

**IDENTIFIKASI STRUKTUR BAWAH PERMUKAAN
DENGAN METODE GAYABERAT BERDASARKAN
ANALISIS *DERIVATIVE*, MODEL 2D DAN 3D PADA DAERAH
PANAS BUMI GUNUNG UNGARAN, JAWA TENGAH**

(Skripsi)

Oleh

**Faradico Syukron Akbar
1855051009**



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2022**

**IDENTIFIKASI STRUKTUR BAWAH PERMUKAAN
DENGAN METODE GAYABERAT BERDASARKAN
ANALISIS *DERIVATIVE*, MODEL 2D DAN 3D PADA DAERAH
PANAS BUMI GUNUNG UNGARAN, JAWA TENGAH**

Oleh

FARADICO SYUKRON AKBAR

Skripsi

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

Pada

Jurusan Teknik Geofisika

Fakultas Teknik Universitas Lampung



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2022**

ABSTRAK

IDENTIFIKASI STRUKTUR BAWAH PERMUKAAN DENGAN METODE GAYABERAT BERDASARKAN ANALISIS *DERIVATIVE*, MODEL 2D DAN 3D PADA DAERAH PANAS BUMI GUNUNG UNGERAN, JAWA TENGAH

Oleh

Faradico Syukron Akbar

Gunung Ungaran termasuk dalam Kabupaten Semarang, Provinsi Jawa Tengah. Gunung Ungaran merupakan gunung yang mempunyai sebuah potensi panas bumi karena ditemukan sumber mata air panas, tanah panas, fumarol, batuan teralterasi dan endapan travertin. Terdapat banyak metode geofisika yang dapat digunakan dalam tahapan identifikasi struktur, salah satunya adalah metode gayaberat. Dalam penelitian ini, metode gayaberat digunakan untuk mengidentifikasi zona patahan di kawasan panas bumi Gunung Ungaran sebagai pengontrol sistem panas bumi. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menentukan zona kedalaman anomali regional dan anomali residual menggunakan analisis spektrum, melakukan analisis struktur patahan berdasarkan pola anomali residual, analisis *First Horizontal Derivative* (FHD) dan *Second Vertical Derivative* (SVD), kemudian menginterpretasikan struktur bawah permukaan berdasarkan model 2D dan model 3D anomali gayaberat. Didapatkan kedalaman zona anomali regional 3.6 km dan kedalaman zona anomali residual 0.6 km. Beberapa daerah munculnya manifestasi ditemukan karena adanya struktur patahan yang ditemukan di daerah penelitian. Terdapat anomali rendah di puncak Gunung Ungaran yang diperkirakan merupakan zona lemah akibat keruntuhan dan diidentifikasi sebagai zona dimana terdapat reservoir di Gunung Ungaran.

Kata kunci: *First Horizontal Derivative*, Metode Gayaberat, Reservoir Panasbumi, *Second Vertical Derivative*, Struktur Patahan

ABSTRACT

IDENTIFICATION OF SUBSURFACE STRUCTURES USING THE GRAVITY METHOD BASED ON DERIVATIVE ANALYSIS, 2D AND 3D MODELS IN THE UNGARAN MOUNTAIN GEOTHERMAL AREA, CENTRAL JAVA

By

Faradico Syukron Akbar

Mount Ungaran is included in Semarang Regency, Central Java Province. Mount Ungaran is a mountain that has a geothermal potential because hot springs, hot soil, fumaroles, altered rocks and travertine deposits are found. There are many geophysical methods that can be used in the structural identification stage, one of which is the gravity method. In this study, the gravity method was used to identify fault zones in the geothermal area of Mount Ungaran as a geothermal system controller. The purpose of this study is to determine the depth zone of regional anomalies and residual anomalies using spectrum analysis, perform fault structure analysis based on residual anomaly patterns, analyze First Horizontal Derivative (FHD) and Second Vertical Derivative (SVD), then interpret the subsurface structure. based on 2D model and 3D model of gravity anomaly. It is found in the regional anomaly zone of 3.6 km and the depth of the residual anomaly zone of 0.6 km. Several areas of manifestation were found due to the fault structure found in the study area. There is a low anomaly at the top of Mount Ungaran which is estimated to be a weak zone due to the collapse and is identified as a zone where there is a reservoir on Mount Ungaran.

Keywords: Fault Structure, First Horizontal Derivative, Geothermal Reservoir, Gravity Method, Second Vertical Derivative

Judul Skripsi : **IDENTIFIKASI STRUKTUR BAWAH
PERMUKAAN DENGAN METODE
GAYABERAT BERDASARKAN ANALISIS
DERIVATIVE, MODEL 2D DAN 3D PADA
DAERAH PANAS BUMI GUNUNG
UNGERAN, JAWA TENGAH**

Nama Mahasiswa : **Faradico Syukron Akbar**

Nomor Pokok Mahasiswa : 1855051009

Program Studi : Teknik Geofisika

Fakultas : Teknik


MENYETUJUI,

1. Komisi Pembimbing

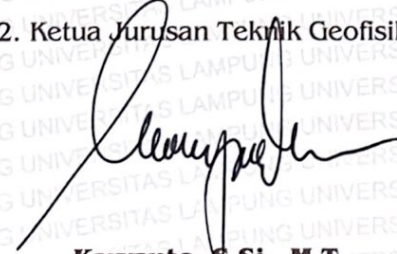
Pembimbing 1

Pembimbing 2


Dr. Alimuddin Muchtar, S.Si., M.Si.
NIP. 19720626 200012 1001


I Gede Boy Darmawan, S.Si., M.Eng.
NIP. 19880505 201903 1019

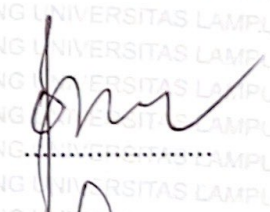
2. Ketua Jurusan Teknik Geofisika


Karyanto, S.Si., M.T.
NIP. 19691230 199802 1001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

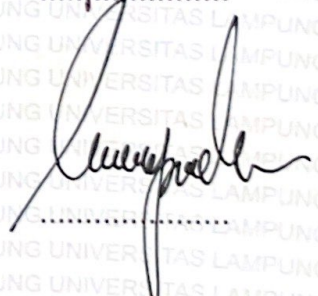
Ketua : Dr. Alimuddin Muchtar, S.Si., M.Si.



Sekretaris : I Gede Boy Darmawan, S.Si., M.Eng.



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



2. Dekan Fakultas Teknik



Dr. Eng. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc.
NIP. 19750928 200112 1002

Tanggal Ujian Skripsi : 12 Juli 2022

PERNYATAAN

Saya menyatakan bahwa skripsi yang saya tulis ini bukan merupakan karya dari orang lain melainkan berdasarkan pemikiran saya sendiri, sebagai syarat memperoleh gelar sarjana. Adapun kutipan tertentu dalam penulisan skripsi ini terdapat karya atau pendapat orang lain yang ditulis menurut sumbernya sebagaimana disebutkan dalam daftar pustaka secara jelas sesuai dengan norma, kaidah, dan etika penulisan.

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

Bandar Lampung, 5 Agustus 2022



Faradico Syukron Akbar
NPM. 1855051009

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Palembang pada tanggal 29 Juli 2000. Anak pertama dari tiga bersaudara pasangan dari Bapak Syahrial dan Ibu Nora Yulianti. Penulis menyelesaikan Pendidikan Sekolah Dasar di SD Muhammadiyah 2 Palembang pada tahun 2012. Lalu menyelesaikan pendidikan Sekolah Menengah Pertama di SMP Negeri 2 Palembang pada tahun 2015. Selanjutnya menyelesaikan pendidikan Sekolah Menengah Atas di SMA Islam Az-Zahrah Palembang pada tahun 2018.

Pada tahun 2018 penulis melanjutkan pendidikan di perguruan tinggi negeri, tepatnya di Universitas Lampung Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Geofisika. Pada tahun 2020 penulis melaksanakan Kerja Praktik (KP) di jurusan Teknik Geofisika Unila dengan judul **“IDENTIFIKASI SUB SUB-CEKUNGAN DENGAN METODE GAYABERAT PADA BLOK WKP RANAU PROVINSI LAMPUNG”**. Penulis terdaftar sebagai Anggota Bidang Multimedia & Informasi Hima TG Bhuwana Universitas Lampung pada tahun 2019, Himpunan Mahasiswa Geofisika Indonesia Wilayah 1 (HMGI Wilayah 1) sebagai ketua Divisi Media & Informasi pada tahun 2021, *Society of Exploration Geophysicist SC* Universitas Lampung (SEG SC Unila) sebagai ketua Divisi *Publication Documentation* pada tahun 2021, Seksi Mahasiswa Ikatan Ahli Geologi Indonesia Universitas Lampung (SM IAGI Unila) sebagai anggota Divisi Hubungan Masyarakat pada tahun 2021.

Pada akhir masa studi penulis melakukan penelitian untuk memperoleh gelar sarjana teknik dengan judul **“IDENTIFIKASI STRUKTUR BAWAH PERMUKAAN DENGAN METODE GAYABERAT BERDASARKAN ANALISIS DERIVATIVE, MODEL 2D DAN 3D PADA DAERAH PANAS BUMI GUNUNG UNGARAN, JAWA TENGAH”**.

PERSEMBAHAN

Puji syukur saya panjatkan pada Allah SWT atas terselesaikannya skripsi ini dengan baik dan lancar. Skripsi ini saya persembahkan untuk:

ALLAH SWT

Ibu dan Ayah serta keluarga besarku

Teknik Geofisika Universitas Lampung 2018

Keluarga Besar Teknik Geofisika Universitas Lampung

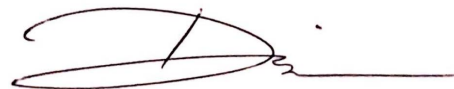
Semua yang terlibat dalam proses pembuatan skripsi ini, saya ucapkan terima kasih.

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan atas kehadiran Allah SWT, karena berkat rahmat dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan Skripsi yang berjudul **“IDENTIFIKASI STRUKTUR BAWAH PERMUKAAN DENGAN METODE GAYABERAT BERDASARKAN ANALISIS DERIVATIVE, MODEL 2D DAN 3D PADA DAERAH PANAS BUMI GUNUNG UNGARAN, JAWA TENGAH”**. Adapun maksud dan tujuan dari penulisan Skripsi ini adalah untuk memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar sarjana teknik pada Jurusan Teknik Geofisika, Fakultas Teknik Universitas Lampung. Selama penulisan Skripsi ini banyak sekali terdapat hambatan yang dialami. Namun berkat adanya bantuan, serta bimbingan dari berbagai pihak, hingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik. Penulis menyadari bahwa tidak tertutup kemungkinan didalam Skripsi ini terdapat kekurangan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun demi kesempurnaan Skripsi ini. Semoga Skripsi ini dapat berguna dan bermanfaat bagi penulis khususnya dan bagi para pembaca pada umumnya, serta bagi perkembangan ilmu pengetahuan.

Bandar Lampung, 5 Agustus 2022

Penulis,



Faradico Syukron Akbar

NPM. 1855051009

SANWACANA

Puji dan syukur penulis panjatkan atas rahmat dan karunia Allah SWT, Tuhan Yang Maha Pengasih dan Maha Penyayang, yang telah melimpahkan nikmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Skripsi ini dengan baik. Shalawat serta salam semoga selalu tercurah kepada suri tauladan Rasulullah Muhammad SAW beserta para sahabatnya dan kita selaku umatnya akhir zaman.

Skripsi ini berjudul **“IDENTIFIKASI STRUKTUR BAWAH PERMUKAAN DENGAN METODE GAYABERAT BERDASARKAN ANALISIS DERIVATIVE, MODEL 2D DAN 3D PADA DAERAH PANAS BUMI GUNUNG UNGARAN, JAWA TENGAH”** merupakan skripsi dari penelitian yang dilakukan penulis untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik.

Adapun dalam penyelesaian Skripsi ini, terdapat banyak pihak yang terlibat, yang mana pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan rasa terima kasih kepada:

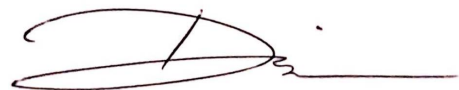
1. Kedua orang tua tercinta yang selalu memberi dukungan, motivasi, kekuatan dan senantiasa selalu mendoakan yaitu Ayah Syahrial dan Ibu Nora Yulianti yang selalu menyemangati dan menyanyangi dengan sepenuh hati.
2. Kedua adik saya yaitu Aditya Romadhon dan Adjie Nugraha yang menjadi teman dalam suka dan duka, selalu memberi semangat serta senantiasa mendoakan.
3. Bapak Karyanto, S.Si., M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Geofisika Universitas Lampung dan sebagai penguji yang telah memberikan masukan dan saran selama proses pengerjaan skripsi.
4. Bapak Dr. Alimuddin Muchtar, S.Si., M.Si. selaku dosen pembimbing pertama yang telah memberikan pengarahan dengan penuh kesabaran,

kebaikan hati dan kesedian bapak dalam membimbing dan memberikan kritik, masukan serta motivasi dalam pengerjaan skripsi ini.

5. Bapak I Gede Boy Darmawan, S.Si., M.Eng. selaku dosen pembimbing kedua yang telah memberikan pengarahan dengan penuh kesabaran, kebaikan hati dan kesedian bapak dalam membimbing dan memberikan kritik, masukan serta motivasi dalam pengerjaan skripsi ini.
6. Dosen-dosen Jurusan Teknik Geofisika Universitas Lampung yang telah mengajarkan banyak ilmu dan wawasan.
7. Sahabat dan teman-teman terdekat yaitu Suwandi, Ari dan Rafika yang tiada hentinya memberikan masukan, saran, dukungan, semangat dalam penyelesaian Skripsi ini.
8. Teman seperjuangan selama melaksanakan skripsi Nurul, Sabyan, Arnas, Joy Tectona yang telah banyak membantu dalam penyelesaian skripsi, serta memberikan dukungan dan motivasi satu sama lain.
9. Keluarga besar Teknik Geofisika 2018 (TGasak) yang telah banyak memberikan semangat, yang menjadi tempat keluh kesah, berbagi beban bersama, menjalani dunia perkuliahan bersama dan telah memberikan dukungan selama ini. Terimakasih atas kenangan yang selama ini kita buat bersama. Kalian tidak akan terlupakan. Semoga kita semua sukses selalu.
10. Serta semua pihak yang terlibat, penulis mengucapkan terima kasih banyak.

Bandar Lampung, 5 Agustus 2022

Penulis,



Faradico Syukron Akbar

NPM. 1855051009

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	iv
PERSETUJUAN	v
PENGESAHAN	vi
PERNYATAAN	vii
RIWAYAT HIDUP	viii
PERSEMBAHAN	ix
KATA PENGANTAR	x
SANWACANA	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR TABEL	xvi
DAFTAR GAMBAR	xvii
I. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Tujuan Penelitian	2
1.3. Batasan Masalah	3
1.4. Manfaat Penelitian	3
II. TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1. Lokasi Daerah Penelitian	4
2.2. Geologi Regional	5
2.3. Stratigrafi	6
2.4. Fisiografi	8
2.5. Penelitian Sebelumnya	8

III. TEORI DASAR.....	14
3.1. Metode Gayabarat.....	14
3.2. Konsep Dasar Gayabarat.....	14
3.2.1. Hukum Newton I.....	15
3.2.2. Percepatan Gravitasi	15
3.2.3. Potensial Gravitasi	16
3.2.4. Rapat Massa Batuan (Densitas)	16
3.3. Koreksi – Koreksi dalam Metode Gayabarat.....	19
3.3.1. Koreksi Pasang Surut (<i>Tidal Correction</i>)	19
3.3.2. Koreksi Apungan (<i>Drift Correction</i>)	19
3.3.3. Koreksi Lintang (<i>Latitude Correction</i>).....	20
3.3.4. Koreksi Udara Bebas (<i>Free Air Correction</i>)	20
3.3.5. Koreksi Bougeur	21
3.3.6. Koreksi Medan (<i>Terrain Correction</i>)	22
3.4. Anomali Bougeur.....	23
3.5. Analisis Spektrum.....	23
3.6. <i>Filter Moving Average</i>	26
3.7. Metode <i>First Horizontal Derivative</i>	27
3.8. Metode <i>Second Vertical Derivative</i>	28
3.9. <i>Forward Modelling</i> dan <i>Inverse Modelling</i>	29
IV. METODE PENELITIAN.....	31
4.1. Tempat dan Waktu Penelitian.....	31
4.2. Alat dan Bahan.....	31
4.3. Prosedur Penelitian	32
4.3.1. Anomali Bougeur Lengkap.....	32
4.3.2. Analisis Spektrum.....	32
4.3.3. Pemisahan Anomali Regional dan Residual	33
4.3.4. Analisis <i>Derivative</i>	33
4.3.5. Pemodelan Bawah Permukaan.....	34
4.4. Diagram Alir	36
V. HASIL DAN PEMBAHASAN	38
5.1. Anomali Bougeur.....	38

5.2. Penentuan Zona Kedalaman Anomali Regional dan Anomali Residual	39
5.2.1. Analisis Spektrum	40
5.2.2. Grafik Lintasan Analisis Spektrum	42
5.3. Pemisahan Anomali Regional dan Anomali Residual	46
5.4. Identifikasi Struktur Patahan	51
5.4.1. <i>First Horizontal Derivative</i> (FHD)	51
5.4.2. <i>Second Vertical Derivative</i> (SVD)	52
5.5. Analisa <i>Derivative</i>	54
5.6. Pemodelan Bawah Permukaan	61
5.6.1. <i>Forward Modelling</i>	61
5.6.2. <i>Inverse Modelling</i>	67
VI. KESIMPULAN DAN SARAN	77
6.1. Kesimpulan	77
6.2. Saran	78
DAFTAR PUSTAKA	79

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Penelitian Sebelumnya.....	12
2. Nilai densitas batuan (Telford dkk, 1990)	18
3. Koefisien <i>filter</i> SVD (Sarkowi, 2010)	29
4. Jadwal pelaksanaan kegiatan penelitian.....	35
5. Kedalaman Anomali Regional dan Anomali Residual	46
6. Bilangan Gelombang dan Lebar Jendela	46

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Peta lokasi daerah penelitian.....	4
2. Peta geologi regional daerah penelitian	5
3. Stratigrafi Gunung Ungaran dan sekitarnya (Thanden dkk, 1996).....	7
4. Fisiografi pulau Jawa Tengah (Van Bemmelen, 1970).....	8
5. Gaya tarik menarik antara dua buah benda (Grandis, 2009).....	15
6. Kurva $\ln A$ terhadap K (Blakely, 1996).....	26
7. Diagram alir	37
8. Peta anomali <i>bouguer</i> lengkap daerah penelitian	39
9. Lintasan pada peta Anomali Bougeur Lengkap.....	41
10. Grafik $\ln A$ vs K (Lintasan 1).....	43
11. Grafik $\ln A$ vs K (Lintasan 2).....	43
12. Grafik $\ln A$ vs K (Lintasan 3).....	44
13. Grafik $\ln A$ vs K (Lintasan 4).....	44
14. Grafik $\ln A$ vs K (Lintasan 5).....	45
15. Grafik $\ln A$ vs K (Lintasan 6).....	45
16. Peta anomali regional daerah penelitian	48
17. Peta anomali residual daerah penelitian.....	50
18. Peta FHD anomali residual daerah penelitian.....	52

19. Peta SVD anomali residual daerah penelitian.....	53
20. Kurva lintasan 1	55
21. Kurva lintasan 2	56
22. Kurva lintasan 3	58
23. Kurva lintasan 4	59
24. Kurva lintasan 5	60
25. <i>Forward Modelling</i> lintasan 1	63
26. <i>Forward Modelling</i> lintasan 2	64
27. <i>Forward Modelling</i> lintasan 3	65
28. <i>Forward Modelling</i> lintasan 4	66
29. <i>Forward Modelling</i> lintasan 5	67
30. (a) Model 3D pada arah Barat Daya; (b) Model 3D pada arah Timur Laut ..	68
31. (a) profil anomali residual pada lintasan 1; (b) Model bawah permukaan pada lintasan 1 hasil <i>forward modelling</i> ; (c) Model bawah permukaan pada lintasan 1 hasil <i>inverse modelling</i>	69
32. (a) profil anomali residual pada lintasan 2; (b) Model bawah permukaan pada lintasan 2 hasil <i>forward modelling</i> ; (c) Model bawah permukaan pada lintasan 2 hasil <i>inverse modelling</i>	71
33. (a) profil anomali residual pada lintasan 3; (b) Model bawah permukaan pada lintasan 3 hasil <i>forward modelling</i> ; (c) Model bawah permukaan pada lintasan 3 hasil <i>inverse modelling</i>	72
34. (a) profil anomali residual pada lintasan 4; (b) Model bawah permukaan pada lintasan 4 hasil <i>forward modelling</i> ; (c) Model bawah permukaan pada lintasan 4 hasil <i>inverse modelling</i>	73

35. (a) profil anomali residual pada lintasan 5; (b) Model bawah permukaan pada lintasan 5 hasil <i>forward modelling</i> ; (c) Model bawah permukaan pada lintasan 5 hasil <i>inverse modelling</i>	74
36. (a) Penampang model <i>slice</i> 3D pada arah Barat Daya; (b) Penampang model <i>slice</i> 3D pada arah timur laut	75
37. (a) Penampang model <i>slice</i> 3D pada arah Barat; (b) Penampang model <i>slice</i> 3D pada arah timur.....	76

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Gunung Ungaran secara administratif termasuk dalam Kabupaten Semarang, Provinsi Jawa Tengah. Gunung Ungaran termasuk sebagai gunung yang mempunyai sebuah potensi panas bumi karena adanya sumber mata air panas, tanah panas, fumarol, batuan teralterasi dan endapan travertin. Keberadaan daerah manifestasi panas bumi terletak pada bagian lereng barat laut, barat daya dan tenggara pada Gunung Ungaran. Potensi yang dimiliki Gunung Ungaran perlu dimanfaatkan, sehingga perlu dilakukan suatu proses penelitian yang bertujuan dalam tahapan identifikasi sistem panas buminya. Karakteristik yang terdapat di dalam sistem panas bumi meliputi lapisan reservoir, lapisan penudung (*clay cap*), fluida panas dan sumber panas (Zarkasyi dkk., 2011). Selain karakteristik yang dimiliki pada sistem panas bumi diperlukan juga untuk memahami sistem pengontrol panas bumi yaitu struktur patahan.

Patahan ataupun sesar merupakan kondisi terjadinya pergerakan ataupun pergeseran sebuah formasi batuan yang terjadi karena adanya gaya geologi yang muncul dari dalam bumi. Keberadaan suatu struktur patahan disisi lain dapat memiliki nilai ekonomi karena dapat berhubungan terhadap perangkap hidrokarbon ataupun menjadi alur keluarnya fluida menuju permukaan yang dapat membawa mineral-mineral yang memiliki nilai ekonomis. Pada sistem panas bumi struktur patahan merupakan celah kosong yang dapat berguna bagi fluida hidrotermal untuk bergerak naik menuju permukaan yang menyebabkan munculnya manifestasi di permukaan dan dapat menjadi daerah yang membuat air meteorik masuk ke dalam bumi. Sehingga penelitian terhadap struktur patahan perlu dilakukan untuk

melakukan identifikasi terhadap struktur patahan pada daerah panas bumi. Metode gayaberat merupakan salah satu metode geofisika yang sering digunakan dalam tahapan identifikasi lapisan bawah permukaan salah satunya yaitu identifikasi terhadap struktur yang terdapat pada daerah bawah permukaan bumi.

Metode gayaberat adalah salah satu metode geofisika yang berguna untuk proses kegiatan eksplorasi terhadap identifikasi struktur geologi pada bawah permukaan melalui perbedaan medan gravitasi yang terjadi karena adanya perbedaan rapat massa (densitas) batuan di bawah permukaan yang ada pada daerah satu dan lainnya. Perbedaan nilai rapat massa akan memperlihatkan anomali berupa struktur seperti patahan atau sesar. Struktur bawah permukaan ini dilihat berdasarkan persebaran nilai densitas yang dapat dilihat dari nilai anomali *bouguer* yang terlihat di permukaan. Metode gayaberat dapat dimanfaatkan untuk mengetahui persebaran nilai massa suatu daerah dengan menggolongkan nilai massa berdasarkan daerah yang memiliki densitas tinggi maupun rendah yang terdapat di suatu formasi tersebut, sehingga berdasarkan perbedaan massa permukaan tersebut dapat dilakukan tahapan identifikasi struktur bawah permukaan pada suatu daerah atau wilayah (Telford dkk., 1990). Pada penelitian ini metode gayaberat digunakan untuk mengidentifikasi zona patahan pada daerah panas bumi Gunung Ungaran sebagai sistem pengontrol panas bumi.

1.2. Tujuan Penelitian

Tujuan dalam pelaksanaan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menentukan zona kedalaman anomali regional dan zona kedalaman anomali residual dengan menggunakan analisis spektrum.
2. Mengidentifikasi struktur patahan daerah penelitian berdasarkan pola anomali residual dan analisa *First Horizontal Derivative* (FHD) dan *Second Vertical Derivative* (SVD).
3. Menginterpretasi struktur bawah permukaan berdasarkan model 2D dan model 3D anomali gayaberat.

1.3. Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Data yang digunakan merupakan data sekunder dari pengukuran yang berisi nama stasiun, UTM X, UTM Y, *elevasi* dan *gobs*.
2. Pemisahan anomali regional dan residual menggunakan *filter moving average*.
3. Pemodelan yang dilakukan menggunakan *forward modelling* (2D) dan *inverse modelling* (3D).

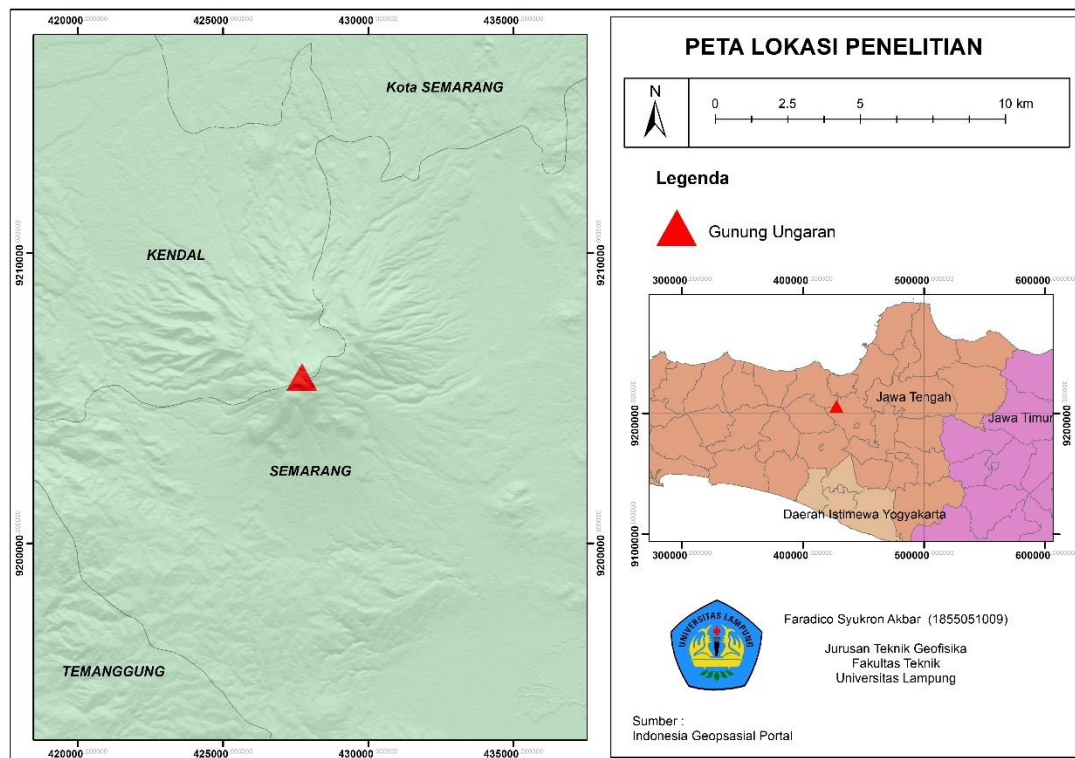
1.4. Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat menambah wawasan serta pengetahuan mengenai pengolahan data gayaberat untuk tahapan identifikasi struktur bawah permukaan pada daerah penelitian yang nantinya dapat dijadikan suatu referensi ataupun acuan pada penelitian selanjutnya.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Lokasi Daerah Penelitian

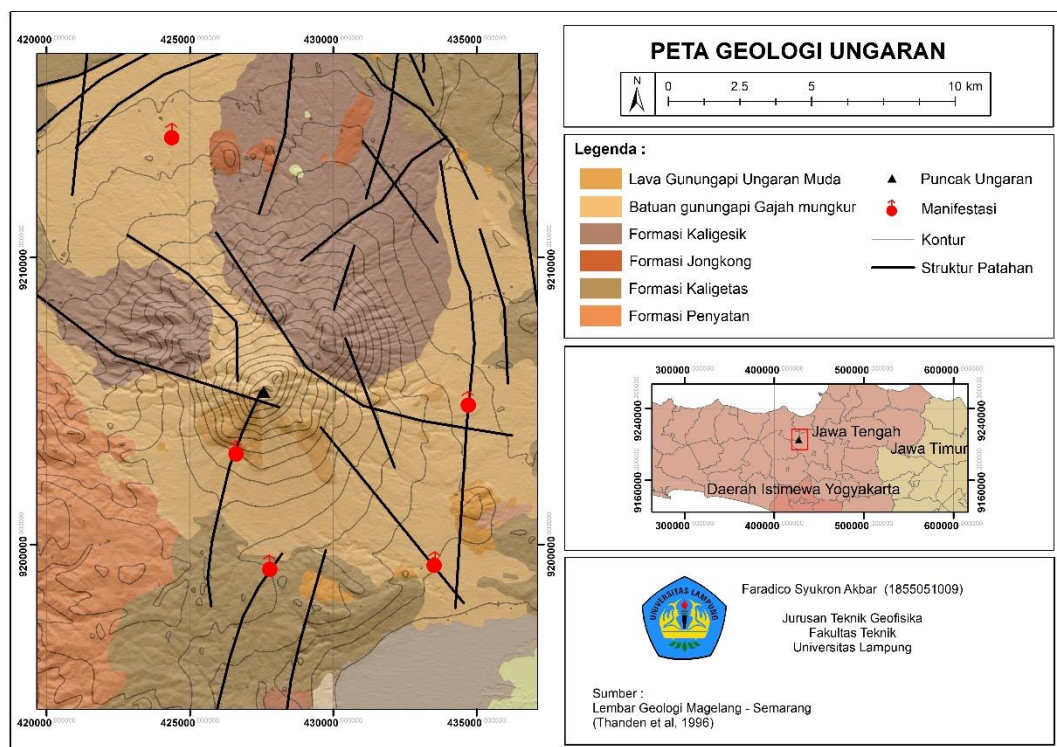
Lokasi daerah penelitian berada pada daerah Jawa Tengah yang melebar dari kota Semarang, Kendal sampai Temanggung . Lokasi ini berada pada koordinat $110^{\circ}20'$ BT dan $7^{\circ}10'$ LS dengan ketinggian sekitar 1900 m di atas permukaan laut. Kabupaten Semarang mempunyai kondisi alam yang tersusun atas daerah perbukitan, dataran rendah dan pantai seperti yang dapat dilihat pada **Gambar 1** dibawah ini.



Gambar 1. Peta lokasi daerah penelitian

2.2. Geologi Regional

Secara umum Gunung Ungaran, Kota Semarang Provinsi Jawa Tengah berada pada lembar geologi Magelang-Semarang. Peta Geologi Regional pada daerah penelitian dilihat pada **Gambar 2**. Menurut Van Bemmelen (1949), perkembangan struktur geologi Jawa Tengah berada pada periode tektonik Miosen Bawah sampai Pliosen Atas. Pada kala Miosen akhir hingga pleistosen cekungan Jawa Tengah Utara merupakan cekungan belakang busur. Gunung Ungaran terbentuk melalui dua proses runtuhan. Ungaran pertama memiliki batuan penyusun berupa batuan andesit di kala Pliosen Bawah, kemudian di Pliosen Tengah bersifat andesit dan berakhir dengan robohan. Ungaran kedua dimulai pada Pliosen Atas dan Holosen.



Gambar 2. Peta geologi regional daerah penelitian (Modifikasi dari Thanden dkk., 1996)

Gunung Ungaran merupakan gunung yang mempunyai bentuk stratovulkan yang mengalami suatu evolusi perubahan bentuk sejak Plio-Pleistosen sampai Holosen. Menurut Van Bemmelen (1970) menggolongkan ke dalam sebuah depresi volkano-

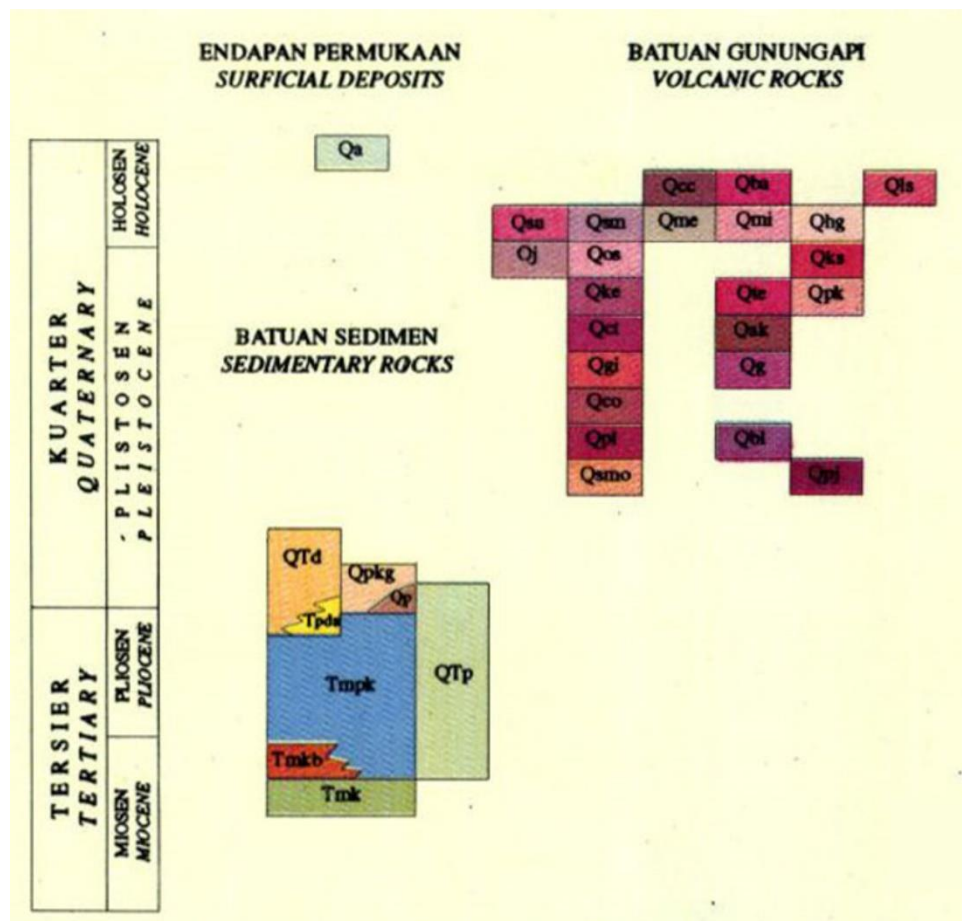
tektonik. Bentuk dan perkembangan pada Gunung Ungaran sangat dipengaruhi karena adanya curah hujan dan tingkat erosi yang tergolong tinggi. *Slope* ataupun kelerengan yang terjadi dapat mengalami perubahan yang terjadi karena adanya aliran lava. Aliran lava yang ada dapat membentuk lereng menjadi curam atau lebih landai dibandingkan kondisi yang ada sebelumnya (Verstappen, 2000).

2.3. Stratigrafi

Tatanan stratigrafi regional daerah penelitian pada daerah Gunung Ungaran Jawa Tengah dan sekitarnya. Terdapat beberapa struktur formasi yang umumnya berupa kelompok batuan sedimen dan batuan vulkanik seperti yang diperlihatkan pada **Gambar 3**. Menurut Thanden dkk (1996) formasi batuan penyusun daerah penelitian dan sekitarnya apabila diurutkan berdasarkan umur yang relatif muda hingga tua sebagai berikut:

1. Lava Gunungapi Ungaran Muda (Qls) merupakan sebuah aliran lava dan sebuah kubah yang tersusun atas hornblend augit yang ditemukan pada Gunung Sumbing. Aliran lahar yang dimiliki Gunung Ungaran tersusun atas lahar andesit dan aliran gunungapi muda.
2. Batuan Gunung api Gajah Mungkur (Qhg) batuan ini berwarna muda hingga tua, di Kemalon menunjukkan porfir plagioklas sampai kristalin halus. Sedangkan di daerah Sengku berupa lava berongga, kemudian memiliki butir halus dengan hornblende feokrist.
3. Batuan Gunungapi Kaligesik (Qpk) batuan ini tercipta karena hasil aktivitas Gunungapi yang terdiri atas aliran basal olivine augit, tersingkap pada lereng utara pada daerah Gunung Ungaran dan yang tersusun atas breksi andesit hornblend augit.
4. Formasi Jongkong (Qpj) merupakan formasi yang terdiri atas andesit hornblend augit yang sebagian berongga. Sering juga disebut sebagai batuan yang terbentuk dari Gunung api Ungaran lama, yang dijumpai di sekitaran Gunung Jadi.

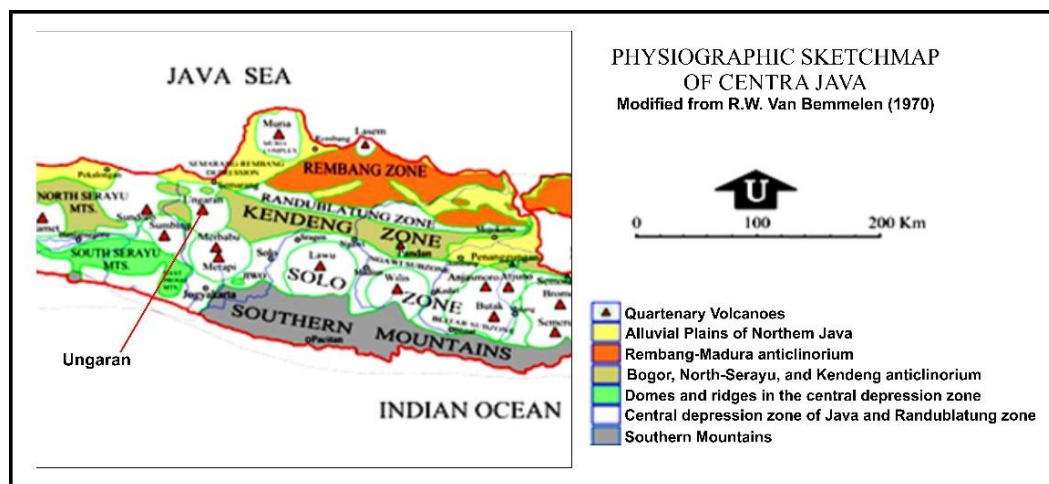
5. Formasi Kaligetas (Qpkg) merupakan formasi yang terdiri atas breksi vulkanik antara lain yaitu lava, tufan dan batu lempung. Pada umumnya mengalami pelapukan yang tergolong cukup intensif dan menghasilkan material berupa tanah yang memiliki warna coklat kemerahan.
6. Formasi Penyatan (Qtp)
Formasi ini berada tidak selaras di atas formasi Kerek dengan litologi tersusun dari batu pasir, breksi, tuf, batu lempung, dan aliran-aliran lava. Batu pasir tufan dan sebuah breksi vulkanik yang terdiri dari aliran dan lahar yang nampak dominan.



Gambar 3. Stratigrafi Gunung Ungaran dan sekitarnya (Thanden dkk, 1996)

2.4. Fisiografi

Van Bemmelen (1970) menyatakan bahwa daerah Jawa Tengah tercipta dari dua pegunungan yaitu pegunungan Serayu Utara yang secara langsung berbatasan terhadap jalur pegunungan Bogor yang berada di samping barat dan pegunungan Kendeng yang berada di timur. Gunung Ungaran merupakan sebuah gunung api kuarter yang terletak di daerah bagian paling timur dari pegunungan Serayu Utara. Daerah Gunung Ungaran berada pada sebelah utara yang berbatasan terhadap dataran Aluvial Jawa bagian utara, kemudian pada daerah selatan merupakan jalur Gunung api Kuarter yang terdiri dari Sindoro, Sumbing, Telomoyo dan Merbabu. Pada bagian timur berbatasan langsung terhadap pegunungan Kendeng yang dapat dilihat pada **Gambar 4**. Pada bagian utara Pulau Jawa ini terdapat sebuah geosinklin yang terletak memanjang pada barat hingga ke arah timur.



Gambar 4. Fisiografi pulau Jawa Tengah (Van Bemmelen, 1970)

2.5. Penelitian Sebelumnya

Berdasarkan analisa struktur yang terlihat pada peta *tilt derivative* magnetik diindikasikan bahwasanya daerah Gunung Ungaran bahwa struktur yang berkembang merupakan pengontrol sistem panas bumi tersebut struktur tersebut menjadi sebuah jalur yang menjadi tempat keluarnya fluida hidrotermal menuju

permukaan yang menandakan bahwa daerah tersebut berada pada daerah reservoir panas bumi daerah penelitian sehingga terlihat kenampakan manifestasi berupa fumarol maupun *hotspring*. Selain itu struktur tersebut juga membentuk alterasi. Aktivitas fumarol yang terjadi pada daerah Gedongsongo memiliki temperatur sekitar 70 – 90 °C dan pH 3,5 (asam). Kemudian mineral ubahan hidrotermal memiliki mineral jenis kaolinit, yang memperlihatkan sebuah ciri dari mineral asam yang tercipta pada zona argilik. Respon anomali gravitasi pada daerah bagian utara yang tersusun oleh lava Ungaran memiliki nilai gravitasi yang rendah, kemungkinan bahwa daerah ini telah terdeformasi kuat sehingga densitasnya berubah menjadi lebih kecil yang diakibatkan oleh sesar geser dengan arah utara selatan yang ternyata juga melewati titik munculnya mata air panas pada daerah Kali Item Gedongsongo (Setiaji dkk., 2020).

Pembuatan model numerik gunung berapi Ungaran berdasarkan pengamatan geofisika dan simulasi numerik. Pola aliran air meteorik menunjukkan aliran ke bawah yang dominan, dengan massa nilai fluks 10^{-8} g/cm² detik hingga 10^{-7} g/cm² detik. Termal evolusi dihitung hingga 300.000 tahun. *Up flow* air panas terjadi di bawah area dinding yang runtuh, setelah itu fluida panas bumi bergerak secara lateral dan kemudian sebagian dari fluida panas bumi keluar ke permukaan di daerah fumarolik Gedongsongo. Berdasarkan model simulasi numerik, potensi panas bumi Ungaran gunung berapi diperkirakan sebesar 2,3 MW hingga 40,4 MW tergantung pada asumsi ketebalan reservoir (Setyawan dkk., 2010).

Penelitian terhadap jaringan syaraf tiruan dengan metode *Multilayer Perceptron Neural Network* untuk menghasilkan sebuah nilai dari parameter geofisika pada metode gayaberat. Nilai yang dihasilkan jaringan syaraf tiruan menggunakan algoritma tidak seperti pada pengolahan data pada umumnya. Nilai yang didapatkan merupakan hasil pembelajaran terhadap pola-pola yang telah diajarkan pada jaringan syaraf tiruan mampu untuk menghasilkan nilai keluaran sendiri hasil dari pengenalan pola. Hasil penelitian jaringan syaraf tiruan dengan penelitian di lapangan menghasilkan kedalaman yang sama dengan densitas permukaan yang sama 2,67 gr/cc, sedangkan nilai densitas tinggi yang dihasilkan diperoleh

basement 2.75 gr/cc kepadatan seperti batu *basalt* dimana pada batuan *basalt* adalah produk dari Gunung Ungaran Tua hasil dari Formasi Kaligesik dan nilai densitas rendah yang mayoritas penyusunnya adalah batuan endapan andesit piroklastik adalah produk dari Gunung Ungaran Muda dari formasi Vulkanik Gajahmungkur (Utami dkk., 2016).

Diperkirakan manifestasi panas bumi mata air panas Kendalisodo disebabkan adanya intrusi batuan beku dimana batuan tersebut menerobos batuan yang ada disekitarnya yang usianya relatif lebih tua dari usia intrusi batuan yang menerobosnya. Batuan tersebut dapat menerobos karena magma yang naik mengalami pembekuan yang sangat lambat dan magma tersebut bersifat volatil yang menyebabkannya terdorong ke atas sehingga menerobos batuan sekitarnya karena menemukan adanya rekahan atau bidang lemah pada batuan. Intrusi batuan beku juga menyebabkan timbulnya patahan/sesar berjenis sesar naik. Bila mengacu pada informasi geologi daerah penelitian sesar tersebut memanjang dari barat laut-Tenggara. Sesar tersebut yang menjadi jalur mengalirnya fluida panas bumi menuju sumber mata air panas. Adanya gaya apung termal menyebabkan fluida panas bumi naik ke permukaan dan menyebabkan terjadinya manifestasi panas bumi yang berupa kemunculan mata air panas di daerah penelitian (Susilo dkk., 2016).

Penelitian di daerah panas bumi Gunung Ungaran dengan menggunakan metode *horizontal gradient* dan *tilt angle* untuk mengetahui daerah sesar beserta daerah geologi penyusun bawah permukaan Gunung Ungaran. Manifestasi Nglimut, Diwak, Banaran, Gedongsongo dan Kendalisodo berada tepat atau berasosiasi terhadap keberadaan sesar. Kemudian didapatkan 5 jenis litologi 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). Keberadaan *basement* diperkirakan berada pada Formasi Kaligetis (Sanjaya, 2019).

Berdasarkan hasil pengolahan data gravitasi hingga pemodelan dapat diperoleh kesimpulan: Struktur geologi bawah permukaan daerah penelitian tersusun oleh 2 formasi batuan yaitu formasi batuan Gajahmungkur dan formasi batuan Kaligetis.

Adanya bidang sesar yaitu sesar turun berada di sebelah utara yang merupakan di wilayah Diwak-Derekan yang berarah baratdaya-timurlaut. Struktur bawah permukaan di wilayah Diwak-Derekan berada pada zona sesar, yang merupakan media jalan keluar fluida ke permukaan pada sistem panas bumi daerah tersebut dan letak *heat source* diinterpretasikan di bagian selatan daerah penelitian (Ilmi dkk., 2014).

Berdasarkan penelitian yang dilakukan dengan metode Magnetik di daerah manifestasi air panas Nglimut dan Medini terdapat terlihat nilai anomali di daerah survei merupakan memiliki struktur geologi berupa sesar dan batas batuan bisa diketahui berdasarkan peta kontur anomali medan magnetik total, dengan ditunjukkan adanya pasangan klosur positif dan negatif. Dari peta kontur yang dilihat pada pseudogravitasi dan reduksi ke kutub terlihat posisi horisontal anomali yaitu di daerah manifestasi airpanas Nglimut sedangkan dari peta kontur gradien horizontal dan vertikal medan magnetik total diketahui pola kelurusan anomali memanjang dengan arah baratlaut-tenggara. Struktur geologi bawah permukaan di daerah penelitian merupakan sesar turun pada endapan piroklastik dan batas batuan yang tersesarkan pada endapan piroklastik bersama nilai suseptibilitas 0,0269 emu dan basalt dengan nilai suseptibilitas 0,0014 emu. Sumber air panas yang terdapat di daerah Nglimut dan Medini berasal dari reservoir gunungapi Ungaran yang menerobos melalui zona lemah yaitu sesar turun pada endapan piroklastik dan sesar turun pada batas antara endapan piroklastik dan basal. Penerobosan air panas ini bisa menurunkan nilai suseptibilitas endapan piroklastik menjadi 0,0020 emu (Nurdiyanto dkk., 2004).

Pada **Tabel 1** menunjukkan kesimpulan penelitian yang dilakukan pada daerah panas bumi Gunung Ungaran

Tabel 1. Penelitian sebelumnya

No	Penulis	Metode	Hasil
1	Setiaji, T.W., Khumayroh, R., dan Muhammad, A	<i>Filter Tilt Derivative</i> Gravitasi dan Geomagnetik	Zona lemah yang ditunjukkan berdasarkan respon anomali gravitasi diakibatkan karena adanya sesar geser dengan arah utara selatan yang melewati titik kemunculan mata air panas di Kali Item Gedongsongo.
2	Setyawan, A., Ehara, S., Fujimitsu, Y., dan Nishijima, J.	Metode Gravitasi, <i>Spontaneous Potential</i> (SP) dan Mikroseismik	Respon anomali gravitasi formasi Gajahmungkur (2,39 gr/cc) dan formasi Kaligesik (2,64 gr/cc) .
3	Utami, R., Setyawan, A., dan Gernowo, R.	Metode Gayaberat, Jaringan Syaraf Tiruan <i>Backpropagation</i>	Ditemukan struktur geologi bawah permukaan Gunung Ungaran terdiri dari dua kontras batuan yaitu densitas tertinggi 2,80 – 3,0 gr/cc yang merupakan batuan basalt sebagai merupakan produk Gunung Ungaran Tua, densitas terendah 2,40-2,80 gr/cc yang merupakan endapan andesit piroklastik hasil produk Gunung Ungaran Muda.
4	Susilo, N. D., Nurwidiyanto, M. I., dan Harmoko, U.	Metode Magnetik	Ditemukan sesar/patahan berjenis patahan naik pada daerah sekitar manifestasi Kendalisodo.

No	Penulis	Metode	Hasil
5	Sanjaya, D	<i>Horizontal Gradient dan Tilt Angle</i>	litologi penyusun gunung Ungaran 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 <i>Basement</i> (3.1 gr/cc). Keberadaan <i>basement</i> diperkirakan berada pada Formasi Kaligetas.
6	Ilmi, S., Harmoko, U., dan Widada, S.	Metode Gravitasi	Daerah gunung Ungaran terdiri dari 2 formasi yaitu gajahmungkur dan kaligetas. Adanya sesar turun pada daerah manifestasi Diwak.
7	Nurdiyanto, B., Wahyudi dan Suyanto, I.	Metode Magnetik	Terdapat sesar turun pada manifestasi Nglimut yang menjadi alur keluarnya fluida yang berasal dari daerah reservoir.

III. TEORI DASAR

3.1. Metode Gayaberat

Metode gayaberat adalah metode geofisika yang memperhitungkan variasi medan gayaberat yang terdapat pada bumi. Perbedaan nilai gravitasi yang ada pada permukaan bumi tersebut muncul karena terdapat persebaran nilai rapat massa atau densitas batuan yang terdapat pada daerah bawah permukaan bumi, keberagaman jenis batuan yang ada di bawah bumi, terdapat perbedaan jarak dari permukaan bumi menuju pusat bumi dan terdapat keberagaman topografi yang membuat perbedaan nilai gravitasi pada bumi (Sarkowi, 2014).

3.2. Konsep Dasar Gayaberat

Dalam metode gayaberat, pengukuran dilakukan pada nilai terhadap komponen vertikal berdasarkan percepatan gravitasi pada suatu tempat dan tempat lainnya. Namun bentuk bumi tidak memiliki bentuk yang sepenuhnya bulat yang mengakibatkan jarak dari masing-masing kedalaman menuju pusat bumi berbeda. Salah satu yang dapat membuat nilai percepatan gravitasi bumi berbeda adalah adanya beda derajat garis lintang, ketinggian (topografi), keberadaan lokasi bumi dalam tata surya, variasi rapat massa atau densitas batuan di bawah permukaan bumi dan lainnya yang dapat mempengaruhi percepatan gravitasi bumi (Untung, 2001).

3.2.1 Hukum Newton I

Prinsip dasar teori gravitasi didasari dengan Hukum Newton yang menjelaskan tentang adanya gaya tarik menarik dari dua massa m_1 dan m_2 yang terpisah sejauh r , dapat dirumuskan sebagai berikut (Serway dkk., 2009):

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

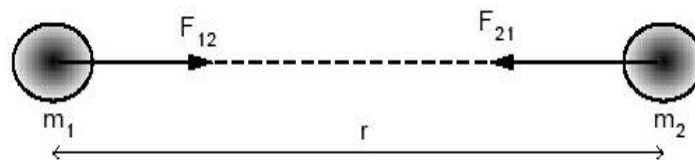
Dimana:

F : Gaya tarik menarik (N)

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

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 sebuah dua buah benda (Grandis, 2009)

3.2.2. Percepatan Gravitasi

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

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

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

$$\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m} = G \frac{M}{R} \quad (3)$$

Bila ditetapkan pada percepatan gaya tarik bumi persamaan di atas menjadi :

$$\vec{g} = \frac{\vec{F}}{m} = G \frac{M}{R^2} \quad (4)$$

Dimana :

\vec{g} : Percepatan gaya tarik bumi (m/s^2)

M : Massa bumi (kg)

M : Massa benda (kg)

\vec{F} : Gayaberat (N)

R : Jari-Jari bumi (km)

Pengukuran terhadap nilai percepatan gravitasi pada bumi pertama kali dilakukan oleh Galileo, kemudian didefinisikan :

$$1 \text{ Gall} = 1 \text{ cm/s}^2 = 10^{-2} \text{ m/s}^2 \text{ (dalam c.g.s)} \quad (5)$$

$$1 \text{ mGall} = 10^{-3} \text{ Gall} \quad (6)$$

$$1 \text{ } \mu\text{Gall} = 10^{-3} \text{ mGall} = 10^{-6} \text{ Gall} = 10^{-8} \text{ m/s}^2 \quad (7)$$

$$1 \text{ mGall} = 10 \text{ g.u.} = 10^{-5} \text{ m/s}^2 \quad (8)$$

Dalam satuan m.k.s, gravitasi dihitung berdasarkan dalam *gravity unit* atau $\mu\text{m/s}^2$ (Octonovrilna dkk., 2009).

3.2.3. Potensial Gravitasi

Potensial Gravitasi merupakan energi yang diperlukan untuk dapat memindahkan suatu massa dari suatu daerah tertentu ke daerah tertentu lainnya. Suatu benda yang memiliki massa tertentu pada sebuah sistem ruang yang dapat membuat medan potensial di sekitarnya. Usaha yang didapatkan pada medan gravitasi yang tidak

bergantung pada lintasan yang dilewatinya, namun bergantung terhadap posisi awal dan akhir (Rosid, 2005). Potensial pada suatu titik yang terdapat pada medan gravitasi dinyatakan sebagai usaha yang dibutuhkan untuk dapat memindahkan satu massa (m) dari jarak tak berhingga ke suatu titik tertentu dalam medan gravitasi bumi yang bermassa m adalah (Blakely, 1996):

$$V = Gmb \int_0^r \frac{dr}{r^2} \quad (9)$$

$$V = G \frac{m}{r^2} r \quad (10)$$

$$V = G \frac{mb}{r} \quad (11)$$

Dengan keterangan :

V = Potensial gravitasi

r = jarak (m)

m = Massa Benda (kg)

G = Konstanta gravitasi ($6.67 \times 10^{-11} \text{ m}^3\text{kg}^{-1}\text{dt}^{-2}$)

3.2.4. Rapat Massa Batuan (Densitas)

Rapat massa batuan (densitas) adalah besaran utama yang diperlukan terhadap penentuan nilai dari suatu percepatan gravitasi. Densitas batuan yang ada pada permukaan dari bumi dipengaruhi karena adanya faktor seperti porositas, kandungan fluida pengisi ruang pori batuan, rapat massa butir pembentuk, adanya pemadatan yang terjadi karena tekanan dan pelapukan pada batuan tersebut. Nilai densitas setiap batuan memiliki variasi nilai yang berbeda seperti yang ditunjukkan pada **Tabel 2**. Variasi rapat massa yang ada di batuan sedimen terjadi karena adanya gaya tektonik (Kirbani, 2001).

Tabel 2. Nilai densitas batuan (Telford dkk., 1990)

<i>Rock Type</i>	<i>Range (gr/cc)</i>	<i>Average (gr/cc)</i>
<i>Sediment (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	2.4
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>Morphic 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
Serpentinite	2.40-3.10	2.78
Slate	2.70-2.90	2.79
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

3.3. Koreksi – Koreksi dalam Metode Gayaberat

Dalam memproses data metode gayaberat, terdapat beberapa koreksi-koreksi yang harus dilakukan untuk mereduksi *noise-noise* yang ditimbulkan. Adapun koreksi data gayaberat meliputi beberapa koreksi diantaranya:

3.3.1. Koreksi Pasang Surut (*Tidal Correction*)

Koreksi Pasang Surut (*Tidal*) adalah koreksi yang dilakukan karena adanya tarikan massa yang muncul karena adanya benda-benda dari langit, terutama bulan dan juga matahari. Nilai dari koreksi pasang surut berubah setiap waktu karena kedudukan benda-benda langit tersebut. Koreksi ini terjadi karena adanya gaya tarik bulan terhadap matahari pada permukaan bumi yang membuat nilai tersebut ditambahkan pada harga baca dan juga pengamatan, jika koreksi tersebut lawan dari sebuah gaya tarik maka perlu dilakukan pengurangan. Koreksi tersebut dihitung berdasarkan perumusan yang dibuat oleh Longman (1959) yang dibuat pada sebuah paket program komputer. Dapat dilihat pada grafik pasang surut yang memiliki nilai positif dan nilai negatif karena positif maka bumi mengalami tarikan terhadap posisi normalnya dan negatif maka bumi terjadi perubahan dari posisi awalnya.

3.3.2. Koreksi Apungan (*Drift Correction*)

Gravimeter memiliki sistem keseimbangan pegas dan terdapat sebuah massa yang terletak pada ujung gravimeter. Pegas yang terdapat pada alat ini tidak kembali ke posisi awal karena pegas memiliki karakteristik yang tidak elastis seutuhnya. Pada saat pengukuran sering terjadi goyangan atau goncangan (transportasi), yang membuat pergeseran pada bacaan titik nol. Kejadian ini dinamakan *drift* (apungan) yang memiliki besaran dengan fungsi waktu. Koreksi ini dilakukan guna mengoreksi kesalahan pembacaan gravimeter pada saat melakukan pengukuran nilai gayaberat di suatu tempat. Koreksi *drift* dilakukan dengan sistem lintasan yang

menutup (*loop* tertutup), caranya dengan melakukan pengukuran kembali pada tempat stasiun awal (titik ikat pada tiap loop) (Telford dkk., 1990).

3.3.3. Koreksi Lintang (*Latitude Correction*)

Koreksi lintang merupakan koreksi gayaberat yang berguna untuk melakukan koreksi nilai gayaberat pada lintang geografis yang muncul akibat terdapatnya gaya sentrifugal dan bentuk *ellipsoid* yang muncul akibat bentukan bumi yang tidak bulat seutuhnya, terdapat perbedaan antara jari-jari bumi yang berada di kutub dan di khatulistiwa (Telford dkk, 1990). Nilai gayaberat yang berada di kutub akan lebih tinggi dibandingkan nilai gayaberat yang berada di khatulistiwa. Koreksi lintang dapat ditentukan dengan 2 cara yaitu dengan menggunakan georeferensi IGRF 67 (untuk derajat lintang/latitude) atau IGRF 84 (untuk radian) :

Rumus IGRF 67:

$$g_{\theta} = 978031.8 (1 + 0.00539224 \sin^2 \theta - 0.0000059 \sin^2 2\theta) \quad (12)$$

Rumus IGRF 84:

$$g_{\theta} = 978032.7 (1 + 0.00539224 \sin^2 \theta - 0.0000059 \sin^2 2\theta) \quad (13)$$

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

Koreksi ini dilakukan karena ketinggian h dari *mean sea level* akan membuat nilai dari g yang semakin kecil, sehingga perlu dilakukan koreksi pada pembacaan alat. Koreksi ini dilakukan agar mendapatkan nilai dari bacaan gravitasi absolut pada titik observasi (Lowrie, 2007). Menurut Kirbani (2001) persamaan yang digunakan untuk koreksi udara bebas adalah:

$$FAC = 0,3086 \times h \quad (14)$$

Keterangan :

FAC : *Free Air Correction*

h : Ketinggian (m)

Sedangkan anomali udara bebasnya atau *Free Air Anomaly* (FAA), dapat dituliskan sebagai berikut:

$$FAA = g_{obs} - g_{\phi} + 0.3086 h \quad (15)$$

Keterangan :

FAA : *Free Air Anomaly*

g_{obs} : Gravitasi Observasi

3.3.5. Koreksi *Bouguer*

Koreksi *Bouguer* merupakan koreksi untuk menghilangkan efek dari sebuah massa batuan yang mengisi ruangan antara titik pengukuran dan suatu bidang acuan. Besar koreksi ini dapat dihitung berdasarkan persamaan (Blakely, 1996):

$$BC = 2\pi G \rho h \quad (16)$$

Karena , $2\pi G = 0,04191$ maka,

$$BC = 0.04191\rho h \quad (17)$$

dimana,

BC : *Bouguer Correction* (mGal/m)

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

ρ : Rapat massa batuan rata-rata (2,67 gr/cc)

h : Ketinggian (m)

3.3.6. Koreksi Medan (*Terrain Correction*)

Koreksi topografi atau koreksi medan dilakukan untuk mengoreksi penyebaran massa yang tidak teratur di sekitar titik pengukuran. Kondisi topografi di sekitar titik pengamatan terkadang tidak beraturan seperti adanya lembah atau bukit yang juga mempengaruhi nilai Gravitasi di titik pengamatan. Bukit mempunyai efek yaitu memperkecil percepatan Gravitasi. Karena itu koreksi medan untuk bukit ini harus ditambahkan yang berarti bahwa lembah disekitar titik pengamatan dianggap mempunyai massa batuan. Pengaruh material di sekitar baik material yang ada berada diatas maupun dibawah titik pengukuran turut memberi tambahan terhadap hasil pengukuran di titik pengukuran tersebut sehingga perlu untuk melakukan koreksi topografi dan jika pada medan pengukuran mempunyai topografi yang tidak beraturan atau memiliki bentuk elevasi yang tidak sama seperti rangkaian pegunungan maupun bukit (Susilawati, 2005). Jika pada medan pengukuran memiliki bentuk relatif datar maka perlu untuk koreksi medan dapat diabaikan. Berikut penurunan koreksi medan adalah:

$$g = \frac{0.04193}{n} \rho \left\{ (r_2 - r_1) + \sqrt{r_2^2 + L^2} - \sqrt{r_1^2 + L^2} \right\} \quad (18)$$

Dimana :

g : Respon gayaberat (mGal)

n : Jumlah kompartemen tiap zona

ρ : Densitas (gr/cc)

r_1 : jari-jari radius dalam (m)

r_2 : jari-jari radius luar (m)

L : Selisih ketinggian dari titik pengukuran (m)

Untuk menghitung pengaruh medan digunakan template transparan, yang disebut *Hammer Chart*, yang ditempatkan di atas peta topografi. *Hammer chart* akan membagi daerah sekitar titik amat dengan beberapa zona dan sektor yang merupakan bagian dari silinder konsentris.

3.4. Anomali *Bouguer*

Anomali *Bouguer* merupakan perbedaan antara nilai gayaberat observasi (g_{obs}) dengan jumlah secara aljabar dari koreksi (koreksi *drift*, koreksi pasang surut, koreksi lintang, koreksi udara bebas, koreksi *bouguer*, koreksi *Terrain*). Variasi dari anomali *bouguer* merefleksikan variasi dari nilai densitas secara lateral misalnya benda dengan densitas yang tinggi berada di dalam medium yang memiliki nilai densitas rendah akan menghasilkan nilai *bouguer* anomali positif. Sebaliknya, benda dengan densitas rendah yang berada pada medium dengan densitas tinggi akan menghasilkan nilai anomali *bouguer* negatif (Reynolds, 1997). Tujuan akhir penerapan metoda gayaberat pada eksplorasi sumber daya alam maupun studi keilmuan adalah mendapatkan gambaran bawah permukaan berdasarkan variasi persebaran densitas. Anomali *Bouguer* menggambarkan persebaran dari gravitasi untuk memperkirakan gambaran kondisi pada bawah permukaan berdasarkan nilai kontras rapat massa batuan. Dengan demikian nilai anomali *bouguer* dapat dirumuskan sebagai berikut (Sarkowi, 2014):

$$BA = g_{obs} - g_{\phi} + FAC + BC + TC \quad (19)$$

dimana,

g_{obs} : Harga gaya gravitasi pengukuran di titik tersebut

FAC : *Free Air Correction*/ koreksi udara bebas

BC : *Bouguer Correction*/ koreksi *Bouguer*

TC : *Terrain Correction*/ koreksi medan

Nilai anomali yang diperoleh adalah nilai anomali pada ketinggian titik amat.

3.5. Analisis Spektrum

Analisis spektrum dilakukan untuk memperkirakan kedalaman benda anomali gayaberat yang ada pada bawah permukaan bumi. Metode analisis spektrum menggunakan Transformasi *Fourier* untuk mentransformasi suatu fungsi dalam

jarak atau waktu menjadi suatu fungsi dalam bilangan gelombang atau frekuensi (Blakely, 1996). Metode Analisis spektrum dilakukan agar dapat mengetahui batas anomali regional dan residual daerah penelitian. Hasil dari analisis spektral ini kemudian digunakan untuk mengestimasi nilai lebar jendela atau lebar spektrum untuk *filtering* anomali gayaberat. Pada dasarnya, suatu transformasi fourier merupakan metode menyusun kembali atau mengurai suatu gelombang sembarang ke dalam gelombang sinus dengan frekuensi bervariasi dimana hasil dari penjumlahan gelombang-gelombang sinus tersebut adalah bentuk gelombang sesungguhnya (Kadir, 2000). Spektrum diturunkan berdasarkan potensial yang teramati pada suatu bidang horizontal dimana transformasi fouriernya sebagai berikut (Blakely, 1996) :

$$F(U) = \gamma \mu F\left(\frac{1}{r}\right) \text{ dan } F\left(\frac{1}{R}\right) = 2\pi \frac{e^{|k|(z_0-z_1)}}{|K|} \quad (20)$$

Dimana

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

U = potensial gayaberat

μ = anomali rapat masa

γ = konstanta gayaberat

r = jarak

Gerak vertikal gravitasi yang disebabkan oleh suatu titik massa adalah turunan *derivative* dari potensial gayaberatnya :

$$g_z = Gm \frac{\partial}{\partial z} \frac{1}{r} \quad (21)$$

$$F(g_z) = GmF \frac{\partial}{\partial z} \frac{1}{r} \quad (22)$$

$$F(g_z) = Gm \frac{\partial}{\partial z} F \frac{1}{r} \quad (23)$$

Transformasi Fourier pada lintasan yang diinginkan adalah:

$$F(g_z) = 2\pi Gme^{|k|(z_0-z_1)}, \quad z_1 > z_0 \quad (24)$$

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

$$A = C e^{|k|(z_0 - z_1)} \quad (25)$$

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 *spectral amplitude*.

$$\ln A = \ln 2\pi G m e^{|k|(z_0 - z_1)} \quad (26)$$

$$\ln A = (z_0 - z_1)|k| + \ln C \quad (27)$$

Persamaan di atas dapat dianalogikan dalam persamaan garis lurus:

$$y = mx + c \quad (28)$$

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 dengan bilangan gelombang yang besarnya $\frac{2\pi}{\lambda}$ dan satuannya *cycle/meter*, dengan λ adalah panjang gelombang.

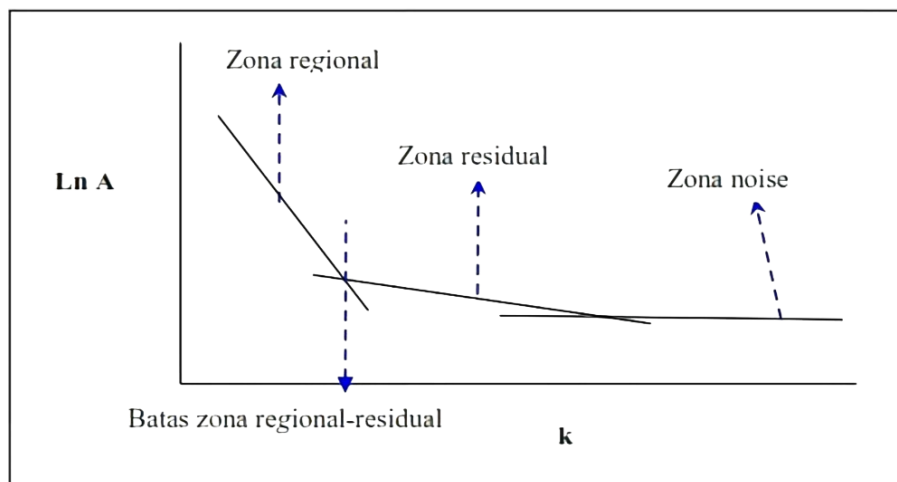
Hubungan λ dengan Δx diperoleh dari persamaan:

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{2\pi}{k_c \Delta x} \quad (29)$$

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:

$$N = \frac{2\pi}{k_c \Delta x} \quad (30)$$

Dimana Δx adalah domain spasi yang akan digunakan dalam *Fast Fourier Transform* (FFT), dan k_c adalah bilangan gelombang *cutoff*. Semakin besar nilai k , maka nilai frekuensi akan tinggi. Hubungan bilangan gelombang k dengan frekuensi f adalah $k = 2\pi f$, frekuensi rendah muncul dari sumber anomali regional dan frekuensi tinggi muncul dari sumber anomali residual.



Gambar 6. Kurva $\ln A$ terhadap K (Blakely, 1996)

3.6. *Filter Moving Average*

Filter Moving Average merupakan salah satu metode penapisan *low pass filter*, dimana metode ini menghilangkan frekuensi tinggi dan meloloskan frekuensi rendah. Data Anomali Bouguer Lengkap ditapis menggunakan metode ini dengan lebar jendela merupakan rata-rata dari setiap lintasan yang telah melalui analisis spektrum. *Output* yg didapatkan disebut dengan anomali regional. Untuk mendapatkan anomali residual dilakukan pengurangan terhadap hasil Anomali Bouguer Lengkap terhadap anomali regional. Semakin besar nilai lebar jendela yang digunakan hasil dari nilai anomali residualnya akan mendekati nilai anomali Bouguer (Diyanti, 2014).

$$\Delta g_{reg}(i) = \frac{\Delta g(i-n) + \dots + \Delta g(i) + \dots + \Delta g(i+n)}{N} \quad (31)$$

Keterangan :

i = nomor stasiun

N = lebar jendela

Δg_{reg} = besarnya anomali regional

$$n = \frac{N-1}{2} \quad (32)$$

3.7. Metode *First Horizontal Derivative*

Pengertian *Horizontal Derivative* yang ada pada anomali gayaberat merupakan sebuah perubahan nilai anomali yang terjadi dari satu titik ke titik lainnya terhadap jarak tertentu. *Horizontal Derivative* dapat muncul karena suatu *body* cenderung untuk menunjukkan terhadap tepian dari *body*-nya tersebut. Jadi metode *Horizontal Derivative* dapat kita digunakan dalam penentuan daerah batas kontak densitas horizontal yang ada berdasarkan data gayaberat (Cordell, 1979).

Metode dapat digunakan dalam hal penentuan struktur bawah permukaan yang tergolong dangkal ataupun dalam. Untuk mendapatkan nilai FHD dapat dilakukan dengan persamaan berikut menurut (Blakely, 1996) :

$$\text{FHD} = \sqrt{\left(\frac{\partial g}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial g}{\partial y}\right)^2} \quad (33)$$

Dengan $\frac{\partial g}{\partial x}$ dan $\frac{\partial g}{\partial y}$ merupakan turunan pertama perubahan nilai gravitasi pada arah x dan y .

3.8. Metode *Second Vertical Derivative*

Second Vertical Derivative (SVD) dapat kita gunakan dalam hal memunculkan efek dangkal dari pengaruh regionalnya sehingga dapat menentukan batas struktur yang berada di daerah penelitian. Metode ini dapat digunakan dalam hal pemisahan anomali residual yang tidak dapat dipisahkan menggunakan metode *Moving Average* (Yulistina, 2017). Pada metode *Second Vertical Derivative* anomali residual ditunjukkan oleh anomali *Second Vertical Derivative* yang menggambarkan bentuk struktur dari anomali yang bersifat dangkal sehingga memperlihatkan hasil yang relative sama dengan anomali residual yang menggunakan metode *moving average*. Secara teoritis, metode ini diturunkan dari persamaan *laplace*:

$$\nabla^2 = 0 \quad (34)$$

Untuk metode gayabarat :

$$\nabla^2 \Delta g = 0 \quad (35)$$

$$\frac{\partial^2 g}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 g}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 g}{\partial z^2} = 0 \quad (36)$$

Untuk SVD, persamaan (36) menjadi :

$$\frac{\partial^2 g}{\partial z^2} = - \left(\frac{\partial^2 g}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 g}{\partial y^2} \right) \quad (37)$$

Dalam grid teratur untuk data anomali gayabarat, anomali *Second Vertical Derivative* dapat diturunkan melalui koefisien *filter*. Adapun operator koefisien *filter* SVD dapat dilihat pada **Tabel 3**.

Tabel 3. Koefisien *filter* SVD (Sarkowi, 2010)

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
SVD Tipe Elkins (1951)				
0,00	-0,0833	0,00	-0,0833	0,00
-0,0833	-0,6667	-0,0334	-0,6667	-0,0833
0,00	-0,0334	-1,0668	-0,0334	0,00
-0,0833	-0,6667	-0,0334	-0,6667	-0,0833
0,00	-0,0833	0,00	-0,0833	0,00
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
0,00	-0,0416	0,00	-0,0416	0,00

3.9. *Forward Modelling* dan *Inverse Modelling*

Forward modelling atau pemodelan ke depan merupakan metode interpretasi yang dapat digunakan untuk memprediksi atau memperkirakan nilai densitas bawah permukaan dengan membuat terlebih dahulu benda geologi yang terdapat di bawah permukaan. Proses yang dilakukan pada *forward modeling* yaitu dengan membuat dan menghitung model awal yang berdasarkan pada perkiraan geologi dan geofisika kemudian membandingkannya dengan anomali dari hasil pengukuran sehingga kedua anomali tersebut berkorelasi (Blakely, 1996).

Inverse modelling atau pemodelan inversi adalah proses mekanisme modifikasi dari model agar mendapatkan kecocokan data perhitungan dan data pengamatan yang lebih baik yang dilakukan secara otomatis. Pemodelan inversi beroperasi dengan menggunakan suatu model yang dihasilkan langsung pada data. Pemodelan inversi

sering disebut data *fitting* atau pencocokan data karena tahapannya melakukan pencarian parameter model yang menghasilkan respon yang cocok dengan data pengamatan. Dari percobaan ini diharapkan mendapatkan respon model dan data pengamatan yang memiliki kesesuaian yang maksimal, dan ini akan menghasilkan model yang optimum. Tujuan dari proses inversi yaitu untuk dapat mengestimasi parameter pada batuan yang tidak diketahui sebelumnya (Rahma dan Wahyudi, 2014).

IV. METODE PENELITIAN

4.1. Tempat dan Waktu Penelitian

Daerah penelitian ini berada pada daerah Gunung Ungaran, Kabupaten Semarang, Jawa Tengah. Pengolahan data pengukuran pada penelitian ini dilakukan pada tempat sebagai berikut:

Tempat : Lab Pengolahan dan Pemodelan Data, Teknik Geofisika Universitas Lampung

Alamat : Jl. Brojonegoro No. 1 Gedong Meneng, Rajabasa, Gedong Meneng, Kec. Rajabasa, Kota Bandar Lampung, Lampung 35141

4.2. Alat dan Bahan

Adapun alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Laptop
2. Data Gayaberat Gunung Ungaran
3. *Softfile* peta geologi
4. *Software ArcGis V 10.3*
5. *Software Surfer 13*
6. *Software Geosoft Oasis Montaj V 8.4*
7. *Software Global Mapper V 18*
8. *Software Microsoft Excel 2019*
9. *Software Numeri*
10. *Software Grablox 1.6*
11. *Software Bloxer 1.6*

4.3. Prosedur Penelitian

Dalam penelitian ini, prosedur untuk melaksanakan penelitian dibagi menjadi 5 bagian yaitu :

4.3.1. Anomali Bouguer Lengkap

Data yang digunakan pada penelitian ini ialah data sekunder yang terlebih dahulu telah dilakukan pengukuran pada daerah Gunung Ungaran, Jawa Tengah. Dalam pengolahan data dilakukan koreksi gayaberat, dan menentukan nilai densitas rata-rata pada titik pengukuran dengan menggunakan metode *parasnis*. Kemudian didapatkan nilai Anomali Bouguer Lengkap (ABL). Selanjutnya data yang didapatkan dilakukan proses *gridding* menggunakan *software Geosoft Oasis Montaj* untuk menampilkan peta anomali bouguer pada daerah penelitian.

4.3.2. Analisis Spektrum

Dalam tahap analisis dilakukan analisis Transformasi *Fourier* menggunakan data Anomali Bouguer Lengkap untuk merubah domain data dari spasial jarak ke spasial frekuensi. *Software* yang digunakan adalah *software* Numeri. Hasil dari proses FFT merupakan nilai real dan imajiner dari lintasan yang selanjutnya akan dilakukan tahapan yang menggunakan perangkat lunak *Ms.Excel* untuk mendapatkan nilai amplitudo (A), $\ln A$, frekuensi dan nilai bilangan gelombang k . Nilai amplitudo (A) dihasilkan dengan Teknik menghitung akar kuadrat dari nilai real dan imajiner. Nilai $\ln A$ didapatkan dengan melogaritmakan nilai amplitudo (A). Perhitungan nilai frekuensi bergantung pada domain spasial yang telah ditentukan sebelumnya. Dimana dengan mengetahui besarnya nilai k . Setelah nilai terhitung maka dilakukan *plotting* pada nilai k dan nilai $\ln A$. sehingga akan diperoleh nilai pertemuan dari nilai kedalaman anomali regional dan residual yang disebut *cut off* pada daerah tersebut nantinya digunakan pada tahapan penentuan besarnya lebar jendela.

4.3.3. Pemisahan Anomali Regional dan Residual

Anomali Bouguer pada metode gayaberat disebabkan oleh perbedaan densitas batuan, baik yang berada dekat dengan permukaan bumi maupun yang jauh dari permukaan bumi. Dalam penelitian dilakukan dengan metode gayaberat ini semua anomali diamati, baik yang berasal dari daerah dangkal maupun daerah dalam, oleh karena itu perlu dilakukan pemisahan anomali regional dan residual dari anomali Bouguer.

Pada penelitian ini penulis menggunakan pemisahan dengan metode *moving average*. *Moving average* adalah tahapan meratakan nilai anomali dari data anomali gayaberat, hasil dari metode ialah anomali regional, dan untuk mendapatkan anomali residual dihasilkan dari selisih hasil pengurangan antara anomali Bouguer dengan anomali regional. Perangkat lunak yang dipakai adalah perangkat lunak *Surfer*, proses pemisahan anomali dimulai dengan menginputkan data anomali Bouguer ke dalam perangkat lunak *Surfer* lalu nilai lebar jendela optimal yang didapatkan pada proses analisis spektral dimasukkan sebagai nilai *input* pemisahan.

4.3.4. Analisis *Derivative*

Berdasarkan nilai anomali residual dan anomali regional yang didapatkan dari *filter moving average* dapat diketahui daerah dengan nilai anomali yang tergolong rendah menunjukkan bahwa memiliki lapisan batuan dengan kontras rapat massa yang lebih rendah dapat diindikasikan sebagai daerah reservoir panas bumi daerah penelitian. Anomali tinggi mencirikan terdapat batuan yang memiliki rapat massa yang tinggi (*basement high*) yang dapat diindikasikan sebagai daerah *heat source*. Berdasarkan kontras anomali tinggi dan anomali rendah dapat diinterpretasikan adanya daerah patahan ataupun kontras litologi, untuk memastikan hal tersebut penulis melakukan tahapan analisa *derivative* agar diketahui sebaran patahan pada daerah penelitian, analisis *derivative* inipun dilakukan untuk membantu dalam

tahapan proses pembuatan model 2D, analisis derivative yang dipakai pada penelitian ini adalah *first Horizontas Derivative* dan *Second Vertical Derivative*.

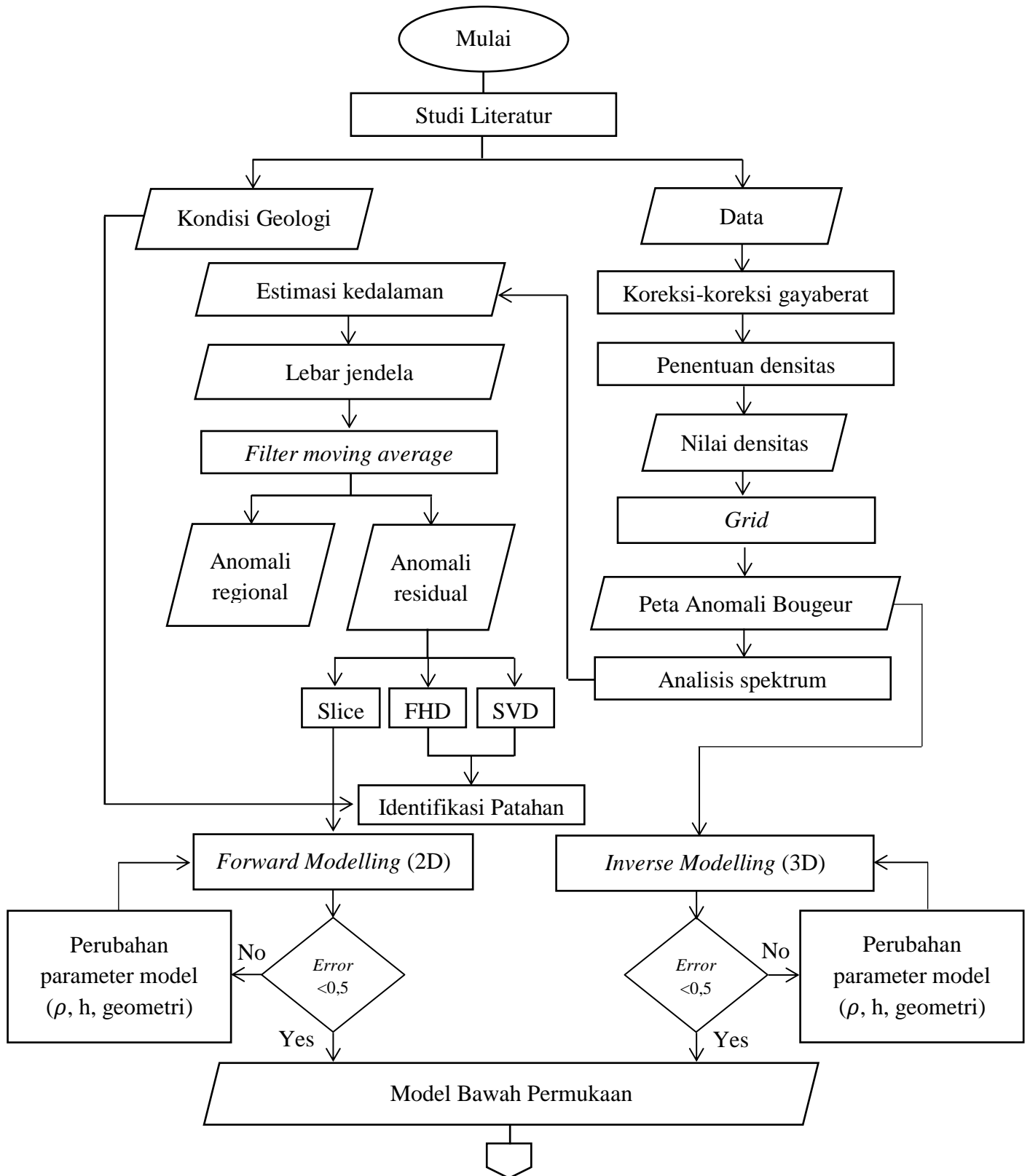
4.3.5. Pemodelan Bawah Permukaan

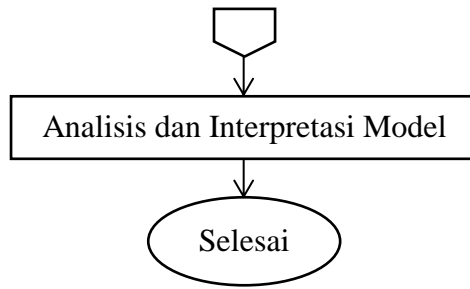
Tahapan pemodelan bawah permukaan pada penelitian ini penulis menggunakan metode *forward modelling* (2D) atau pemodelan ke depan dan *inverse modelling* (3D) atau pemodelan ke belakang yang menggunakan *software* Geosoft Oasis Montaj 8.4. dan *Grablox 1.6*.

Tahapan *Forward Modelling* dilakukan dengan melakukan *input* data jarak dan data anomali residual berdasarkan *slice* ataupun lintasan yang telah dibuat. Tahapan penentuan lintasan dilakukan dengan menarik lintasan yang melewati anomali tinggi dan anomali rendah yang diindikasikan sebagai daerah patahan. Tahapan dimulai dengan membuat *polygon* yang kemudian dibandingkan dengan nilai anomali hasil pengukuran, nilai densitas berdasarkan informasi geologi, studi literatur digunakan untuk *input* poligon dan rata-rata kedalaman bidang ketidakselarasan dangkan atau residual dan regional yang didapatkan dari tahapan analisis spektrum digunakan sebagai acuan untuk *input* saat menentukan bidang batas pada daerah bawah permukaan. *Inverse modelling* merupakan pemodelan yang berkebalikan dengan pemodelan ke depan. Pemodelan ini dilakukan menggunakan *software Grablox 1.6*.

4.4. Diagram Alir

Adapun diagram alir pada penelitian ditunjukkan pada **Gambar 7** sebagai berikut:





Gambar 7. Diagram alir

VI. KESIMPULAN DAN SARAN

6.1. Kesimpulan

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

1. Berdasarkan perhitungan menggunakan metode analisis spektrum didapatkan kedalam zona anomali regional 3.6 km dan kedalaman zona anomali residual 0.6 km.
2. Analisa struktur patahan menggunakan analisis *derivative* menunjukkan adanya struktur geologi patahan yang menjadi penyebab munculnya beberapa daerah manifestasi pada daerah penelitian. Meningginya *basement* menjadi pengaruh terbentuknya patahan pada daerah manifestasi Banaran dan Diwak. Terdapat sesar geser yang menjadi indikasi terdapatnya patahan pada daerah manifestasi Gedongsongo. Indikasi patahan naik berada pada daerah manifestasi Kendalisodo sedangkan patahan turun berada pada daerah manifestasi Nglimut.
3. Daerah sekitar patahan memiliki zona anomali tinggi yang berada pada lapisan atas memiliki rentang nilai anomali 2,4 gr/cc - 2,9 gr/cc diperkirakan merupakan batuan piroklastik Gajahmungkur (Qhg) terdiri dari aliran lava andesit hasil Gunung api Ungaran kuartar. Zona lemah pada sekitar daerah patahan terdiri dari batupasir tufan dan lempung yang terendapkan pada zaman tersier. *Basement* pada daerah Gunung Ungaran diperkirakan berada pada formasi Kaligetas (Qpkg).

6.2. Saran

Berdasarkan pembahasan dan kesimpulan dari penelitian pada daerah Gunung Ungaran maka disarankan untuk melakukan pengukuran dan analisis menggunakan metode geofisika lainnya seperti MT dan Geolistrik agar dapat memperkuat hasil interpretasi

DAFTAR PUSTAKA

- Blakely, R.J. 1996. *Potensial Theory in Gravity and Magnetic Applications*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Cordell, L. 1979. Gravimetric Expression of Graben Faulting in Santa Fe Country and Espanola Basin, New Mexico. *New Mexico Geological Society*. 59-64.
- Diyanti, A. 2014. Interpretasi Struktur Geologi Bawah Permukaan Daerah Leuwidamar Berdasarkan Analisis Spektrel Data Gayaberat. *Skripsi*. Universitas Pendidikan Indonesia.
- Grandis, H. 2009. *Pengantar Pemodelan Inversi Geofisika*. Jakarta: Himpunan Ahli Geofisika Indonesia.
- Ilmi, S., Harmoko, U., dan Widada, S. 2014. Interpretasi Bawah Permukaan Sistem Panas Bumi Diwak dan Derekan Berdasarkan Data Gravitasi. *Youngster Physics Journal*. 3(2): 165–170.
- Indarto, S., Widarto, D. S., Zulkarnain, E. G., dan Setiawan, I. 2006. Studi Batuan Vulkanik dan Batuan Ubahan pada Lapangan Panas bumi Gedongsongo Kompleks Gunungapi Ungaran Jawa Tengah. *RISSET-Geologi dan Pertambangan*, Jilid 16 No. 1
- Kadir, W. G. A. 2000. *Eksplorasi Gayaberat dan Magnetik*. Bandung: Jurusan Teknik Geofisika Fakultas Ilmu Kebumihan dan Teknologi Mineral ITB.
- Kirbani, S. B. 2001. *Panduan Workshop Eksplorasi Geofisika: Metode Gravitasi*. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.
- Longman, I.M. 1959. Formulas For Computing the Tidal Accelerations Due to the Moon and the Sun. *Journal of Geophysical Research* 64. 2351–2355.

- Lowrie, W. 2007. *Fundamentals of Geophysics, 2nd ed. x*. Cambridge: Cambridge University.
- Maulana, I. 2012. Analisis 4D Mikrogravity dan Gradien Vertikal 4D Mikrogravity (Studi Kasus Amblesan Semarang). *Tesis*. Universitas Indonesia.
- Nurdiyanto, B., Wahyudi., dan Suyanto, I. 2004. Analisis Data Magnetik untuk Mengetahui Struktur Bawah Permukaan Daerah Manifestasi Air Panas di Lereng Utara Gunungapi Ungaran. *Prosiding Himpunan Ahli Geofisika Indonesia Ke-26*. 36-45.
- Octonovrilna, L. dan Pudja, I. P. 2009. Analisa Perbandingan Anomali Gravitasi dengan Persebaran Intrusi Air Asin. *Jurnal Meteorologi dan Geofisika*. 10(1): 39-57.
- Rahma, M dan Wahyudi. 2014. Pembentukan Karakter Melalui Aplikasi Sains (Pemodelan 3D Anomali Gravitasi Magma Gunung Merapi dengan Software Grablox, Bloxer dan Rockwork. *Prosiding Seminar Nasional*. 108-214.
- Reynolds, J. M. 1997. *An Introduction to Applied and Environmental Geophysics, Chichester*. John Wiley dan sons.
- Rosid, S. 2005. *Gravity Method in Exploration Geophysics*. Depok: Universitas Indonesia.
- Sanjaya, D. 2019. Analisis Horizontal Gradient, Tilt Angle, Model 2D, dan 3D Gayaberat dalam Identifikasi Zona Sesar Daerah Panas bumi Gunung Ungaran, Jawa Tengah. *Skripsi*. Universitas Lampung.
- Sarkowi, M. 2010. Identifikasi Struktur Daerah Panas bumi Ulubelu Berdasarkan Analisa Data SVD Anomali Bouguer. *Jurnal Sains MIPA*. 16(2): 111-118.
- Sarkowi, M. 2014. *Eksplorasi Gaya Berat*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Serway, R.A., dan Jhon, W.J. 2009. *Fisika untuk Sains dan Teknik*. Jakarta: Salemba Teknika.
- Setiaji, T.W., Khumayroh, R., dan Muhammad, A. 2020. Analisa Struktur Geologi Pengontrol Reservoir Sistem Panas Bumi Ungaran Berdasarkan Data Gravitasi dan Geomagnetik. *Jurnal Geosains Terapan*. 3(1): 72-80.

- Setyawan, A., Ehara, S., Fujimitsu, Y., dan Nishijima, J. 2010. An Estimate Potential of Ungaran Geothermal Prospect for Indonesia Power Generation. *Proceedings World Geothermal Congress*.
- Susilawati. 2005. *Pemodelan metode Gayaberat*. Depok: Departement Fisika FMIPA Universitas Indonesia
- Susilo, N. D., Nurwidiyanto, M. I., dan Harmoko, U. 2016. Interpretasi Lapisan Bawah Permukaan Dengan Transformasi Pseudogravitasi Berdasarkan Data Geomagnetik Pada Manifestasi Mata Air Panas Kendalisodo Kabupaten Semarang. *Youngster Physics Journal*. 5(4): 195–202.
- Telford, W. M., Geldart, L.P., and Sherrif, R.E. 1990. *Applied Geophysics*. USA: Cambridge University.
- Thanden, R.E., Sumadirdja, H., dan Richards, P.W. 1996. *Peta Geologi Lembar Magelang dan Semarang*. Bandung: Pusat Survey Geologi.
- Ulumiyah, I. 2012. Analisis Kelembaban dan Temperatur Permukaan Dangkal di Daerah Gonoharjo. *Skripsi*. Universitas Negeri Semarang.
- Untung, M. 2001. *Dasar–Dasar Magnet dan Gayaberat Serta Beberapa Penerapannya (Seri Geofisika)*. Jakarta: Himpunan Ahli Geofisika Indonesia.
- Utami, R., Setyawan, A., dan Gernowo, R. 2016. Interpretasi Struktur Bawah Permukaan Data Gayaberat Menggunakan Algoritma Jaringan Saraf Studi Kasus Daerah Panas Bumi Ungaran, Jawa Tengah. *Youngster Physics Journal*. 5(4): 5–24.
- Van Bemmelen, R.W. 1949. *The Geology of Indonesia*. Netherlands: Government Print Office.
- Van Bemmelen, R.W. 1970. *The Geology of Indonesia 2nd Edition*. Netherlands: The Hague, Martinus Nijhoff.
- Verstappen, H. Th. 2000. *Outline of Geomorphology of Indonesia*. Nether ITC.
- Yulistina, S. 2017. Studi Identifikasi Struktur Geologi Bawah Permukaan Untuk Mengetahui Sistem Sesar Berdasarkan Analisis First Horizontal Derivative (FHD), Second Vertical Derivative (SVD), Dan 2,5D Forward Modeling Di Daerah Manokwari Papua Barat. *Jurnal Geofisika Eksplorasi*. 4(2): 62-76.

Zarkasyi, A., Rezky, Y., dan Nurhadi, M. 2011. Keprospekan Panas Bumi Gunung Ungaran Berdasarkan Analisis Geosain Terpadu. *Buletin Sumber Daya Geologi*. 6(3): 111-122.