi bukan metode yang primer untuk menentukan batas (Askari, 2014). Filter *tilt angle* biasanya digunakan untuk mendeteksi struktur geologi tepi sebagai interpretasi yang menunjukkan ciri patahan (Verduzco dalam Ismail dkk., 2017).



Gambar 8. a) Model Geologi, b) Anomali Gayaberat, c) *Tilt Angle*, d) *Horizontal Gradient* (Hosseini dkk., 2013)

G. Teori Dasar Pendekatan Model 2D dan 3D Gayaberat

Pemodelan ke depan untuk menghitung efek gayaberat model benda bawah permukaan dengan penampang berbentuk sembarang yang dapat diwakili oleh suatu polygon bersisi – dinyatakan sebagai integral garis sepanjang sisi-sisi poligon:

$$g_z = 2G \oint z \quad (30)$$

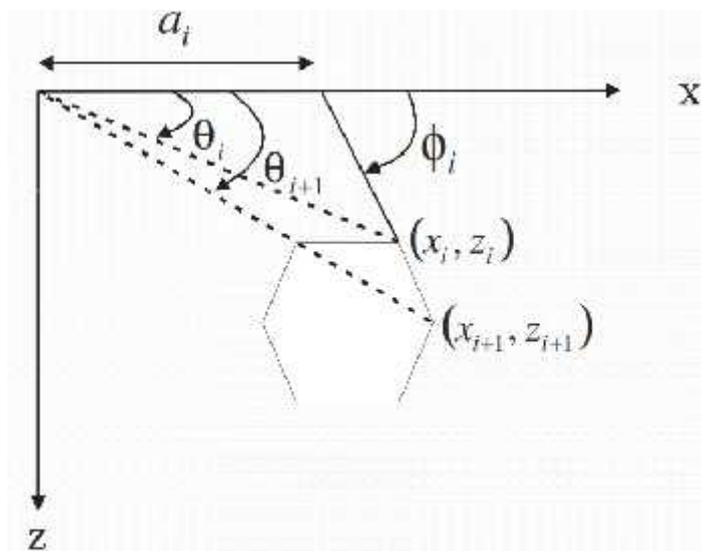
Untuk benda poligon sederhana, dapat ditunjukkan dengan persamaan sebagai berikut:

$$g_i = \int_b^c \frac{a_i t_i \theta_i}{\phi_i - t_i \theta} dt \quad (31)$$

Dimana :

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

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



Gambar 9. Pemodelan ke depan (Talwani, 1969)

Perangkat lunak Grablox 1.6 dari Pirttijarvi (2004) menggabungkan dua metode inversi yaitu *inverse Singular Value Decomposition* (SVD) dan *Inverse*

Occam (Hjelt, 1992) yang diproses secara berurutan. *Inversi Singular Value Decomposition* adalah suatu teknik penguraian suatu matriks ke dalam dua matriks (Zhao dalam Parapat dkk, 2017), sebagai contoh dari matriks A menjadi matriks U dan V. Menurut Sugianto dan Rahadinata (2015) secara matematis persamaannya dapat ditulis sebagai:

$$A = U S V^T \quad (32)$$

dengan:

U : Matriks ortogonal sebelah kiri

S : Matriks diagonal

V : Matriks ortogonal sebelah kanan

T : transpose matriks

Menurut Constable dkk. (1987) Inversi *Occam* adalah suatu metode inversi yang memanfaatkan tingkat kekasaran model. Secara matematis dapat ditulis:

$$U = \|\delta m\|^2 + \mu^{-1} \{ \|Wd - WGm\|^2 - X^2 \} \quad (33)$$

dengan:

$\|\delta m\|^2$: Kekasaran (roughness)

μ : Lagrange multiplier

$\|Wd - WGm\|^2$: Misfit

X : Error

Pemodelan inversi ini biasanya bersifat tidak unik atau tidak tunggal, artinya suatu respon anomali bisa dihasilkan oleh beberapa model bawah permukaan. Oleh karena itu, salah satu solusinya adalah penggunaan kedua metode inversi tersebut diatas. Integrasi kedua metode inversi tersebut mampu mengurangi dan menghasilkan nilai error (antara data observasi dengan data hasil perhitungan)

yang lebih kecil, baik dari sisi nilai densitas maupun dimensinya melalui proses optimize, sehingga dihasilkan model densitas yang lebih akurat (Grandis dalam Parapat dkk., 2017).

H. *Forward Modelling* dan Inversi

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 Bouguer yang telah diperoleh dari survei gayaberat. Prinsip umum pemodelan ini adalah meminimumkan selisih anomali pengamatan untuk mengurangi ambiguitas. Pemodelan ke depan untuk menghitung efek gayaberat model benda bawah permukaan dengan penampang berbentuk sembarang yang dapat diwakili oleh suatu polygon berisi n dinyatakan sebagai integral garis sepanjang sisi-sisi poligon (Talwani, 1969).

Pemodelan ke depan (*Forward Modelling*) merupakan proses perhitungan data dari hasil teori yang akan teramati di permukaan bumi jika parameter model diketahui. Pada saat melakukan interpretasi, dicari model yang menghasilkan respon yang cocok dan fit dengan data pengamatan atau data lapangan. Sehingga diharapkan kondisi model itu bisa mewakili atau mendekati keadaan sebenarnya. Seringkali istilah *forward modelling* digunakan untuk proses *trial and error*. *Trial and error* adalah proses coba-coba atau tebakan untuk memperoleh kesesuaian antara data teoritis dengan data lapangan. Diharapkan dari proses trial and error ini diperoleh model yang cocok responnya dengan data (Grandis, 2009).

Pemodelan inversi (*inverse modelling*) merupakan kebalikan dari pemodelan ke depan karena dalam pemodelan inversi parameter model diperoleh langsung dari data. Pemodelan inversi pada dasarnya adalah proses mekanisme modifikasi model agar diperoleh kecocokan data perhitungan dan data pengamatan yang lebih baik dilakukan secara otomatis. Pemodelan inversi sering pula disebut sebagai *data fitting* karena dicari parameter model yang menghasilkan respons yang sesuai dengan data pengamatan. Kesesuaian antara respon model dengan data pengamatan umumnya dinyatakan oleh suatu fungsi objektif yang harus diminimumkan. Dalam kalkulus suatu fungsi mencapai minimum jika turunannya terhadap parameter atau variable yang tidak diketahui bernilai nol. Hal tersebut digunakan untuk memperkirakan parameter model. Secara lebih umum, model dimodifikasi sedemikian hingga respon menjadi sesuai dengan data (Rahma dan Wahyudi, 2014).

I. Geosoft Oasis montaj

Oasis montaj Mapping and Processing System (MAPS) adalah *platform* perangkat lunak inti *Geosoft* untuk bekerja pada data spasial dengan volume besar. *Platform* menyediakan fungsionalitas yang diperlukan untuk mencari, mengelola, memvisualisasikan, memanipulasi, menampilkan, berbagi data ilmu kebumih. *Oasis montaj* menyediakan akses langsung ke data yang terkandung dalam database *Oasis* melalui *window spreadsheet* dan *window tampilan profil* yang terintegrasi. *Geosoft* menyediakan berbagai sistem yang menangani aplikasi spesifik pada eksplorasi geofisika, *drillhole* geologi, dan lainnya (Geosoft, 2014).

B. Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian antara lain:

1. Data anomali bouguer lengkap Gunung Ungaran
2. Laptop
3. Peta Geologi Lembar Magelang dan Semarang
4. *Software Surfer 12*
5. *Software Notepad, Microsoft Word, dan Excel 2007*
6. *Geosoft Oasis Montaj 8.3.3*
7. *Software MATLAB R2007b*
8. *Software ArcMap 10.3*
9. *Software Grablox 1.6*

C. Prosedur Pengolahan Data

1. Anomali Bouguer

Data yang diolah pada penelitian ini adalah data sekunder yang terlebih dahulu telah dilakukan pengukuran di daerah Gunung Ungaran oleh Dr. Nandi Haerudin, S.Si, M.Si., dan Dr. Alimuddin, S.Si., M.Si. pada tahun 2001. Karena data yang dipakai adalah data sekunder dari Tesis Dr. Nandi Haerudin, S.Si., M.Si. pada tahun 2002 dengan judul Interpretasi Anomali Lokal Data Gravitasi Gunung Ungaran Jawa Tengah untuk Memprediksi Sumber Geothermal maka tidak perlu dilakukan koreksi lagi sehingga data yang kita dapat adalah data anomali bouguer lengkap. Selanjutnya data yang didapat dilakukan gridding di *software* geosoft oasis montaj untuk menampilkan peta anomali bouguer yang kita inginkan. Besar nilai grid yang dimasukan adalah berdasarkan grid space ketika

pengukuran di lapangan atau berdasarkan kedalaman atau keberadaan objek yang kita cari.

2. Analisis Spektrum

Analisis spektrum bertujuan untuk memperkirakan kedalaman suatu benda anomali gayaberat di bawah permukaan. Metode analisis spektrum menggunakan Transformasi Fourier yang berguna untuk mengubah suatu fungsi dalam jarak atau waktu menjadi suatu fungsi dalam bilangan gelombang atau frekuensi. Dengan analisis spektrum dapat diketahui kandungan frekuensi dari data, sehingga kedalaman dari anomali gayaberat dapat diestimasi. Frekuensi rendah yang berasosiasi dengan panjang gelombang panjang mengindikasikan daerah regional yang mewakili struktur dalam dan luas. Sedangkan sebaliknya, frekuensi tinggi yang berasosiasi dengan panjang gelombang pendek mengindikasikan daerah residual (lokal) yang mewakili struktur dangkal dan umumnya frekuensi sangat tinggi menunjukkan noise yang diakibatkan kesalahan pengukuran, kesalahan digitasi, dan lain-lain. Dalam penelitian kali ini data yang diambil sebanyak 6 lintasan untuk mewakili daerah yang kita inginkan. Semua data yang didapat dari lintasan tersebut selanjutnya diolah di Microsoft excel untuk mencari nilai $\ln(A)$ dan k yang nantinya digunakan untuk mengetahui estimasi kedalaman yang kita cari. Setelah diinput ke Microsoft excel data yang didapat dicari nilai FFT nya di *software* Matlab.

3. Pemisahan Anomali Regional dan Residual *Moving Average*

Anomali bouguer adalah nilai anomali gayaberat yang dihasilkan dari adanya perbedaan densitas batuan atau hal lain pada daerah dangkal dan dalam di bawah permukaan bumi. Efek yang berasal dari batuan dangkal dari permukaan disebut anomali sisa atau anomali residual sementara anomali dalam disebut anomali regional. Karena hal tersebut maka kita harus melakukan pemisahan supaya objek yang kita cari dapat diidentifikasi lebih baik lagi. Proses pemisahan dilakukan dengan metode *moving average*. Pada proses pemisahan ini kita melakukannya dengan menggunakan lebar jendela sebesar 27x27, lebar jendela tersebut didapat dari proses analisis spektrum yang telah dilakukan sebelumnya.

4. Analisis *Derivative*

Anomali residual dan regional dari *filtering moving average*, maka akan diketahui nilai anomali rendah memperlihatkan adanya batuan dengan kontras rapat massa batuan yang lebih rendah yang kemungkinan sebagai reservoir panas bumi pada daerah penelitian, sedangkan anomali tinggi mencerminkan adanya batuan dengan kontras rapat massa lebih tinggi (*basement high*) hal ini kemungkinan adalah *heat source*, serta kontras anomali tinggi dan rendah yang menandakan adanya kontras litologi maupun sesar, untuk lebih menguatkan hal tersebut penulis melakukan analisis *derivative* untuk sebaran patahan pada daerah penelitian, analisis *derivative* juga dilakukan untuk membantu dalam pembuatan model 2D, analisis *derivative* yang digunakan pada penelitian ini adalah *Horizontal Gradient* dan *Tilt Angle* dari anomali residual.

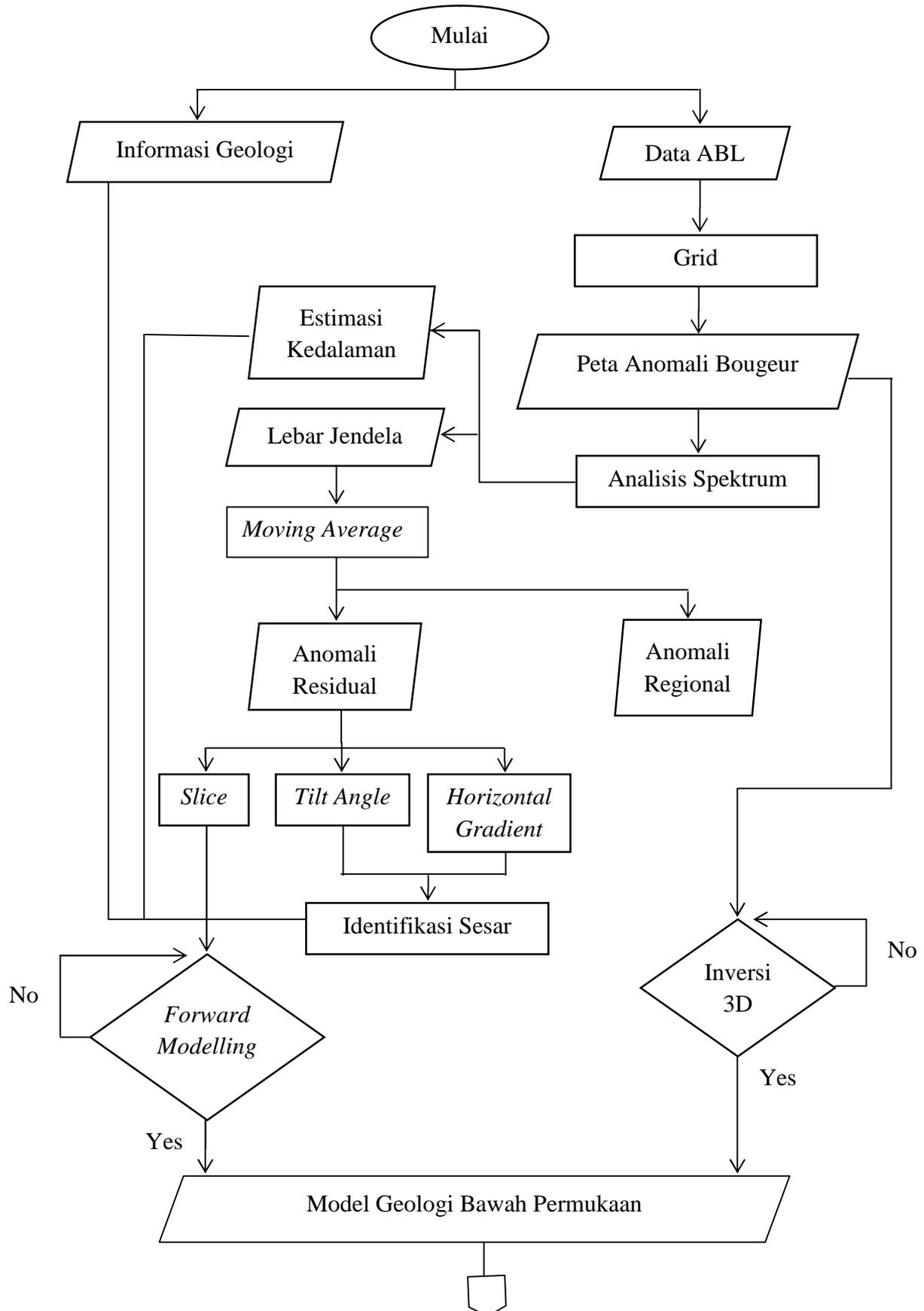
5. Pemodelan Bawah Permukaan

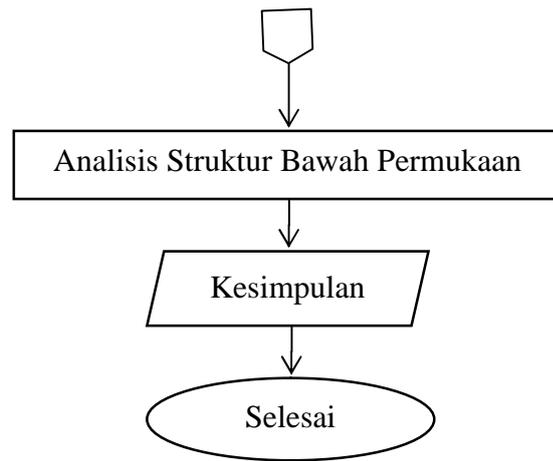
Pemodelan bawah permukaan dalam penelitian ini penulis menggunakan dua metode, yaitu dengan metode *forward modelling* (2D) atau pemodelan ke depan yang dibantu dengan perangkat lunak Geosoft dan *inverse Modelling* (3D) atau pemodelan ke belakang yang dibantu dengan perangkat lunak *Grablox 1.6*.

Forward modelling dilakukan dengan cara menginput data jarak dan data anomali residual berdasarkan lintasan atau slice yang telah ditentukan pada perangkat lunak Geosoft. Penentuan lintasan dalam penelitian ini penulis menarik lintasan dengan melewati anomali tinggi dan anomali rendah yang telah ditentukan pada proses sebelumnya. Dimulai dengan membuat poligon terlebih dahulu kemudian dibandingkan dengan anomali hasil pengukuran, densitas yang sesuai dengan informasi geologi, studi literatur dijadikan input untuk poligon dan rata-rata kedalaman bidang diskontinuitas dangkal (residual) dan dalam (regional) yang telah diperoleh dari proses analisis spektrum digunakan sebagai acuan atau input pada saat menentukan batas batuan dasar pada saat pemodelan, dari hasil pemodelan.

Inverse modelling merupakan pemodelan yang berkebalikan dengan pemodelan ke depan. Pemodelan ini dilakukan dengan menginput data anomali Bouguer lalu dilakukan *inverse* menggunakan *Grablox 1.6*. dengan parameter kedalaman dari analisis spektrum.

D. Diagram Alir





Gambar 10. Diagram alir

VI. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan pengolahan data dan analisis yang telah dilakukan pada daerah penelitian kesimpulan yang dapat diambil adalah :

1. Zona regional pada daerah penelitian memiliki kedalaman 3.5 km dan zona residual memiliki kedalaman 0.6 km.
2. Manifestasi Nglimut, Diwak, Banaran, Gedongsongo, dan Kendalisodo berasosiasi dengan keberadaan sesar.
3. Struktur sesar tersebar di daerah penelitian dengan arah Barat Laut-Tenggara dan Utara-Selatan.
4. Terdapat 5 jenis litologi batuan yaitu Formasi Gajahmungkur (2.39 gr/cc), Formasi Kaligesik (2.64 gr/cc), Formasi Jongkong (2.51 gr/cc), Formasi Penyatan (2.4 gr/cc), dan *Basement* (3.1 gr/cc), *Basement* pada model hasil penelitian diperkirakan berada pada Formasi Kaligetis.
5. Reservoar panas bumi Gunung Ungaran berada di Gedongsongo dengan kedalaman mencapai 2700 m di bawah permukaan laut.

B. Saran

Berdasarkan pembahasan dan kesimpulan dari penelitian ini maka disarankan melakukan analisis derivatif yang lain pada data gayabarat ini agar diketahui jenis setiap sesar serta kemiringan dari sesar tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

- Alam, S., dan Saputra, Z. 2017. Gravity Model and Fractal Dimension of Ungaran Geothermal Area. *Proceedings, 6th ITB International Geothermal Workshop*.
- Andalucia, S. 2017. Keseimbangan Massa Pada Sistem Panasbumi Berdasarkan Data Hidrogeologi Daerah Prospek Gedongsongo Kompleks Gunungapi Ungaran Kabupaten Semarang Provinsi Jawa Tengah. *Jurnal Teknik Patra Akademika Vol 8. No. 1*.
- Askari, A. 2014. Edge detection of gravity anomaly sources via the tilt angle, total horizontal derivative, total horizontal derivative of the tilt angle and new normalized total horizontal derivative. *Scholars Journal of Engineering and Technology (SJET)*; 2(6B):842-846.
- Blakely, R. J. 1996. *Potensial Theory in Gravity and Magnetic Applications*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Constable, S. C., Parker, R. L., dan Constable, C. G. 1987. Occam's Inversion: A Practical Algorithm for Generating Smooth Models from Electromagnetic Sounding Data. *Geophysics*. Vol. 52 (3). Hal: 289-300.
- Diyanti. 2014. Interpretasi Struktur Geologi Bawah Permukaan Daerah Leuwidamar Berdasarkan Analisis Spektral Data Gaya Berat. Skripsi. Prodi Fisika FPMIPA Universitas Pendidikan Indonesia, Bandung
- Fujimitsu, Y., Setyawan, A., Fukuoka, K., Nishijima, J., Ehara, S., dan Saibi, H. 2007. Geophysical Investigations of Ungaran Volcano, Central Java, Indonesia. *Proceedings 29th NZ Geothermal Workshop*.
- Geosoft. 2014. *Getting Started with Oasis montaj*. Geosoft Inc.
- Grandis, H. 2009. *Pengantar Pemodelan Inversi Geofisika*. Himpunan Ahli Geofisika Indonesia: Jakarta.
- Hadisantono, R.D., dan Sumpena, A.D., 1993. *Laporan Pemetaan Daerah Bahaya G. Ungaran dan Sekitarnya, Jawa Tengah*. Proyek Pengamatan/Pengawasan dan Pemetaan Gunungapi. Dept. Pertambangan dan Energi, Dir. Jend. Geol, Sumberdaya Min., Dit. Vulkanologi. Bandung. 26 hal.

- Haerudin, N., dan Alimuddin. 2001. *Data Anomali Bouguer Lengkap Gunung Ungaran*. Universitas Lampung.
- Haerudin, N. 2002. Interpretasi Anomali Lokal Data Gravitasi Gunung Ungaran Jawa Tengah untuk Memprediksi Sumber Geothermal. *Tesis*. Universitas Gadjah Mada.
- Haerudin, N. 2002. Pemodelan 3D Prisma Segi Empat Tegak Data Gravitasi untuk Menentukan Volume Sumber Geothermal Gunung Ungaran. *Jurnal Pendidikan MIPA Universitas Lampung Vol. 2 No. 1*.
- Henderson, R.G. 1960. A Comprehensive System of Automatic Computation in Magnetic and Gravity Interpretation. *Geophysic Vol. XXV No. 3*.
- Hjelt, S. E. 1992. *Pragmatic Inversion of Geophysical Data*. Jerman: Springer Verlag.
- Hosseini, S.A.A., Ardejani, F.D., Tabatabaie, S.H., dan Hezarkhani, A. 2013. Edge Detection in Gravity Field of the Gheshm Sedimentary Basin. *Int J Min & Geo-Eng (IJMGE), Vol. 47, No. 1, Jun. 2013, pp. 41-50*.
- Islamiyah, R. 2015. Analisis Data Anomali Gravitasi untuk Memodelkan Struktur Geologi Bawah Permukaan Ranu Segaran. Skripsi. Jurusan Fisika Fakultas Sains dan Teknologi UIN Maulana Malik Ibrahim, Malang.
- Ismail, N., Rizal, S., dan Nanda, M. 2017. *Kajian Ekstensi Zona Patahan Great Sumatra Fault (GSF) Segmen Seulimeun pada Wilayah Perairan Utara Aceh*. Aceh: Universitas Syiah Kuala.
- Kadir, W.G.A. 2000. *Eksplorasi Gayaberat dan Magnetik*. Jurusan Teknik Geofisika Fakultas Ilmu Kebumihan dan Teknologi Mineral, ITB.
- Kearey, P., Brooks, M., dan Hill, I. 2002. *An Introduction to Geophysical Exploration*. London: Blackwell Science Ltd.
- Kirbani, S.B. 2001. *Teori dan Aplikasi Metode Gravitasi*. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.
- Meilisa, dan Sarkowi, M. 2013. Analisis Data Gravity untuk Menentukan Struktur Bawah Permukaan Daerah Manifestasi Panasbumi di Lereng Selatan Gunung Ungaran. *Seminar Nasional Sains & Teknologi V Lembaga Penelitian Universitas Lampung*.
- Octonovriya, L. 2009. Analisa Perbandingan Anomaly Gravitasi dengan persebaran intrusi air asin (Studi kasus Jakarta 2006-2007). *Jurnal Meteorologi dan Geofisika Vol.10 No.1 : AMG*.

- Parapat, J., Hilyah, A., Utama, W., dan Rahadinata, T. 2017. Pemodelan 3D Data Gayaberat untuk Mengidentifikasi Sumber Panas Daerah Panasbumi Sipoholon, Sumatera Utara. *Jurnal Geosaintek*. 03 / 03.
- Parttijavri, M. 2004. GRABLOX: Gravity Interpretation and Modelling Software Based on 3D Block Model. User's Guide. *Archieve Report*, Q16.2/2004/2. Hal. 39. Geological Survey of Finland.
- Rahma, M. dan Wahyudi. 2014. Pembentukan Karakter Melalui Aplikasi Sains (Pemodelan 3D Anomali Gravitasi Magma Gunungapi Merapi dengan *Software Grablox, Bloxer dan Rockwork*. *Prosiding Seminar Nasional Pendidikan Karakter*. Vol. 1 No. 1.
- Reynolds, J.M. 1998. *An Introduction to Applied and Environmental Geophysics*. Chicester: John Wiley and Sons.
- Rezky, Y., Zarkasyi, A., dan Risdianto, D. 2012. Sistem Panas Bumi dan Model Konseptual Daerah Panas Bumi Gunung Ungaran, Jawa Tengah. *Buletin sumber Daya Geologi Volume 7 Nomor 3*.
- Saibi, H., Aboud, E., Setyawan, A., Ehara, S., dan Nishijima, J. 2012. Gravity data analysis of Ungaran Volcano, Indonesia. *Arab J Geosci* 5: 1047-1054.
- Serway, R.A., dan Jhon W.J. 2009. *Fisika untuk Sains dan Teknik*. Jakarta: Salemba Teknika.
- Setyawan, A., Ehara, S., Fujimitsu, Y., dan Nishijima, J. 2010. An Estimate of the Resources Potential of Ungaran Geothermal Prospect for Indonesia Power Generation. *Proceedings World Geothermal Congress*.
- Setyawan, A., Ehara, S., Fujimitsu, Y., dan Saibi, H. 2009. Assessment of Geothermal Potential at Ungaran Volcano, Indonesia Deduced from Numerical Analysis. *Proceedings, Thirty-Fourth Workshop on Geothermal Reservoir Engineering*.
- Sugianto, A., dan Rahadinata, T. 2015. Pemodelan Gaya Berat 3D Daerah Panas Bumi Dolok Morawa, Kabupaten Simalungun, Sumatera Utara. *Buletin Sumber Daya Geologi*. Vol. 10 (2). Hal: 26-39.
- Talwani, M., J.L., Worzel, dan Landisman, M. 1969. Rapid Gravity Computations for Two-Dimensional Bodies with Application to the Mendocino Submaarine Fracture Zone. *Journal of Geophysical Reasearch: Vol.64 No.1*.
- Telford, W.M., Geldart, L.P. dan Sherrif, R.E. 1990. *Applied Geophysics*. USA : Cambridge University.

- Thaden, R.E., Sumadirdja, H., dan Richards, P.W. 1975. *Peta Geologi Lembar Magelang dan Semarang, Jawa*. Direktorat Geologi, Departemen Pertambangan Republik Indonesia.
- Utami, R.R., Setyawan, A., dan Gernowo, R. 2016. Interpretasi Struktur Bawah Permukaan Data Gayabarat Menggunakan Algoritma Jaringan Saraf Tiruan Studi Kasus Daerah Panasbumi Ungaran, Jawa Tengah. *Youngster Physics Journal Vol. 5, No. 4, Hal. 373-380*.
- Van Bemmelen, R.W. 1949. *The Geology of Indonesia*. vol. I-A General Geology, Government Print. Office, The Hague Netherland.
- Zaenudin, A., Sarkowi, M., dan Suharno. 2013. Pemodelan Sintetik Gradien Gayabarat untuk Identifikasi Sesar. *Seminar Nasional Sains & Teknologi V Lembaga Penelitian Universitas Lampung*.
- Zarkasyi, A., Rezky, Y., dan Nurhadi, M. 2011. Keprospekan Panas Bumi Gunung Ungaran Berdasarkan Analisis Geosain Terpadu. *Buletin Sumber Daya Geologi Volume 6 Nomor 3*.