

**PENDUGAAN STRUKTUR BAWAH PERMUKAAN DAN  
RESERVOAR LAPANGAN PANASBUMI MALINGPING  
BERDASARKAN ANALISIS DATA GAYABERAT**

**Oleh  
Fitri Wahyuningsih**

**Skripsi**



**KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI DAN PENDIDIKAN TINGGI  
TEKNIK GEOFISIKA  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
2017**

## **ABSTRACT**

### **THE ASSUMPTION OF THE PRESENCE OF SUB-SURFACE STRUCTURE AND RESERVOIR IN MALINGPING GEOTHERMAL FIELD ACCORDING TO GRAVITY DATA ANALYSIS**

**By  
FITRI WAHYUNINGSIH**

Malingping geothermal field is located in Lebak, Banten Province and hold surface manifestation namely hot spring Citando which surface temperature is 53,6<sup>o</sup> C. Sub-surface structure identification had been done according to gravity methode by SVD analysis, 2,5D forward modelling, and 3D inverse modelling therefore obtained the tentative model by correlated it with 2D AMT inverse model and geochemistry data.

Based on the qualitative interpretation, the Bouguer anomaly showed high value anomaly (<120 mGal/m<sup>2</sup>) in the Southeast and low anomaly (<100 mGal/m<sup>2</sup>) in the north. From spectrum analysis, was acquired 39x39 as the window size to be used in separation of regional anomaly and residual anomaly. The regional anomaly represented low anomaly in the North and spread away to the South. Meanwhile, the residual anomaly showed low anomaly respon around the manifestation area which assumed built up by sedimentary rock.

Quantitative interpretation was done based on the results from 2.5 forward modelling, 3D inverse modelling and SVD analysis. SVD showed the biggest fault

which direction NW-SE as upper fault and well-associated with the surface manifestation. Cap rock assumed to be in 800-1000 meters from the top soil whereas the reservoir zone is assumed to be in Cipacar Formation ( $\rho = 2,35 \text{ gr/cm}^3$ ), Bojongmanik Formation ( $\rho = 2,6 \text{ gr/cm}^3$ ), and Cimapag Formation ( $\rho = 2,76 \text{ gr/cm}^3$ ). There also was found an indication of intrusion from Cimapag Formation ( $\rho = 2,9 \text{ gr/cm}^3$ ) assumed as rock in which still has remnant heat.

Based on the intergrated interpretation, the Malingping geothermal Field is categorized into water dominated system with moderate terrain and moderate temperature which assumed to be associated with heat-sweep setting system in active rift zone and fracture zone system.

Keywords: gravity, geothermal, Malingping, tentative model

## **ABSTRAK**

### **PENDUGAAN STRUKTUR BAWAH PERMUKAAN DAN RESERVOAR LAPANGAN PANASBUMI MALINGPING BERDASARKAN ANALISIS DATA GAYABERAT**

**Oleh**

**FITRI WAHYUNINGSIH**

Lapangan panasbumi Malingping secara administratif berada di Kabupaten Lebak Provinsi Banten dan memiliki manifestasi permukaan berupa mata air panas Citando dengan suhu  $53,6^{\circ}$  C. Identifikasi struktur bawah permukaan dilakukan berdasarkan analisis *Second Vertical Derivative* (SVD), pemodelan ke depan 2,5D, serta model inversi 3D gayaberat sehingga didapatkan model tentatif dengan mengorelasikannya dengan data pendukung berupa model inversi 2D AMT dan data geokimia

Berdasarkan interpretasi kualitatif, anomali Bouguer menunjukkan nilai anomali tinggi ( $>120$  mGal) di arah Tenggara daerah penelitian dan anomali rendah ( $<100$  mGal) di sebelah Utara. Dari analisis spektrum didapatkan lebar jendela  $39 \times 39$  yang digunakan dalam pemisahan anomali regional dan anomali residual. Anomali regional menunjukkan anomali rendah di sebelah Utara dan menyebar hingga Selatan. Sedangkan anomali residual menunjukkan adanya *trend* anomali rendah di sekitar daerah manifestasi yang diperkirakan sebagai respon dari batuan sedimen.

Interpretasi kuantitatif dilakukan pada hasil pemodelan ke depan 2,5D, inversi 3D serta analisa SVD. Hasil analisis SVD menunjukkan patahan besar berarah Baratlaut-Tenggara merupakan patahan naik dan diduga berkorelasi dengan adanya manifestasi air panas Citando. Zona *caprock* diduga berada pada kedalaman 500-1000 meter dari *top soil*. Sementara zona resevoir diduga berada pada Formasi Cipacar ( $\rho = 2,35 \text{ gr/cm}^3$ ), Formasi Bojongmanik ( $\rho = 2,6 \text{ gr/cm}^3$ ), dan Formasi Cimapag ( $\rho = 2,76 \text{ gr/cm}^3$ ). Hasil pemodelan gayaberat juga menunjukkan adanya intrusi batuan dari Formasi Cimapag ( $\rho = 2,9 \text{ gr/cm}^3$ ) dan diduga sebagai batuan yang masih memiliki sisa panas.

Berdasarkan interpretasi terpadu, lapangan panasbumi Malingping diperkirakan sebagai sistem dominasi air dengan terrain yang relatif datar yang dikontrol oleh sistem *heat-sweep setting* pada lempeng tektonik aktif serta sistem zona *fracture*.

Kata kunci: gayaberat, panabumi, Malingping, model tentatif.

**PENDUGAAN STRUKTUR BAWAH PERMUKAAN DAN  
RESERVOAR LAPANGAN PANASBUMI MALINGPING  
BERDASARKAN ANALISIS DATA GAYABERAT**

**Oleh  
Fitri Wahyuningsih**

**Skripsi**

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai gelar  
SARJANA TEKNIK

Pada  
Jurusan Teknik Geofisika  
Fakultas Teknik Universitas Lampung



**KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI DAN PENDIDIKAN TINGGI  
TEKNIK GEOFISIKA  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
2017**

Judul Skripsi

**: PENDUGAAN STRUKTUR BAWAH  
PERMUKAAN DAN RESERVOAR LAPANGAN  
PANAS BUMI MALINGPING BERDASARKAN  
ANALISIS DATA GAYABERAT**

Nama Mahasiswa

**: FITRI WAHYUNINGSIH**

Nomor Pokok Mahasiswa : 1115051017

Jurusan

: Teknik Geofisika

Fakultas

: Teknik

**MENYETUJUI**

1. Komisi Pembimbing

**Pembimbing II**

**Pembimbing I**

**Rustadi, S.Si., M.T.**

NIP. 197205111997031000

**Dr. Muh. Sarkowi, S.Si., M.Si.**

NIP. 197112101997021001

2. Ketua Jurusan Teknik Geofisika

**Dr. Ahmad Zaenudin, S.Si., M.T.**

NIP. 197209121999031001

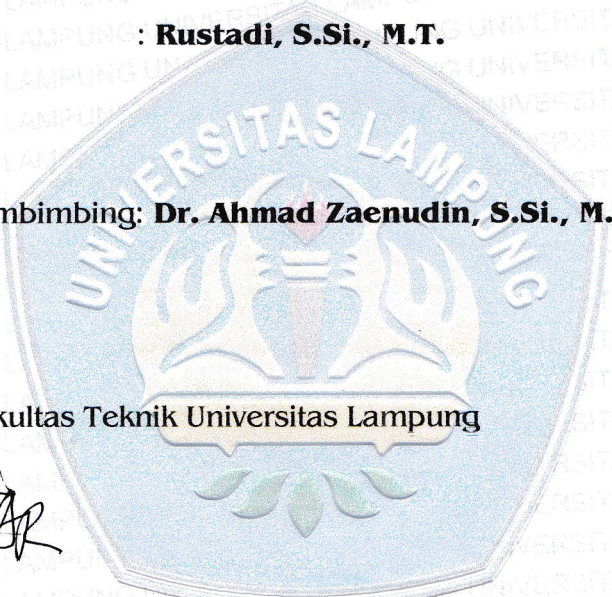
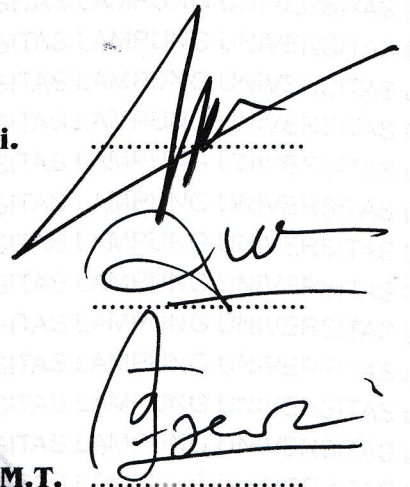
**MENGESAHKAN**

1. Tim Penguji

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

Sekretaris : **Rustadi, S.Si., M.T.** .....

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



2. Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung



**Prof. Dr. Suharno, M.S., M.Sc., Ph.D.**  
NIP. 196207171987301002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : **3 Februari 2017**

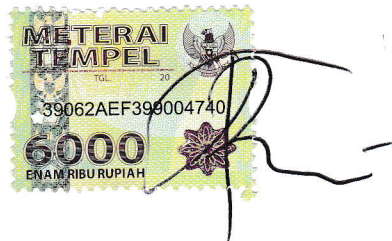


## PERNYATAAN

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

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

Bandarlampung, 12 Februari 2017



**Fitri Wahyuningsih**

## DAFTAR RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Kota Pringsewu pada 8 Maret 1995 sebagai anak pertama dari tiga bersaudara, dari Bapak Hadiyanto dan Ibu Sulasmi.

Pendidikan Sekolah Dasar (SD) diselesaikan di SD N 2 Tegalsari pada tahun 2006, Sekolah Menengah Pertama (SMP) di SMP N 1 Gadingrejo pada tahun 2009, dan Sekolah Menengah Atas (SMA) di program akselerasi SMA N 1 Gadingrejo pada tahun 2011.

Tahun 2011, penulis terdaftar sebagai mahasiswa Jurusan Teknik Geofisika Fakultas Teknik Universitas Lampung melalui jalur SNMPTN. Selama menjadi mahasiswa penulis loyal dan aktif dalam mengikuti jenjang kepengurusan pada Unit Kegiatan Penerbitan Mahasiswa (UKPM) Teknokra Universitas Lampung sehingga menjabat sebagai Kepala Kesekretariatan pada tahun 2014 serta sebagai Pemimpin Usaha pada tahun 2015. Selain itu penulis juga menjadi bagian dalam Himpunan Teknik Geofisika “Bhuwana” (HIMA TG “Bhuwana”) sebagai Anggota Bidang Sains dan Teknologi pada tahun 2012-2013.

Pada tahun 2014 penulis mengikuti kompetisi poster dalam acara Trapspot 2014 dan dipublikasi sebagai eposter di laman eposter.net pada tahun 2016.

Pada tahun 2015, penulis menjadi salah satu kontributor bersama 52 penyair Nusantara dalam Antologi puisi “Ode Kampung Halaman” yang diterbitkan oleh FAM Publishing. Pada tahun yang sama penulis melaksanakan Kerja Praktek (KP) di PT. Pertamina Geothermal Energy (PGE) Area Kamojang dan mempelajari metode *Microearthquake* untuk *monitoring* reservoir panasbumi. Kemudian tahun 2016, penulis melakukan penelitian sebagai bahan penyusunan Tugas Akhir (TA) di Laboratorium Teknik Geofisika menggunakan metode Gayaberat untuk menentukan struktur patahan serta melakukan analisa terpadu Geologi dan Geokimia untuk mendapatkan model sistem panasbumi. Hingga akhirnya penulis berhasil menyelesaikan pendidikan sarjananya pada Februari 2017.

## PERSEMBAHAN

Teruntuk

*Keluarga Besar*

*Orangtuaku terkasih, adik-adik, serta seluruh anggota  
keluarga besar kami.*

*Alamamater Tercinta: Teknik Geofisika Unila*

*Tempatku menempa diri dan menyelesaikan studi  
formal.*

*UKPM Teknokra Universitas Lampung*

*sebagai tempat belajar banyak hal khususnya dalam  
melatih mental untuk menjadi seorang pembelajar*

## MOTTO

“Kesalahan tidak membuat kita lemah. Yang memperlemah diri kita adalah menolak mengakui bahwa kita salah.”

*“If you read the books that everyone else is reading, you can only think what everyone else is thinking.”*  
(Harumi Murakami)

*It is not I follow my passion but my passion follows me.”*

*“Time is many things but not money.”* (Alice Kingsley)

*“Never do tomorrow what you can do today.  
Procrastination is the thief of time.”*

*“I am the captain of my ship and the master of my feet. My dream is my responsibility.”*  
(Dr. Ivan Joseph)

## **KATA PENGANTAR**

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

Skripsi ini mengangkat judul “Pendugaan Struktur Bawah Permukaan dan Reservoir Lapangan Panasbumi Malingping Berdasarkan Analisis Data Gayabarat”. Skripsi ini merupakan hasil dari Tugas Akhir yang penulis laksanakan di Laboratorium Teknik Geofisika, Universitas Lampung.

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

**Penulis**

**Fitri Wahyuningsih**

## SANWACANA

Puji syukur kehadirat Allah SWT, karena atas rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Skripsi ini berjudul **Identifikasi Struktur dan Model Sistem Panasbumi Daerah Malingping Berdasarkan Analisis Data Anomali Bouguer**. Penulis berharap, karya yang merupakan wujud kerja dan pemikiran maksimal serta didukung dengan bantuan dan keterlibatan berbagai pihak ini akan dapat bermanfaat di kemudian hari.

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

1. Allah SWT Tuhan Yang Maha Esa dan Rasulullah Muhammad SAW atas karunianya selama ini;
2. Kedua orangtuaku Bapak Hadiyanto dan Ibu Sulasmi yang selalu memberikan semangat dan doa sehingga terselesaikan naskah ini;
3. Adikku Ayu Isnaini, Alfatah Affan Sumardi, dan Abdul Raihan Hidayah, semoga bermanfaat dan memberi inspirasi;

4. Bpk. Dr. Ahmad Zaenudin, S. Si.,M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Geofisika Universitas Lampung;
5. Bpk. Dr. H. Muh Sarkowi, S.Si., M.Si., dan Bpk. Rustadi, S.Si,M.T. selaku pembimbing, terimakasih atas kesediaannya untuk memberikan bimbingan, saran dan kritik dalam proses penyelesaian skripsi ini;
6. Bpk. Dr. Ahmad Zaenudin, S. Si.,M.T. selaku pembahas, terimakasih atas kesediaan dan bimbingannya;
7. Dosen-Dosen Jurusan Teknik Geofisika Universitas Lampung yang saya hormati, terimakasih untuk semua ilmu yang diberikan;
8. Teman-teman TG 11 “**Oouchh**” Achmadi, Agung, Alwi, Asri, Annisa, Bagus, Sibul, Dhi, Keto, Doni, Farid, Kak Pit, Guspri, Hardeka, Nanda, Rika, Kak Syamsul, Wilyan, Kak Yun, Hilda, Leo, Lia, Mezrin, Wanda, Ami, Sari, Titi, Tri, Cici, Yeni, Kak Ucup, Ratu. Terimakasih untuk kebersamaannya. Aku pasti rindu kalian. Oya, spesial untuk **Doni Zulfafa** dan **Nanda Hanyfa**, terimakasih bantuan belajarnya;
9. Teman-teman terdekatku, Nanda Hanyfa Maulida, terimakasih untuk terus berkembang dan memberi inspirasi. Yeni Purnama Sari, terimakasih untuk kedewasaan dan kesabaranmu. Rika Indrawati, Lia Tri Khairum, Asri Wulandari, terimakasih tumpangan kosan, makan, dan semuanya. Juga Rahmi Alfani Putri teman veteran terakhir. Semoga kesuksesan menyertai kita semua;
10. UKPM Teknokra Unila, laboratorium kehidupan yang mengajarkan banyak hal, terimakasih atas drama-drama penuh airmata dan keringat yang benar-benar menjadi pengalaman yang berharga;



11. Teman-teman Jarpim Kadiv 2014, Kak Burhan, Mbak Vina, Mbak Yurike, dan Mbak Nova. Teman-teman Jarpin Kadiv 2015, Faris, Nisa, Kity, dan Odet. Terimakasih untuk kebersamaannya dan pembelajarannya. Semoga semakin mendewasakan masing-masing kita dan menjadi bekal untuk kehidupan selanjutnya. Walaupun aku selalu jadi yang paling muda di setiap jajaran, tapi terimakasih untuk selalu berpikir kita seumuran. Haha. Kru Usaha-ku tercinta, dan juga kru Teknokra yang lainnya, terimakasih untuk dukungan kalian selama ini;
12. Teman-teman Mapala: Lowo, Bowline, Trump(ung), serta tim kupu-kupu kertas pendakian Bukit Raya Kalteng, terimakasih kuliah gratisnya. Pengalaman-pengalaman pertama itu tidak akan terlupakan;
13. Teman-teman Akselerasi 4, *innocent*, terimakasih untuk semuanya karena kebersamaan dan kekeluargaan dengan kalian tidak pernah tergantikan. Mama Hida, Pak Aris, Pak Jumani, Bu Catrin dan guru-guru aksel lainnya., yang banyak mengajarkan kepercayaan diri, kemandirian, dan idealisme yang semoga dapat terus dipertahankan;
14. Semua pihak yang turut membantu dan menyemangati namun tak disebutkan, terimakasih banyak.

## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>i</b>
<b>ABSTRAK</b> .....	<b>iii</b>
<b>LEMBAR PERSETUJUAN</b> .....	<b>iv</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....	<b>v</b>
<b>HALAMAN PERNYATAAN</b> .....	<b>vii</b>
<b>RIWAYAT HIDUP</b> .....	<b>viii</b>
<b>HALAMAN PERSEMBAHAN</b> .....	<b>x</b>
<b>HALAMAN MOTTO</b> .....	<b>xi</b>
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	<b>xii</b>
<b>SANWACANA</b> .....	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>xvi</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>xix</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>xx</b>
<b>I. PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Tujuan.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	3
<b>II. TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1 Lokasi Lapangan Panasbumi Malingping .....	4

2.2 Geologi Struktur.....	5
2.3 Stratigrafi.....	7
2.4 Manifestasi Lapangan Panasbumi Malingping .....	9
<b>III. TEORI DASAR</b>	
3.1 Sistem Panasbumi .....	10
3.2 Metode Gayaberat .....	13
A. Potensial Gayaberat.....	14
B. Reduksi Gayaberat .....	16
1. Koreksi pasang surut.....	17
2. Koreksi apungan.....	17
3. Koreksi garis lintang.....	17
4. Koreksi udara bebas .....	18
5. Koreksi Bouguer .....	18
6. Koreksi terrain.....	19
C. Anomali Bouguer .....	19
D. Analisis Spektrum .....	20
E. Proses Pemisahan Anomali Regional-Residual .....	25
F. Metode Moving Average .....	25
G. <i>Second Vertical Derivative</i> (SVD) .....	27
H. Pemodelan Gayaberat.....	28
I. Interpretasi.....	30
<b>IV. METODOLOGI PENELITIAN</b>	
4.1 Waktu dan Tempat .....	31
4.2 Alat dan Bahan .....	31
4.3 Pengolahan Data.....	32
4.4 Diagram Alir .....	36
<b>V. HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	
5.1 Peta Topografi daerah penelitian.....	37
5.2 Peta Anomali Bouguer .....	38
5.3 Analisis Spektral .....	40
5.4 Pemisahan Anomali.....	44
5.5 Analisis SVD.....	48
5.6 Pemodelan ke Depan 2,5D Gayaberat.....	57
5.7 Pemodelan Inversi 3D Gayaberat.....	64
5.8 Audio Magnetotellurik .....	68
5.9 Geokimia .....	69
5.10. Interpretasi Terpadu .....	73
5.11. Model Tentatif Lapangan Panasbumi Malingping.....	76

**VI. KESIMPULAN**

**DAFTAR PUSTAKA**

**LAMPIRAN**

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 1.</b> Susunan jadwal penelitian .....	31
<b>Tabel 2.</b> Filter Elkins .....	34
<b>Tabel 3.</b> Estimasi kedalaman dan lebar jendela.....	43
<b>Tabel 4.</b> Jenis manifestasi permukaan berdasarkan peranannya .....	88

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 1.</b> Peta lokasi indeks lapangan panasbumi Malingping .....	4
<b>Gambar 2.</b> Peta geologi daerah penelitian .....	6
<b>Gambar 3.</b> Sistem panasbumi .....	10
<b>Gambar 4.</b> Model konseptual sistem panasbumi .....	11
<b>Gambar 5.</b> Sketsa gayatarik 2 benda .....	14
<b>Gambar 6.</b> Potensial massa 3 dimensi .....	15
<b>Gambar 7.</b> Sistem kordinat untuk penurunan FFT .....	20
<b>Gambar 8.</b> Grafik hubungan antara amplitudo dan bilangan gelombang .....	24
<b>Gambar 9.</b> Diagram alir .....	36
<b>Gambar 10.</b> Peta topografi daerah lapangan panasbumi Malingping.....	37
<b>Gambar 11.</b> Peta anomali Bouguer dan <i>overlay</i> terhadap peta geologi .....	40
<b>Gambar 12.</b> Lintasan analisis spektrum dari peta anomali Bouguer .....	41
<b>Gambar 13.</b> Lintasan 1 analisis spektrum .....	42
<b>Gambar 14.</b> Lintasan 2 analisis spektrum.....	42
<b>Gambar 15.</b> Lintasan 3 analisis spektrum .....	43
<b>Gambar 16.</b> Peta anomali regional dan <i>overlay</i> terhadap peta geologi .....	46
<b>Gambar 17.</b> Peta anomali residual dan <i>overlay</i> terhadap peta geologi.....	47
<b>Gambar 18.</b> Peta SVD anomali Bouguer dan <i>overlay</i> terhadap peta geologi .....	49
<b>Gambar 19.</b> Peta SVD anomali regional dan <i>overlay</i> terhadap peta geologi .....	50
<b>Gambar 20.</b> Peta SVD anomali residual dan <i>overlay</i> terhadap peta geologi.....	51
<b>Gambar 21.</b> Analisis SVD peta anomali Bouguer.....	52
<b>Gambar 22.</b> Grafik lintasan analisis SVD anomali Bouguer.....	53
<b>Gambar 23.</b> Analisis SVD peta anomali regional .....	54
<b>Gambar 24.</b> Grafik lintasan analisis SVD anomali regional .....	55

<b>Gambar 25.</b> Analisis SVD peta anomali residual .....	56
<b>Gambar 26.</b> Grafik lintasan analisis SVD anomali residual .....	56
<b>Gambar 27.</b> Model 2,5D gayaberat lintasan 1 .....	59
<b>Gambar 28.</b> Model 2,5D gayaberat lintasan 2 .....	61
<b>Gambar 29.</b> Model 2,5D gayaberat lintasan 3 .....	63
<b>Gambar 30.</b> Model 3D gayaberat anomali residual .....	66
<b>Gambar 31.</b> Model 3D gayaberat lintasan 1 .....	66
<b>Gambar 32.</b> Model 3D gayaberat lintasan 2 .....	67
<b>Gambar 33.</b> Model 3D gayaberat lintasan 3 .....	67
<b>Gambar 34.</b> Dugaan reservoir lapangan panasbumi Malingping.....	68
<b>Gambar 35.</b> Model inversi 2D AMT .....	69
<b>Gambar 36.</b> Diagram Cl, SO <sub>4</sub> , HCO <sub>3</sub> air panas Citando .....	71
<b>Gambar 37.</b> Diagram Na-K-Mg airpanas Citando.....	72
<b>Gambar 38.</b> Diagram Cl-Li-B airpanas Citando.....	73
<b>Gambar 39.</b> <i>Overlay</i> model gayaberat dengan model inversi 2D AMT.....	76
<b>Gambar 40.</b> Lokasi Pabum Malingping dan G.Endut .....	81
<b>Gambar 41.</b> Model tentatif lapangan panasbumi Malingping .....	81

## I. PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Indonesia mengalami peningkatan kebutuhan energi nasional setidaknya 10% per tahun (Website *Indonesia Investment*, diakses pada Mei 2016). Untuk memenuhi kebutuhan tersebut, maka Indonesia perlu melakukan berbagai eksplorasi energi seperti panasbumi yang potensinya sangat besar di Indonesia yakni mencapai 40% cadangan dunia.

Energi panasbumi merupakan energi sumber daya alam berupa air panas atau uap yang terbentuk dalam reservoir di dalam bumi melalui pemanasan air bawah permukaan oleh batuan beku panas. Metoda gayaberat atau *gravity* adalah metode geofisika yang dapat digunakan dalam eksplorasi panasbumi. Metode ini digunakan untuk menggambarkan bentuk struktur geologi bawah permukaan. Pada dasarnya tujuan metode ini adalah melakukan interpretasi terhadap nilai anomali gayaberat yang disebabkan oleh adanya perbedaan harga densitas ataupun kedalaman tubuh massa batuan di bawah permukaan (Yusuf, 2011).

Selain itu, metode gayaberat juga memiliki suatu kelebihan untuk survei awal karena dapat memberikan informasi yang cukup detail tentang struktur geologi dan kontras densitas batuan. Pada kasus panasbumi, perbedaan densitas batuan



merupakan acuan dalam penyelidikan metode gayaberat dimana disebabkan oleh sumber panas dan akumulasinya di bawah permukaan bumi (Hidayat dan Basid, 2011).

Lapangan Panasbumi Malingping secara administratif berada di Kabupaten Lebak Provinsi Banten dan secara fisiografi, berada dalam Zona Pegunungan Bayah. Indikasi panasbumi yang muncul berupa mata air panas dengan temperatur sekitar 56,3°C. Penelitian geofisika di daerah ini sudah banyak dilakukan di antaranya survei Audio Magnetotellurik (AMT) dan Gayaberat oleh Supriyadi, dkk.(2014) untuk mengetahui keberadaan sistem panasbumi Malingping menggunakan model 2D gayaberat serta inversi 2D AMT. Selain itu ada juga penelitian Geologi dan Geokimia oleh Risdianto dan Kusnadi (2013) untuk mengetahui potensi panasbumi di daerah tersebut.

Sementara itu, pada penelitian kali ini dilakukan interpretasi struktur patahan di daerah penelitian menggunakan analisis derivatif turunan kedua vertikal atau *second vertical derivative* (SVD) dan didukung dengan *forward modelling* 2,5D serta inversi 3D anomali gayaberat serta didukung dengan beberapa data pembanding dari penelitian sebelumnya seperti hasil pemodelan inversi 2D Audio Magnetotellurik (AMT), geologi, dan data laporan geokimia daerah penelitian.

## **1.2. Tujuan Penelitian**

Tujuan penelitian dirunut seperti berikut:

1. Mengidentifikasi patahan di daerah penelitian berdasarkan analisis *second vertical derivative* (SVD).

2. Menganalisis struktur bawah permukaan berdasarkan model 2,5D dan model inversi 3D anomali gayaberat.
3. Membuat model tentatif sistem panasbumi berdasarkan analisis data geosains terpadu (gayaberat, audio magnetotellurik, geologi, dan geokimia).

### **1.3. Batasan Masalah**

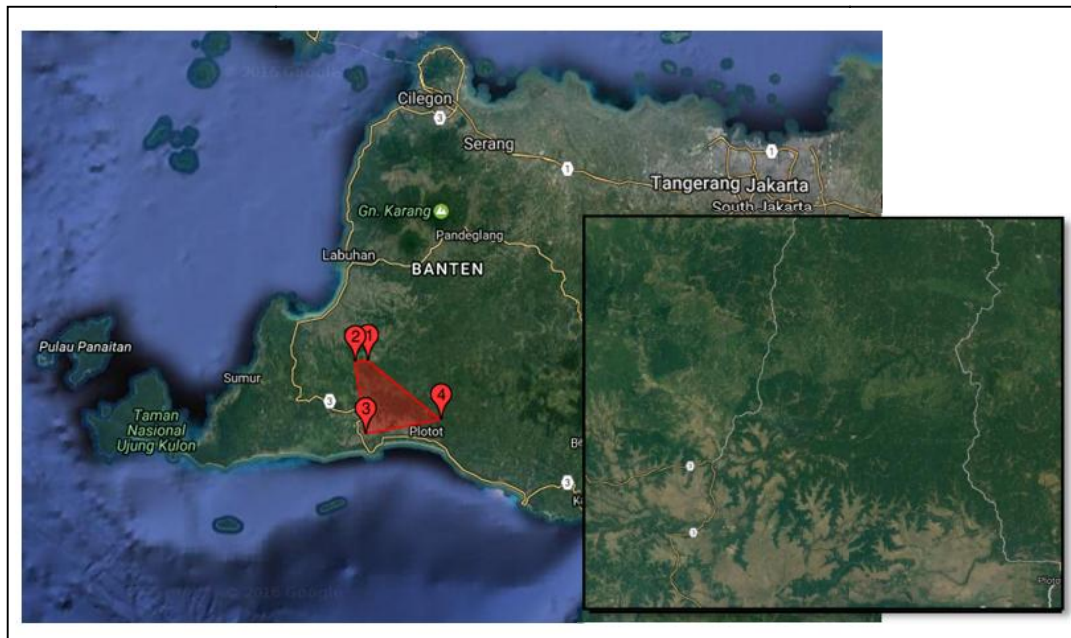
Penelitian ini menetapkan beberapa batasan masalah berupa:

1. Data yang digunakan merupakan data sekunder gayaberat yakni Anomali Bouguer lapangan panasbumi Malingping.
2. Pemisahan anomali regional dan residual dilakukan menggunakan metode filter frekuensi perata-rataan bergerak (*moving average*).
3. Identifikasi patahan dilakukan dengan analisis derivatif turunan kedua vertikal atau *second vertical derivative* (SVD).
4. Interpretasi struktur bawah permukaan lapangan panasbumi Malingping dilakukan berdasarkan pemodelan gayaberat ke depan 2,5D dan inversi 3D serta dilengkapi data pembanding berupa model inversi 2D audio magnetotellurik (AMT), informasi geologi, dan data laporan geokimia.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1. Lokasi Lapangan Panasbumi Malingping

Secara administratif, lokasi penyelidikan Panasbumi Malingping termasuk ke dalam Kabupaten Lebak, Provinsi Banten. Lokasi penyelidikan terletak antara koordinat geografis  $105^{\circ} 52' 28'' - 106^{\circ} 2' 56''$  BT dan  $6^{\circ} 37' 27'' - 6^{\circ} 47' 35''$  LS atau pada koordinat UTM 9.248.957 – 9.267.663 mU dan 596.641– 616.000 mT, zona 48 di belahan bumi selatan. Lokasi daerah penelitian dapat dilihat pada **Gambar 1**.

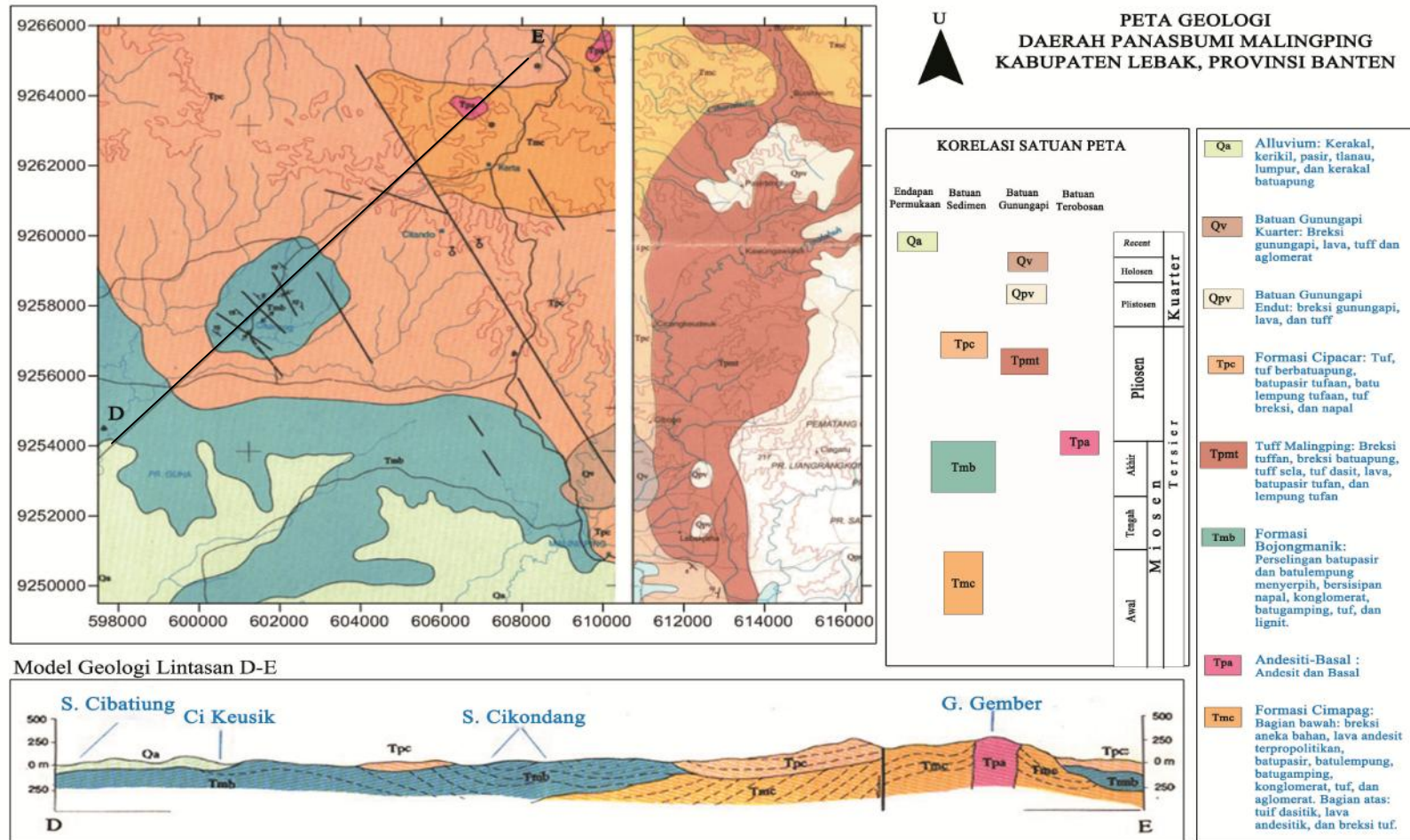


**Gambar 1.** Peta lokasi indeks lapangan panas bumi Malingping (USGS, diakses pada 14 Desember 2016).

## 2.2. Geologi Struktur

Menurut Risdianto dan Kusnadi (2013), arah kelurusan daerah Panasbumi Malingping didominasi oleh arah utara-selatan dan baratlaut-tenggara. Sesar-sesar geser dengan arah baratlaut-tenggara dan timurlaut-baratdaya merupakan respon dari dorongan gaya dari arah selatan. Di beberapa tempat akibat interaksi dua arah, struktur geologi ini mengalami bukaan dan memfasilitasi terbentuknya manifestasi berupa mata air panas malingping.

Struktur lipatan yang terbentuk mempunyai arah sumbu lipatan relatif berarah barat-timur, dengan sumbu yang mengalami penunjaman ke arah barat. Bentuk struktur lipatan ini diperkirakan akibat respon dari tekanan dengan arah utara-selatan. Indikasi sesar naik ditemukan di sebelah tenggara daerah penyelidikan berupa gores-gores garis yang menunjukkan arah pergerakan sesar naik. Struktur sesar naik ini berarah relatif barat-timur dengan kemiringan (*dipping*) ke arah utara. Pergerakan sesar ini juga diperkirakan sebagai respon dari tekanan (*stress*) gaya dengan arah utara-selatan. Struktur geologi daerah penelitian selengkapnya dapat dilihat pada **Gambar 2**.



**Gambar 2.** Peta geologi daerah penelitian (dimodifikasi dari Sudana dan Santosa, 1992; Sujatmiko dan Santosa, 1992).

### **2.3. Stratigrafi**

Batuan tertua di daerah ini diperkirakan sebagai Batuan sedimen yang berumur Tersier yang termasuk dalam Formasi Bojongmanik. Berikut adalah urutan stratigrafi daerah penyelidikan dari yang tua hingga muda.

#### **A. Satuan Batuan Sedimen**

Satuan ini tersingkap di bagian barat daerah penyelidikan, terdiri dari perselingan batu pasir dan batu lempung karbonatan. Satuan batuan ini berumur N-6 hingga N-9 atau Kala Miosen Tengah, dan diendapkan pada lingkungan laut dangkal.

#### **B. Satuan Batuan Sedimen Tufaan**

Satuan ini tersebar hampir merata di seluruh daerah penyelidikan, tersusun oleh batu pasir tufaan dan tuff. Batu pasir tufaan berwarna krem hingga kelabu muda, non-karbonatan, ukuran butir pasir hingga pasir halus, struktur sedimen terdiri dari perlapisan sejajar dan laminasi sejajar. Satuan ini mengalami ubahan hidrotermal yang didominasi oleh mineral sekunder silika (silisifikasi) dan sebagian kecil berupa mineral lempung sekunder. Zone ubahan pada satuan batuan sangat intensif terutama di daerah kontak dengan satuan kubah lava. Berdasarkan kesetaraan stratigrafi, satuan ini merupakan bagian dari formasi Cipacar yang berumur Miosen hingga Pliosen.

#### **C. Satuan Batuan Kubah Lava**

Satuan ini tersebar di sebelah barat, tengah dan tenggara daerah penyelidikan, terdiri dari tubuh-tubuh kubah lava (*lava dome*) berkomposisi andesitik hingga basaltik. Tubuh-tubuh kubah lava ini menerobos satuan yang lebih tua yaitu satuan batuan sedimen dan sedimen tufaan. Sebagian tubuh-tubuh kubah lava ini

telah mengalami ubahan berupa silisifikasi dan argilik, tetapi tidak ditemukan urat-urat kuarsa (*quartz vein*) pada bagian silisifikasinya. Umur satuan kubah lava ini adalah  $1,2 \pm 0,2$  juta tahun atau Kala Plistosin. Satuan batuan ini memperlihatkan bahwa di daerah penyelidikan telah terjadi proses hidrotermal (fosil) yang juga membawa mineral-mineral ikutannya berupa unsur-unsur logam.

#### **D. Satuan Breksi Vulkanik**

Satuan ini tersebar di bagian tenggara daerah penyelidikan, terdiri dari breksi vulkanik dengan komponen fragmennya didominasi oleh batuan beku. Selain itu terdapat juga fragmen berupa batuan sedimen dan sedimen tufaan. Satuan ini terdistribusi di sekeliling tubuh kubah lava yang berada di bagian tenggara daerah penyelidikan. Satuan ini diperkirakan merupakan rombakan (*reworked*) dari satuan batuan yang lebih tua. Berdasarkan peta geologi regional yang diterbitkan oleh Pusat Survei Geologi tahun 1992, satuan ini sebanding dengan satuan breksi dan tuff Malingping yang berumur Pliosen.

#### **E. Satuan Jatuhan Piroklastik**

Tersebar di bagian barat daerah penyelidikan, berupa endapan piroklastik berupa tuff hingga lapilli tuff, berwarna kelabu muda hingga krem, dimana terdapat fragmen-fragmen pumice yang mencapai ukuran 3 cm, tidak terlalu kompak dan memperlihatkan perlapisan mengikuti topografi yang ditempatinya. Bila diamati dari segi fisiknya yaitu belum terlalu kompak dan masih segar (belum berubah). Satuan ini diperkirakan sebagai produk jatuhan piroklastik hasil erupsi gunung Krakatau yang terjadi pada tahun 1883, yang berada di Selat Sunda.

## **F. *Aluvial***

Satuan ini tersebar di sepanjang aliran sungai dan di satuan morfologi pedataran. Tersusun atas komponen aneka ragam batuan dengan ukuran mencapai 1,5 m, tingkat kebundaran membundar hingga membundar tanggung, dengan kondisi tidak kompak (Risdiyanto dan Kusnadi., 2013).

### **2.4. Manifestasi Permukaan**

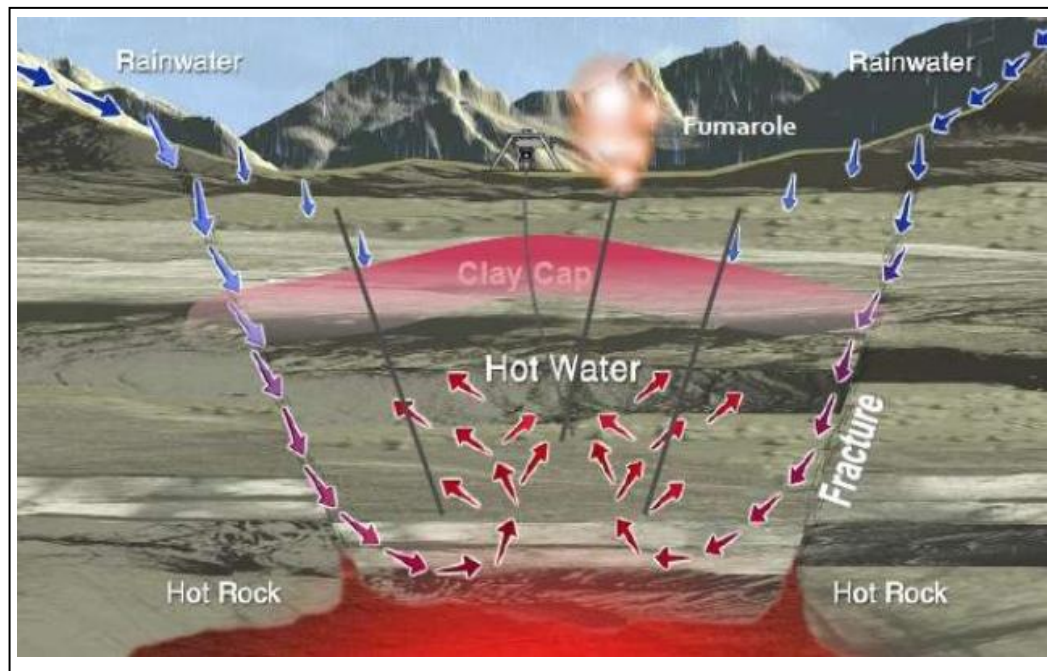
Manifestasi panasbumi yang muncul di daerah Malingping berupa mata air panas Citando yang terletak di desa Senang Hati, Kecamatan Malingping dengan koordinat UTM zona 48 S (605937 mT, 9258778 mS) dan temperatur 56,3 °C, pH netral, debit > 2 lt/det, tidak berasa, tidak berbau, bening, terdapat sinter karbonat tipis (traventin), oksida besi tinggi muncul pada batuan lava andesit yang telah terubah (Supriyadi dkk., 2014).



### III. TEORI DASAR

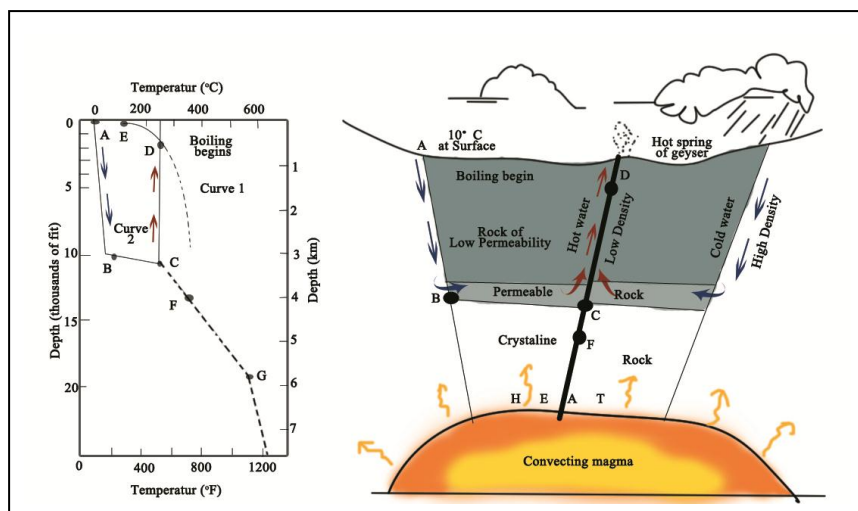
#### 3.1. Sistem Panasbumi

Secara umum panasbumi merupakan suatu bentuk energi panas yang tersimpan dalam batuan di bawah permukaan bumi dan fluida yang terkandung di dalamnya. Sementara sistem panasbumi adalah suatu sistem yang memungkinkan terjadinya fluida dari daerah *meteoric recharge* ke dalam reservoir yang berada di atas sumber panas (*heat source*). Sistem panasbumi secara umum dapat dilihat pada **Gambar 3**.



**Gambar 3.** Sistem panasbumi (Torkis, 2012).

Suatu sistem panasbumi pada umumnya ditunjukkan pada **Gambar 4** model dari White (1967), memperlihatkan idealnya sirkulasi fluida di suatu sistem hidrotermal. Pada umumnya batuan penutup (*cap rock*) berupa *clay* yang terbentuk akibat proses alterasi hidrotermal yaitu lapisan batuan yang mengalami alterasi akibat reaksi dengan fluida dan aliran panas dari reservoir. Sehingga batuan tersebut menjadi mineral argilitik seperti smectite dan illite yang bersifat impermeabel (Riri, 2009).



**Gambar 4.** Model konseptual sistem panasbumi (White, 1967)

Suatu daerah dikatakan memiliki sistem panasbumi jika memiliki sumber panas (*Heat Source*), fluida panasbumi, reservoir, dan batuan penutup (*cap rock*).

### A. Sumber Panas

Sumber panas pada sistem panasbumi terdiri dari intrusi batuan, dapur magma atau *gradient temperature* dimana temperature berbanding lurus dengan kedalaman. Sistem panasbumi dengan sumber panas yang berasal dari batuan atau magma biasa ditemukan pada daerah gunungapi. Sementara sistem panasbumi

dengan sumber panas yang berasal dari *gradient temperature* biasa ditemukan pada daerah lempeng tektonik aktif dan cekungan sedimen.

Menurut Roy dan Gupta (2007), sumber panas mengalirkan panas melalui tiga proses yaitu konduksi, konveksi, dan radiasi. Pada sistem panasbumi, perpindahan panas biasa terjadi melalui proses konduksi dan konveksi. Konduksi merupakan proses perpindahan energi kinetik dari molekul atau atom suatu benda yang panas kepada benda yang lebih dingin yang pada hal ini yaitu litosfer. Sementara konveksi adalah proses perpindahan panas dengan melibatkan perpindahan massa molekul dari satu tempat ke tempat lainnya. Transfer panas secara konveksi terjadi pada bagian bumi yang cair yaitu astenosfer.

### **B. Fluida Panasbumi**

Fluida panasbumi akan terakumulasi pada reservoir dan dipanaskan oleh sumber panas (Torkis, 2012). Fluida panasbumi dapat memberikan efek yang besar terhadap batuan di sekitarnya. Di dalamnya dapat terjadi kontras densitas, perubahan intensitas magnetik total dan arah magnetisasi batuan, perubahan tahanan jenis batuan, dll. Bidang sesar atau rekahan berfungsi sebagai jalan masuk dan keluarnya fluida panas dimana fluida panas yang keluar akan menjadi manifestasi permukaan berupa mata air panas, kubangan lumpur panas, solfatara, atau fumarol. Hal ini mengindikasikan struktur yang permeabel sehingga fluida panas muncul ke permukaan (Riri, 2009).

### **C. Reservoir Panasbumi**

Reservoir panasbumi merupakan batuan yang memiliki porositas dan permeabilitas yang baik sehingga fluida dapat terakumulasi untuk dipanaskan oleh sumber panas. Selain memiliki porositas dan permeabilitas yang baik, reservoir

panasbumi dikatakan produktif dengan syarat memiliki volume yang besar, suhu yang tinggi dan jumlah fluida yang banyak. Panas dari fluida pada batuan reservoir akan diekstrak untuk digunakan sebagai sumber energi panasbumi (Torkis, 2012).

#### **D. Batuan Penutup**

Batuan penutup atau *cap rock* pada sistem panasbumi berguna untuk menjaga agar panas yang berasal dari reservoir tidak keluar ke permukaan. Batuan penutup memiliki karakteristik yaitu permeabilitas yang rendah, tebal, dan berada di atas reservoir. Pada batuan penutup sering terjadi proses alterasi yang disebabkan oleh interaksi fluida saat melewati batuan sehingga dapat menjadi indikator adanya sistem panasbumi pada suatu daerah (Torkis, 2012).

### **3.2. Metode Gayaberat**

Metode gayaberat merupakan salah satu metode eksplorasi geofisika yang didasarkan atas adanya anomali medan gravitasi bumi yang diakibatkan oleh variasi densitas batuan ke arah lateral maupun vertikal di bawah titik ukur. Metode ini adalah metode geofisika yang sensitif terhadap perubahan lateral oleh karena itu lebih disukai untuk mempelajari kontak intrusi, batuan dasar, struktur geologi, cekungan sedimen, endapan sungai, dan lain-lain.

Metode gayaberat memiliki suatu kelebihan untuk survei awal karena dapat memberikan informasi yang cukup detail tentang struktur geologi dan kontras densitas batuan. Pada kasus panas bumi, perbedaan densitas batuan merupakan acuan dalam penyelidikan metode gayaberat, di mana sumber panas dan

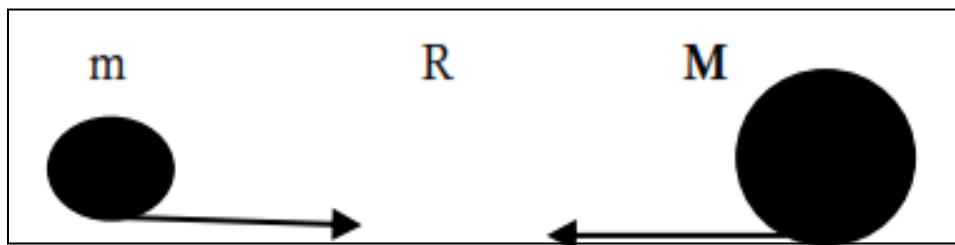
akumulasinya di bawah permukaan bumi dapat menyebabkan perbedaan densitas dengan massa batuan di sekitarnya (Hidayat, 2011).

Dasar teori dari metode Gayaberat adalah hukum gravitasi Newton (Telford, dkk., 1990).

$$F = \frac{Gm_1m_2}{R^2} \quad (1)$$

Hukum Newton tentang gerak menyatakan bahwa gaya adalah besarnya perkalian dari massa dan percepatannya. Hal ini ditunjukkan oleh **Gambar 5**.

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



**Gambar 5.** Sketsa gaya tarik dua benda berjarak R

Maka besarnya nilai medan gayaberat adalah:

$$g = \frac{F}{m} = G \frac{M}{r^2} \quad (3)$$

### A. Potensial Gayaberat

Potensial gravitasi adalah energi yang diperlukan untuk memindahkan suatu massa dari suatu titik ke titik tertentu. Suatu benda dengan massa tertentu dalam sistem ruang akan menimbulkan medan potensial di sekitarnya. Dimana medan potensial bersifat konservatif, artinya usaha yang dilakukan dalam suatu medan gravitasi tidak tergantung pada lintasan yang ditempuhnya tetapi hanya tergantung pada posisi awal dan akhir (Telford, dkk., 1990).

Medan potensial dapat dinyatakan sebagai gradien atau potensial skalar (Blakely, 1995), melalui persamaan:

$$g = -\nabla U(r) \quad (4)$$

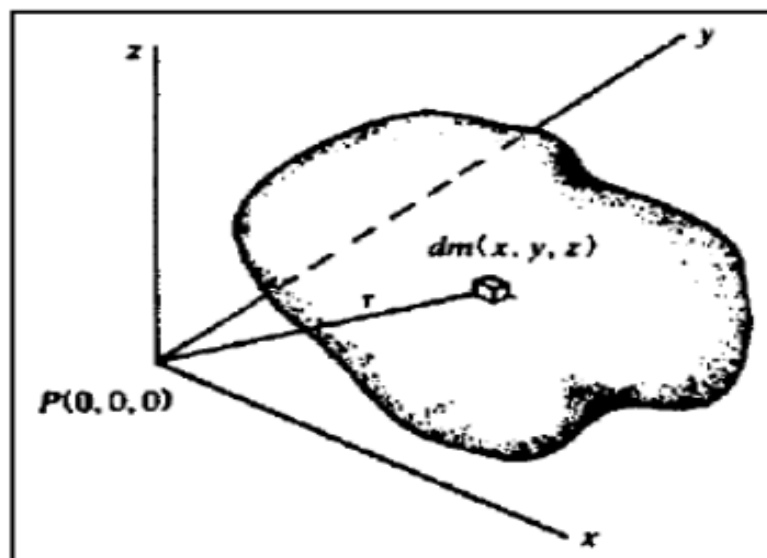
Fungsi  $U$  pada persamaan di atas disebut potensial gravitasi, sedangkan percepatan gravitasi  $g$  merupakan medan potensial. Tanda minus menandakan bahwa arah gayaberat menuju ke titik yang dituju. Dengan mengasumsikan bumi dengan massa  $M$  bersifat homogen dan berbentuk bola dengan jari-jari  $R$ , potensial gravitasi di permukaan dapat didefinisikan dengan persamaan:

$$\nabla U(\vec{r}) = -\frac{F(\vec{r})}{m_2} = -g(\vec{r}) \quad (5)$$

$$U(\vec{r}) = \int_{\infty}^r (\nabla U) \cdot dr = \int_{\infty}^r g \cdot dr \quad (6)$$

$$U(r) = -Gm \int_{\infty}^r \frac{dr}{r^2} = G \frac{m}{r} \quad (7)$$

Potensial massa secara tiga dimensi dapat dilihat pada **Gambar 6**.



**Gambar 6.** Potensial massa tiga dimensi (Telford, dkk., 1990).

Berdasarkan persamaan (7), potensial yang disebabkan oleh elemen massa  $dm$  pada titik  $(x, y, z)$  dengan jarak  $r$  dari  $P(0, 0, 0)$  adalah:

$$dU = G \frac{dm}{r} = G\rho \frac{dxdydz}{r} \quad (8)$$

dimana  $\rho(x,y,z)$  adalah densitas dan  $r^2 = x^2 + y^2 + z^2$

Potensial total dari massa adalah:

$$U = G \int_x \int_y \int_z \frac{\rho}{r} dxdydz \quad (9)$$

karena  $g$  adalah percepatan gravitasi pada sumbu  $z$  (arah vertikal) dan dengan asumsi  $\rho$  konstan, maka:

$$g = -\left(\frac{\partial U}{\partial z}\right) = \frac{\partial G\rho}{\partial(x^2+y^2+z^2)} dz$$

$$g = G\rho \int_x \int_y \int_z \frac{z}{r^3} dxdydz \quad (10)$$

## B. Reduksi Gayaberat

Nilai gayaberat yang di peroleh perlu beberapa koreksi data sebelum melakukan interpretasikan secara geologi. Hal ini dikarenakan dalam penelitian metode gayaberat ditunjukkan perbedaan nilai gayaberat dari suatu tempat ke tempat lainnya. Adanya perbedaan pembacaan nilai gayaberat dalam suatu titik di permukaan bumi dipengaruhi beberapa faktor diantaranya variasi topografi, variasi ketinggian, pasang surut, guncangan pada pegas alat, lintang, dan variasi densitas bawah permukaan. Dalam metode gayaberat dikenal beberapa koreksi meliputi pasang surut bumi (*tide*), apungan (*drift*), garis lintang (*latitude*), koreksi udara bebas (*free air*), koreksi Bouguer, dan koreksi topografi (*terrain*) (Reynolds, 1998).

### 1. Koreksi pasang surut

Koreksi ini disebabkan karena pengaruh gaya tarik yang dialami bumi akibat massa bulan dan matahari. Koreksi pasang surut harus diberikan kepada bumi untuk menyeimbangkan ke posisi normalnya. Besarnya koreksi ini bervariasi terhadap lintang, waktu, serta kedudukan benda-benda langit. Gaya pasang-surut akan maksimum bila bulan dan matahari terletak pada satu arah dan berlawanan, dan akan minimum jika keduanya tegak lurus.

### 2. Koreksi apungan

Nilai pengukuran gayaberat pada suatu titik dan diulang kembali pengukurannya maka secara teoritis nilainya akan tetap atau konstan. Namun dalam kenyataannya nilainya akan berubah. Guncangan pada saat transportasi dapat mempengaruhi mekanisme alat, ini disebut dengan apungan (*drift*). Koreksi apungan dirumuskan dengan persamaan:

$$\Delta g_D = \frac{G_{A2} - G_{A1}}{T_{A2} - T_{A1}} \times (T_n - T_{A1}) \quad (11)$$

Dimana,

$\Delta g_D$  = besarnya *drift* (mGal)

$T_n$  = waktu pembacaan (menit)

$G_{A1}$  &  $G_{A2}$  = pembacaan gayaberat di awal & di akhir pada titik ikat A

$T_{A1}$  &  $T_{A2}$  = waktu pembacaan di awal dan di akhir pada titik ikat A.

### 3. Koreksi garis lintang

Koreksi lintang dilakukan karena bentuk bumi berdasarkan hasil pengukuran geodetik mendekati bentuk sferoidal yang menggelembung di ekuator dan



memipih di kutub. Koreksi ini didapatkan dengan menggunakan persamaan *Geodetic Reference Sistem 1967 (GRS67)* (Blakely, 1995).

$$\Delta g_L = g_e (1 + 0,0052884 \sin^2 \phi - 0,0000059 \sin^2(2\phi)) \quad (12)$$

Dimana,

$\Delta g_L$ : Gayaberat pada lintang (mGal)

$G_e$ : Gayaberat di equator (978031,85 mGal)

$\phi$  : lintang pada titik pengamatan (radian)

#### 4. Koreksi udara bebas

Pengukuran Gayaberat di permukaan datum dan di ketinggian tertentu pasti memiliki hasil yang berbeda.. Titik pengamatan tidak selamanya berada pada permukaan datum sehingga perlu dilakukan koreksi. Koreksi ini disebut dengan koreksi udara bebas yang dirumuskan pada persamaan 13.

$$\Delta g_{FA} = 0,3086 \times h \quad (13)$$

Dimana,

$\Delta g_{FA}$  : Koreksi udara bebas (mGal/m)

$h$ : ketinggian titik ukur Gayaberat di atas muka air laut (m)

#### 5. Koreksi Bouguer

Koreksi Bouguer digunakan untuk menghilangkan efek tarikan suatu massa yang berada di antara titik pengamatan dan titik acuan dengan asumsi bahwa lapisan batuan tersebut berupa *slab* tak terhingga. Koreksi Bouguer diberikan oleh persamaan 14.

$$BC = 2\pi G\rho h = 0,04193\rho h \quad (14)$$

Dimana: BC: *Bouguer correction* (mGal)

$\rho$  : rapat masa rata-rata kerak bumi ( $2,67 \text{ g/cm}^3$ )

h: ketinggian (m)

G: konstanta medan gravitasi

## 6. Koreksi terrain

Kondisi topografi di sekitar titik pengamatan tidak selamanya beraturan, dan dapat mempengaruhi nilai gayaberat pengamatan. Misalkan terdapat bukit di sekitar pengukuran, maka bukit ini memiliki medan yang dapat menekan *Gravimeter* untuk menaikkan percepatan gayaberat. Dan sebaliknya, adanya lembah akan memberikan efek penurunan hasil pengukuran gayaberat. Koreksi medan didapatkan dengan melakukan pengolahan data menggunakan *hammer chart* (Telford, dkk., 1990).

### C. Anomali Bouguer

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

#### D. Analisis Spektrum

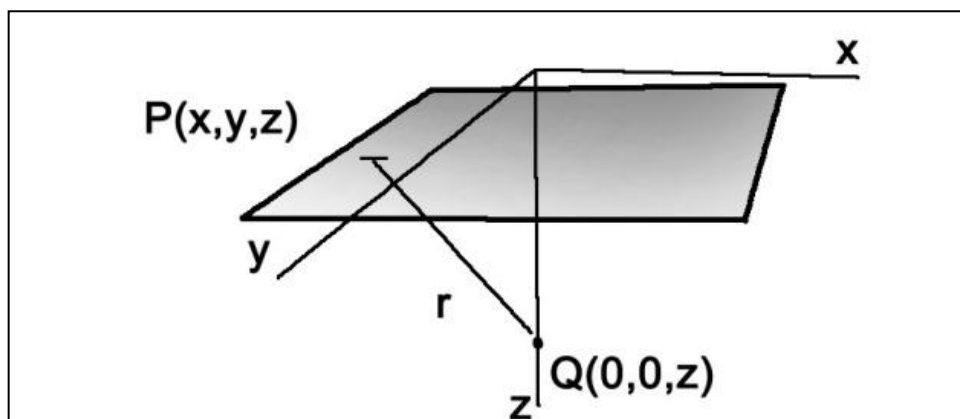
Analisis spektrum bertujuan untuk memperkirakan kedalaman suatu benda anomali gayaberat di bawah permukaan. Menurut Blakely (1995) metode analisa spektrum menggunakan Transformasi Fourier bergunaan untuk mengubah suatu fungsi spasial dalam jarak atau waktu menjadi suatu fungsi dalam bilangan gelombang atau frekuensi (Torkis, 2012).

Transformasi Fourier suatu fungsi  $f(x)$  dapat dituliskan sebagai berikut (Blakely, 1995):

$$F [f] = \int_{-\infty}^{\infty} f(x) e^{-ikx} dx \quad (15)$$

Suatu bidang horizontal P berada pada ketinggian  $Z_0$  dan Q merupakan suatu titik yang berada pada sumbu  $z$  ( $0,0,z'$ ) dengan  $z' > z_0$  (**Gambar 6**). Sementara  $r$  merupakan jarak antara titik P dan titik Q. Transformasi Fourier dua dimensi dari  $1/r$  adalah

$$F\left[\frac{1}{r}\right] = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{x^2+y^2+(z_0-z')^2}} e^{-i(k_x x+k_y y)} dx dy \quad (16)$$



**Gambar 7.** Sistem kordinat untuk penurunan Transformasi Fourier. Medan diukur pada permukaan horizontal  $z_0$  dan sumber berada di sumbu  $z$ . (Blakely, 1995).

Persamaan di atas dapat disederhanakan dengan syarat fungsi  $1/r$  adalah silinder simetri di sekitar sumbu  $z$  dan mengubah integral ke koordinat bola. Jika kita anggap

$$x = a \cos \theta, y = a \sin \theta, k_x = k \cos \phi, k_y = k \sin \phi$$

$$a = \sqrt{x^2 + y^2}, k = \sqrt{k_x^2 + k_y^2}, w = z_0 - z' \quad (17)$$

Sehingga Transformasi Fourier dua dimensi dari  $1/r$  menjadi:

$$\begin{aligned} F \left[ \frac{1}{r} \right] &= \int_0^{2\pi} \int_0^\infty \frac{1}{\sqrt{a^2 + w^2}} e^{-iak \cos(\theta - \phi)} a da d\theta \\ &= \int_0^\infty \frac{1}{\sqrt{a^2 + w^2}} \left[ \int_0^{2\pi} e^{-iak \cos(\theta - \phi)} d\theta \right] a da \end{aligned} \quad (18)$$

Integral sepanjang  $\theta$  memiliki bentuk fungsi Bessel zeroth-order

$$J_0(z) = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} e^{-iz \cos \theta} d\theta$$

Dan kemudian memasukkannya ke persamaan Transformasi Fourier (18) sehingga menghasilkan

$$F \left[ \frac{1}{r} \right] = \int_0^\infty \frac{1}{\sqrt{\alpha^2 + w^2}} J_0(\alpha k) \alpha d\alpha \quad (19)$$

Dengan

$$J_0(\alpha k) = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} e^{-i\alpha k \cos \theta} d\theta$$

Solusi persamaan (19) menggunakan transformasi Hankel yaitu

$$F \left[ \frac{1}{r} \right] = 2\pi \int_0^\infty f(\alpha) J_0(\alpha k) \alpha d\alpha \quad (20)$$

dimana

$$F[a] = \frac{1}{\sqrt{\alpha^2 + w^2}}$$

Berdasarkan tabel transformasi Hankel (Bracewell, 2000), solusi persamaan menggunakan transformasi Hankel adalah

$$F[a] = \frac{1}{\sqrt{\alpha^2 + w^2}} \rightarrow F(k) = \frac{e^{kw}}{k}$$

Sehingga persamaan (20) menjadi

$$F\left[\frac{1}{r}\right] = 2\pi \frac{e^{k|z_0 - z'|}}{|k|} \quad (21)$$

Berdasarkan persamaan (21), Transformasi Fourier dari suatu medan potensial gayaberat pada bidang horizontal dinyatakan dalam persamaan:

$$U = Gm \frac{1}{r}$$

$$F[U] = GmF\left[\frac{1}{r}\right]$$

$$= 2\pi Gm \frac{e^{k|z_0 - z'|}}{|k|}$$

Dimana,

U: potensial gravitasi

M: massa

R: jarak 2 titik

Sehingga persamaan Transformasi Fourier suatu anomali gayaberat pada bidang horizontal adalah

$$g_z = \frac{\partial U}{\partial z}$$

$$F[g_z] = \frac{\partial F[U]}{\partial z}$$

$$F[g_z] = 2\pi G m e^{k|z_0 - z'|} \quad (22)$$

Dimana

$g_z$ : anomali gayaberat

$k$ : bilangan gelombang

$z_0$ : ketinggian titik pengamatan

$z'$ : kedalaman benda anomali

Berdasarkan persamaan (22), Transformasi Fourier suatu anomali gayaberat menjadi:

$$A = C e^{k|z_0 - z'|} \quad (23)$$

Dimana:

$A$ : amplitudo

$C$ : konstanta

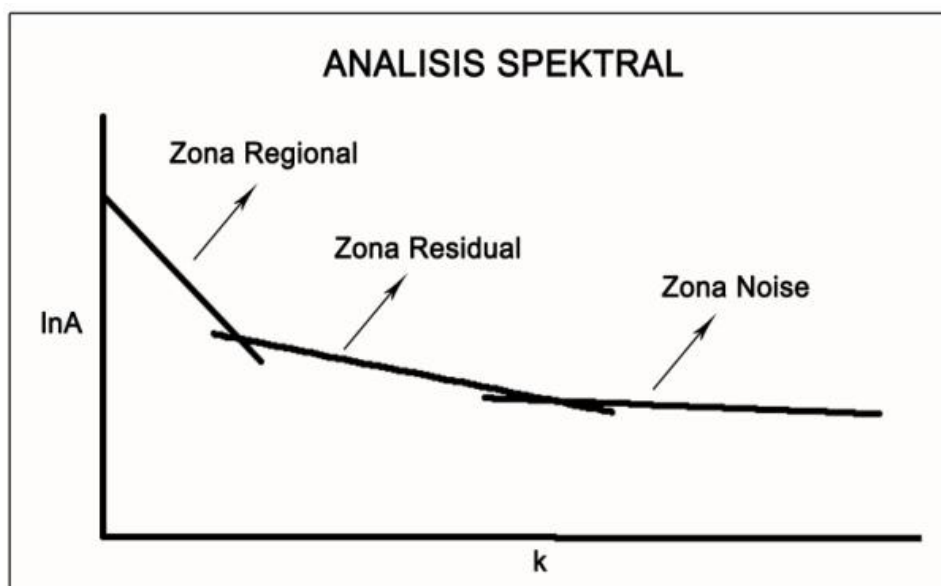
$k$ : bilangan gelombang

$z_0 - z'$ : kedalaman

Dengan melakukan operasi matematika logaritma pada persamaan (23), maka didapatkan hubungan antara amplitudo bilangan gelombang dan kedalaman benda anomali yang dinyatakan dalam persamaan (24).

$$\ln A = (z_0 - z')|k| \quad (24)$$

Berdasarkan persamaan (24), kedalaman benda anomali  $(z_0 - z')$  merupakan nilai kemiringan (*gradient*) dari grafik hubungan  $\ln A$  dan  $k$  (**Gambar 8**). Pada gambar tersebut, zona regional berada pada bagian kiri dan zona regional berada di bagian tengah kurva analisa spektrum. Sementara zona *noise* terletak pada bagian kanan kurva analisa spektrum.



**Gambar 8.** Grafik hubungan antara amplitudo dan bilangan gelombang pada analisis spektrum.

Masukan untuk proses analisa spektrum adalah jarak antartitik pengukuran dan nilai anomali gayaberat hasil *slice* dari kontur anomali gayaberat (Anomali Bouguer).

### **E. Pemisahan Anomali Regional-Residual**

Proses pemisahan anomali regional dilakukan dengan metode filter frekuensi dengan mengaplikasikan operasi transformasi Fourier. *Filtering* dilakukan dengan metransformasi data spasial ke data frekuensi menggunakan Transformasi Fourier, membuang komponen-komponen frekuensi tertentu dan melakukan inversi ke dalam data spasial (Telford dkk., 1990) untuk kemudian ditampilkan dalam bentuk kontur-kontur anomali.

Pada prinsipnya metode filter frekuensi atau panjang gelombang merupakan filter yang digunakan dalam proses pemisahan anomali regional-residual berdasarkan kelompok frekuensi atau panjang gelombang tertentu. Jenis-jenis filter frekuensi/panjang gelombang diantaranya:

1. *Lowpass filter* merupakan filter frekuensi yang membuang frekuensi atau bilangan gelombang tinggi dan menampilkan anomali dengan frekuensi atau bilangan gelombang rendah yang berasosiasi dengan anomali regional.
2. *Highpass filter* merupakan filter frekuensi yang membuang frekuensi atau bilangan gelombang rendah dan menampilkan anomali dengan frekuensi atau bilangan gelombang tinggi yang berasosiasi dengan anomali residual.
3. *Bandpass filter* merupakan filter frekuensi yang digunakan untuk membuang frekuensi-frekuensi atau bilangan gelombang pada *range* tertentu sesuai dengan kebutuhan saat pengolahan data.

### **F. Metode *Moving Average***

*Moving average* merupakan perata-rataan dari data anomali gayaberat. Metode ini merupakan penerapan metode filter Frekuensi dengan menggunakan *low pass*



*filter* sehingga hasil yang didapatkan adalah anomali regional. Anomali residual diperoleh dari mengurangkan anomali regional terhadap anomali (Blakely, 1995).

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

i: nomor stasiun

N: lebar jendela

$$n: \frac{N-1}{2}$$

$\Delta g_{reg}$ : anomali regional

Hal penting pada proses *moving average* adalah penentuan lebar jendela yang tepat. Bilangan gelombang *cutoff* yang diperoleh dari hasil analisis spektral digunakan sebagai masukan dalam perhitungan menentukan lebar jendela

$$N = \frac{2\pi}{k_c \Delta x} \quad (26)$$

$k_c$ : bilangan gelombang *cutoff*

N: lebar jendela

$\Delta x$ : spasi pengukuran

Lebar jendela yang telah dihitung pada proses analisis spektral digunakan sebagai data masukan pada *moving average*. Semakin lebar jendela yang digunakan untuk proses *moving average*, maka daerah yang dapat diteliti akan semakin kecil. Hal ini disebabkan data yang berada ditepi akan hilang, sehingga penentuan lebar jendela harus optimal.

### G. *Second Vertical Derivative (SVD)*

*Second Vertical Derivative (SVD)* bersifat sebagai *High Pass Filter* sehingga dapat menggambarkan anomali residual yang berasosiasi dengan struktur dangkal yang dapat digunakan untuk mengidentifikasi jenis patahan turun atau patahan naik.

Perhitungan SVD diturunkan langsung dari persamaan Laplace untuk anomali gayaberat di permukaan, yang dituliskan dalam persamaan:

$$\nabla^2 g = 0 \quad (27)$$

Atau

$$\frac{\partial^2 g}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 g}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 g}{\partial z^2} = 0$$

Sehingga SVD diberikan oleh persamaan:

$$\frac{\partial^2 g}{\partial z^2} = - \frac{\partial^2 g}{\partial x^2} - \frac{\partial^2 g}{\partial y^2} \quad (28)$$

SVD dari suatu anomali gayaberat permukaan adalah sama dengan negatif dari second horizontal derivative (SHD). Anomali yang disebabkan oleh struktur cekungan mempunyai nilai harga mutlak minimal SVD selalu lebih besar daripada harga maksimalnya. Sedangkan anomali yang disebabkan struktur intrusi berlaku sebaliknya, harga mutlak minimalnya lebih kecil dari harga maksimalnya.

Menurut Reynolds (1998), kriteria untuk menentukan jenis struktur patahan dapat dijabarkan sebagai berikut:

$$\left( \frac{\partial^2 \Delta g}{\partial z^2} \right)_{maks} > \left| \left( \frac{\partial^2 \Delta g}{\partial z^2} \right) \right|_{min} \text{ untuk patahan normal}$$

$$\left(\frac{\partial^2 \Delta g}{\partial z^2}\right)_{maks} < \left|\left(\frac{\partial^2 \Delta g}{\partial z^2}\right)\right|_{min} \text{ untuk patahan naik}$$

Prinsip dasar teknik perhitungan dari metode ini telah dijelaskan oleh Henderson dan Zietz (1949), Elkins (1951), dan Rosenbach (1953). Pada data gayaberat, nilai anomali akan mengalami perubahan secara vertikal yang diakibatkan oleh adanya efek distribusi massa yang tidak merata secara vertikal sehingga turunan keduanya akan memperlihatkan besar efek gayaberat dari struktur-struktur yang lebih luas dan dengan letak yang lebih dalam. Oleh karena itu, struktur-struktur kecil/lokal dan sama-samar dapat diperjelas keberadaannya atau lebih dipertajam bentuk kurvanya dibandingkan struktur-struktur regional yang lebih melebar bentuknya (Hartati, 2012).

## **H. Pemodelan Gayaberat**

Pemodelan dalam geofisika merupakan proses estimasi model dan parameter model berdasarkan data yang diamati di permukaan bumi. Model dan parameter model ini digunakan untuk mengarakterisasi suatu kondisi geologi bawah permukaan suatu wilayah pengukuran (Grandis, 2009).

### **1. *Forward Modelling***

Pemodelan *Forward modeling* atau pemodelan ke depan dilakukan berdasarkan metode dua dimensi Talwani dengan menggunakan bantuan perangkat lunak Gravmag. Pemodelan ke depan untuk menghitung efek gayaberat model benda bawah permukaan dengan penampang berbentuk sembarang yang dapat diwakilii oleh suatu poligon bersisi  $n$  dinyatakan sebagai integral garis sepanjang sisi-sisi poligon (Talwani, 1959).

Ketepatan metode pemodelan ke depan dengan cara coba-coba sangat bergantung pada pengalaman subjektif seorang interpreter dalam menebak nilai awal parameter model serta dalam memperkirakan perubahan nilai parameter model tersebut untuk memperoleh respons yang semakin dekat dengan data. Semakin kompleks hubungan antara data dengan parameter model maka semakin sulit proses coba-coba tersebut. Adanya informasi tambahan dari data geologi atau data geofisika lainnya dapat membantu penentuan model awal (Rahma dan Wahyudi, 2014).

## **2. *Invers Modelling***

Pemodelan inversi (*inverse modelling*) merupakan kebalikan dari pemodelan ke depan karena dalam pemodelan inversi parameter model diperoleh langsung dari data. Pemodelan inversi pada dasarnya adalah proses mekanisme modifikasi model agar diperoleh kecocokan data perhitungan dan data pengamatan yang lebih baik dilakukan secara otomatis (Rahma, 2012).

Pemodelan inversi sering pula disebut sebagai *data fitting* karena dicari parameter model yang menghasilkan respons yang sesuai dengan data pengamatan. Kesesuaian antara respon model dengan data pengamatan umumnya dinyatakan oleh suatu fungsi objektif yang harus diminimumkan. Dalam kalkulus suatu fungsi mencapai minimum jika turunannya terhadap parameter atau variabel yang tidak diketahui bernilai nol. Hal tersebut digunakan untuk memperkirakan parameter model. Secara lebih umum, model dimodifikasi sedemikian hingga respon menjadi sesuai dengan data (Rahma dan Wahyudi, 2014).

## **I. Interpretasi Gayaberat**

Penafsiran terhadap data Gayaberat dapat dilakukan dengan dua cara, yaitu secara kualitatif dan kuantitatif. Tujuannya adalah untuk menafsirkan informasi geologi yang ada dan terjadi di bawah-permukaan pada daerah penelitian seperti struktur geologi dan jenis batuan (Susanti, 2011).

### **1. Penafsiran Kualitatif**

Penafsiran secara kualitatif dapat dilakukan dengan cara menginterpretasi secara langsung pada peta anomali Bouguer, peta anomali regional dan peta anomali residual suatu daerah penelitian. Tujuannya adalah untuk menafsirkan secara lateral struktur geologi di bawah permukaan melalui gambaran sebaran bentuk atau pola kontur anomali yang ada. Pada beberapa hasil penelitian, biasanya bentuk kontur yang melingkar menunjukkan adanya intrusi, sinklin/cekungan atau antiklin, bentuk kontur punggung atau sejajar dan rapat dapat mengindikasikan adanya sesar, horst, dan lain-lain.

### **2. Penafsiran Kuantitatif**

Penafsiran secara kuantitatif dilakukan untuk memberi gambaran secara matematis mengenai geometri dari benda penyebab anomali. Penafsiran secara kuantitatif biasanya dilakukan berdasarkan hasil proses pemodelan geologi dan geofisika.

## IV. METODOLOGI PENELITIAN

### 4.1. Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Teknik Geofisika Universitas Lampung pada April – September 2016. Adapun susunan kegiatan seperti pada **Tabel 1**.

**Tabel 1.** Susunan jadwal penelitian

<b>Jadwal Penelitian</b>																	
Kegiatan	Apr		Mei				1	Jun-Jul	4	September			Oktober		November		
	3	4	1	2	3	4	1	Jun-Jul	4	1	2	3-4	1-4		1	2	3
Studi Literatur																	
Pengolahan data																	
Pemodelan inversi 3D																	
Presentasi Usul																	
Pemodelan 2,5D																	
Interpretasi																	

### 4.2. Alat dan bahan

Adapun alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Data gayabarat: Anomali Bouguer
2. Peta geologi Lapangan Panasbumi Malingping
3. Peta topografi daerah Malingping
4. Data penunjang berupa model inversi 2D AMT dan laporan data geokimia daerah Malingping

5. Personal Computer (PC) yang sudah terinstal perangkat lunak *Surfer*, *Grav3D*, *Global Mapper*, *Numeri*, dan *Oasis Montaj*.

#### **4.3. Pengolahan Data**

Adapun tahapan pengolahan data yang dilakukan dalam penelitian ini adalah:

##### **A. Digitasi dan rekonturisasi**

Peta anomali gayaberat dengan format raster sebagai data awal perlu di digitalisasi untuk mendapatkan nilai anomali sehingga didapatkan peta kontur anomali Bouguer yang baru. Peta hasil digitalisasi dan konturisasi ulang ini yang kemudian digunakan dalam pengolahan data selanjutnya.

##### **B. Analisis spektral**

Analisis spektrum bertujuan untuk memperkirakan kedalaman suatu benda anomali gayaberat di bawah permukaan. Metode analisa spektrum menggunakan Transformasi Fourier (FFT) untuk mengubah suatu fungsi spasial dalam jarak atau waktu menjadi suatu fungsi dalam bilangan gelombang atau frekuensi (Torkis, 2012).

Dalam proses ini, domain jarak pada data anomali gayaberat diubah menjadi domain frekuensi menggunakan Transformasi Fourier sehingga didapatkan perkiraan kedalaman suatu benda anomali dan dapat dijadikan sebagai acuan dalam proses pemodelan dan intepretasi. Frekuensi tinggi berasosiasi dengan panjang gelombang pendek, menunjukkan respon benda-benda dangkal atau disebut anomali residual. Sedangkan frekuensi rendah berkebalikan dengan frekuensi tinggi dan menunjukkan respon dari benda-benda yang letaknya lebih dalam atau disebut anomali regional.

Perhitungan FFT menggunakan Matlab. Sebelumnya dilakukan 3 *slicing* pada peta anomali Bouguer sehingga mendapatkan nilai jarak antar-titik pengukuran ( $x$ ) dan nilai anomali Bouguer pada masing-masing lintasan. Dari proses FFT didapatkan nilai frekuensi, riil dan imajine. Nilai amplitudo didapatkan dengan persamaan (24). Dan bilangan gelombang ( $k$ ) didapatkan dengan persamaan (26).

Selanjutnya dibuat grafik nilai amplitudo ( $\ln A$ ) terhadap bilangan gelombang ( $k$ ) sehingga didapatkan nilai *cut off* atau lebar jendela yang kemudian akan digunakan untuk proses pemisahan anomali regional-residual. Perkiraan kedalaman benda anomali dapat diketahui dengan membuat regresi linier pada anomali regional dan residual dalam grafik.

### **C. Pemisahan anomali regional-residual**

Anomali Bouguer merupakan respon gayaberat yang disebabkan oleh perbedaan densitas bauan di bawah permukaan dengan kedalaman bervariasi. Untuk memisahkan respon dangkal dan respon benda yang lebih dalam digunakan metode *moving average* menggunakan *lowpass filter*. Nilai lebar jendela  $31 \times 31$  yang diperoleh dari analisis spektral digunakan sebagai input filter sehingga didapatkan anomali regional. Anomali residual didapatkan melalui pengurangan anomali regional terhadap anomali Bouguer lengkap.

### **D. Analisa derivatif**

Analisa derivatif yang dapat digunakan untuk menentukan jenis patahan adalah *Second Vertical Derivative* (SVD) atau turunan kedua secara vertikal. SVD diterapkan pada anomali Bouguer, anomali regional, dan anomali residual untuk mendapatkan gambaran sesar yang lebih akurat. Pada anomali residual, peta SVD



akan menunjukkan patahan yang relatif dangkal sedangkan pada anomali regional dapat menunjukkan patahan yang relatif lebih dalam.

Kontur SVD dibuat berdasarkan perhitungan yang telah dijelaskan oleh Henderson & Zeitz (1949), Elkins (1951), dan Rosenbach (1953). Pada penelitian ini filter yang digunakan adalah Elkins (1951) yang dianggap lebih baik. Filter Elkins ditunjukkan pada **Tabel 2** di bawah ini.

**Tabel 2.** Filter Elkins

0.0000	-0.0833	0.0000	-0.0833	0.0000
-0.0833	-0.0667	-0.0334	-0.0667	-0.0833
0.0000	-0.0334	+1.0668	-0.0334	0.0000
-0.0833	-0.0667	-0.0334	-0.0667	-0.0833
0.0000	-0.0833	0.0000	-0.0833	0.0000

#### **E. Pemodelan struktur bawah permukaan**

Pemodelan bawah permukaan dilakukan dengan 2 cara, yaitu *forward modelling* untuk mendapatkan model 2,5D dan *invers modelling* untuk mendapatkan model 3D. Pemodelan ke depan 2,5D merupakan proses perhitungan data yang secara teoritis akan teramati di permukaan bumi jika diketahui harga parameter model bawah permukaan tertentu (Grandis, 2009).

Pemodelan 2,5D dilakukan secara coba-coba yaitu dengan mencari parameter model yang tepat dengan data yang dimiliki sehingga hasilnya memiliki subjektifitas yang tinggi bergantung dengan pengalaman interpreter. Proses pemodelan ini dilakukan menggunakan software Oasis Montaj terhadap anomali residual sebagai respon anomali dangkal. Input yang digunakan adalah jarak antar-stasiun dan nilai anomali residual dari masing-masing lintasan yang dibuat. Pemodelan dibuat pada 2 lintasan. Lintasan 1 (A-A') berarah Baratdaya-Timurlaut dengan memotong sesar utama dan melewati manifestasi. Lintasan 2

(B-B') berarah relatif Barat-Timur dengan memotong sesar utama dan memotong dua anomali tinggi yang mengapit anomali rendah pada peta anomali residual.

Sementara itu, pemodelan inversi 3D digunakan sebagai model pembanding untuk melengkapi hasil model 2,5D. Pemodelan inversi pada dasarnya adalah proses mekanisme modifikasi model agar diperoleh kecocokan data perhitungan dan data pengamatan yang lebih baik dilakukan secara otomatis (Rahma, 2012). Pemodelan inversi 3D dilakukan pada peta anomali Bouguer dan anomali residual untuk mendapatkan gambaran struktur bawah permukaan. Pemodelan ini dilakukan secara otomatis sehingga hasil yang didapatkan sesuai dengan data pengamatan sehingga dapat dijadikan sebagai model pembanding terhadap model 2,5D.

Proses pemodelan inversi dilakukan menggunakan perangkat lunak Grav3D. Input yang diperlukan adalah data topografi (\*.txt) dan anomali gayaberat dalam hal ini adalah anomali Bouguer dan anomali residual (\*.grv) dengan data tambahan berupa standar deviasi masing-masing nilai di dalamnya. Selain itu juga perlu disiapkan *mesh* model sebagai parameter model sehingga didapatkan output model inversi 3D yang mendekati kondisi sebenarnya.

Informasi geologi digunakan sebagai acuan pemodelan, baik pemodelan 2,5D maupun inversi 3D.

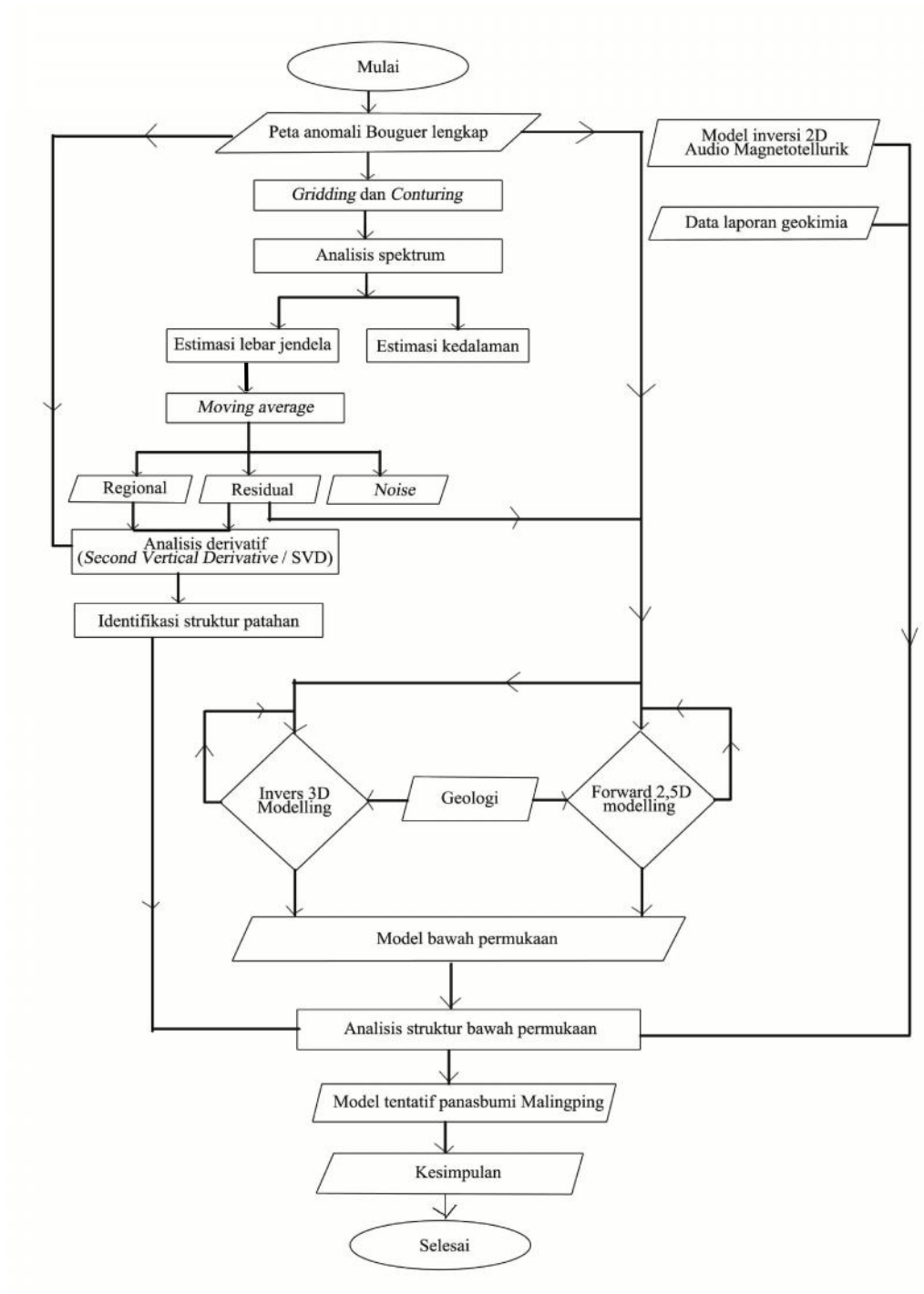
#### **F. Analisa struktur dan model bawah permukaan**

Analisa dilakukan menggunakan hasil pemodelan ke depan 2,5D gayaberat yang dikorelasikan dengan hasil pemodelan inversi 3D. Analisa juga didukung dengan hasil analisis derivatif SVD dan data pendukung lainnya seperti model inversi 2D Audio Magnetotellurik (AMT) dan data laporan geokimia daerah yang keduanya

telah dipublikasikan oleh Pusat Sumber Daya Geologi (PSDG), sehingga dapat diketahui model tentatifnya.

#### 4.4. Diagram alir

Diagram alir penelitian ditunjukkan pada **Gambar 9**.



**Gambar 9.** Diagram alir penelitian.

## VI. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengolahan data dan interpretasi yang telah dilakukan, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Anomali Bouguer menunjukkan nilai anomali tinggi ( $>120$  mGal) di Tenggara daerah penelitian dan anomali rendah ( $<100$  mGal) di sebelah Utara. Dari analisis spektrum didapatkan lebar jendela  $39 \times 39$  yang digunakan dalam pemisahan anomali regional dan anomali residual. Anomali regional menunjukkan pola yang sama dengan anomali Bouguer. Sedangkan anomali residual menunjukkan adanya *trend* anomali rendah di sekitar daerah manifestasi yang diperkirakan sebagai respon dari batuan sedimen.
2. Hasil analisis SVD menunjukkan adanya patahan besar berarah Baratlaut-Tenggara yang merupakan patahan naik dan diduga sebagai pengontrol dalam sistem panasbumi Malingping serta telah memfasilitasi terbentuknya manifestasi mata air panas Citando.
3. Zona resevoir diduga berada pada Formasi Cipacar ( $\rho = 2,35$  gr/cm<sup>3</sup>), Formasi Bojongmanik ( $\rho = 2,6$  gr/cm<sup>3</sup>), dan Formasi Cimapag ( $\rho = 2,76$  gr/cm<sup>3</sup>) hingga kedalaman 2400 m. Sedangkan zona *caprock* diduga berada pada kedalaman 500-1000 meter dari *top soil*. Adanya indikasi intrusi batuan

dari Formasi Cimapag ( $\rho = 2,9 \text{ gr/cm}^3$ ) diduga sebagai batuan yang masih memiliki sisa panas.

4. Berdasarkan interpretasi terpadu yang dilakukan dengan data pendukung berupa model inversi 2D AMT serta data geokimia, lapangan panasbumi Malingping merupakan sistem dominasi air dengan terrain yang relatif datar yang dikontrol oleh sistem *heat sweep setting* pada zona lempeng tektonik aktif serta sistem zona *fracture*.

## DAFTAR PUSTAKA

- Blakely, R.J., 1995, *Potential Theory in Gravity & Magnetic Application*, Cambridge University Press.
- Bracewell, R.N., 2000, *The Fourier Transform and Its Applications third edition*, Boston: McGraw-Hill.
- Diyanti, 2014, Interpretasi Struktur Geologi Bawah Permukaan Daerah Leuwidamar Berdasarkan Analisis Spektral Data, *Skripsi*, Bandung: Universitas Pendidikan Indonesia.
- Elkins, T.A., 1951, The Second Derivative Method of Gravity Interpretation, *Geophysics*, Volume 23. 97-127.
- Grandis, H., 2009, *Pengantar Pemodelan Inversi Geofisika*, Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Hartati, A., 2012, Identifikasi Struktur Patahan Berdasarkan Analisa Derivative Metode Gayaberat Di Pulau Sulawesi, *Skripsi*, Depok: Universitas Indonesia.
- 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. Oktober 2011.
- Hochstein, M.P., Browne, P.R.L., 2000, *Surface Manifestations of Geothermal Systems with Volcanic Heat Sources*, Auckland: Academic Press.
- Imam. S. dan Supriyadi, 2014, Struktur Bawah Permukaan Sekaran Dan Sekitarnya Berdasarkan Data Gaya Berat, *Unnes physic Journal*, Semarang: Universitas Negeri Semarang.
- Permata, S.I., 2012, Studi Komparasi Metode Filtering untuk Pemisahan Anomali Residual dan Regional dari Data Anomali Bouguer, *Skripsi*, Depok: Universitas Indonesia.
- Rahma, M., 2012, Pemodelan Bawah Permukaan Gunungapi Merapi Berdasarkan Anomali Gravitasi Setelah Letusan Besar 2010, *Tesis*, Yogyakarta: Universitas Gajah Mada.

- Rahma, M. dan Wahyudi, 2014, Pembentukan Karakter Melalui Aplikasi Sains (Pemodelan 3d Anomali Gravitasi Magma Gunungapi Merapi Dengan *Software Grablox, Bloxer Dan Rockwork*, *Prosiding Seminar Nasional Pendidikan Karakter*. Vol. 1 No. 1.
- Reynolds, J.M., 1998, *An Introduction to Applied and Environmental Geophysics*, Chicester: John Wiley and Sons.
- Riri, O. 2009. Pemodelan Sistem Geothermal Daerah Sibayak Menggunakan Data Magnetotellurik dan Gravitasi. *Skripsi*. Depok: Universitas Indonesia.
- Risdianto, D. dan Kusnadi, D., 2013, Survei Terpadu Geologi Dan Geokimia Daerah Panas Bumi Malingping Kabupaten Lebak, Provinsi Banten, *Laporan Penelitian*, Bandung: Pusat Sumber Daya Geologi.
- Roy, S. dan Gupta, H., 2007, *Geothermal Energy: An Alternative Resource for the 21<sup>st</sup> Century*, UK: Library of Congress.
- Setiadi, I., Setyanta, B., dan Widijono, B.S., 2010, Delinasi Cekungan Sedimen Sumatera Selatan Beralaskan Analisa Data Gayaberat, *Jurnal Sumber Daya Geo/og*/Vol. 20 No. 2:93-106.
- Sudana, D. dan Santosa, S., 1992, Geologi Lembar Cikarang, Jawa: Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.
- Sujatmiko, dan Santosa, S., 1992, Geologi Lembar Leuwidamar, Jawa: Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.
- Supriyadi, Y., Sugianto, A., dan Widodo, S., 2014, Survei Geofisika Terpadu (Audio Magnetotellurik Dan Gaya Berat) Daerah Panas Bumi Malingping Kabupaten Lebak, Provinsi Banten, *Laporan Penelitian*, Bandung: Pusat Sumber Daya Geologi.
- Susanti, N., 2011, Pemodelan Sistem Panas Bumi Pincara Kabupaten Luwu Utara Sulawesi Selatan Berdasarkan Data Geofisika, *Tesis*, Jakarta: Universitas Indonesia.
- Talwani, M., 1959, *Rapid Gravity Computations for Two-Dimensional Bodies with Application to the Mendocino Submarine Fracture Zone*, New York: Columbia University.
- Telford, W.M., Geldart, L.P., dan Sheriff, R.E., 1990, *Applied Geophysics Second Edition*, Cambridge: Cambridge University Press.
- Torkis, R., 2012, Analisa dan Pemodelan Struktur Bawah Permukaan Berdasarkan Metode Gayaberat di Daerah Prospek Panas Bumi Gunung Lawu, *Skripsi*. Depok: Universitas Indonesia.
- White, D.E., 1967, *Some Principles of Geyser Activity Mainly From Steamboat Spring*, Nevada: American Journal Science.

Widianto, E., 2008, Penentuan Konfigurasi Struktur Batuan Dasar dan Jenis Cekungan dengan Data Gayaberat Serta Implikasinya Pada Target Eksplorasi Minyak dan Gas Bumi di Pulau Jawa, *Tesis*, Bandung: Institut Teknologi Bandung.

Yusuf, M., 2011, Analisis Data Gayaberat Kombinasi Gravimeter Absolut (A10) dan Gravimeter Relatif (*Lacoste Romberg*), *Tesis*, Bandung: Institut Teknologi Bandung.