

**IDENTIFIKASI DAERAH PROSPEK RESERVOAR
PANASBUMI PADA DAERAH LAPANGAN PANASBUMI
MALINGPING - LEBAK BANTEN BERDASARKAN
ANALISIS DATA GAYABERAT**

(Skripsi)

Oleh

**Annisa Yulia Elvarani
1815051010**



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2022**

**IDENTIFIKASI DAERAH PROSPEK RESERVOAR
PANASBUMI PADA DAERAH LAPANGAN PANASBUMI
MALINGPING - LEBAK BANTEN BERDASARKAN
ANALISIS DATA GAYABERAT**

Oleh

ANNISA YULIA ELVARANI

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 DAERAH PROSPEK RESERVOAR PANASBUMI PADA DAERAH LAPANGAN PANASBUMI MALINGPING - LEBAK BANTEN BERDASARKAN ANALISIS DATA GAYABERAT

Oleh

Annisa Yulia Elvarani

Pada daerah panasbumi Malingping merupakan daerah yang berada di Kabupaten Lebak, Provinsi Banten. Diketahui bahwa indikasi panasbumi yang muncul yaitu berupa mata air panas dengan temperatur sekitar 56,3 °C. Pada daerah panasbumi Malingping ini telah dilakukan penelitian sebelumnya yang mengindikasikan adanya manifestasi panasbumi. Pada dasarnya terdapat banyak metode geofisika untuk menentukan daerah prospek panasbumi, dimana salah satunya yaitu metode gayaberat yang digunakan dalam penelitian ini. Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mengidentifikasi reservoir panasbumi. Berdasarkan hasil *slicing* penampang 3D pemodelan inversi, model patahan diturunkan dari penampang FHD (maksimum atau minimum) dan SHD=0, adapun nilai densitas yang rendah diasumsikan sebagai reservoir. Hasil *slicing* 1 ini merupakan patahan naik, *slicing* 2 merupakan patahan turun atau sesar normal dan *slicing* 3 merupakan patahan turun atau sesar normal. Malingping berdasarkan analisis model distribusi densitas bawah permukaan yang dikorelasikan dengan data geologi, data geokimia, dan magnetotellurik. Hasil dari penelitian ini yaitu pada model distribusi densitas bawah permukaan daerah panasbumi Malingping, reservoir ini berada pada formasi cipacar (Tpc) dan formasi bojongmanik (Tmb) yang diduga sampai dengan kedalaman 2000 m dengan nilai densitas 2,0 – 2,4 gr/cc. Zona prospek reservoir gayaberat ini lebih luas dibandingkan dengan zona prospek panasbumi terduga (MT). Keberadaan reservoir juga didukung oleh penampang resistivitas MT yang menunjukkan adanya reservoir pada daerah tersebut yang dibatasi oleh sesar.

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

ABSTRACT

IDENTIFICATION OF GEOTHERMAL RESERVOIR PROSPECTS IN MALINGPING - LEBAK BANTEN GEOTHERMAL FIELD REGION BASED ON GRAVITY DATA ANALYSIS

By

Annisa Yulia Elvarani

The Malingping geothermal area is an area located in Lebak Regency, Banten Province. It is known that the indication of geothermal that appears is in the form of hot springs with a temperature of around 56.3 °C. In the Malingping geothermal area, previous research has been carried out which indicates the existence of geothermal manifestations. Basically there are many geophysical methods to determine geothermal prospect areas, one of which is the gravity method used in this study. The purpose of this study is to identify geothermal reservoirs. Based on the results of slicing the 3D cross-section of the inversion model, the fault model is derived from the FHD (maximum or minimum) cross-section and SHD=0, while the low density values are assumed to be reservoirs. The result of slicing 1 is an ascending fault, slicing 2 is a descending fault or normal fault and slicing 3 is a descending fault or normal fault. Malingping is based on the analysis of the subsurface density distribution model which is correlated with geological data, geochemical data, and magnetotelluric data. The results of this study are the subsurface density distribution model of the Malingping geothermal area, this reservoir is in the Cipacar formation (Tpc) and the Bojongmanik formation (Tmb) which is estimated to be up to a depth of 2000 m with a density value of 2.0 - 2.4 gr/cc . This gravity reservoir prospect zone is wider than the predicted geothermal prospect zone (MT). The existence of the reservoir is also supported by the cross section of the MT resistivity which indicates the presence of a reservoir in the area which is limited by faults.

Keywords: Gravity Method, Geothermal Reservoir, First Horizontal Derivative, Second Horizontal Derivative

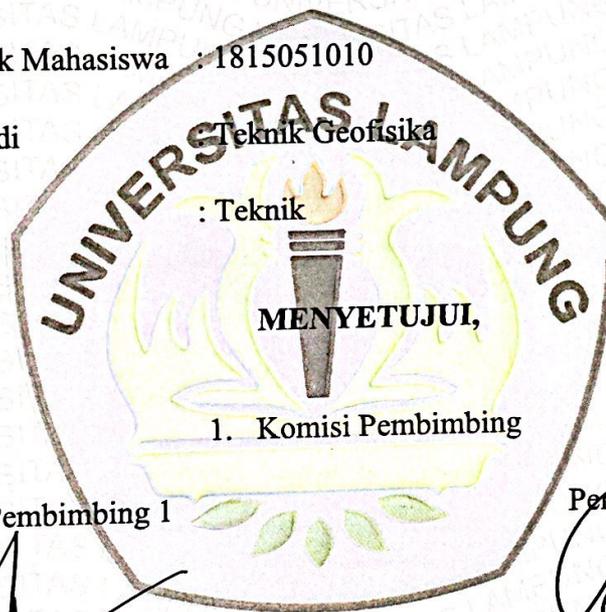
Judul Skripsi : **IDENTIFIKASI DAERAH PROSPEK
RESERVOIR PANASBUMI PADA DAERAH
LAPANGAN PANASBUMI MALINGPING -
LEBAK BANTEN BERDASARKAN ANALISIS
DATA GAYABERAT**

Nama Mahasiswa : *Annisa Yulia Flvarani*

Nomor Pokok Mahasiswa : 1815051010

Program Studi : Teknik Geofisika

Fakultas : Teknik



Pembimbing 1

[Signature]
Dr. Ir. Muhammad Sarkowi, S.Si., M.Si.

NIP. 19711210 199702 1001

Pembimbing 2

[Signature]
Karyanto, S.Si., M.T.

NIP. 19691230 199802 1001

2. Ketua Jurusan Teknik Geofisika

[Signature]
Karyanto, S.Si., M.T.

NIP. 19691230 199802 1001

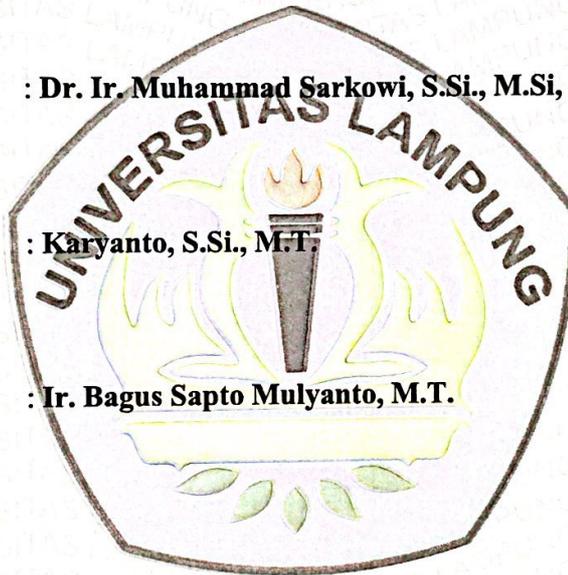
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua : Dr. Ir. Muhammad Sarkowi, S.Si., M.Si, IPU :

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

Anggota : Ir. Bagus Sapto Mulyanto, M.T. :



Three handwritten signatures in black ink are positioned to the right of the list of examiners. The top signature is the most prominent, followed by two others below it.



Dr. Eng. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc. ✎

NIP. 197509282001121002

Tanggal Ujian Skripsi : 13 Juni 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, Juni 2022



Annisa Yulia Elvarani
18158051010

RIWAYAT HIDUP



ANNISA YULIA ELVARANI, dilahirkan di Bandar Lampung pada tanggal 24 Juli 2000. Anak pertama dari dua bersaudara pasangan dari Bapak Syahriyal Fajeri dan Ibu Maryana. Pendidikan Taman Kanak-Kanak (TK) Aisyiyah di Bandar Lampung diselesaikan pada tahun 2006, Pendidikan Sekolah Dasar (SD) di SD Negeri 1 Langkapura diselesaikan pada tahun 2012, Pendidikan Sekolah Menengah Pertama di SMP Negeri 10 Bandar Lampung diselesaikan pada tahun 2015, Pendidikan Sekolah Menengah Atas di SMA Negeri 9 Bandar Lampung diselesaikan pada tahun 2018.

Pada tahun 2018 penulis melanjutkan pendidikan di perguruan tinggi negeri, tepatnya di Universitas Lampung Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Geofisika. Selama menjadi mahasiswa penulis pernah menjadi asisten praktikum Metode Geolistrik, Metode Gayaberat dan Metode Seismik. Pada tahun 2020 penulis melaksanakan Kerja Praktik (KP) di jurusan Teknik Geofisika Unila dengan judul **“IDENTIFIKASI SUB CEKUNGAN HIDROKARBON DENGAN MENGGUNAKAN METODE GAYABERAT PADA SUB CEKUNGAN SUMATERA SELATAN DAN LAMPUNG”**. Penulis aktif di organisasi Himpunan Mahasiswa Teknik Geofisika Bhuwana (Hima TG Bhuwana) Universitas Lampung sebagai Sekretaris Bidang Sains dan Teknologi pada tahun 2021, *American Association of Petroleum Geologists* Universitas Lampung SC (AAPG Unila SC) sebagai sekretaris umum dan anggota divisi *Human Resource Development* (HRD) pada tahun 2021, BEM Fakultas Teknik Universitas Lampung sebagai *staff* internal dan advokasi pada tahun 2020, *Sie* internal HGL *Guest Lecture* pada HAGI Wilayah 1 pada tahun 2020, *PJ Poster Competition* dan *sie* acara pada Seminar Nasional *Geophysict Whiz Event and Seminar* (GWES) Unila pada tahun 2020, *participant* Kunjungan Kerja Industri SM IAGI Unila ke Pertamina asset 2 pada tahun 2019.

Pada akhir masa studi penulis melakukan penelitian untuk memperoleh gelar sarjana teknik dengan judul **“IDENTIFIKASI DAERAH PROSPEK RESERVOAR PANASBUMI PADA DAERAH LAPANGAN PANASBUMI MALINGPING - LEBAK BANTEN BERDASARKAN ANALISIS DATA GAYABERAT”**.

PERSEMBAHAN

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

IBU DAN AYAH TERCINTA

SYAHRIYAL FAJERI

&

MARYANA

Yang tiada hentinya memberikan kasih sayang, support, semangat, dan segala dukungan yang tidak terhingga kepada ayuk enca. Dimana ayuk tidak bisa membalas semua kasih sayang yang telah diberikan hanya dengan persembahan kata-kata cinta di skripsi ini. Semoga ayah dan ibu sehat selalu dan bisa selalu bahagia di setiap pencapaian ayuk dan adek. Ayuk akan selalu berusaha menjadi anak yang terbaik untuk ayah dan ibu.

ADIK TERCINTA

SERLI SAFIRA FARADITA

Yang menjadi teman bercerita, teman sekamar aku dan adik satu-satunya yang menjadi adik sekaligus teman ku. Teirmakasih atas segala doa, semangat dan dukungannya. Semoga adek bisa menjadi anak yang sukses dunia akhirat.

Keluarga Besar Teknik Geofisika Universitas Lampung

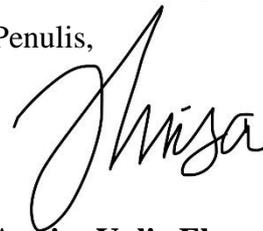
Semua yang terlibat dalam proses pembuatan skripsi ini, saya ucapkan terima kasih.

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan atas kehadiran Allah SWT, karena berkat rahmat dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan Skripsi yang berjudul **“IDENTIFIKASI DAERAH PROSPEK RESERVOAR PANASBUMI PADA DAERAH LAPANGAN PANASBUMI MALINGPING - LEBAK BANTEN BERDASARKAN ANALISIS DATA GAYABERAT”**. 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, Juni 2022

Penulis,



Annisa Yulia Elvarani

NPM. 1815051010

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 DAERAH PROSPEK RESERVOAR PANASBUMI PADA DAERAH LAPANGAN PANASBUMI MALINGPING - LEBAK BANTEN BERDASARKAN ANALISIS DATA GAYABERAT”** merupakan skripsi dari penelitian yang dilakukan penulis untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik.

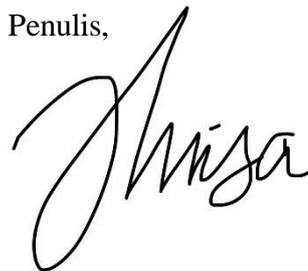
Adapun dalam penyelesaian Skripsi ini, terdapat banyak pihak yang terlibat, yang mana pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan rasa terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua tercinta yang selalu memberi dukungan, motivasi, kekuatan dan senantiasa selalu mendoakan yaitu Ayah Syahriyal Fajeri dan Ibu Maryana yang selalu menyemangati dan menyanyangi dengan sepenuh hati.
2. Adik satu-satunya yaitu Serli Safira Faradita yang menjadi teman dalam suka dan duka, selalu memberi semangat serta senantiasa mendoakan.
3. Teman perjalanan hidupku yaitu Muhammad Rizki Firdaus, terimakasih sudah selalu membantu dalam susah dan senang, membantu di segala situasi, dan selalu menemani dalam setiap kepusingan pemrosesan pembuatan skripsi ini. Terimakasih banyak orang baik ku.

4. Bapak Karyanto, S.Si., M.T. yaitu selaku Ketua Jurusan Teknik Geofisika Universitas Lampung dan pembimbing kedua yang telah memberikan masukan dan saran selama proses pengerjaan skripsi.
5. Bapak Dr. Ir. Muhammad Sarkowi, S.Si., M.Si, IPU. 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.
6. Bapak Ir. Bagus Sapto Mulyatno, S.Si., M.T. selaku penguji yang telah meluangkan waktunya, serta senantiasa memberikan saran dan masukan.
7. Dosen-dosen Jurusan Teknik Geofisika Universitas Lampung yang telah mengajarkan banyak ilmu dan wawasan.
8. Sahabat dan teman-teman terdekat yaitu Winona, Isfa, Wayan, Pegit, Naira, Dini, Della, Deka, Padia, yang tiada hentinya memberikan masukan, saran, dukungan, semangat dalam penyelesaian Skripsi ini.
9. Teman seperjuangan selama melaksanakan skripsi Nurul, Faradico, Arnas, dan Tectona yang telah banyak membantu dalam penyelesaian skripsi, serta memberikan dukungan dan motivasi satu sama lain.
10. Keluarga 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.
11. Serta semua pihak yang terlibat, penulis mengucapkan terima kasih banyak.

Bandar Lampung, 25 Juni 2021

Penulis,



Annisa Yulia Elvarani

NPM. 1815051010

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.....	xxiii
DAFTAR GAMBAR.....	xvi
DAFTAR TABEL	xviii
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 Daerah Penelitian	5
2.3 Stratigrafi.....	6
2.4 Fisiografi Regional.....	6

2.5 Geomorfologi Daerah Penelitian.....	8
2.6 Manifestasi Panasbumi.....	8
2.7 Topografi Daerah Penelitian	9
2.7 Magnetotellurik Daerah Penelitian.....	10
2.8 Penelitian Sebelumnya	12
III. TEORI DASAR.....	16
3.1 Metode Gayaberat (<i>Gravity</i>).....	16
3.2 Prinsip Dasar Metode Gayaberat (<i>Gravity</i>).....	17
3.2.1 Hukum Newton: Gaya tarik menarik antara dua partikel	17
3.2.2 Percepatan Gravitasi	17
3.2.3 Potensial Gravitasi.....	18
3.2.4 Rapat Massa Batuan	18
3.3 Koreksi dalam Metode Gravitasi	19
3.3.1 Koreksi Pasang Surut (<i>Tide Correction</i>)	20
3.3.2 Koreksi Apungan (<i>Drift Correction</i>).....	20
3.3.3 Koreksi Udara Bebas (<i>Free-Air Correction</i>).....	21
3.3.4 Koreksi <i>Bouguer</i>	21
3.3.5 Koreksi Medan (<i>Terrain Correction</i>).....	22
3.3.6 Anomali <i>Bouguer</i>	22
3.3 Analisis Spektrum.....	23
3.4 <i>Filter Moving Average</i>	25
3.5 Metode <i>First Horizontal Derivative</i> (FHD).....	26
3.6 Metode <i>Second Vertical Derivative</i> (SVD).....	26
3.7 Metode Magnetotellurik (MT)	28
3.8 Sistem Panasbumi	29
3.9 Geokimia Panasbumi	31
IV. METODE PENELITIAN.....	32
4.1 Tempat dan Waktu Penelitian	32
4.2 Alat dan Bahan.....	33
4.3 Prosedur Penelitian	33
4.4 Diagram Alir	35
V. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	36
5.1 Anomali <i>Bouguer</i>	36
5.2 Analisis Spektrum.....	38

5.3	Anomali Regional	42
5.4	Anomali Residual.....	43
5.5	<i>Second Vertical Derivative (SVD)</i>	44
5.6	Pemodelan 3 Dimensi Gayabarat.....	47
5.6.1	<i>Slicing 1</i>	55
5.6.2	<i>Slicing 2</i>	56
5.6.3	<i>Slicing 3</i>	57
5.7	Analisis Geokimia.....	58
5.7.1	Diagram Segitiga Cl-SO ₄ -HCO ₃	58
5.7.2	Diagram segitiga Na/1000, K/100, dan $\sqrt{\text{Mg}}$	59
5.7.3	Diagram Segitiga Cl-Li-B	59
5.7.4	Grafik Isotop ¹⁸ O vs Deuterium.....	60
5.8	Sistem Panasbumi Malingping.....	61
VI.	KESIMPULAN	64
	DAFTAR PUSTAKA	65

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Peta lokasi daerah penelitian.....	4
2. Peta geologi daerah penelitian.....	5
3. Peta fisiografi daerah Jawa Barat, dimana terbagi menjadi 4 zona yaitu: zona dataran pantai Jakarta, zona Bogor, dan zona pegunungan (Van Bemmelen, 1949).	7
4. Peta manifestasi panasbumi Malingping.....	9
5. Peta topografi daerah penelitian.....	10
6. Peta titik ukur AMT daerah panasbumi Malingping (Supriyadi, 2014).	59
7. Model tahanan jenis (AMT) 2D lintasan 4 (Supriyadi, 2014)..	60
8. Model tahanan jenis (AMT) 2D lintasan 5 (Supriyadi, 2014)..	10
9. Gaya tarik menarik antara dua buah benda (Grandis, 2009)..	11
10. Kurva Ln A terhadap K (Blakely, 1996)..	25
11. Sistem panasbumi (Dickson dan Fanelli, 2004)..	30
12. Diagram alir penelitian.....	35
13. Peta anomali bouguer lengkap daerah penelitian.....	25
14. Lintasan analisis spektrum peta anomali Bouguer.....	35
15. Grafik analisis spektrum profil penampang lintasan A-A'	39
16. Grafik analisis spektrum profil penampang lintasan B-B'	40
17. Grafik analisis spektrum profil penampang lintasan C-C'	40
18. Grafik analisis spektrum profil penampang lintasan D-D'	41
19. Grafik analisis spektrum profil penampang lintasan E-E'	41
20. Peta anomali regional daerah penelitian.....	43
21. Peta anomali residual penelitian.....	44
22. Peta <i>second vertical derivative</i> (SVD).....	45
23. Grafik lintasan analisis anomali SVD.....	46
24. Model 3 dimensi daerah penelitian.....	48
25. Model distribusi densitas hasil slicing horizontal pada kedalaman 0 m.....	49
26. Model distribusi densitas hasil slicing horizontal pada kedalaman 500 m	50
27. Model distribusi densitas hasil slicing horizontal pada kedalaman 1000 m ...	51

28. Model distribusi densitas hasil slicing horizontal pada kedalaman 1500 m... 52	52
29. Model distribusi densitas hasil slicing horizontal pada kedalaman 2000 m ... 53	53
30. Model distribusi densitas hasil slicing horizontal pada kedalaman 2500 m... 54	54
31. Model penampang distribusi densitas lintasan A-A' hasil irisan dari model 3D densitas pemodelan inversi. 55	55
32. Model penampang distribusi densitas lintasan B-B' hasil irisan dari model 3D densitas pemodelan inversi. 57	57
33. Model penampang distribusi densitas lintasan C-C' hasil irisan dari model 3D densitas pemodelan inversi. 58	58
34. Diagram segitiga fluida air panas (Risdianto dan Kusnandi, 2013)..... 59	59
35. Grafik isotop O18 vs deuterium (Risdianto dan Kusnandi, 2013)..... 60	60
36. Peta kompilasi daerah panasbumi Malingping dengan data geologi dan audio magnetotellurik 61	61
37. Model sistem panasbumi Malingping 62	62

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Penelitian Sebelumnya	16
2. Nilai densitas batuan (Telford dkk, 1976).....	19
3. Operator filter SVD.....	27
4. Pelaksanaan kegiatan penelitian.....	32
5. Kedalaman regional dan residual pada kelima lintasan	42
6. Nilai Kc dan lebar jendela pada kelima lintasan	42

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan negara yang memiliki potensi energi panasbumi terbesar di dunia. Potensi sumber daya panasbumi di Indonesia sebesar 11.073 MW, yang memiliki cadangan sebanyak 17.506 MW. Sumber energi panasbumi Indonesia, yaitu berlokasi pada jalur gunung api, yaitu membentang dari ujung Pulau Sumatera, sepanjang Pulau Jawa, Bali, Nusa Tenggara, Sulawesi, serta Maluku. Indonesia memiliki potensi panasbumi melimpah, yaitu sebesar 331 titik potensi dari Sabang sampai Merauke (ESDM, 2018). Panasbumi ini merupakan suatu energi terbarukan yang ramah lingkungan. Perlu ditingkatkan kontribusinya agar mencukupi kebutuhan energi domestik, sehingga dapat mengurangi ketergantungan Indonesia terhadap sumber energi fosil yang semakin menipis. Oleh karena itu diperlukannya penelitian lebih lanjut mengenai potensi panasbumi ini melalui suatu metode geofisika untuk memaksimalkan eksplorasi zona reservoir panasbumi tersebut.

Pada daerah panasbumi Malingping merupakan daerah yang berada di Kabupaten Lebak, Provinsi Banten. Kemudian berdasarkan fisiografi, yaitu berada dalam Zona Pegunungan Bayah. Diketahui bahwa indikasi panasbumi yang muncul, yaitu berupa mata air panas dengan temperatur sekitar 56,3 °C. Pada daerah panasbumi Malingping ini telah dilakukan penelitian sebelumnya, yaitu Simamora (2006) telah melakukan penelitian geomagnet dengan tujuan eksplorasi zona mineralisasi di daerah Malingping, Bayah, Kabupaten Lebak. Selain itu juga telah dilakukan penelitian oleh (Ervan dan Subagio, 2021) potensi geologi daerah Banten berdasarkan anomali gayaberat. Berdasarkan

kepada beberapa penelitian tersebut, maka penulis bermaksud untuk melakukan penelitian lebih lanjut mengenai daerah prospek reservoir panasbumi dengan menggunakan metode gayaberat dan korelasi dengan data geologi, data geokimia serta magnetotellurik pada daerah Malingping Kabupaten Lebak, Provinsi Banten.

Pada dasarnya terdapat banyak metode geofisika untuk menentukan daerah prospek panasbumi, dimana salah satunya yaitu metode gayaberat. Metode gayaberat adalah salah satu metode geofisika, dengan tujuan mengetahui kondisi geologi bawah permukaan diantaranya, yaitu perubahan secara vertikal dan lateral dengan didasari oleh parameter fisis rapat massa atau densitas batuan (Setiadi, 2010). Dalam metode gayaberat berdasarkan pada variasi medan gravitasi akibat variasi rapat massa batuan di bawah permukaan bumi. Adapun parameter yang diselidiki berupa perbedaan medan gravitasi dari suatu titik observasi terhadap titik observasi lainnya (Sarkowi, 2008).

Pada penelitian kali ini yaitu dilakukan pemodelan anomali gayaberat panasbumi Malingping dan dikorelasikan dengan resistivitas magnetotellurik, geologi, dan geokimia untuk menggambarkan bawah permukaan yang lebih baik. Dengan pengolahan menggunakan metode gayaberat ini bertujuan untuk mengetahui struktur bawah permukaan dan prospek reservoir panasbumi Malingping.

1.2 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dalam pelaksanaan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mendapatkan kedalaman anomali *Bouguer* Regional dan Lokal daerah penelitian.
2. Mendapatkan model distribusi densitas bawah permukaan daerah panasbumi Malingping.
3. Mengidentifikasi reservoir panasbumi Malingping berdasarkan analisis model distribusi densitas bawah permukaan yang dikorelasikan dengan data geologi, data geokimia, dan magnetotellurik.

1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam pelaksanaan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Data yang digunakan dalam pengolahan berupa data geologi dan data sekunder peta anomali *Bouguer* gayaberat.
2. Penentuan batas kedalaman anomali regional dan residual anomali *Bouguer* menggunakan analisis spektrum.
3. Pemisahan anomali regional dan residual menggunakan filter *moving average*.
4. Identifikasi reservoir panasbumi Malingping menggunakan pemodelan anomali gayaberat dan dikorelasikan dengan resistivitas magnetotelurik, geologi dan geokimia.

1.4 Manfaat Penelitian

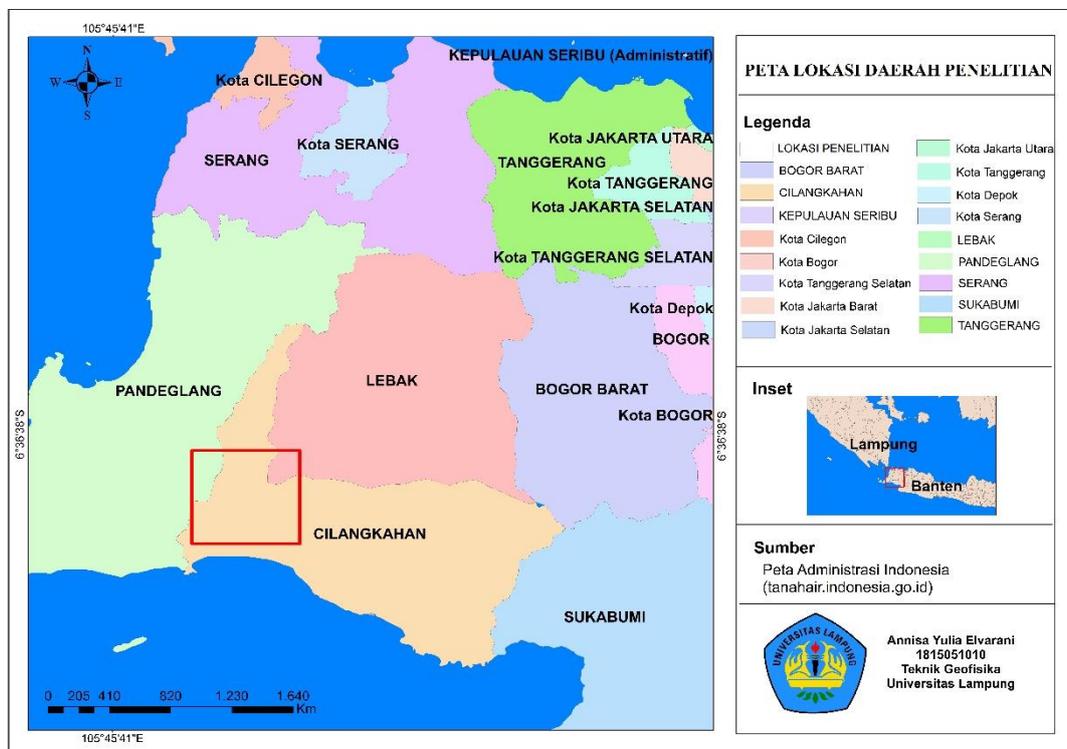
Adapun manfaat dalam pelaksanaan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Memberikan informasi mengenai gambaran geologi serta model bawah permukaan pada daerah panasbumi Malingping berdasarkan data gayaberat.
2. Mengetahui daerah reservoir panasbumi Malingping berdasarkan analisis anomali *Bouguer* yang dikorelasikan dengan data geologi, data geokimia serta magnetotelurik.

II. TINJAUAN PUSTAKA

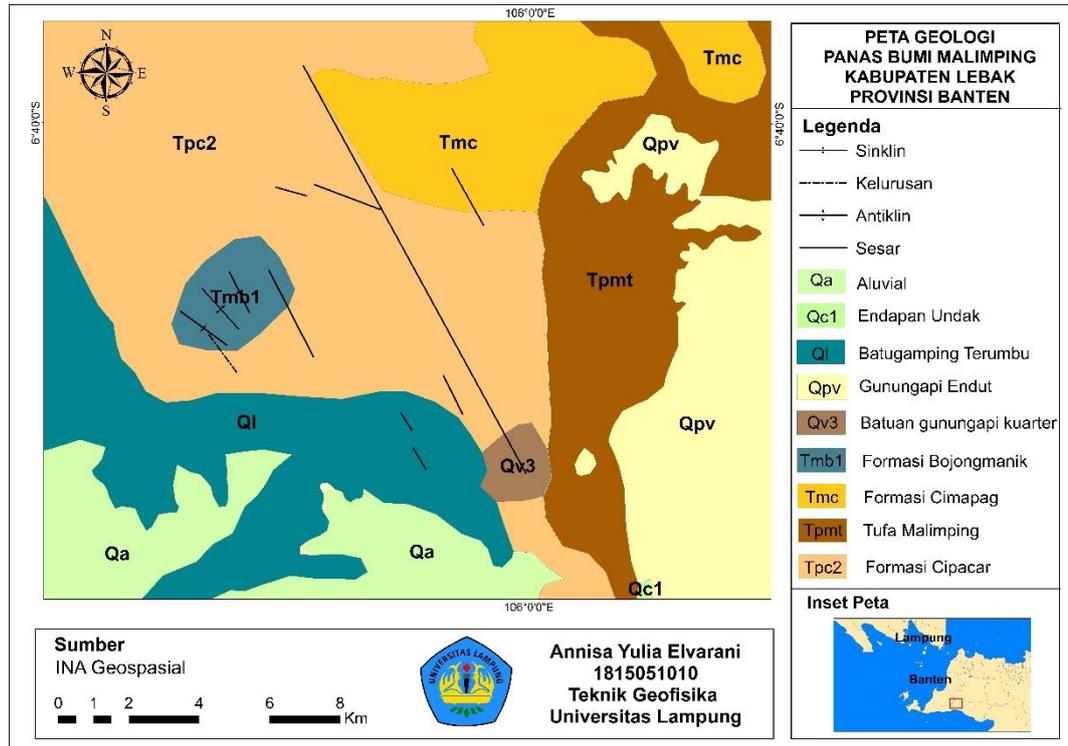
2.1 Lokasi Daerah Penelitian

Lokasi daerah penelitian yaitu berada di daerah panasbumi Malingping, yang secara administratif, terletak di Kabupaten Lebak, Provinsi Banten. Adapun secara geografis daerah panasbumi Malingping berada pada koordinat $106^{\circ}4'35''$ sampai $106^{\circ}24'40''$ BT dan $6^{\circ}19'40''$ sampai $6^{\circ}41'20''$ LS. Pada daerah survei penelitian yaitu memiliki luas area sekitar $18 \times 18 \text{ km}^2$.



Gambar 1. Peta lokasi daerah penelitian (BIG, 2018).

2.2 Geologi Regional Daerah Penelitian



Gambar 2. Peta geologi daerah penelitian (BIG, 2018)

Peta geologi daerah penelitian di atas yaitu menggunakan 2 lembar geologi, yaitu lembar geologi Cikarang dan lembar geologi Leuwidamar. Menurut Risdianto dan Kusnadi (2013) berdasarkan arah kelurusan lapangan panasbumi Malimping didominasi oleh arah utara-selatan dan baratlaut-tenggara. Keterdapatn sesar geser yang mempunyai arah baratlaut-tenggara dan timurlaut-baratdaya, yaitu respon dari dorongan gaya dari arah selatan. Akibat interaksi dua arah, beberapa tempat mengakibatkan struktur geologi mengalami bukaan dan memfasilitasi terbentuknya manifestasi mata air panas Malimping.

Berdasarkan peta geologi dapat diketahui pada struktur lipatan yang terbentuk memiliki arah sumbu lipatan yang berarah barat-timur. Pada struktur lipatan tersebut diakibatkan oleh tekanan dengan arah utara-selatan. Struktur sesar naik pada daerah penelitian memiliki arah relatif barat-timur dan kemiringan (*dipping*) yang bearah utara. Pergerakan sesar tersebut, yaitu diperkirakan merupakan suatu respon dari tekanan (*stress*) gaya yang berarah utara-selatan.

2.3 Stratigrafi

Lembar leuwidamar berada pada bagian Timur peta, yaitu menempati 2 formasi berbeda antara lain Formasi Gunung Endut (Qpv) yang terdiri dari lava, batuan breksi gunung api, dan tuf, serta Formasi Tuf Malingping (Tpmt) yang terdiri dari tuf sela, batuan breksi tufaan, tuf batuapung, lava, tuf dasit, batulempung dan batupasir.

Lembar geologi cikarang, yaitu terdiri dari Formasi Cimapag yang terbagi menjadi dua, yaitu bagian atas tersusun atas tuf breksi, tuf dasit dan lava andesit yang memiliki umur diperkirakan Miosen Awal. Adapun pada bagian bawah yaitu tersusun atas batugamping, lava andesit, batulempung, konglomerat, litologi breksi aneka bahan, aglomerat, batupasir dan tuf.

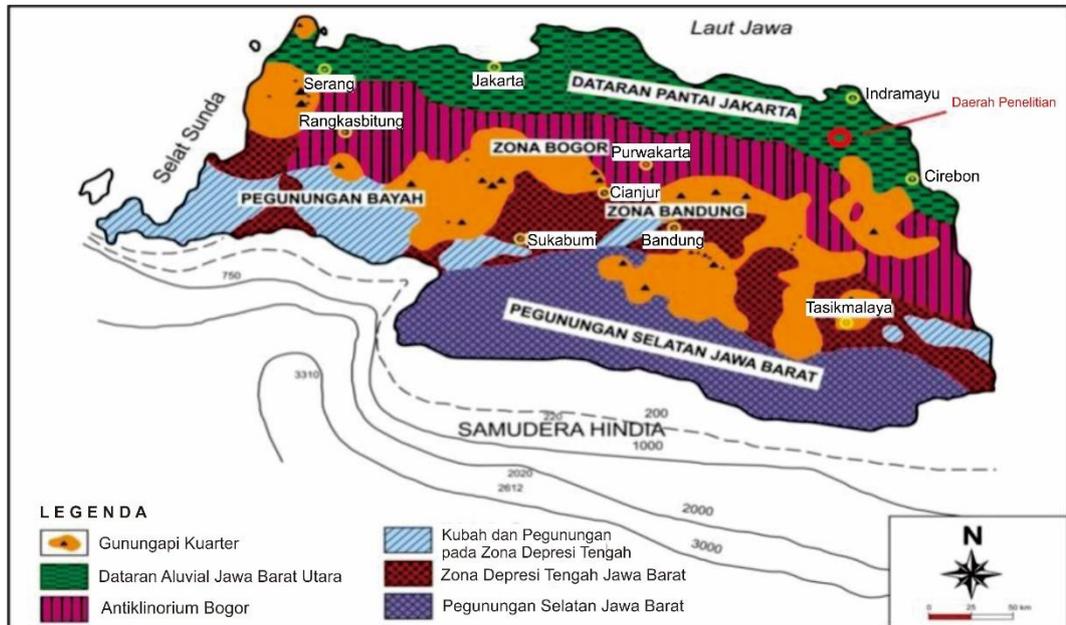
Formasi Bojongmanik, yaitu tersusun atas litologi yang merupakan perselingan antara batupasir dan batulempung bersisipan napal, lignit, konglomerat, tuf dan batugamping. Adapun fosil foraminifera, yaitu diperkirakan berumur Miosen Akhir-Pliosen. Kemudian juga ditemukan pecahan moluska, kerang yang memiliki lingkungan pengendapan darat sampai laut dangkal, ostrakoda dan ekinoid. Formasi ini memiliki tebal sampai 400 m (Sudana dan Santosa, 1992).

Formasi Cipacar tersusun dari tuf, batulempung tuf, tuf batuapung, napal, batupasir tuf, dan tuf breksi. Satuan batuan ini berlapis baik serta tebalnya ± 250 m, serta ditindih dengan tidak selaras oleh Formasi Bojong dan satuan batuan yang lebih muda. Fosil foraminifera pada Formasi Cipacar, yaitu diperkirakan berumur relatif Pliosen. Pada Formasi Cipacar ini, yaitu ditemukan fosil moluska, ostrakoda dan kerang-kerangan. Lingkungan pengendapannya, yaitu berada di darat-laut dangkal (Sudana dan Santosa, 1992).

Batuan gunungapi kuartar, yaitu tersusun dari litologi breksi gunungapi, tuf dan aglomerat. Umurnya diperkirakan Pleistosen dan tebalnya yaitu diperkirakan > 100 m. Daerah Sindanglaya, yaitu memiliki dua satuan batuan dimana terdiri dari Formasi Honje dan Formasi Bojongmanik. Formasi Honje adalah formasi baru untuk endapan vulkanik yang memiliki lokasi tipe berada di Pegunungan Honje, Cimanggu, Banten Selatan.

2.4 Fisiografi Regional

Secara fisiografi, daerah penelitian, yaitu masuk kedalam zona Pegunungan Bayah berdasarkan pembagian zona fisiografi Pulau Jawa dimana dapat dilihat pada gambar 3 di bawah ini.



Gambar 3. Peta fisiografi daerah Jawa Barat yang terbagi menjadi 4 zona: zona dataran pantai Jakarta, zona Bandung, zona Bogor, dan zona pegunungan (Van Bemmelen, 1949).

Zona Pegunungan Bayah, yaitu berada dari Ujung Kulon sampai dengan perbatasan antara Banten dan Jawa Barat. Berdasarkan pada suatu Tektonik Lempeng, yaitu pada zaman Tersier Jawa Barat Utara, Pegunungan Bayah merupakan suatu busur magmatik (*magmatic arcs*) di bagian selatan, serta cekungan belakang busur (*foreland basin*). Daerah penelitian berada pada busur magmatik (*magmatic arcs*) yang sudah migrasi ke bagian selatan dari zaman Kapur Atas, Miosen sampai Kuarter. Adapun morofologi pada Pegunungan Bayah, yaitu berupa suatu kubah serta punggung pada bagian Zona Bandung. (Asikin, 1974).

2.5 Geomorfologi Daerah Penelitian

Adapun satuan pembagian Morfologi pada daerah penelitian yaitu, dapat dikelompokkan menjadi tiga satuan morfologi sebagai berikut.

1. Satuan Morfologi Perbukitan Bergelombang

Berdasarkan daerah penelitian satuan morfologi perbukitan yaitu terdiri dari 50%, dalam hal ini menyebar secara merata pada daerah penelitian. Satuan morfologi tersusun dari litologi perselingan batupasir serta lempung, litologi tuf dan batupasir. Serta memiliki kemiringan lereng antara 10° sampai dengan 40° .

2. Satuan Morfologi Perbukitan Kubah Lava

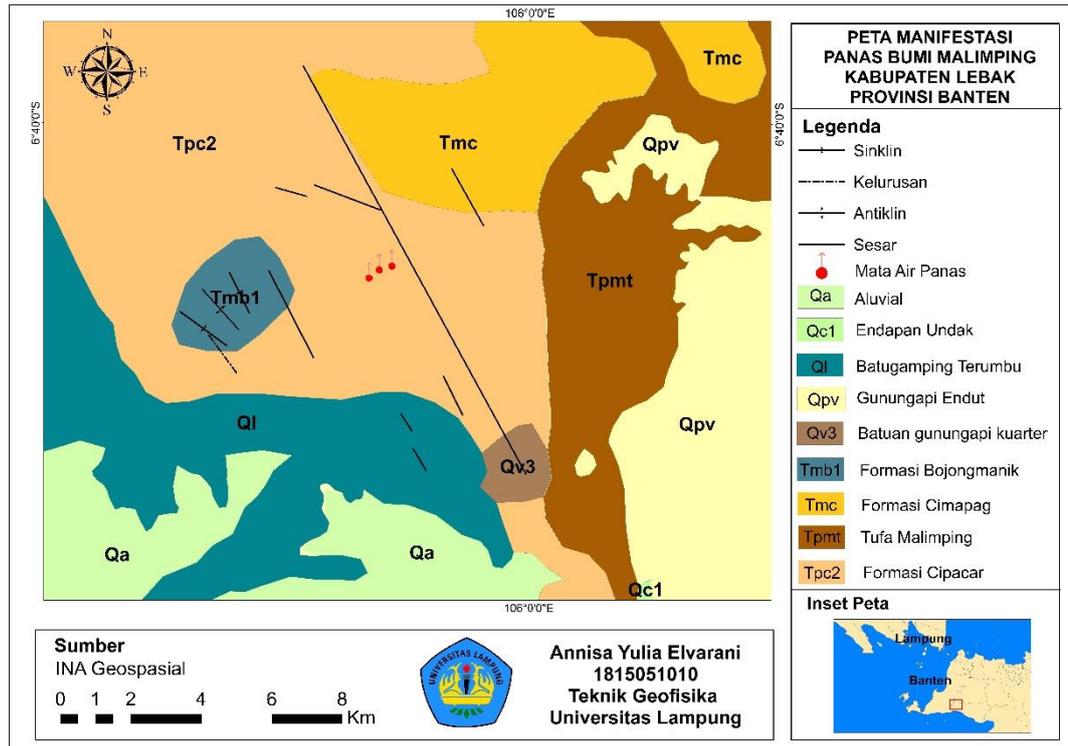
Satuan morfologi ini terdiri dari morfologi tersendiri pada suatu litologi yang menyusunnya, yaitu merupakan batuan beku. Dimana satuan morfologi ini menyebar pada daerah barat, tengah, barat laut, dan tenggara pada suatu daerah penelitian yang menyebar $\pm 10\%$ dari seluruh daerah penelitian. Satuan morfologi ini memiliki kemiringan lereng sebesar $40^\circ - 80^\circ$, serta elevasi antara 150 m - 300 m dari atas permukaan laut. Terbentuknya morfologi ini, yaitu dari suatu aktivitas vulkanik yang merupakan suatu terobosan batuan beku yang membentuk kubah lava.

3. Satuan Morfologi Pedataran

Satuan morfologi Pedataran, yaitu berada pada daerah baratdaya daerah penelitian yang merupakan daerah pesawahan. Adapun penyebaran morfologi ini sebesar 40% dari seluruh daerah penelitian. Satuan morfologi Pedataran memiliki kemiringan lereng sebesar $<10^\circ$, ketinggian 5 – 50 m asl.

2.6 Manifestasi Panasbumi

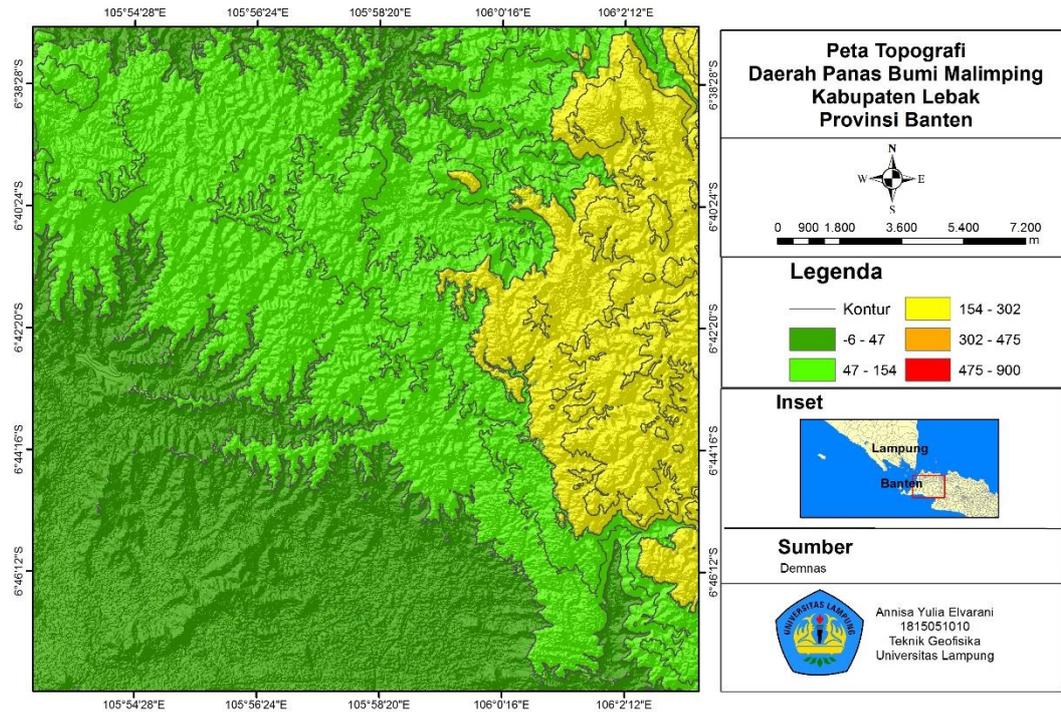
Manifestasi panasbumi pada lapangan panasbumi Malingping yaitu merupakan mata air panas Citando. Mata air panas Citando ini berada di desa Senang Hati, Kecamatan Malingping dan berada pada koordinat UTM 48 S yaitu pada (605937 mT, 9258778 mS). Adapun karakteristik mata air panas Citando antara lain memiliki pH netral, temperatur $56,3^\circ\text{C}$, tidak berbau, debit > 2 lt/det, tidak berasa dan bening. Selain itu juga terdapat oksida besi yang tinggi muncul di batuan lava andesit, serta sinter karbonat tipis (*traventin*) (Supriyadi, 2014).



Gambar 4. Peta manifestasi panasbumi Malingping (BIG, 2018).

2.7 Topografi Daerah Penelitian

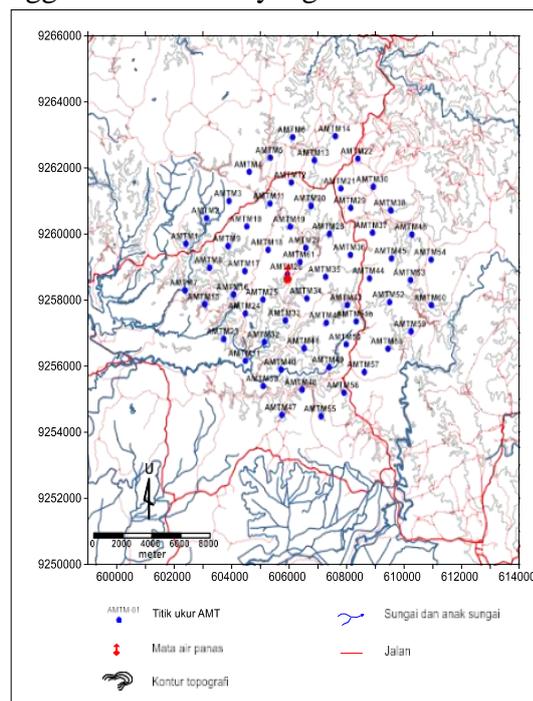
Berdasarkan pada peta topografi daerah penelitian ini yaitu terbagi menjadi daerah topografi sedang dan daerah topografi rendah. Berdasarkan pada peta topografi yang ditunjukkan pada Gambar 5 yaitu dapat dilihat bahwa daerah dataran rendah, yaitu berada pada sebelah baratdaya peta, yaitu dengan ketinggian -6 sampai dengan 47 meter. Daerah dengan dataran sedang yang terbagi menjadi 2 bagian, yaitu pada bagian tengah atau pusat peta, yaitu dengan ketinggian 47 – 154 meter, serta dataran sedang berada pada bagian timur peta, yaitu dengan ketinggian 154 – 302 meter. Topografi pada daerah penelitian ini, yaitu didominasi oleh dataran sedang.



Gambar 5. Peta topografi daerah penelitian (BIG, 2019).

2.7 Magnetotellurik Daerah Penelitian

Metode Magnetotellurik merupakan salah satu metode geofisika aktif yang dapat menggambarkan struktur resistivitas di bawah permukaan bumi. Dimana metode ini dapat digunakan untuk menentukan suatu zona konduktif atau mineral lempung sebagai penutup pada suatu reservoir panas bumi. AMT diukur dengan menggunakan 61 titik yang tersebar membentuk 8 buah lintasan

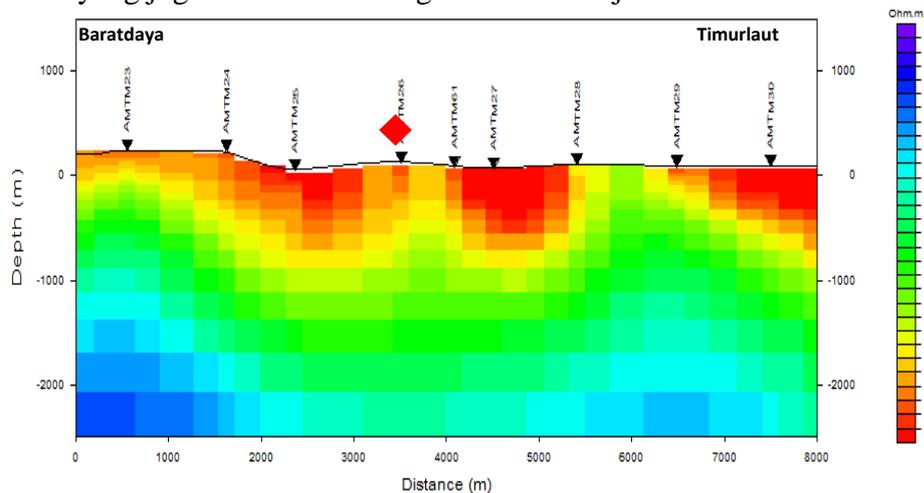


Gambar 6. Peta titik ukur AMT daerah panas bumi Malimling (Supriyadi, 2014)

yang memiliki arah baratdaya-timurlaut dengan jarak antar titik ukur yaitu sekitar 1000 m seperti ditunjukkan pada Gambar 6 di atas.

Berdasarkan penampang model gayaberat 2D, yaitu dapat dilihat terdapat zona graben dari sebelah barat laut (penampang A-B, C-D dan E-F) sampai pada sebelah tenggara (Gambar 7). Dimana zona graben ini menerus dan membentuk suatu zona rekahan, sehingga air meteorik dapat masuk ke bawah permukaan, lalu terpanaskan oleh sisa panas dan muncul kembali ke permukaan berupa mata air panas. Diketahui distribusi nilai tahanan jenis pada kedalaman 250 meter, yaitu < 50 Ohm.m.

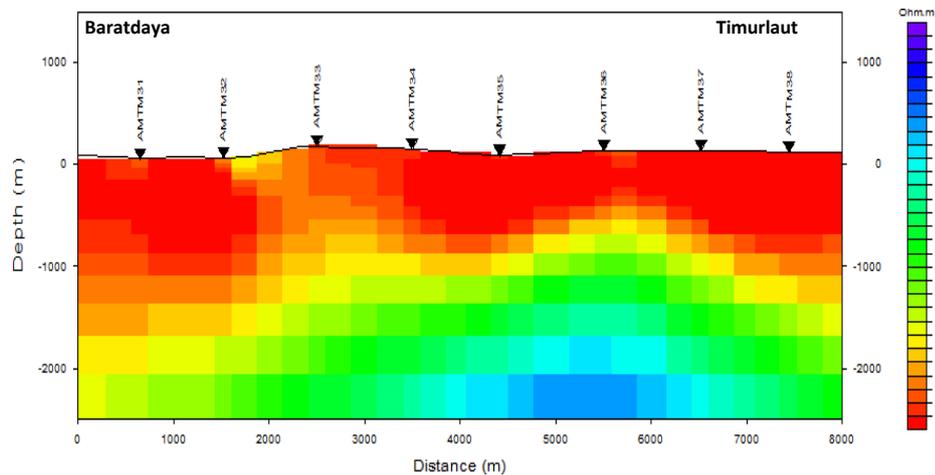
Berdasarkan pada model tahanan jenis 2D AMT, yaitu juga diketahui adanya zona dengan nilai tahanan jenis rendah yang cukup luas, yaitu pada kedalaman 250 m serta 500 m. Apakah berasosiasi dengan batuan ubahan atau batuan sedimen pada persebaran nilai tahanan jenis tersebut, yaitu masih memiliki ambiguitas. Pada kedalaman 750 m sampai 1000 m, terlihat persebaran nilai tahanan jenis sedang (20-50 Ohm.m) di sekitar mata air panas yang dilingkupi dengan nilai tahanan jenis rendah. Namun pada nilai tahanan jenis sedang itu belum dapat dipastikan sebagai indikasi reservoir panasbumi. Hal ini dikarenakan pada persebaran nilai tersebut berada pada lingkungan batuan sedimen yang juga memiliki rentang nilai tahanan jenis relatif sama.



Gambar 7. Model tahanan jenis (AMT) 2D lintasan 4 (Supriyadi, 2014).

Hasil pemodelan tahanan jenis 2D dari lintasan 5 menunjukkan suatu pola yang meninggi ke bawah. Nilai tahanan jenis rendah tersebut diindikasikan sebagai batuan sedimen. Persebaran nilai tahanan jenis yang rendah, yaitu berada di

dekat permukaan sampai dengan kedalaman 1000 - 2000 m. Kemudian di daerah bawah yaitu menunjukkan adanya persebaran nilai tahanan jenis tinggi yang berbentuk kubah dimana dapat diindikasikan sebagai batuan intrusi. Nilai tahanan jenis rendah pada bagian atas zona intrusi diperkirakan berasosiasi dengan batuan ubahan membentuk sistem panasbumi Malingping.



Gambar 8. Model tahanan jenis (AMT) 2D lintasan 5 (Supriyadi, 2014).

2.8 Penelitian Sebelumnya

Ervan dan Subagio (2021) telah melakukan penelitian dengan identifikasi data anomali gayaberat mengenai potensi geologi daerah banten dan sekitarnya. Diketahui bahwa pola pada anomali *Bouguer* di daerah Banten yaitu berupa tinggian anomali Jawa bagian barat. Hal ini dikarenakan secara regional pola anomali memperlihatkan punggungan anomali. Berdasarkan analisis dengan menggunakan metode gayaberat, diketahui bahwa pada daerah penelitian memiliki kelurusan pola anomali menjalur yang diindikasikan sebagai struktur sesar. Selain mengakibatkan potensi positif, kelurusan anomali menjalur itu juga diprediksi bahwa dapat mengakibatkan potensi negatif.

Alimron (2019) telah melakukan penelitian mengenai identifikasi persebaran lapisan batuan andesit menggunakan metode geolistrik tahanan jenis dan *resistivity log* pada daerah Malingping utara. Berdasarkan pada hasil interpretasi dengan menggunakan pengolahan data geolistrik 1D, 2D, serta *resistivity log*, pada daerah penelitian memiliki litologi *top soil*, batuan andesit,

lempung pasiran dan pasir lempungan. Kemudian pada pemodelan 2D geolistrik serta korelasi dengan data *resistivity log* diketahui pada lapisan batuan andesit terdapat di kedalaman 2 – 23 m dengan kisaran nilai resistivitas antara 200 - 2000 Ω m serta memiliki ketebalan 21 m.

Wahyuningsih (2017) telah melakukan penelitian mengenai pendugaan struktur bawah permukaan dan reservoir lapangan panasbumi Malingping dengan menggunakan analisis data gayabarat. Analisis ini, yaitu dilakukan menggunakan hasil pemodelan ke depan 2,5D gayabarat. Kemudian Analisis tersebut juga didukung oleh hasil analisis SVD serta data pendukung yang meliputi data geokimia serta model inversi 2D Audio Magnetotellurik (AMT), sehingga berdasarkan analisis tersebut dapat diketahui model tentatifnya. Anomali *Bouguer* menunjukkan nilai anomali tinggi (>120 mGal) di bagian Tenggara pada daerah penelitian serta anomali rendah (<100 mGal) di sebelah Utara. Pada lapangan panasbumi Malingping, yaitu sistem dominasi air dengan terrain yang relatif datar.

Supriyadi dkk (2014) telah melakukan penelitian pada daerah lapangan panasbumi Malingping dengan menggunakan survei geofisika terpadu (audio magnetotellurik dan gayabarat). Pemodelan tahanan jenis (AMT) ini menggunakan pemodelan inversi 2D. Berdasarkan model tahanan jenis 2D AMT, yaitu menunjukkan bahwa terdapat zona yang memiliki nilai tahanan jenis yang rendah dan cukup luas, yaitu berada pada kedalaman 250 m dan kedalaman 500 m. Adapun daerah prospek panasbumi yang rendah diperkirakan berasosiasi dengan zona Anomali *Bouguer* Sisa rendah. Nilai tahanan jenis sedang, yaitu berada di sekitar mata air panas Desa Senang Hati dengan luas 2 km².

Risdianto dan Kusnadi (2013) telah melakukan penelitian mengenai survei dengan data geokimia dan geologi pada panasbumi Malingping Kabupaten Lebak, Provinsi Banten. Klasifikasi berdasarkan mata air panas pada daerah panasbumi Malingping ini, yaitu menggunakan plot konsentrasasi ion dan HCO₃⁻, Cl⁻, dan SO₄²⁻, berdasarkan diagram segitiga Cl-SO₄-HCO₃, sehingga

diketahui bahwa semua air panas pada daerah Malingping bertipe sulfat pH netral. Hal ini merupakan indikasi terdapat fluida panas di pembentukan air panas Malingping. Sumberdaya panasbumi yang terkandung pada daerah panasbumi Malingping, yaitu diperkirakan sebesar 13 MWe dimana masuk dalam katagori sumber daya hipotetis.

Tabel 1. Penelitian Sebelumnya

No.	Nama Penulis dan Tahun	Metode	Hasil
1	Ervan dan Subagio (2021)	Metode Gayabarat	Pola pada anomali <i>Bouguer</i> di daerah Banten yaitu berupa tinggian anomali Jawa bagian barat. daerah penelitian memiliki kelurusan pola anomali menjalur yang di identifikasi sebagai struktur sesar.
2	Al Imron (2019)	Metode Geolistrik <i>Resistivity Log</i> dan Tahanan Jenis	Daerah penelitian memiliki litologi lempung pasiran, <i>top soil</i> , batuan andesit dan pasir lempungan. Lapisan batuan andesit terdapat di kedalaman 2 – 23 m yang memiliki nilai resistivitas antara 200 - 2000 Ω m dengan ketebalan 21 m.
3	Wahyuningsih (2017)	Metode Gayabarat	Anomali <i>Bouguer</i> menunjukkan nilai anomali tinggi (>120 mGal) di bagian Tenggara pada daerah penelitian serta anomali rendah (<100 mGal) di sebelah Utara. Pada lapangan panasbumi

			Malingping yaitu sistem dominasi air dengan terrain yang relatif datar.
4	Supriyadi dkk (2014)	Audio Magnetotelurik dan Gayaberat	Terdapat zona yang memiliki nilai tahanan jenis yang rendah dan cukup luas, yaitu berada pada kedalaman 250 m dan kedalaman 500 m.
5	Risdianto dan Kusnadi (2013)	Geologi dan Geokimia	Sumber daya panasbumi yang terdapat pada panasbumi Malingping, yaitu diperkirakan sebesar 13 MWe dimana masuk dalam katagori sumber daya hipotetis.

III. TEORI DASAR

3.1 Metode Gayaberat (*Gravity*)

Metode gayaberat (metode *gravity*) merupakan salah satu metode geofisika yang dapat digunakan untuk menggambarkan struktur geologi bawah permukaan. Metode gayaberat ini bertujuan untuk menginterpretasi nilai anomali gravitasi yang disebabkan karena suatu perbedaan harga densitas atau kedalaman tubuh massa batuan pada bawah permukaan (Yusuf, 2011). Metode gayaberat ini yaitu baik digunakan untuk pendugaan bentuk struktur bawah permukaan karena dinilai mampu mendeteksi kontras densitas batuan. Suatu perbedaan kontras densitas yang beragam mengindikasikan bahwa struktur bawah permukaan yang beragam jenis pula. Dalam hal ini yaitu bahwa distribusi densitas yang berbeda-beda di bawah permukaan bumi dikarenakan oleh struktur geologi yang terdapat di dalamnya. Berdasarkan pada variasi densitas tersebut maka dapat diketahui suatu bentuk struktur di bawah permukaan pada suatu daerah. Perbedaan densitas batuan di bawah permukaan merupakan suatu acuan dalam penyelidikan metode gravitasi untuk pendugaan panasbumi. Dimana diketahui bahwa daerah sumber panas di bawah permukaan bumi dapat menyebabkan perbedaan densitas dengan batuan di sekitar. Prinsip metode gayaberat menggunakan hukum Newton gravitasi bumi (Hidayat dan Basid, 2011).

Diketahui bahwa dalam praktiknya, metode gayaberat ini mempelajari adanya medan gravitasi yang berbeda dari satu titik terhadap suatu titik observasi yang lain. Sehingga sumber pada suatu zona massa di bawah permukaan bumi ini akan menyebabkan adanya suatu gangguan pada medan gravitasi. Gangguan yang ada

pada medan gravitasi ini yaitu disebut dengan suatu anomali gayaberat. Gangguan medan gravitasi yang diakibatkan oleh setiap litologi batuan akan memiliki besaran yang berbeda-beda bergantung dengan nilai desintas bantuannya (Walidah, 2011).

3.2 Prinsip Dasar Metode Gayaberat (*Gravity*)

3.2.1 Hukum Newton: Gaya tarik menarik antara dua partikel

Prinsip dasar pada metode gayaberat yaitu Hukum Newton. Dimana diketahui apabila dua benda yang memiliki massa sebesar m_1 dan m_2 kemudian dipisahkan oleh jarak r , maka besaran gaya tarik menarik (F) antara kedua benda tersebut yaitu dinyatakan dalam persamaan berikut.

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

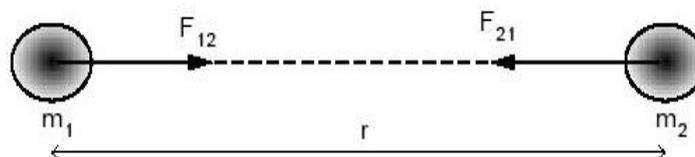
Dimana:

$F(r)$: 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 9. Gaya tarik menarik antara dua buah benda (Grandis, 2009).

3.2.2 Percepatan Gravitasi

Ketidakhomogenan bumi baik bentuk maupun *content* mempengaruhi adanya percepatan gravitasi yang berbeda-beda disetiap tempat. Percepatan gravitasi merupakan gaya tarik suatu benda yang bermassa m_1 (massa pegas pada gravimeter) dipermukaan bumi yang diakibatkan oleh keberadaan benda sebesar m_2 (massa bumi = m). Hukum Newton kedua, $F = m \cdot a$ dengan begitu percepatan gravitasinya akan didapatkan dengan membagi F (gaya tarik menarik antara dua benda, massa m_1 dan m_2) dengan m_1 .

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

Percepatan sebuah benda dengan massa sebesar m_2 yang akibatnya adanya tarikan benda bermassa m_1 dengan jarak sebesar r secara sederhana berikut:

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

Persamaan di atas menjadi berikut jika ditetapkan percepatan gaya tarik bumi:

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

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)

3.2.3 Potensial Gravitasi

Suatu massa ketika berada dalam suatu ruang akan menimbulkan medan potensial di sekitarnya. Dimana medan potensial untuk gayaberat yaitu bersifat konservatif, sehingga usaha yang dilakukan pada suatu medan gayaberat hanya akan bergantung pada posisi awal dan akhirnya serta tidak bergantung dengan lintasan yang ditempuhnya (Walidah, 2011).

Persamaan yang digunakan yaitu sebagai berikut.

$$\Delta U (r) = F(r)/m_2 = g (r) \quad (5)$$

Dengan mengasumsikan bumi bersifat homogen dan berbentuk bola dengan jari-jari R , sehingga nilai potensial gayaberat U dipermukaan akan diberikan sebagai berikut.

$$\Delta U (r) = \int_{\infty}^R g \cdot dr = -\gamma M \int_{\infty}^R \frac{dr}{r^2} = \gamma \frac{M}{R} \quad (6)$$

3.2.4 Rapat Massa Batuan

Densitas atau disebut juga dengan rapat massa batuan merupakan besaran fisik yang sangat penting digunakan dalam pengaplikasian metode gayaberat. Untuk melakukan Perhitungan anomali *Bouguer* kita memerlukan harga densitas rata-rata didaerah survei. Gaya tektonik akan menyebabkan terjadinya variasi rapat massa pada batuan sedimen. Rapat massa butir pembentuknya, kandungan fluida yang mengisi pori-porinya, porositas, dan

pemadatan akibat tekanan serta pelapukan yang dialami oleh batuan akan mempengaruhi besaran rapat massa batuan (densitas) (Broto, 2001).

Berikut merupakan nilai variasi densitas (Telford dkk, 1976) dapat dilihat pada **Tabel 2** dibawah.

Tabel 2. Nilai densitas batuan (Telford dkk, 1976)

Jenis Batuan	Rentang Densitas (g/cc)	Rata-rata (g/cc)
Batuan Sedimen		
Clay	1,63-2,60	2,21
Gravel	1,70-2,40	2,00
Loess	1,40-1,93	1,64
Silt	1,80-2,20	1,93
Soil	1,20-2,40	1,92
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
Dolomit	2,28-2,90	2,70
Chalk	1,53-2,60	2,01
Halite	2,10-2,60	2,22
Glacier Ice	0,88-0,92	0,90
Batuan Beku		
Granit	2,50-2,81	2,64
Andesit	2,40-2,80	2,61
Syenite	2,60-2,95	2,77
Basalt	2,70-3,30	2,99
Gabro	2,70-3,50	3,03
Batuan Metamorf		
Gneiss	2,59-3,00	2,80
Phylite	2,68-2,80	2,74
Slate	2,70-2,90	2,79
Granulite	2,52-2,7	2,65
Amphibolite	2,90-3,04	2,96
Eclogite	3,20-3,54	3,37

3.3 Koreksi dalam Metode Gravitasi

Bumi akan dianggap memiliki bentuk yang bulat sempurna, homogen (memiliki sebaran densitasnya yang merata), dan tidak berotasi apabila dilihat secara teoritis. Namun berdasarkan kenyataannya, bumi tidaklah berbentuk bulat

sempurna melainkan *spheroid*, dengan permukaan yang tidak rata, dan terjadinya rotasi. Gaya tarik menarik benda diluar bumi seperti Bulan dan Matahari akan mempengaruhi Bumi. Oleh karena itu, faktor seperti pasang surut, koordinat lintang, ketinggian, topografi dan variasi densitas di bawah permukaan mempengaruhi besaran gayaberat yang ada di permukaan bumi. Metode gayaberat yang dicari faktor variasi rapat massa batuan (densitas), sehingga faktor lainnya dilakukan koreksi atau reduksi dari nilai pembacaan gravitometer.

3.3.1 Koreksi Pasang Surut (*Tide Correction*)

Untuk menghilangkan adanya pengaruh gaya tarik dari suatu benda yang berada di luar Bumi seperti Bulan dan Matahari maka dilakukan koreksi pasang surut (*tide correction*). Dilakukan dengan pengukuran nilai gayaberat pada stasiun yang sama dengan interval waktu tertentu. Bacaan gravitometer dilakukan plot terhadap fungsi waktu sehingga dapat suatu persamaan untuk perhitungan koreksi pasang surut. Pada pembacaan gayaberat akan selalu ditambahkan dengan harga koreksi pasang surut.

$$G_t = G_{obs} + Tide_{obs} \quad (7)$$

Dimana :

G_t = gayaberat yang telah terkoreksi pasang surut

G_{obs} = gayaberat pembacaan

$Tide_{obs}$ = koreksi pasang surut

3.3.2 Koreksi Apungan (*Drift Correction*)

Adanya pembacaan gayaberat yang berbeda pada suatu titik pengukuran (stasiun) yang sama dengan rentang waktu yang berbeda untuk itu dibutuhkan adanya *Drift Correction*. Kondisi tersebut karena adanya terdapat guncangan atau pergeseran pegas pada alat gravitometer. Untuk melakukan koreksi terhadap efek tersebut perlu akuisisi data gayaberat pada suatu *loop* (rangkaiian tertutup), dengan begitu penyimpangan nilai tersebut dapat diasumsikan linear pada selang waktu tertentu.

$$Drift_{(sn)} = \frac{(t_{sn} - t_b)}{(t_{b'} - t_b)} \cdot (G_{b'} - G_b) \quad (8)$$

Dimana :

$Drift_{(sn)}$ = koreksi *drift* stasiun-n

t_{sn}	= waktu pembacaan stasiun-n
t_b	= waktu pembacaan stasiun <i>base</i> pada awal <i>loop</i>
$t_{b'}$	= waktu pembacaan stasiun <i>base</i> pada akhir <i>loop</i>
G_b	= nilai pembacaan stasiun <i>base</i> pada awal <i>loop</i>
$G_{b'}$	= nilai pembacaan stasiun <i>base</i> pada akhir <i>loop</i>

Koreksi *drift* selalu dikurangkan terhadap pembacaan gravitometer.

$$G_{td} = G_t - Drift \quad (9)$$

Dimana:

G_{td} = gayaberat terkoreksi pasang surut dan *drift*

G_t = gayaberat terkoreksi pasang surut

3.3.3 Koreksi Udara Bebas (*Free-Air Correction*)

Koreksi ini perlu dilakukan dengan menarik titik pengukuran gravitasi ke dalam keadaan standar permukaan yaitu berbentuk *spheroid*, sehingga bidang pengukuran akan memiliki kondisi yang sama dengan *spheroid*, hal tersebut dikarenakan adanya efek dari variasi ketinggian terhadap medan gravitasi bumi. Dengan mengasumsikan bahwa besarnya nilai gravitasi teoritis pada suatu ketinggian h dari *mean sea level* akan selalu bertambah besar atau berkurang (Rosid, 2005)

$$FAC = -0.3086 h \text{ mGal} \quad (10)$$

Dimana perlu melakukan penambahan atau memperbesar nilai gravitasi pada titik pengukuran yang kita lakukan agar sama dengan nilai gravitasi di *spheroid*, hal tersebut dilakukan jika bidang atau titik pengukuran kita dalam kondisi yang lebih tinggi atau berada di atas bidang *spheroid* yang artinya di *spheroid* akan memiliki nilai gayaberat yang lebih besar apabila dibandingkan nilai gravitasi di titik pengukuran.

3.3.4 Koreksi *Bouguer*

Efek massa batuan yang mengisi ruang antara titik pengukuran serta bidang acuan perlu dihilangkan dengan melakukan koreksi *Bouguer*. Berikut persamaan yang digunakan untuk menghitung koreksi ini.

$$BC = 2\pi G \rho h \quad (11)$$

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

$$BC = 0.04191\rho h \quad (12)$$

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 ($2,67 \text{ gr/cm}^3$)

h : Ketinggian (m)

3.3.5 Koreksi Medan (*Terrain Correction*)

Daerah dengan topografi yang berbukit tidak cukup dengan hanya mendapatkan nilai anomali *Bouguer* saja seperti pada daerah dengan topografi yang datar, melainkan juga perlu dilakukan adanya koreksi medan atau *Terrain correction*. *Terrain correction* ini perlu dilakukan akibat dari pendekatan slab horizontal tidak berhingga, padahal berdasarkan kenyataannya bumi tidaklah memiliki bentuk yang datar. Gaya tarik antara pusat massa bukit atau pusat lembah yang memiliki massa kosong dengan pendulum gravimeter dihasilkan karena adanya bukit atau lembah yang berada di dekat stasiun pengukuran. *Hammer chart* digunakan untuk perhitungan koreksi medan atau *Terrain correction*.

3.3.6 Anomali *Bouguer*

Anomali *Bouguer* adalah perbedaan antara nilai *gravity* observasi (g_{obs}) dengan jumlah dari koreksi (koreksi medan, koreksi lintang, koreksi pasang surut, koreksi udara bebas, koreksi *Bouguer*, dan koreksi *drift*). Dimana variasi dari anomali *Bouguer* yaitu merefleksikan variasi densitas secara lateral, misalnya *Bouguer* anomali positif akan dihasilkan karena terdapat benda yang memiliki densitas tinggi berada di dalam medium yang memiliki densitas rendah. Sebaliknya, anomali *Bouguer* negatif akan dihasilkan karena terdapat benda yang memiliki densitas rendah yang berada pada medium yang memiliki densitas tinggi (Reynolds, 1997). Anomali *Bouguer* menggambarkan persebaran dari gayaberat berdasarkan kontras rapat massa batuan untuk perkiraan gambaran kondisi di bawah permukaan. Berikut persamaan perhitungan anomali *Bouguer*.

$$BA = g_{obs} - g_{\phi} + FAC + BC + TC \quad (13)$$

dimana,

g_{obs} : Harga gayaberat 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 yaitu nilai anomali ketinggian titik amat.

3.3 Analisis Spektrum

Analisis spektrum adalah suatu metode yang digunakan untuk mengetahui estimasi kedalaman pada anomali regional dan residual dari data anomali Bouguer. Kemudian, analisis ini dapat digunakan untuk menentukan *window filter* (lebar jendela filter) yang akan digunakan untuk proses separasi anomali regional dan residual (Nugraha, 2016). Untuk melakukan analisis spektrum ini yaitu dengan cara *Transformasi Fourier* lintasan yang telah kita tentukan pada peta kontur Anomali *Bouguer* Lengkap.

Transformasi Fourier sendiri merupakan suatu proses penyusunan kembali atau menguraikan suatu bentuk gelombang (fungsi) sembarang ke dalam suatu fungsi sinus (cosinus) dengan frekuensi bervariasi, kemudian hasil penjumlahan fungsi-fungsi sinus (cosinus) tersebut adalah bentuk fungsi aslinya (Kadir, 2000).

Berikut persamaan *Transformasi Fourier* penurunan spektrum dari potensial yang teramati pada suatu bidang horizontal (Blakely, 1996):

$$F(U) = \gamma \mu F\left(\frac{1}{r}\right) \text{ dan } F\left(\frac{1}{R}\right) = 2\pi \frac{e^{|k|(z_0-z_1)}}{|k|} \quad (14)$$

Dimana

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

U = potensial gayaberat

μ = anomali rapat massa

γ = konstanta gayaberat

r = jarak

Gerak vertikal gayaberat yang diakibatkan oleh suatu titik massa merupakan hasil turunan *derivative* dari potensial gayaberatnya :

$$g_z = Gm \frac{\partial}{\partial z} \frac{1}{r} \quad (15)$$

$$F(g_z) = GmF \frac{\partial}{\partial z} \frac{1}{r} \quad (16)$$

$$F(g_z) = Gm \frac{\partial}{\partial z} F \frac{1}{r} \quad (17)$$

Pada lintasan yang diinginkan besar nilai *Transformasi Fourier* adalah sebagai berikut

$$F(g_z) = 2\pi Gme^{|k|(z_0-z_1)}, \quad z_1 > z_0 \quad (18)$$

Apabila rapat massa terdistribusi secara random dan tidak ada hubungan antara masing-masing nilai gayaberat, maka $m=1$ sehingga didapat nilai *Transformasi Fourier* anomali gayaberatnya yaitu:

$$A = C e^{|k|(z_0-z_1)} \quad (19)$$

Dimana:

A = amplitudo

C = konstanta

Sehingga kita perlu melogaritmakan persamaan $A = C e^{|k|(z_0-z_1)}$ untuk memperoleh korelasi antara amplitudo (A) dengan bilangan gelombang (k) dan dengan kedalaman (z_0-z_1), sehingga bilangan gelombang sebesar k akan berbanding lurus dengan *spectral amplitude*.

$$\ln A = \ln 2\pi Gme^{|k|(z_0-z_1)} \quad (20)$$

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

Maka apabila dianalogikan dalam persamaan garis lurus sebagai berikut:

$$y = mx + c \quad (22)$$

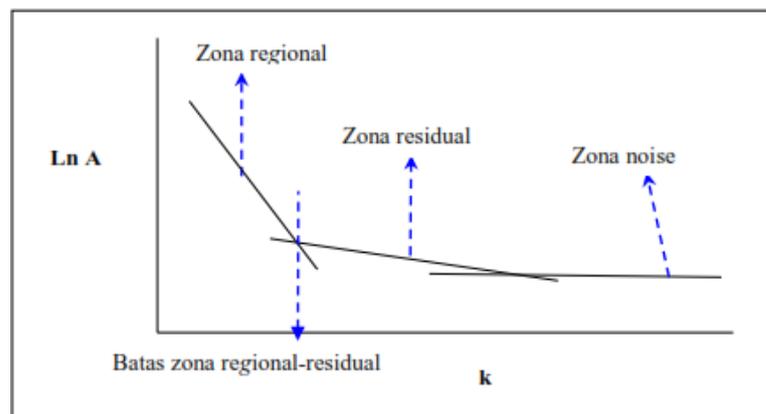
Dimana $\ln A$ sebagai sumbu y , $(z_0 - z_1)$ sebagai kemiringan garis (gradien), dan $|k|$ sebagai sumbu x . Sehingga, kemiringan garisnya merupakan kedalaman bidang dalam serta dangkal $|k|$ sebagai sumbu x didefinisikan dengan bilangan gelombang yang besarnya $\frac{2\pi}{\lambda}$ serta satuannya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

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{2\pi}{k_c \Delta x} \quad (23)$$

Nilai Δx sama dengan λ , terdapat faktor lain pada Δx , yaitu konstanta pengali, sehingga $\lambda = N \cdot \Delta x$, konstanta N didefinisikan sebagai lebar jendela, maka dapat dirumuskan nilai N sebagai berikut:

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

Dimana Δx merupakan domain spasi yang akan digunakan dalam *Fast Fourier Transform* (FFT), dan kc adalah bilangan gelombang *cutoff*. Sehingga nilai frekuensi akan semakin tinggi, dengan semakin besarnya nilai k . Digunakan persamaan $k = 2\pi f$ untuk mendefinisikan hubungan bilangan gelombang k dengan frekuensi f , sumber anomali regional menghasilkan frekuensi yang sangat rendah dan sumber anomali residual menghasilkan frekuensi tinggi.



Gambar 10. Kurva Ln A terhadap K (Blakely, 1996).

3.4 Filter Moving Average

Filter Moving Average ini yaitu dilakukan dengan cara mencari rata-rata nilai anomalnya. Metode ini akan menyaring data anomali *Bouguer* lengkap dengan lebar jendela merupakan rata-rata dari setiap lintasan yang telah melalui analisis spektrum. Anomali regional merupakan hasil dari metode *filter moving average*. Dari selisih anomali *Bouguer* dengan anomali regional akan diperoleh anomali residual. *Filter Moving Average* merupakan salah satu bentuk penyaringan secara *low pass filter*, yaitu meloloskan frekuensi rendah dan menghilangkan frekuensi tinggi. Nilai anomali residual akan mendekati nilai anomali *Bouguer* dengan semakin lebarnya jendela yang digunakan (Setiadi, 2010).

Adapun dirumuskan persamaan *moving average* pada 1-D, yaitu sebagai berikut.

$$\Delta g_{reg}(i) = \frac{\Delta g(i-n) + \dots + \Delta g(i) + \dots + \Delta g(i+n)}{N} \quad (25)$$

Keterangan :

i = nomor stasiun

N = lebar jendela

$$n = \frac{N-1}{2} \quad (26)$$

Δg_{reg} = besarnya anomali regional

Untuk penerapan pada peta dua dimensi, yaitu dengan cara mencari rata-rata semua nilai yang terdapat dalam sebuah kotak persegi dengan titik pusat sehingga didapat harga pada suatu titik adalah titik yang kan dihitung harganya. Misalnya dengan lebar jendela 3, maka nilai *moving average*, yaitu:

$$\Delta g_{reg} = \frac{1}{9} \sum_{N=1}^9 \Delta g(n) \quad (27)$$

Berikut persamaan untuk mendapatkan nilai anomali residual Δg_{res} :

$$\Delta g_{res} = \Delta g - \Delta g_{reg} \quad (28)$$

Dimana Δg merupakan anomali *Bouguer* total (Diyanti, 2014).

3.5 Metode *First Horizontal Derivative* (FHD)

First Horizontal Derivative (FHD) atau *Horizontal gradient* digunakan pada data gravitasi untuk menentukan lokasi batas kontak kontras densitas horizontal. *Horizontal derivative* pada data anomali gayaberat ini merupakan suatu perubahan nilai anomali gayaberat dari satu titik ke titik lain dengan jarak tertentu. *Horizontal derivative* dari suatu anomali gayaberat yang disebabkan oleh suatu *body* cenderung untuk menunjukkan tepi dari *body* tersebut. Persamaan di bawah ini digunakan untuk menghitung nilai FHD, yaitu sebagai berikut.

$$FHD = \frac{g_{(i+1)} + g_{(i)}}{\Delta x} \quad (29)$$

dengan :

g = nilai anomali (mgal)

Δx = Selisih antara jarak pada lintasan (m)

FHD = *First Horizontal Derivative*

3.6 Metode *Second Vertical Derivative* (SVD)

Second Vertical Derivative (SVD) dilakukan untuk memunculkan efek dangkal dari pengaruh regionalnya yang digunakan untuk mendeteksi anomali yang disebabkan oleh struktur. *Second Vertical Derivative* (SVD) ini yaitu diturunkan

dari persamaan Laplace's. Berdasarkan teori metode ini diturunkan dari persamaan Laplace's pada anomali gayaberat di permukaan menggunakan yaitu sebagai berikut.

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

atau :

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

sehingga nilai SVD menjadi:

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

Kemudian untuk data 1-D (data penampang) persamaannya yaitu sebagai berikut.

$$\frac{\partial^2 \Delta g}{\partial z^2} = \frac{\partial^2 \Delta g}{\partial x^2} \quad (33)$$

Persamaan SVD data 1-D di atas diketahui bahwa nilai *second vertical derivative* dari suatu anomali gayaberat permukaan adalah sama dengan negatif dari derivatif orde dua horizon. Artinya bahwa anomali *second vertical derivative* dapat diketahui melalui derivatif horizontal

Tabel 3. Operator filter SVD

1. SVD Tipe Henderson & Zietz (1949)

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

2. SVD Tipe Elkins (1951)

0.00	-0.0833	0.00	-0.0833	0.00
-0.0833	-0.6667	-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
------	---------	------	---------	------

3. SVD Tipe Rosenbach (1953)

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

Dimana dalam metode ini yaitu dengan mengambil nilai turunan kedua dari anomali *Bouguer* sama dengan nol sebagai kontak dari kontras densitas antar dua lapisan batuan, dimana kontak tersebut dapat dikatakan sebagai struktur patahan ataupun intrusi (Sarkowi, 2010). Struktur patahan naik atau turun dapat ditentukan dari nilai anomali SVD dengan karakteristik yaitu sebagai berikut:

Sesar naik :

$$\left| \frac{\partial^2 g}{\partial z^2} \max \right| < \left| \frac{\partial^2 g}{\partial z^2} \min \right| \quad (34)$$

Sesar turun:

$$\left| \frac{\partial^2 g}{\partial z^2} \max \right| > \left| \frac{\partial^2 g}{\partial z^2} \min \right| \quad (35)$$

3.7 Metode Magnetotellurik (MT)

Metode magnetotellurik (MT) merupakan metode elektromagnetik (EM) pasif yang mengukur fluktuasi medan listrik (E) serta medan magnet (H) alami pada arah yang orthogonal dengan arah permukaan bumi dengan tujuan untuk menentukan konduktivitas bawah permukaan bumi dari kedalaman puluhan meter sampai dengan ribuan meter (Simpson dan Bahr, 2005). Adapun rentang frekuensi dari medan elektromagnetik yang bisa direkam oleh metode ini yaitu berkisar 300-0.001 Hz.

Induksi medan magnet pada bawah permukaan bumi dihubungkan dengan medan EM dan resistivitas batuan. Diketahui bahwa umumnya kebanyakan

batuan merupakan konduktor yang buruk. Adapun pada resistivitas batuan yaitu akan besar secara ekstrim apabila batuan tersebut bersifat kompak. Hukum Archie, menjelaskan secara empiris untuk mendapatkan nilai resistivitas formasi batuan (ρ),

$$\rho = a\phi^{-m}S_w^{-n}\rho_w$$

Pada persamaan di atas diketahui bahwa, a merupakan koefisien yang bergantung pada litologi, m dan n merupakan faktor sementasi, ρ_w adalah resistivitas fluida di formasi, ϕ adalah porositas, S_w adalah saturasi fluida (Bedrosian, 2001). Dapat dilihat pada persamaan di atas menunjukkan bahwa nilai resistivitas berbanding terbalik dengan porositas.

Adapun sifat perambatan gelombang EM yang didasarkan pada persamaan Maxwell yaitu sebagai berikut:

$$\nabla \times E = -\frac{\partial B}{\partial t} \quad \text{Hukum Faraday} \quad (36)$$

$$\nabla \times H = J_r + \frac{\partial D}{\partial t} \quad \text{Hukum Ampere} \quad (37)$$

$$\nabla \times B = 0 \quad \text{Hukum Kontinuitas Fluks Magnet} \quad (38)$$

$$\nabla \times D = n_f \quad \text{Hukum Coulomb} \quad (39)$$

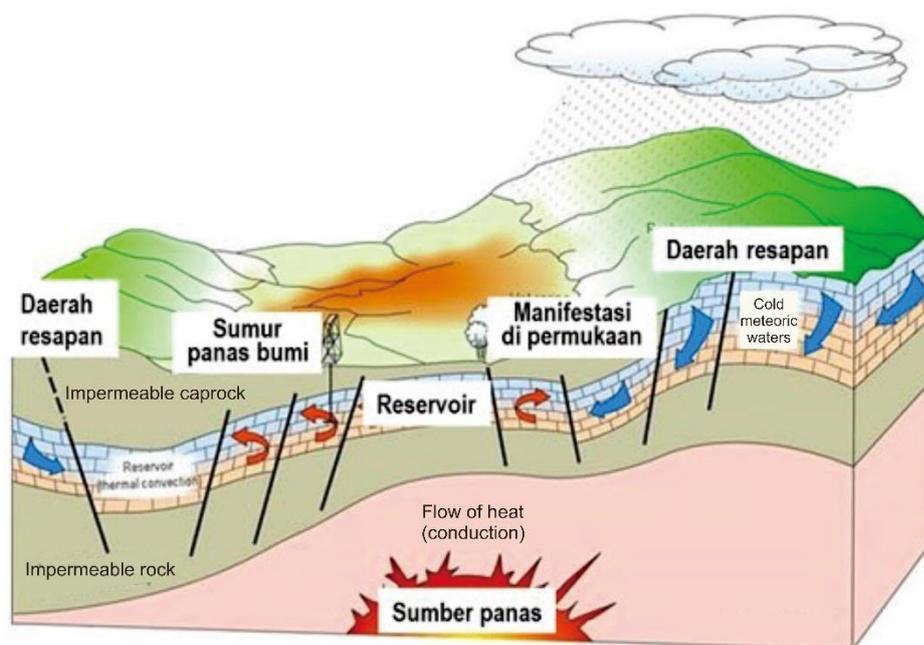
Dimana E adalah medan listrik (V/m), B adalah induksi magnetik (T), H adalah intensitas magnet (A/m), D adalah *displacement current* (C/m²), J_r adalah densitas arus listrik (A/m²), n_f adalah densitas muatan listrik (C/m³).

Hukum Faraday disini yaitu menjelaskan mengenai perubahan induksi medan magnetik terhadap waktu akan menyebabkan timbulnya perubahan medan listrik. Hukum Ampere menjelaskan bahwa adanya sumber arus listrik serta perubahan medan listrik terhadap waktu menyebabkan terbentuknya medan magnetik. Hukum Kontinuitas menyatakan bahwa tidak ada medan magnetik yang bersifat monopol. Hukum Coulomb yaitu menjelaskan mengenai adanya muatan listrik akan menimbulkan medan listrik (Telford dkk, 1990).

3.8 Sistem Panasbumi

Energi panasbumi yaitu salah satu energi yang berkelanjutan serta ramah lingkungan. Energi panasbumi ini tidak dapat habis serta terjaga

keseimbangannya, hal tersebut dikarenakan proses pembentukannya yang terus menerus selama kondisi lingkungannya (geologi dan hidrologi). Sistem panasbumi merupakan perpindahan panas secara alami pada suatu volume tertentu dari kerak bumi (sumber panas) menuju tempat pelepasan panas yaitu berupa permukaan tanah pada umumnya (Hochstein dan Browne, 2000).



Gambar 11. Sistem panasbumi (Dickson dan Fanelli, 2004).

Menurut Suhartono (2012), 6 syarat sumber panas yaitu dapat dibedakan ke dalam energi geothermal, antara lain adalah sebagai berikut.

1. Terdapat batuan panasbumi berupa magma,
2. Terdapat persediaan air tanah secukupnya yang sirkulasinya dekat dengan sumber magma agar dapat terbentuk uap air panas,
3. Terdapat batuan reservoir yang mampu menyimpan uap dan air panas,
4. Terdapat *caprock* atau batuan keras yang menahan uap dan air panas.
5. Terdapat gejala-gejala tektonik, yaitu berupa rekahan-rekahan pada kulit bumi yang memberikan jalan kepada uap dan air panas bergerak ke permukaan bumi,
6. Panasnya harus mencapai suhu tertentu minimum yaitu 180°-250°C.

Dalam memperkirakan suatu sumber daya panasbumi yaitu dapat dilakukan dengan didasarkan pada suatu data geologi dan geofisika yaitu sebagai berikut.

1. Kedalaman, ketebalan dan pesebaran reservoir
2. Properti dari formasi batuan
3. Salinitas dan geokimia fluida reservoir
4. Temperatur, porositas dan permeabilitas formasi batuan.

3.9 Geokimia Panasbumi

Analisis geokimia pada suatu sistem panasbumi yaitu digunakan untuk mengetahui karakteristik fluida dalam sistem panasbumi yang meliputi temperatur, tipe fluida reservoir, asal *fluida recharge*. Adapun untuk menghitung suatu temperatur fluida panasbumi yaitu dapat menggunakan dua metode yaitu geotermometer Na-K dan Silika. Geotermometer panasbumi rasio Na-K mengamati sodium dan potassium untuk menunjukkan suhu tinggi di bawah permukaan (Giggenbach, 1988). Adapun perumusan yang digunakan dalam perhitungan Na-K yaitu sebagai berikut.

$$t^{\circ}\text{C} = \frac{1217}{\left[\log\left(\frac{Na}{K}\right)+1483\right]} - 273 \quad (40)$$

$$t^{\circ}\text{C} = \frac{1390}{\left[\log\left(\frac{Na}{K}\right)+1750\right]} - 273 \quad (41)$$

Tipe fluida panasbumi dapat diketahui berdasarkan diagram terner yaitu melalui pengeplotan konsentrasi Cl-SO₄-HCO₃, sehingga dapat diketahui pula arah tipe fluida panasbumi pada daerah penelitian berupa kondensat uap, tipe klorida, klorida-sulfat dan dilute (Cl-HCO₃). Adapun isotop stabil yang terdiri dari dan Karbon (¹²C, ¹³C), Oksigen (¹⁶O, ¹⁸O), Hidrogen (¹H, ²H, atau D-detrium) dan Sulfur (³²S, ³⁴S) dapat digunakan untuk mengetahui asal air *recharge* yang mengisi reservoir. Kandungan suatu air meteorik sama dengan kandungan D-detrium pada air panas, serta kandungan ¹⁸O pada fluida panasbumi akan lebih positif dari air meteorik.

4.2 Alat dan Bahan

Adapun alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Laptop
2. *Softfile* Peta Lembar Geologi
3. *Softfile* Peta Anomali *Bouguer* Daerah Panasbumi Malingping
4. Peta geologi Daerah Panasbumi Malingping
5. Penampang magnetotellurik Daerah Panasbumi Malingping
6. Data geokimia Daerah Panasbumi Malingping.
7. *Software ArcGis V 10.3*
8. *Software Surfer 13*
9. *Software Microsoft Excel 2016*
10. *Software Microsoft Word 2016*
11. *Geosoft Oasis Montaj 8.4*
12. *Grablox 1.7.*

4.3 Prosedur Penelitian

Adapun prosedur penelitian yang dilakukan pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Peta Anomali *Bouguer*

Data gayaberat yang diolah pada penelitian merupakan data gayaberat sekunder yaitu berasal dari nilai anomali *Bouguer* lengkap. Pada data ini yaitu kemudian dilakukan proses *gridding data* menggunakan *software* Surfer 13 untuk memperoleh peta anomali *Bouguer*. Proses ini dilakukan dengan cara membuka menu *New Contour Map*, selanjutnya yaitu *Open Grid* data yang telah dibuat dan jadilah peta Anomali *Bouguer*.

2. Analisis Spektrum

Berdasarkan pada peta anomali *Bouguer* yaitu dilakukan digitasi dengan membuat 5 lintasan. Setelah diperoleh hasil digitasi, kemudian dilakukan proses *slice* pada setiap lintasan. Pada *slice* lintasan tersebut, selanjutnya dilakukan *Transformasi Fourier* yang digunakan sebagai analisis spektrum untuk menentukan nilai lebar jendela.

3. Pemisahan Anomali Regional dan Residual

Filter *moving average* digunakan untuk memfilter anomali gayaberat, yaitu memisahkan nilai anomali regional dan anomali residual. Pada filter *moving average* ini dimasukkan nilai lebar jendela dari hasil perhitungan. Adapun anomali residual didapatkan dengan cara mengurangkan nilai anomali *Bouguer* dengan anomali regional.

4. Analisis *Derivative*

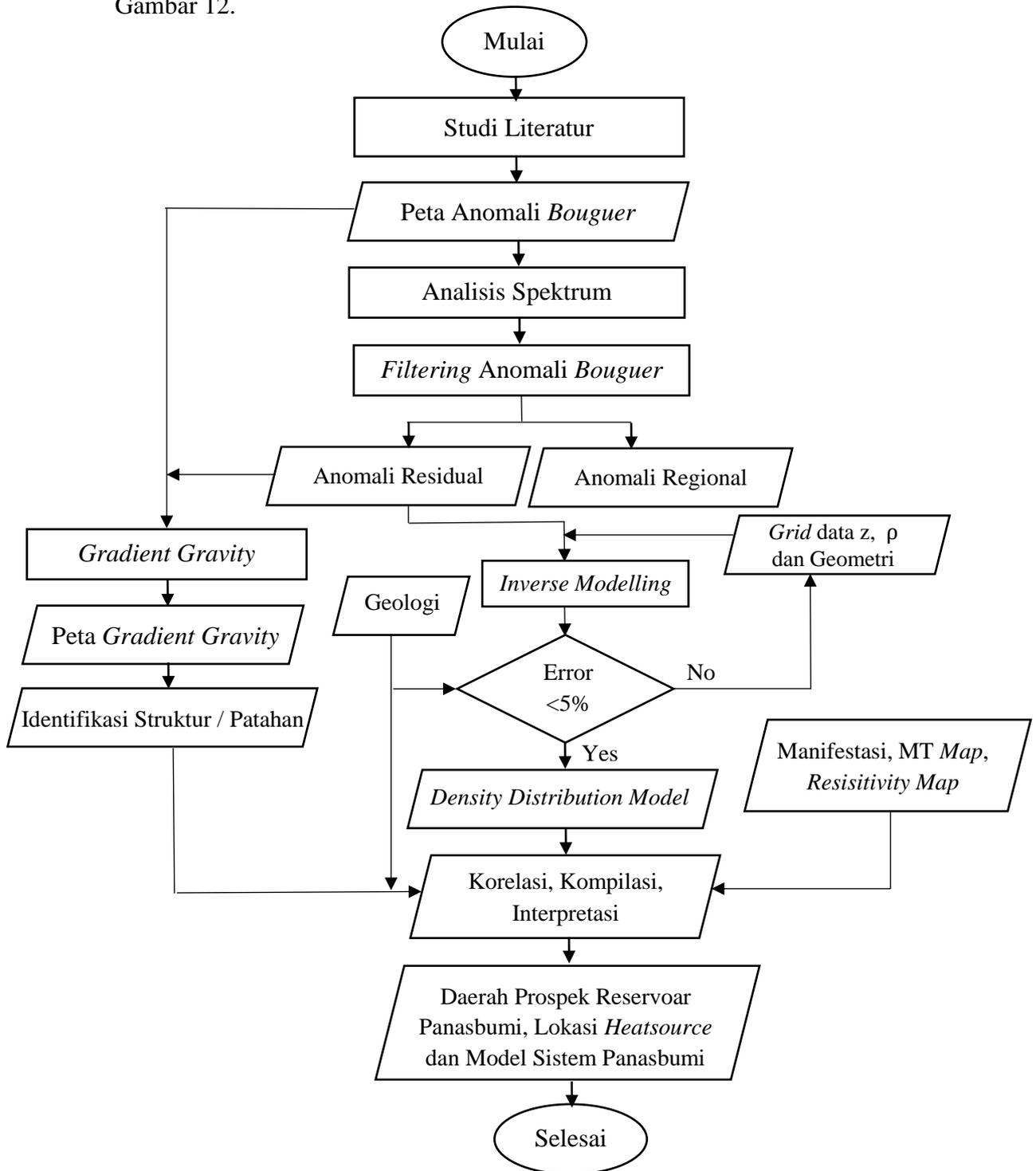
Analisis *derivative* yang digunakan dalam pemrosesan data yaitu *First Horizontal Derivative* (FHD), *Second Horizontal Derivative* (SHD) dan *Second Vertical Derivative* (SVD). Filter SVD ini dilakukan dengan menggunakan metode Henderson yang digunakan pada peta anomali residual untuk menentukan batas-batas struktur yang ada pada daerah penelitian. Dimana hasil dari pengolahan analisis *derivative* ini akan digunakan sebagai data pendukung analisis struktur bawah permukaan untuk mengetahui sebaran patahan daerah penelitian.

5. Pemodelan Bawah Permukaan

Pemodelan bawah permukaan ini yaitu merupakan pemodelan 3D, dimana menggunakan *software Grablox 1.7* dan *software Geosoft Oasis Montaj 8.4*. Pemodelan ini dilakukan dengan cara menginput data *mesh* serta data anomali residual untuk membuat suatu model 3D dari daerah penelitian yang mendekati model yang sebenarnya. Selanjutnya dilakukan analisis untuk mengetahui reservoir dan *heat source* panasbumi daerah penelitian. Kemudian dilakukan korelasi dengan data magnetotellurik, geologi dan geokimia daerah penelitian.

4.4 Diagram Alir

Adapun diagram alir pada penelitian kali ini adalah sebagai berikut pada Gambar 12.



Gambar 12. Diagram alir penelitian.

VI. KESIMPULAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan pengolahan data gayaberat dan interpretasi data yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Berdasarkan pengolahan gayaberat yang telah dilakukan, maka didapatkan kedalaman anomali regional daerah penelitian yaitu 4478 m, dan kedalaman anomali residual daerah penelitian yaitu 552 m.
2. Berdasarkan pemodelan gayaberat didapatkan model distribusi densitas bawah permukaan daerah panasbumi Malingping, dimana hasil *slicing* penampang 3D pemodelan inversi, model patahan diturunkan dari penampang FHD (maksimum atau minimum) dan SHD=0, adapun nilai densitas yang rendah diasumsikan sebagai reservoir. Hasil *slicing* 1 ini merupakan patahan naik, *slicing* 2 merupakan patahan turun atau sesar normal dan *slicing* 3 merupakan patahan turun atau sesar normal.
3. Berdasarkan model distribusi densitas bawah permukaan daerah panasbumi Malingping, reservoir ini berada pada formasi cipacar (Tpc) dan formasi bojongmanik (Tmb) yang diduga sampai dengan kedalaman 2000 m dengan nilai densitas 2,0 – 2,4 gr/cc. Zona prospek reservoir gayaberat ini lebih luas dibandingkan dengan zona prospek panasbumi terduga (MT). Keberadaan reservoir juga didukung oleh penampang resistivitas MT yang menunjukkan adanya reservoir pada daerah tersebut yang dibatasi oleh sesar.

6.2 Saran

Saran yang dapat diberikan dalam penelitian ini yaitu dalam studi penelitian dilakukan dengan menggunakan survei lanjutan dengan menggunakan metode geofisika lainnya, seperti metode mikroseismik agar hasil yang didapatkan lebih maksimal dan dapat menggambarkan bawah permukaan yang lebih akurat.

DAFTAR PUSTAKA

- Alimron. 2019. Identifikasi Persebaran Lapisan Batuan Andesit Menggunakan Metode Geolistrik Tahanan Jenis dan Resistivity Log pada Desa Malingping Utara, Kecamatan Malingping Utara, Kabupaten Lebak. Skripsi. Fakultas Teknik Jurusan Teknik Geofisika, Universitas Lampung : Bandar Lampung.
- Badan Informasi Geospasial. 2018. *Portal pencarian dan integrasi informasi geospasial melalui Ina-SDI*. Diakses pada tanggal 4 November 2021, dari <https://tanahair.indonesia.go.id>.
- Badan Informasi Geospasial. 2019. *Spesifikasi Demnas BIG*. Diakses pada 2 November 2021, dari <https://tanahair.indonesia.go.id>.
- Bemmelen, R.W. 1949. *The Geology Indonesia*. Tha Hague Martinus.
- Blakely, R. J. 1996. *Potensial Theory in Gravity and Magnetic Applications*. Cambridge University Press. Cambridge.
- Broto, K. S. 2001. *Teori dan Aplikasi Metode Gravitasi*. Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.
- Dickson, M. H., dan Fanelli, M. 2004. *What Is Geothermal Energy*. International Geothermal Association, Bochum.
- Diyanti, A. 2014. Interpretasi Struktur Geologi Bawah Permukaan Daerah Leuwidamar Berdasarkan Analisis Spektral Data Gayaberat. Skripsi. Prodi Fisika FPMIPA Universitas Pendidikan Indonesia. Bandung.
- Ervan, M., dan Subagio. 2021. Potensi Geologi Daerah Banten dan Sekitarnya Berdasarkan Anomali Gayaberat. *Jurnal Geologi dan Sumberdaya Mineral*. Vol. 22 No. 3, (165-175).

- Giggenbach, W. 1988. Geothermal solute equilibria. Derivation of Na-K-Mg-Ca geoindicators. *Geochemica et Cosmochimica Acta*. Vol. 52, p. 2749-2765
- Grandis, H. 2009. *Pengantar Pemodelan Inversi Geofisika*. Himpunan Ahli Geofisika Indonesia. Jakarta.
- Hidayat, N., dan Basid, A. 2011. Analisis Anomali Gravitasi Sebagai Acuan dalam Penentuan Struktur Geologi Bawah Permukaan dan Potensi Geothermal. *Jurnal Neutrino*. Vol.4, No.1 (35-47).
- Hochstein, M. P., dan Browne, P. R. L. 2000. *Surface Manifestation of Geothermal System with Volcanic Heat Source*. Roma: Academic Press.
- Kadir, W. G. 2000. *Eksplorasi Gayaberat dan Magnetik*. Jurusan Teknik Geofisika Fakultas Ilmu Kebumihan dan Teknologi Mineral. ITB.
- Kementerian Energi Dan Sumber Daya Mineral. 2018. *Kini Indonesia Menjadi Produsen Listrik Panasbumi Terbesar Kedua Dunia*. Diakses pada 29 Oktober 2021, dari <https://www.esdm.go.id/id/media-center/arsip-berita/kini-indonesia-menjadi-produsen-listrik-panas-bumi-terbesar-kedua-dunia>.
- Nugraha, P. 2016. Penentuan Kedalaman Optimum Anomali Gayaberat dengan Metode Korelasi antara Analisis Spektrum dan Continuation Studi Kasus Semarang Jawa. Skripsi. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Program Studi Fisika. Semarang.
- Risdianto, D., dan Kusnadi, D. 2013. *Survei Terpadu Geologi Dan Geokimia Daerah Panasbumi Malingping Kabupaten Lebak, Provinsi Banten*. Laporan Penelitian. Pusat Sumber Daya Geologi. Bandung.
- Sarkowi, M. 2008. Karakteristik Gradien Gayaberat Untuk Interpretasi Anomali Gayaberat Mikro Antar Waktu. *Seminar Hasil Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat*. Universitas Lampung, Bandar Lampung.
- Sarkowi, M. 2010. Identifikasi Struktur Daerah Panasbumi Ulubelu Berdasarkan Analisis Data SVD Anomali Bouguer. *Jurnal Sains MIPA*. Vol. 16, No.2, Hal.111-118.
- Setiadi, I., Setyanta, B., dan Widijono, B. S. 2010. Delineasi Cekungan Sedimen Sumatera Selatan Berdasarkan Analisis Data Gayaberat. *Jurnal Geo-Sciences*. Vol. 20, No 2 (93-106).

- Simamora, W. H. 2006. Anomali Geomagnet, Kaitannya dengan Zone Mineralisasi di Daerah Malingping, Bayah, dan sekitarnya, Kabupaten Lebak, Provinsi Banten. *Jurnal Sumber Daya Geologi*, 16 (5): 285-301.
- Simpson, F., dan Bahr, K. 2005. *Practical Magnetotellurics*. United Kingdom. Cambridge University Press.
- Suhartono, N. 2012. Pola Sistem Panas dan Jenis Geothermal dalam Estimasi Cadangan Daerah Kamojang. *Jurnal Ilmiah MTG*, 5(2):1-14.
- Supriyadi, Y., Sugianto, A., dan Widodo, S. 2014. *Survei Geofisika Terpadu (Audio Magnetotelurik Dan Gayaberat) Daerah Panasbumi Malingping Kabupaten Lebak, Provinsi Banten*. Laporan Penelitian. Pusat Sumber Daya Geologi. Bandung.
- Telford, W. M., Geldart, L. P., dan Sherrif, R. E. 1976. *Applied Geophysics*. USA: Cambridge University.
- Telford, W. M., Geldart, L. P., dan Sheriff, R. E. 1990. *Applied Geophysics Second Edition*. Cambridge University Press.
- Walidah, I. 2011. Penentuan Struktur Bawah Permukaan Berdasarkan Analisis dan Pemodelan Data Gayaberat untuk Melihat Potensi Hidrokarbon pada Daerah "FW1807" Cekungan Jawa Timur Utara. Skripsi. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Program Studi Fisika. Depok.
- Wahyuningsih, F. 2017. Pendugaan Struktur Bawah Permukaan dan Reservoir Lapangan Panasbumi Malingping Berdasarkan Analisis Data Gayaberat. Skripsi. Fakultas Teknik Jurusan Teknik Geofisika, Universitas Lampung : Bandar Lampung.
- Yusuf, M. 2011. Analisis Data Gayaberat Kombinasi Gravimeter Absolut (A10) dan Gravimeter Relatif (Lacoste Romberg). Skripsi. Bandung: Institut Teknologi Bandung.