

**IDENTIFIKASI DAERAH PROSPEK *RESERVOIR* PANAS BUMI DANAU
RANAU BERDASARKAN ANALISA DATA GAYA BERAT DAN
KOMPILASI DENGAN DATA GEOLOGI, GEOKIMIA SERTA
MAGNETOTELLURIK**

(Skripsi)

Oleh

HAWARIYAH AFIFFAH

NPM 1715051009



**FAKULTAS TEKNIK
JURUSAN TEKNIK GEOFISIKA
BANDAR LAMPUNG
2021**

ABSTRACT

IDENTIFICATION OF RANAU LAKE GEOTHERMAL RESERVOIR PROSPECTS BASED ON GRAVITY DATA ANALYSIS AND COMPILATION WITH GEOLOGICAL, GEOCHEMICAL AND MAGNETOTELLURIC DATA

By

Hawariyah Afiffah

The study of the Ranau Lake geothermal area located in Ogan Komering Ulu Regency, South Sumatra and West Lampung Regency, Lampung aims to identify the structure and determine the location of the geothermal reservoir prospect based on analysis of gravity data, geological data, geochemical data and Magnetotelluric data. The data used is complete Bouguer Anomaly data. Data processing was carried out using Surfer software, Geosoft Oasis Montaj, Grablox and Microsoft Excel. The data processing process starts from spectrum analysis using a moving average filter to determine the depth of the anomaly using Microsoft Excel software. Separation of residual and regional Bouguer anomalies was performed using a moving average filter with 13 km windows. For residual anomalies, derivative analysis was performed to determine the faults and geological boundaries of the study area. 3D modeling is done using grablox software and oasis montaj software, which produces a density model distribution. The results of data processing obtained Bouguer anomaly of 10 mGal-56 mGal. The results of the Second Vertical Derivative show a zero value which is the limit of geological characteristics, namely the presence of faults and differences in physical properties of rock density. The fault structure identified is a normal fault with a northwest-southeast trend, which is located in the northeast, northwest, southeast, southwest, south and northeast. The normal fault has a north-south direction, located in the eastern part of the study area. There is a prospect zone which is thought to be a geothermal reservoir zone at a depth of 1-2 km with a density of 1.9-2.2 gr/cc located around the geothermal manifestation, around the peak of Mount Seminung, to the south and northeast of the peak of Mount Seminung.

Keywords: Gravity, geothermal, derivative analysis.

ABSTRAK

IDENTIFIKASI DAERAH PROSPEK *RESERVOIR* PANAS BUMI DANAU RANAU BERDASARKAN ANALISA DATA GAYA BERAT DAN KOMPILASI DENGAN DATA GEOLOGI, GEOKIMIA SERTA MAGNETOTELLURIK

Oleh

Hawariyah Afiffah

Penelitian daerah panas bumi Danau Ranau yang terletak di Kabupaten Ogan Komering Ulu, Sumatera Selatan dan Kabupaten Lampung Barat, Lampung bertujuan untuk mengidentifikasi struktur dan menentukan lokasi prospek *reservoir* panas bumi berdasarkan analisis data gaya berat, data geologi, data geokimia dan data Magnetotellurik. Data yang digunakan merupakan data Anomali *Bouguer* Lengkap. Pengolahan data dilakukan dengan *software surfer*, *geosoft oasis montaj*, *grablox* dan *microsoft excel*. Proses pengolahan data dimulai dari analisis spektrum menggunakan filter *moving average* untuk mengetahui kedalaman anomali dengan menggunakan *software microsoft excel*. Pemisahan anomali *Bouguer* residual dan regional dilakukan menggunakan filter *moving average* dengan *windows* 13 km. Pada anomali residual dilakukan analisis *derivative* untuk mengetahui sesar dan batas geologi daerah penelitian. Pemodelan 3D dilakukan menggunakan *software grablox* dan *software oasis montaj*, yang menghasilkan *density model distribution*. Hasil pengolahan data didapatkan anomali *Bouguer* sebesar 10 mGal-56 mGal. Hasil *Second Vertical Derivative* menunjukkan nilai nol yang merupakan batas karakteristik geologi yaitu adanya sesar serta perbedaan sifat fisis dari densitas batuan. Struktur sesar yang teridentifikasi merupakan sesar normal berarah baratlaut-tenggara, yang terletak di timurlaut, baratlaut, tenggara, baratdaya, selatan dan timurlaut. Sesar normal berarah utara-selatan, terletak di bagian timur daerah penelitian. Terdapat zona prospek yang diduga merupakan zona *reservoir* panas bumi pada kedalaman 1-2 km dengan densitas 1.9-2.2 *gr/cc* yang terletak di sekitar manifestasi panas bumi, sekitar puncak Gunung Seminung, sebelah selatan dan sebelah timurlaut puncak Gunung Seminung.

Kata Kunci: Gaya berat, panas bumi, analisis derivative.

**IDENTIFIKASI DAERAH PROSPEK *RESERVOIR* PANAS BUMI DANAU
RANAU BERDASARKAN ANALISA DATA GAYA BERAT DAN
KOMPILASI DENGAN DATA GEOLOGI, GEOKIMIA SERTA
MAGNETOTELLURIK**

Oleh
Hawariyah Afiffah

Skripsi
Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNIK

Pada
Jurusan Teknik Geofisika
Fakultas Teknik Universitas Lampung



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

2021

Judul Skripsi : **IDENTIFIKASI DAERAH PROSPEK
RESERVOIR PANAS BUMI DANAU
RANAU BERDASARKAN ANALISA DATA
GAYA BERAT DAN KOMPILASI DENGAN
DATA GEOLOGI, GEOKIMIA SERTA
MAGNETOTELLURIK**

Nama Mahasiswa : **Hawariyah Afiffah**

Nomor Pokok Mahasiswa : 1715051009

Jurusan : Teknik Geofisika

Fakultas : Teknik



1. Komisi Pembimbing

Pembimbing I

Pembimbing II

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

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

2. Ketua Jurusan Teknik Geofisika

Karyanto, S.Si., M.T.
NIP 19691230 199802 1 001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua

: **Dr. Ir. Muh. Sarkowi, M.Si., IPU.**

Sekretaris

: **Dr. Ir. Nandi Haerudin, M.Si.**

Penguji

Bukan Pembimbing : **Prof. Drs. Ir. Suharno, Ph.D.,
IPU., ASEAN Eng.**

2. Dekan Fakultas Teknik



Prof. Drs. Ir. Suharno, Ph.D., IPU., ASEAN Eng.
NIP 19620717 198703 1 002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 17 November 2021

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya saya yang pernah dilakukan orang lain, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang ditulis atau diterbitkan 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, November 2021



Hawariyah Afiffah

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Indralaya, Kab. Ogan Ilir, Provinsi Sumatera Selatan pada tanggal 04 Januari 2000. Penulis merupakan anak kedua dari Bapak Liyahdi dan Ibu Lailatussa'adah. Penulis menyelesaikan Pendidikan Taman Kanak-kanak (TK) di TK Al-Kautsar Indralaya pada tahun 2005. Pendidikan Sekolah Dasar (SD) di SD Negeri 25 Indralaya yang selesai pada tahun 2011. Pendidikan Sekolah Menengah Pertama (SMP) di SMP Negeri 1 Indralaya yang selesai pada tahun 2014. Selanjutnya, Pendidikan Sekolah Menengah Atas (SMA) di SMA Negeri 1 Indralaya yang selesai pada tahun 2017.

Pada tahun 2017, penulis melanjutkan studi di perguruan tinggi melalui jalur masuk SNMPTN dan terdaftar sebagai mahasiswa Jurusan Teknik Geofisika, Fakultas Teknik, Universitas Lampung. Pada tahun 2018 sampai 2019 penulis menjabat sebagai anggota Biro Dana dan Usaha (Danus), kemudian menjadi Sekretaris Biro Dana dan Usaha (Danus) dari tahun 2019 sampai 2020, Himpunan Mahasiswa (HIMA) TG Bhuwana, Universitas Lampung. Pada tahun 2019 sampai 2020 penulis menjabat sebagai anggota Divisi Public Relation (PR), kemudian menjadi Bendahara Umum dari tahun 2020 sampai 2021, AAPG SC Universitas Lampung. Pada tahun yang sama penulis juga menjadi anggota Divisi Fieldtrip, kemudian menjadi anggota Divisi Public Relation (PR), SM-IAGI Universitas Lampung.

Pada pertengahan tahun 2020 penulis melaksanakan Kerja Kuliah Nyata (KKN) di Kelurahan Indralaya Raya, Kecamatan Indralaya, Kabupaten Ogan Ilir, Sumatera Selatan. Di dalam pengaplikasian ilmu di bidang Teknik Geofisika penulis juga telah melaksanakan Kerja Praktik (KP) di PT. Elnusa, Tbk., Jakarta Selatan pada awal tahun 2020 dengan judul laporan “Pengolahan dan Pemodelan Data Megnetotellurik untuk Identifikasi Struktur Bawah Permukaan Prospek Panas Bumi”. Pada akhir masa studi, penulis melakukan Tugas Akhir, dengan mengambil judul “Identifikasi Daerah Prospek *Reservoir* Panas Bumi Danau Ranau Berdasarkan Analisa Data Gaya Berat dan Kompilasi dengan Data Geologi, Geokimia Serta Magnetotellurik” dan telah menyelesaikan Pendidikan sarjana Teknik pada tanggal 17 November 2021.

PERSEMBAHAN

Puji syukur kupanjatkan kepada Allah SWT.
atas rahmat, hidayah serta karunia-Nya. Shalawat serta salam yang selalu
tercurahkan kepada junjungan kita nabi besar Muhammad SAW. yang menjadi
suri tauladan, sehingga saya dapat menyelesaikan skripsi ini

Kupersembahkan Kepada:

Ayah dan Ibu Terkasih

Terimakasih untuk setiap doa dan dukungan yang selalu diberikan kepadaku.

Terimakasih.

Aku sayang kalian.

Bapak dan Ibu Dosen Terhormat

Sebagai tanda hormatku, terimakasih untuk ilmu yang selama ini telah diberikan.

dan

Teknik Geofisika 2017

Almamater Tercinta Universitas Lampung

MOTTO

“Always Believe in Yourself. Do More of What Makes You Happy”

PRAY, EAT, SLEEP, PLAY, REPEAT.

Hawariyah Afiffah

“Man Sara Ala Darbi Washala”

SANWACANA

Segala puji bagi Allah SWT atas segala berkah, rahmat, kemudahan, dan ilmu yang bermanfaat bagi penulis, sehingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik. Sholawat serta salam selalu tercurahkan kepada Nabi Muhammad SAW. Tulisan dengan judul “Identifikasi Daerah Prospek Reservoir Panas Bumi Danau Ranau Berdasarkan Analisa Data Gaya Berat Dan Kompilasi Dengan Data Geologi, Geokimia Serta Magnetotellurik” merupakan skripsi dari penelitian yang dilakukan penulis untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik.

Skripsi ini dapat berjalan dengan lancar dan diberi kemudahan berkat doa, dukungan, dan bimbingan dari berbagai pihak. Penulis ingin menyampaikan terimakasih kepada:

1. Bapak Prof. Drs. Ir. Suharno, Ph.D., IPU., ASEAN Eng. Selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung.
2. Bapak Karyanto, S.Si., M.T. selaku Ketuan Jurusan Teknik Geofisika Universitas Lampung.
3. Bapak Dr. Ir. Muh. Sarkowi, S. Si., M. Si., IPU. Selaku dosen pembimbing 1 saya yang selalu membantu dan membimbing saya dalam mengerjakan tugas akhir.
4. Bapak Dr. Ir. Nandi Haerudin, S. Si., M. Si. Selaku dosen pembimbing 2 saya dan dosen pembimbing akademik yang selalu membimbing dan membantu saya selama perkuliahan terkait akademik maupun non-akademik.
5. Bapak Prof. Drs. Ir. Suharno, Ph.D., IPU., ASEAN Eng. Selaku dosen penguji yang meberikan saran dan masukan pada skripsi ini.
6. Dosen-dosen Jurusan Teknik Geofisika Universitas Lampung yang saya hormati terima kasih untuk semua ilmu yang diberikan.

7. Seluruh Staf Tata Usaha Jurusan Teknik Geofisika Universitas Lampung.
8. Kedua orang tua tercinta yang selalu menjadi kebanggaan hidup penulis, Ayah Liyahdi dan Ibu Laila Tussa'adah yang telah banyak memberi dukungan, mencintai dan menyayangi dengan sepenuh hati. Maaf kalau masih belum bisa menjadi anak yang baik bagi ayah dan ibu. Semoga kelak Ayah dan Ibu dapat melihat penulis sukses dan membanggakan ayah dan ibu.
9. Ayukku Umniyah dan ketiga adik tersayang Rifdah, Miftah dan Qonitah
10. Regina yang mengajarkan saya pengolahan data gaya berat.
11. Salakbor (Varen, Dea, Tiwi dan Lisa) yang selalu memberi dukungan, semangat dan motivasi untuk pantang menyerah dalam hidup, "yok bisa yok".
12. Terima kasih *youtube* telah menemani dalam pembuatan skripsi.
13. Teman-teman angkatan 2017 Teknik Geofisika yang selalu ada dikala suka dan duka, selalu ada ketika dibutuhkan dan bisa diandalkan, yang telah memberikan motivasi dan membantu dalam penyusunan skripsi ini. Terima kasih atas tawa canda duka yang sudah kalian berikan selama kurang lebih 4 tahun ini, banyak hal yang pernah dilalui akan terus menjadi garis memori yang tidak akan pernah terputus sampai kapan pun, semoga kita semua diberikan rezeki yang lancar, tubuh yang sehat agar kelak dapat berkumpul kembali sembari menceritakan kesuksesan masing-masing, aamiin.
14. Seluruh Kakak Tingkat dan Adik Tingkat yang telah membantu penulis selama perkuliahan.
15. Para penulis lain yang telah membantu memberikan inspirasi bagi saya dalam melakukan penelitian ini.

Saya sangat sadar bahwa masih terdapat banyak kekurangan dalam penulisan skripsi ini. Atas segala kekurangan tersebut, penulis sangat terbuka akan kritik dan saran yang membangun demi menjadikan skripsi ini lebih baik lagi. Semoga skripsi ini bermanfaat bagi para pembaca.

Penulis

Hawariyah Afiffah

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Warrahmatullahi Wabarakatuh

Alhamdulillah, puji syukur penulis haturkan kepada Allah SWT. yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah serta karunia-Nya. Tak lupa pula shalawat serta salam yang selalu tercurahkan kepada junjungan kita nabi besar Muhammad SAW. yang menjadi suri tauladan, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“IDENTIFIKASI DAERAH PROSPEK RESERVOIR PANAS BUMI DANAU RANAU BERDASARKAN ANALISA DATA GAYA BERAT DAN KOMPILASI DENGAN DATA GEOLOGI, GEOKIMIA SERTA MAGNETOTELLURIK”**. Skripsi ini merupakan bagian dari persyaratan dalam meraih gelar S-1 Teknik Geofisika, Universitas Lampung.

Harapan penulis dengan adanya penelitian ini, semoga dapat menambah ilmu dalam bidang Geofisika khususnya dalam Eksplorasi Panas Bumi. Dalam pelaksanaan dan penulisan laporan ini, penulis menyadari masih banyak kekurangan. Oleh karena itu, kritik dan saran sangat dibutuhkan agar kedepannya penulis dapat memberikan yang lebih baik lagi. Demikian pengantar dari penulis, semoga skripsi ini dapat bermanfaat untuk masa kini dan mendatang.

Penulis,

Hawariyah Afiffah

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK	ii
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR GAMBAR	v
DAFTAR TABEL	vii
I. PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan	2
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Manfaat	3
II. TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Letak Geografis Daerah Penelitian	4
2.2 Geologi Regional Daerah Penelitian.....	5
2.3 Geokimia Daerah Penelitian	7
2.4 Geomorfologi Daerah Penelitian.....	10
2.5 Magnetotellurik Daerah Penelitian	11
2.6 Magnetotellurik Daerah Penelitian	13
III. TEORI DASAR	
3.1 Konsep Dasar Metode Gaya Berat	16
3.1.1 Gaya Gravitasi (Hukum Newton I).....	16
3.1.2 Percepatan Gravitasi (Hukum Newton II)	17
3.1.3 Potensial Gravitasi	18
3.1.4 Rapat Massa Batuan	18
3.2 Koreksi-Koreksi dalam Metode Gaya Berat.....	19
3.2.1 Koreksi Lintang (<i>Latitude Correction</i>).....	19
3.2.2 Koreksi Udara Bebas (<i>Free Air Correction</i>)	20

3.2.3 Koreksi <i>Bouguer</i> (<i>Bouguer Correction</i>).....	20
3.2.4 Koreksi Medan (<i>Terrain Correction</i>)	21
3.2.5 Penentuan Densitas Permukaan <i>Bouguer</i>	21
3.3 Analisis Spektral.....	22
3.4 Filter <i>Moving Average</i>	24
3.5 Pemisahan Regional-Residual.....	25
3.6 <i>First Horizontal Derivative (FHD)</i>	26
3.7 <i>Second Vertical Derivative (SVD)</i>	27
3.8 <i>Second Horizontal Derivative (SHD)</i>	29
3.9 Inversi Data.....	29
3.8 Sistem Panas Bumi.....	31

IV. METODOLOGI PENELITIAN

4.1 Waktu dan Tempat Penelitian	34
4.2 Alat dan Bahan	34
4.3 Tahapan Pengolahan Data.....	35
4.4 Diagram Alir.....	37

V. HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 Anomali <i>Bouguer</i>	38
5.2 Analisis Spektrum	39
5.3 Pemisahan Anomali Regional dan Residual	47
5.4 <i>Second Vertical Derivative (SVD)</i>	50
5.5 <i>Inverse Modeling</i>	52
5.6 <i>Slicing 3D</i>	58
5.7 Sistem Panas Bumi Danau Ranau.....	66

VI. KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan	68
6.2 Saran.....	68

DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Peta Administrasi Daerah Penelitian	4
2. Peta Geologi Daerah Penelitian	7
3. Peta Manifestasi Daerah Penelitian.....	9
4. Morfologi Sekitar Daerah Danau Ranau.....	10
5. Peta titik ukur lintasan MT daerah panas bumi Danau Ranau	11
6. Model 2D tahanan jenis <i>line</i> 1	12
7. Model 2D tahanan jenis <i>line</i> 2	12
8. Peta manifestasi permukaan Danau Ranau (PT. PLN, 2017)	14
9. Diagram Segitiga Cl-SO4-HCO3 (Kusuma dkk, 2015).....	15
10. Diagram Kandungan relatif Na, K, Mg (Kusuma dkk, 2015).....	15
11. Gaya tarik menarik antara dua benda.....	16
12. Kurva Ln A terhadap k	24
13. Penampang ideal suatu sistem panas bumi	32
14. Model tentatif panas bumi Danau Ranau (Badan Geologi, 2005).	33
15. Diagram Alir	38
16. Peta Anomali <i>Bouguer</i> daerah panas bumi Danau Ranau	39
17. Garis lintasan pada kontur Anomali <i>Bouguer</i>	41
18. Grafik Ln A vs K (Lintasan 1)	42
19. Grafik Ln A vs K (Lintasan 2)	43
20. Grafik Ln A vs K (Lintasan 3)	44
21. Grafik Ln A vs K (Lintasan 4)	45
22. Grafik Ln A vs K (Lintasan 5)	46
23. Peta anomali regional.....	49
24. Peta anomali residual	50
25. Peta <i>Second Vertical Derivative</i> (SVD)	52

26. Model 3D (<i>Software grablox</i>)	53
27. Model 3D (<i>Software oasis montaj</i>)	54
28. <i>Slicing</i> horizontal untuk kedalaman 0 m.....	55
29. <i>Slicing</i> horizontal untuk kedalaman 500 m.....	56
30. <i>Slicing</i> horizontal untuk kedalaman 1000 m.....	57
31. <i>Slicing</i> horizontal untuk kedalaman 1500 m.....	58
32. <i>Slicing</i> pada kontur Anomali Residual	59
33. <i>Profile</i> AB Residual, FHD, dan SHD (<i>Line 1</i>)	61
34. <i>Profile</i> AB Residual, FHD, dan SHD (<i>Line 2</i>)	62
35. <i>Profile</i> AB Residual, FHD, dan SHD (<i>Line 3</i>)	64
36. <i>Profile</i> AB Residual, FHD, dan SHD (<i>Line 4</i>)	66
37. Model konseptual panas bumi Danau Ranau	68
38. Model <i>slicing</i> distribusi <i>density</i> pada kedalaman 1500 meter di bawah muka laut dan keberadaan lokasi <i>reservoir</i> di daerah tersebut.	70

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Mata Air Panas Daerah Danau Ranau.....	13
2. Nilai densitas batuan(Telford, dkk., 1990)	19
3. Operator filter SVD.....	28
4. <i>Time Schedule</i>	35
5. Kedalaman Anomali <i>Bouguer</i> regional dan residual	46
6. Bilangan gelombang (k) dan lebar jendela (N)	47

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan salah satu negara di dunia yang kaya akan sumber energi panas bumi. Potensi panas bumi tersebut belum dioptimalkan manfaatnya. Energi panas bumi berpotensi menggantikan energi fosil sebagai sumber energi. Masalah ketersediaan energi menjadi isu penting yang sering dibahas pada era globalisasi seperti sekarang, baik itu dalam sebuah seminar, diskusi, maupun konferensi besar dari para pemimpin negara. Banyak hal dilakukan untuk membuat terobosan baru di dalam dunia teknologi khususnya dalam bidang energi yang terbarukan. Hal ini menjadi sebuah tantangan besar bagi para ilmuwan untuk mencari kemungkinan-kemungkinan baru yang bisa digunakan sebagai penghasil energi baru serta tidak berdampak buruk pada lingkungan. Salah satu jenis energi terbarukan tersebut yaitu energi panas bumi.

Dalam rangka mendukung pembangunan energi nasional secara berkelanjutan dan meningkatkan ketahanan energi nasional, pengelolaan energi menjadi hal penting untuk mencapai kemandirian energi yang mengoptimalkan pemanfaatan potensi sumber daya energi dalam negeri. Panas bumi di Indonesia memiliki potensi sumber daya sebesar 11.073 MWe dan cadangan sebesar 17.506 MWe, panas bumi juga sebagai sumber daya alam yang ramah lingkungan dan terbarukan merupakan salah satu sumber energi alternatif yang dapat dikembangkan untuk menghasilkan listrik dan mendukung pertumbuhan pembangunan ketenagalistrikan di Indonesia. Indonesia memiliki potensi panas bumi yang melimpah dengan 331 titik potensi yang tersebar dari Sabang sampai Merauke. Panas bumi merupakan sumber energi

setempat dan tidak dapat ditransportasikan, sehingga dapat menjadi kearifan lokal energi Indonesia (ESDM, 2017).

Danau Ranau merupakan salah satu daerah yang memiliki potensi panas bumi, yang terletak di perbatasan Lampung dan Sumatera Selatan. Daerah Danau Ranau merupakan daerah gunung api purba yang memiliki sumber mata air panas. Untuk mengembangkan potensi panas bumi tersebut diperlukan teknologi eksplorasi yang baik agar pemanfaatan panas bumi menjadi maksimal. Salah satu keilmuan yang dapat digunakan untuk kegiatan eksplorasi adalah metode geofisika. Secara umum, metode geofisika digunakan untuk memetakan kondisi bawah permukaan dengan menggunakan konsep-konsep fisika, sedangkan dalam kegiatan eksplorasi panas bumi, metode-metode geofisika yang dapat digunakan diantaranya yaitu metode magnetik, gaya berat, *resistivity*, magnetotellurik (MT), dan lain sebagainya.

Dalam penelitian ini penulis menggunakan metode gaya berat atau disebut juga dengan metode *gravity*. Metode *gravity* biasa digunakan dalam eksplorasi geothermal karena dapat memberikan informasi detail mengenai struktur geologi dan densitas batuan. Dalam kegiatan eksplorasi panas bumi sendiri perlu diketahui keberadaan *heat source* dan juga patahan.

1.2 Tujuan

Tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mendapatkan anomali *Bouguer* daerah penelitian
2. Mengidentifikasi struktur bawah permukaan daerah Danau Ranau berdasarkan data gaya berat.
3. Mendapatkan model bawah permukaan daerah Danau Ranau berdasarkan pemodelan 3D anomali gaya berat dan menentukan lokasi prospek *reservoir* panas bumi berdasarkan analisis data gaya berat, dan kompilasi dengan data geologi, geokimia serta magnetotellurik.

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Daerah penelitian terletak di daerah Danau Ranau.
2. Data yang digunakan berupa data anomali *bouguer* lengkap.
3. Analisis lokasi *reservoir* panas bumi dilakukan dengan melakukan *overlay* dan analisis data *gravity*, dan kompilasi dengan data geologi, geokimia serta magnetotellurik.

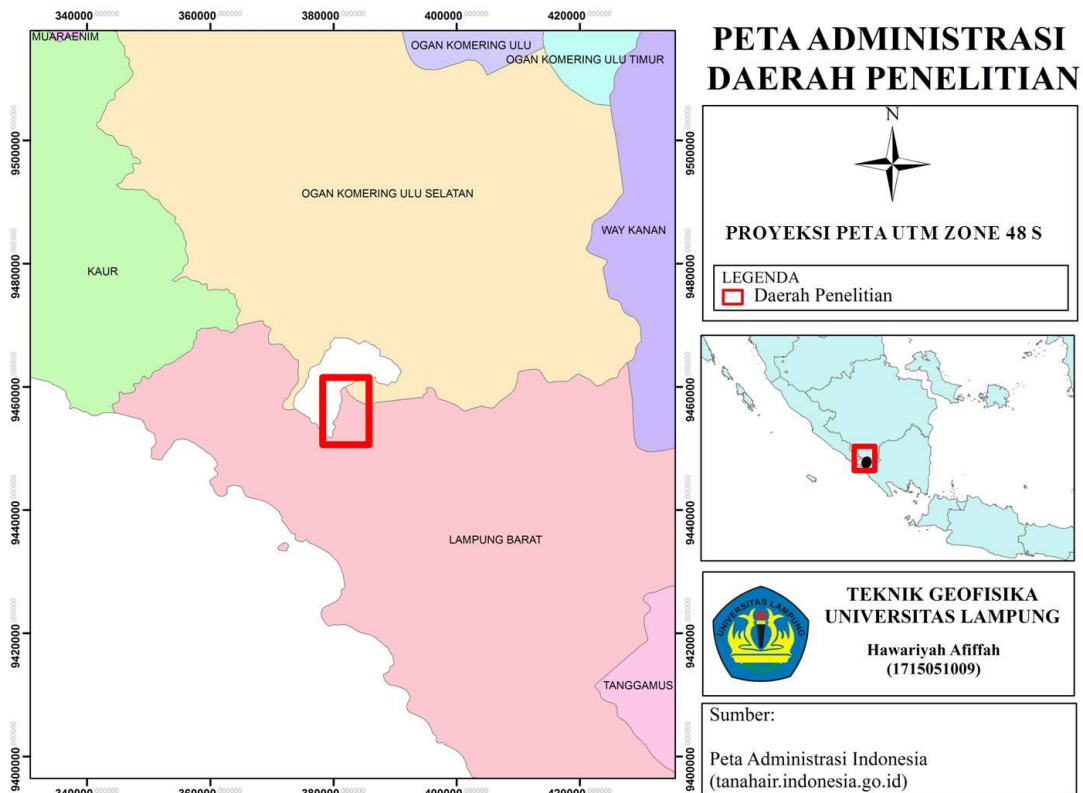
1.4 Manfaat

Manfaat dari penelitian ini adalah memberikan informasi mengenai struktur bawah permukaan pada daerah penelitian berdasarkan data gaya berat dan lokasi prospek *reservoir* panas bumi serta sebagai acuan untuk penelitian-penelitian selanjutnya.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Letak Geografis Daerah Penelitian

Daerah penelitian secara administratif terletak di Kabupaten Ogan Komering Ulu, Sumatera Selatan dan Kabupaten Lampung Barat, Lampung. Secara geografis daerah penelitian berada pada koordinat 380000-392000 mE dan 9462000-9449200 mN (zona 48S UTM) pada koordinat 4° 51' 45" Lintang Selatan 103° 55' 50" Bujur Timur. Luas daerah penelitian yaitu 12x13 km² berada pada ketinggian 500-1800 m dari permukaan laut.



Gambar 1. Peta Administrasi Daerah Penelitian (Modifikasi Nouel, 2009)

2.2 Geologi Daerah Penelitian

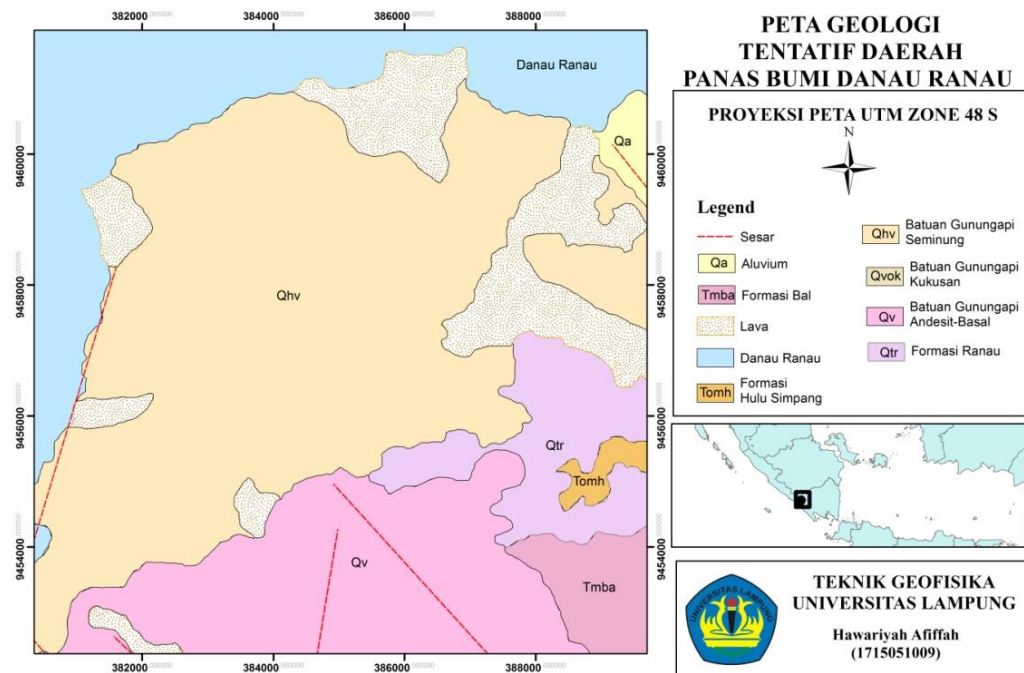
Daerah Danau Ranau terletak di sebelah tenggara Danau Ranau dan merupakan bagian dari sistem Gunung Api Seminung. Secara umum batuan yang berada di daerah ini merupakan batuan vulkanik produk dari Gunung Seminung. Litologi batuan tersebut terbagi dalam 12 satuan batuan dari tua ke muda, yaitu Satuan Aliran Lava Vulkanik Tua (TLT), Satuan Aliran Piroklastik Ranau (QJR), Satuan Aliran Lava Kukusan (QLK), Satuan Breksi Vulkanik Kukusan (QBvK), Satuan Breksi Laharik Kukusan (QAIK), Satuan Aliran Lava Seminung 1 (QLS-1), Satuan Breksi Laharik Seminung (QAIS), Satuan Jatuhan Piroklastik Seminung (QJS), Satuan Aliran Lava Seminung 2 (QLS-2), Satuan Aliran Lava Seminung 3 (QLS-3), Satuan Endapan Longsoran Seminung (QL), dan Endapan Alluvial (QAI) (Wibowo, 2013).

Secara umum, susunan stratigrafi dan jenis litologi didominasi oleh batuan vulkanik yang merupakan hasil dari produk vulkanik tua yang berumur Tersier Gunung Kukusan dan produk Danau Ranau yang ditindih secara tidak selaras oleh batuan vulkanik dari produk Gunung Seminung yang berumur Kuarter. Proses pembentukan satuan batuan tersebut berawal dari waktu Tersier ketika membentuk batuan vulkanik berupa lava andesit dan tufa dengan urat-urat kuarsa, kalsit dan magnetit yang mengisi rongga-rongga rekahan dan sudah terpropilitkan yaitu aliran piroklastik yang tersebar di bagian tengah penelitian. Satuan batuan ini menindih secara tidak selaras batuan lava tua dan memiliki ketebalan sekitar 20-50 cm, dengan umur satuan batuan yang diprediksi terbentuk pada masa Pliosen atau masa Kuarter Akhir. Kemudian terbentuk lava, breksi dan juga lahar produk Gunung Kukusan berada di bagian barat.

Terbentuknya Gunung Seminung pada daerah penelitian berkaitan dengan aktivitas Sesar Semangko yang membentuk pola *en echelon*. Produk batuan dari Gunung Seminung yaitu lava andesit dengan tebal $\pm 5-7$ m diperkirakan berumur Kuarter, aliran piroklastik dan jatuhan piroklastik Seminung. Erupsi lava Seminung 2 memiliki komposisi batuan andesit-basaltis, berada di

bagian tengah sampai ke desa Lombok, Wai Banding dan Kota Batu. Lava Seminung 3 memiliki komposisi batuan breksi yang berada di puncak Gunung Seminung dan terakhir terbentuk aluvium di daerah Kota Batu dan terbentuk longsoran yang berasal dari lava Seminung di daerah Talang Jungkung. Gunung Seminung ini diperkirakan menjadi *heat source* dari sistem panas bumi Danau Ranau. Struktur utama pada daerah prospek Danau Ranau adalah Sesar Normal Talang Kedu, Kota Batu, dan Wai Uluhan yang berarah timurlaut-tenggara. Selain itu ada Sesar Lombok yang berarah relatif utara-selatan. Berdasarkan genesanya, Sesar Wai Uluhan merupakan komponen minor dari sistem Sesar Sumatera, sedangkan Sesar Talang Kedu dan Kota Batu merupakan sesar-sesar reaktivasi dari pola lama yang mendeformasi batuan di bawah satuan batuan produk Gunung Api Seminung. Manifestasi panas bumi ini berkaitan erat terbentuknya ketiga sesar utama di atas dan Sesar Lombok yang berarah utara-selatan (Utami, 2013).

Bagian tenggara Danau Ranau membentuk Gunung Seminung, yang merupakan gunung pasca kaldera tipe *stratovolcano* (Muraoka, dkk., 2010). Produk dari Gunung Seminung adalah lahar dan piroklastik yang menunjukkan letusan eksplosif dengan energi tinggi. Menurut posisi kenampakan wujudnya, diperkirakan magma yang tersisa meletus sebagai sumber panas wujud yang muncul yang bersumber dari Gunung Seminung. Zona permeabel di lapangan panas bumi Danau Ranau dikendalikan oleh sistem sesar Sumatera yang merupakan sesar geser dengan arah gerak dekstral yang relatif mengarah ke baratlaut-tenggara. Pemisahan bagian sesar secara *step-over* dengan pola en-eselon menghasilkan pembentukan gerakan ekstensi yang membentuk depresi vulkanik-tektonik di Danau Ranau. Kecenderungan pola pembentukan pola sesar arah baratlaut-tenggara, utara-baratlaut-selatan-tenggara dan timurlaut-baratdaya, berhubungan dengan sesar utama, sintetik, dan antitesis Sesar Sumatera, atau yang lebih dikenal dengan Sesar Semangko (Tjia, 1977 dalam Afiat, dkk., 2020).



Gambar 2. Peta Geologi Daerah Penelitian (Modifikasi Ibrahim, dkk., 2020)

2.3 Geokimia daerah Penelitian

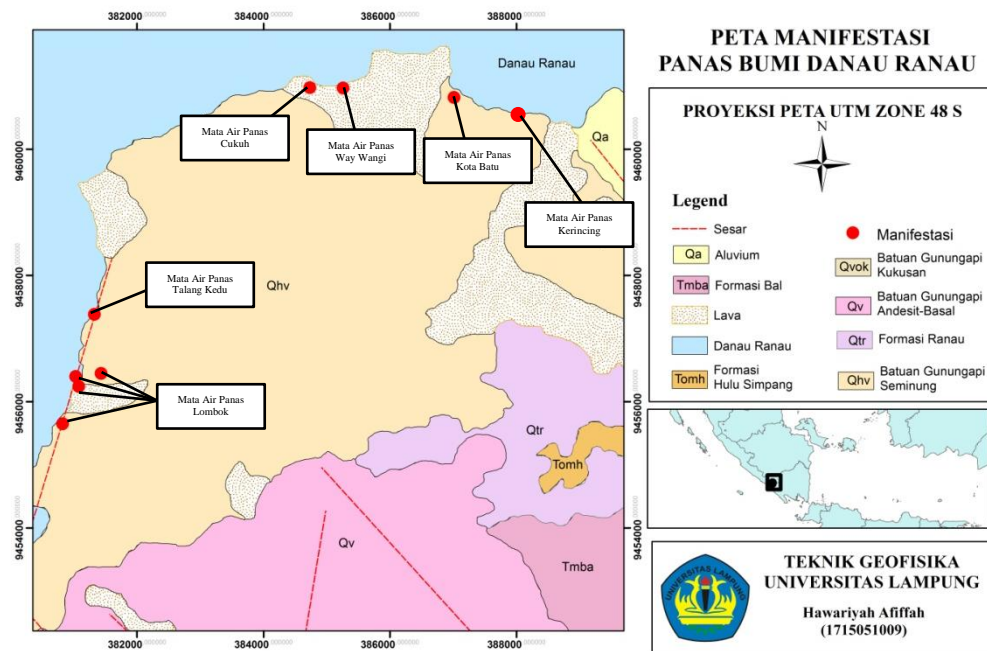
Panas bumi Danau Ranau memiliki sepuluh manifestasi, dimana delapan diantaranya merupakan kelompok mata air panas dan dua diantaranya merupakan zona alterasi. Manifestasi tersebut tersebar di sepanjang tepi Danau Ranau dan berada pada lingkungan batuan lava basaltis dan sebagian kecil piroklastik dan breksi laharik (Kusuma, dkk., 2015).

Manifestasi panas bumi di daerah ini berupa mata air panas yang diperkirakan muncul melalui struktur dengan temperatur 37-64°C dan pH netral, di beberapa lokasi ditemukan sinter karbonat dan gelembung-gelembung gas yang kemungkinan berasal dari *magmatic water*. Sumber panas diduga berasal dari sisa magma pembentukan kerucut Gunung Api Seminung yang berada di bagian tengah daerah penelitian (Tim Penyiapan WKP Panas Bumi, 2007).

Fluida panas bumi Danau Ranau membentuk sistem panas bumi daerah Danau Ranau menunjukkan tipe mata air panas bikarbonat. Fluida panas bumi

tersebut berasal dari air magmatik (*deep waters*) yang naik ke permukaan melalui celah pada batuan yang naik beserta unsur-unsur volatil yaitu CO₂. Gas CO₂ beserta unsur-unsur volatil lainnya akan mengalami interaksi dengan air meteorik di kedalaman relatif dangkal (*shallow waters*), sehingga membentuk HCO₃ yang terlarut. Pada daerah lainnya terdapat mata air panas yang memiliki suhu permukaan tinggi yang termasuk ke dalam tipe mata air panas bikarbonat-sulfat, yang diduga berasal dari fluida panas bawah permukaan yang kemudian langsung naik ke permukaan serta berasosiasi atau mengalami kontak dengan batuan yang ada disekitarnya, sehingga terjadi pengkayaan unsur-unsur kimia tertentu dalam mata air panas dan berada pada daerah *immature water* (Kusuma, dkk., 2015).

Magma pasca-letusan yang tetap di bawah Gunung Seminung kemungkinan berperan sebagai sumber panas bumi karena hasil interpretasi survei gravitasi yang menunjukkan nilai densitas yang tinggi. Di lapangan panas bumi Danau Ranau ditemukan mineral alterasi seperti *halloysite*, *illite*, *montmorillonite*, dan *jarosite* yang diperkirakan terbentuk pada suhu <340°C dan termasuk dalam zona hidrotermal tipe *argillic*. Dilihat dari keadaan manifestasi permukaan saat ini, mineral alterasi yang ditemukan merupakan jenis mineral paleo-alterasi, sehingga sistem panas bumi Danau Ranau telah memasuki fase pendinginan magma (Afiat, dkk., 2020).



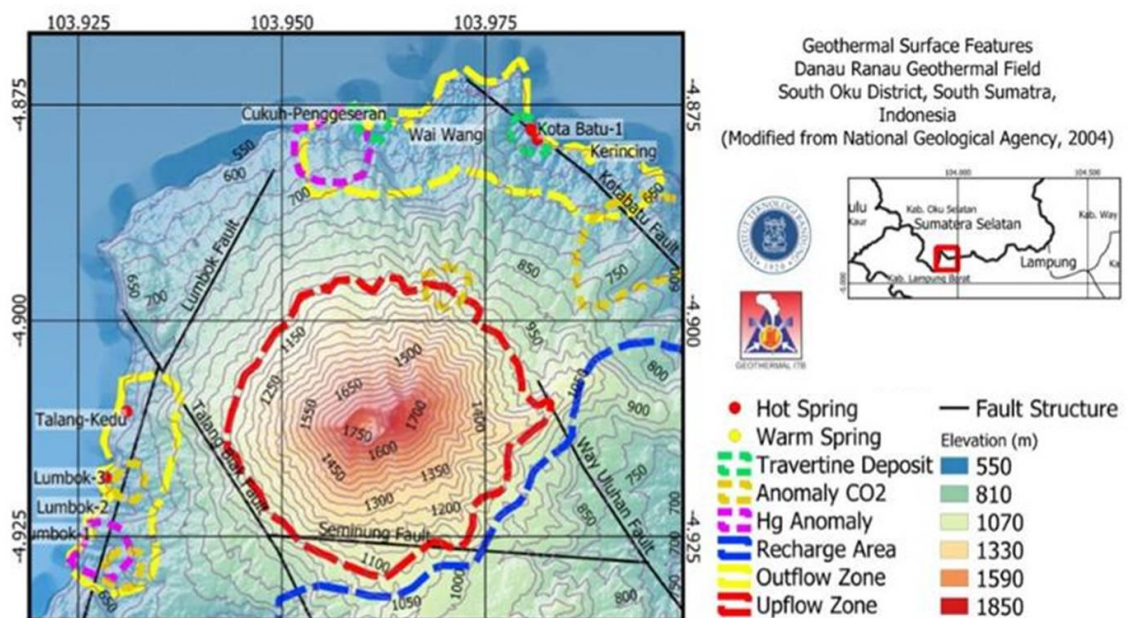
Gambar 3. Peta Manifestasi Daerah Penelitian (Modifikasi Ibrahim, dkk., 2020).

Lapangan panas bumi Danau Ranau ditunjukkan dengan adanya manifestasi permukaan. Manifestasi tersebut terdiri dari delapan mata air panas dan dua batuan ubahan. Mata air panas tersebut seluruhnya berada di pinggir danau yaitu Lombok (sejumlah 4 m.a.p.), Talang Kedu, Kota Batu (2 m.a.p.), Kerincing, dan Wai Wangi. Batuan ubahan di lokasi ini merupakan fosil ubahan yang berada pada batuan lava andesit tua (Tabel 1).

Tabel 1. Mata Air Panas Daerah Danau Ranau, Kabupaten Lampung Barat dan Oku Selatan (Pusat Sumber Daya Geologi, 2009).

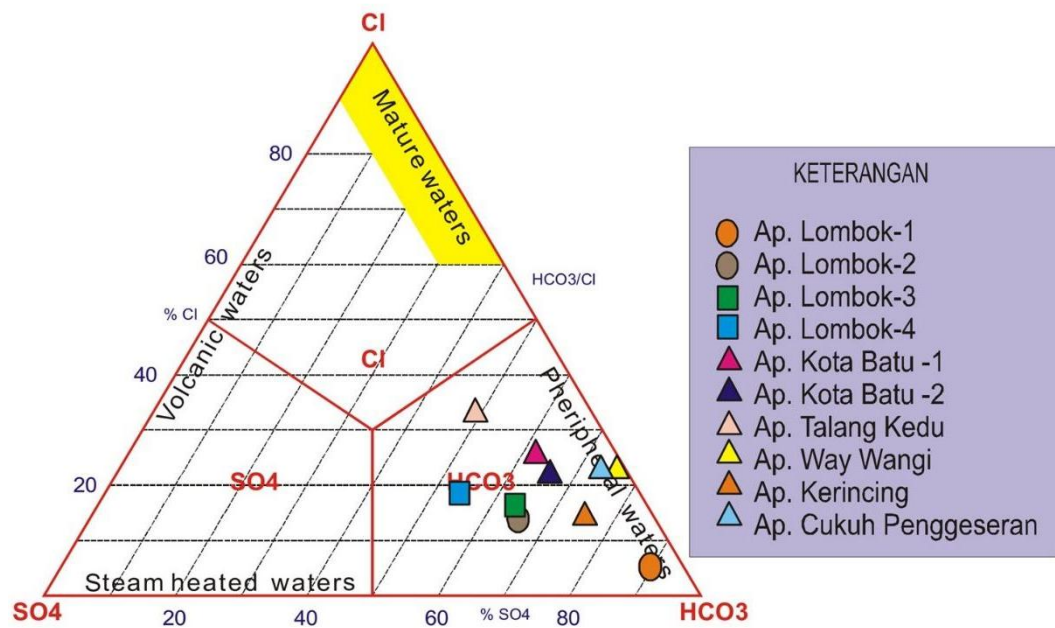
Manifestasi	X	Y	T _{AP} (°C)	T _{UD} (°C)	pH	Debit (litr/det)
MAP. Lombok-1	380943	9455556	45,1	26	6,42	0,05
MAP. Lombok-2	381180	9456156	49,1	27	6,86	0,05
MAP. Lombok-3	381132	9456324	46	29,0	6,79	0,05
MAP. Lombok-4	381543	9456378	63,7	29,4	6,7	0,5
MAP Talang Kedu	381447	9457310	55,9	26,4	6,43	0,05
MAP Kota Batu-1	387080	9460802	60,1	29,2	6,93	0,1
MAP Kota Batu-2	387090	9460791	59,8	29	6,68	0,1
Cukuh Penggeseran	384737	9460974	46,3	29,1	6,8	0,04
MAP Kerincing	387833	9460479	43,3	29,8	6,89	0,04
MAP Wai Wangi	385330	9460975	37,3	28,5	7,42	0,1

Manifestasi tersebut tersebar di lereng Gunung Seminung mengikuti arah sesar NW-SE (Sesar Kota Batu) dan NE-SW (Sesar Lombok). Sebaran mata air panas hanya terbatas pada kedua daerah tersebut, sedangkan pada bagian SE terdapat jejak proses hidrotermal berupa alterasi argilik di permukaan yang juga berasosiasi dengan sesar NW-SE. Endapan *travertine* juga ditemukan terkait dengan keberadaan beberapa mata air panas, diikuti dengan nilai HCO_3 yang tinggi. Kualitas data manifestasi berdasarkan analisis keseimbangan ion sangat baik dengan nilai Ion Balance $<5\%$. Pada **Gambar 8** menunjukkan adanya zona *upflow*, *downflow* dan *recharge area* pada daerah penelitian (Nicholson, 1993 dalam Afiat, dkk., 2020).

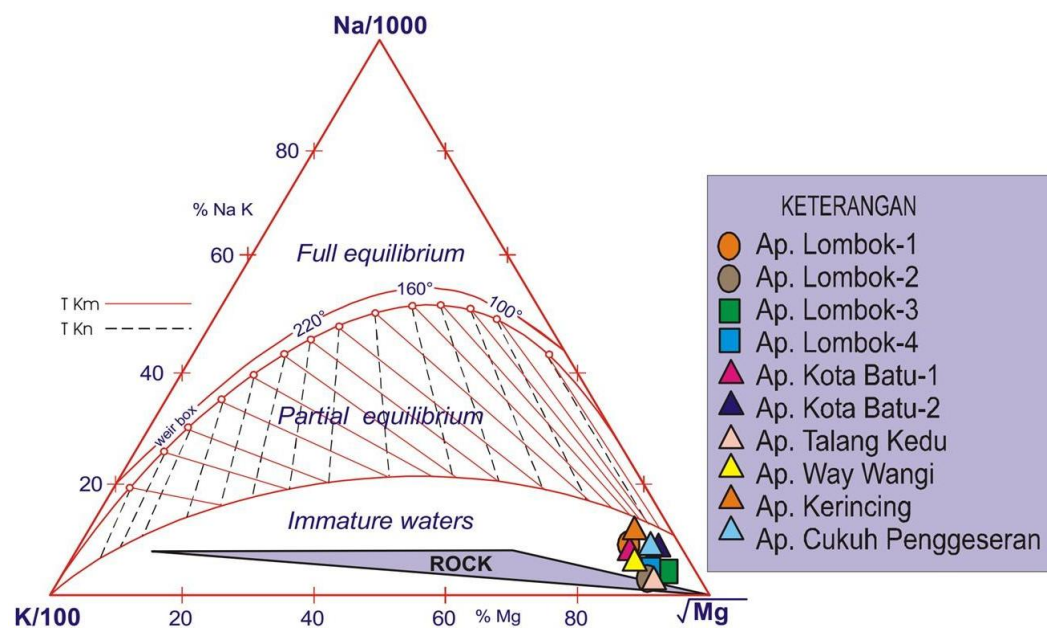


Gambar 8. Peta manifestasi permukaan Danau Ranau (PT. PLN, 2017).

Hasil analisis geokimia berdasarkan pengambilan sampel air menunjukkan bahwa semua manifestasi mata air di Danau Ranau memiliki jenis air Bikarbonat (HCO_3), kecuali mata air Lombok. Mata air Lombok memiliki empat jenis mata air encer yang mengandung cairan $\text{HCO}_3\text{-SO}_4$ dan $\text{HCO}_3\text{-Cl}$. Rendahnya rasio geoindikator Na/Ca pada semua sampel air manifestasi menunjukkan bahwa manifestasi Danau Ranau berada pada zona outflow sistem panas bumi. Hasil perhitungan panas bumi ini menunjukkan perkiraan suhu *reservoir* pada $200\text{-}220^\circ\text{C}$ (Nicholson, 1993 dalam Afiat, dkk., 2020).



Gambar 9. Diagram Segitiga Cl-SO₄-HCO₃ (Kusuma dkk, 2015).



Gambar 10. Diagram Kandungan relatif Na, K, Mg (Kusuma dkk, 2015).

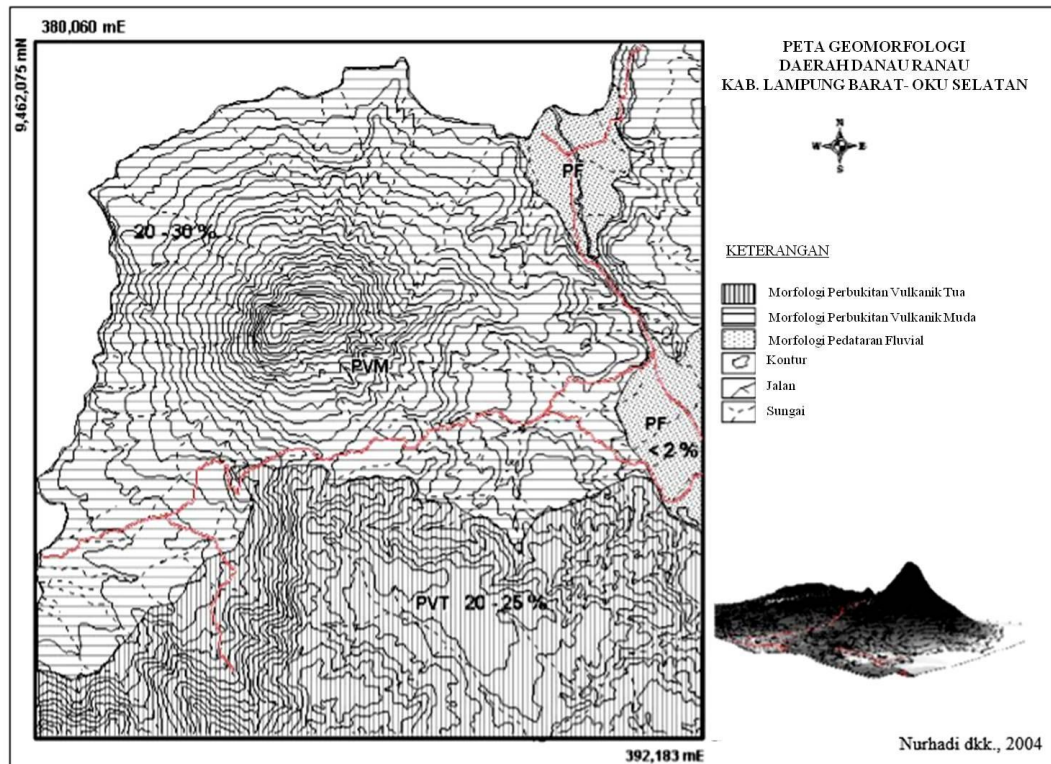
2.4 Geomorfologi Daerah Penelitian

Geomorfologi daerah penelitian dibedakan menjadi 3 satuan yaitu satuan morfologi vulkanik tua, satuan morfologi vulkanik muda dan pedataran alluvial. Secara keseluruhan, morfologi pada daerah panas bumi Danau Ranau terdiri atas pedataran hingga pegunungan dengan batuan-batuan yang

berbeda. Batuan yang mendominasi daerah panas bumi Danau Ranau yaitu batuan vulkanik dengan bentuk relief yang curam dan kasar.

Daerah Danau Ranau adalah kaldera yang mencapai puncak pada erupsi Tuf Ranau diperkirakan 0,55 juta tahun lalu berasal dari Gunung Ranau yang memiliki umur Pleistosen terbentuk pada sistem Sesar Sumatera. Karena adanya pergerakan dari sistem sesar, di sekitar Danau Ranau terdapat graben. Kemudian, terbentuk Gunung Seminung yang merupakan *post-caldera* bertipe *stratovolcano* pada bagian tenggara daerah Danau Ranau. Manifestasi yang terdapat pada panas bumi Danau Ranau berupa mata air panas, terdapat di Waipanas-Lombok, Talang Kedu (di desa Lombok) di wilayah Lampung dan Kerincing, Wai Wangi, Waipanas-Kota Batu, Cukuh Penggeseran di Desa Banding wilayah Ogan Komering Ulu Selatan (Noel, 2009).

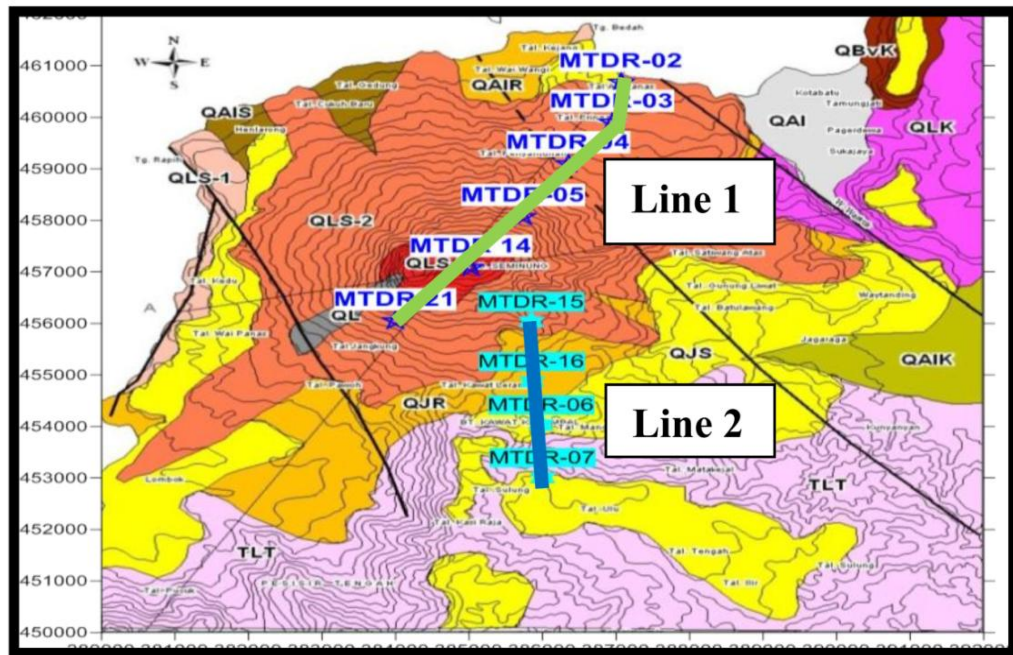
Terdapat Bukit Sulung dan Gunung Kukusan yang diperkirakan sebagai daerah resapan hujan dan resapan sistem panas bumi, sedangkan daerah debit berada di dataran rendah dan munculnya manifestasi permukaan berupa deformasi struktur zona lembah dan aliran sungai dari Gunung Seminung yang terletak di daerah Lombok dan Kota Batu (Afiat, dkk., 2020). Proses endogen dan eksogen membentuk lereng-lereng gunung dari masa tersier, batuanya didominasi oleh batuan vulkanik dengan bentuk relief kasar dan curam dengan gawir-gawir terjal terbentuk karena perkembangan struktur, sehingga membentuk bentang alam yang eksotis. Bentang alam yang terdapat di bagian utara, timur dan barat yaitu bentang alam vulkanik tua mengelilingi danau, sedangkan di bagian selatan tertutupi oleh bentang alam vulkanik muda seperti adanya Gunung Api Seminung yang berumur kuartar pada **Gambar 4** (Nurhadi, dkk., 2004 dalam Widodo, 2009).



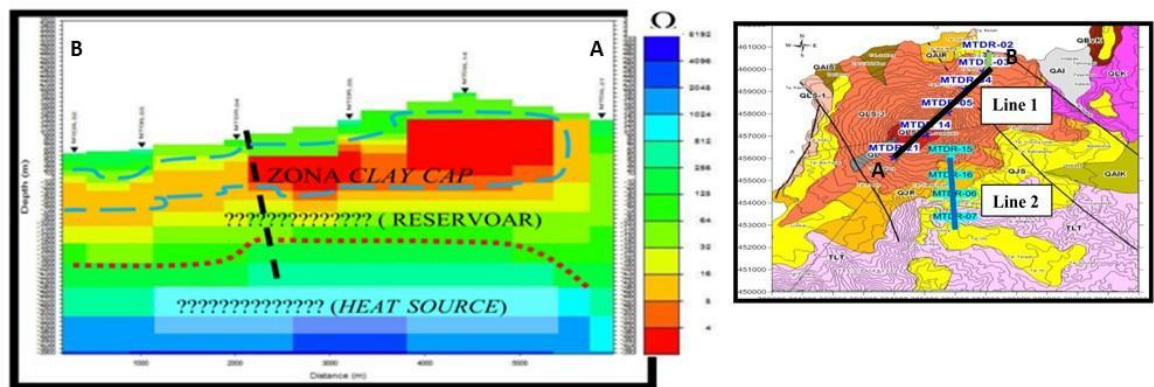
Gambar 4. Morfologi Sekitar Daerah Danau Ranau (Nurhadi, dkk., 2004 dalam Widodo, 2009).

2.5 Magnetotellurik Daerah Penelitian

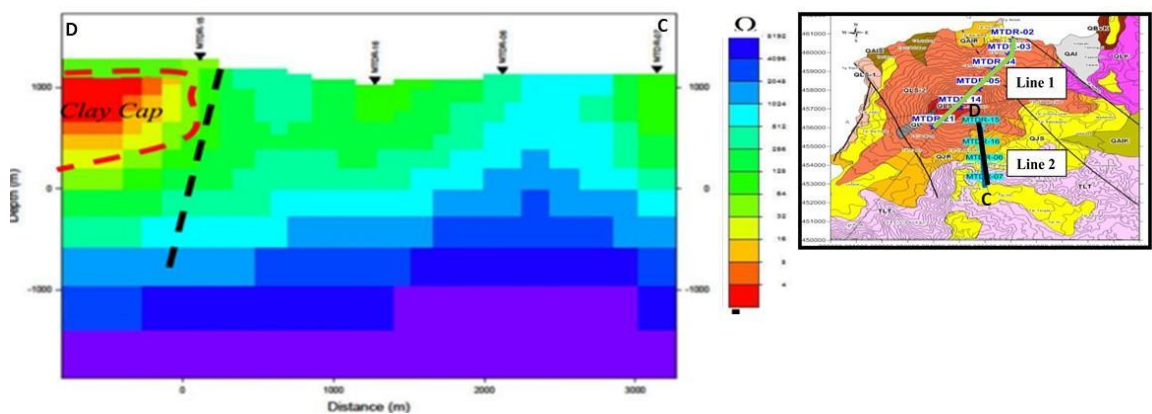
Metode magnetotellurik (MT) adalah salah satu dari metode eksplorasi geofisika yang memanfaatkan medan elektromagnetik dari alam. Proses fisik yang cukup kompleks menimbulkan medan elektromagnetik dengan spektrum frekuensi lebar (10-5 Hz-104 Hz). Pada frekuensi kurang dari 1 Hz, partikel-partikel bermuatan listrik yang berasal dari *solar wind* mengalami interaksi dengan medan magnet permanen bumi sehingga menyebabkan variasi medan EM. Variasi pada jangka frekuensi audio (*audio frequency band*, di atas 1 Hz) dapat disebabkan oleh aktivitas meteorologis seperti petir. Petir yang terjadi di suatu tempat menimbulkan gelombang elektromagnetik yang terperangkap antara ionosfer dan bumi dan menjalar mengitari bumi (Sulistio, 2018).



Gambar 5. Peta titik ukur lintasan MT daerah panas bumi Danau Ranau



Gambar 6. Model 2D tahanan jenis line 1



Gambar 7. Model 2D tahanan jenis line 2

Struktur resistivitas pada penampang MT diinterpretasikan terdapat struktur pada resistivitas $\pm 10 \Omega\text{m}$ (zona clay cap) yang diduga semakin menebal ke arah baratdaya yaitu menuju puncak Gunung Seminung dengan kisaran kedalaman 1300 m. Zona *heat source* atau sumber panas memiliki jenis batuan beku yang terdapat pada kedalaman \pm -2000 m. Zona diantara clay cap dan hot rock diduga sebagai *reservoir* panas bumi. Lapisan batuan dengan nilai tahanan jenis 32 hingga 352 Ωm yaitu pada kedalaman -1000 sampai -2000 m pada sepanjang lintasan pengukuran.

III. TEORI DASAR

3.1 Konsep Dasar Metode Gaya Berat

3.1.1 Gaya Gravitasi (Hukum Newton I)

Hukum Newton adalah prinsip dasar dari teori gravitasi yang menjelaskan mengenai gaya tarik menarik antara dua massa benda m_1 dan m_2 yang terpisah sejauh r atau jarak, diformulakan sebagai berikut (Serway, 2009):

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

Dimana:

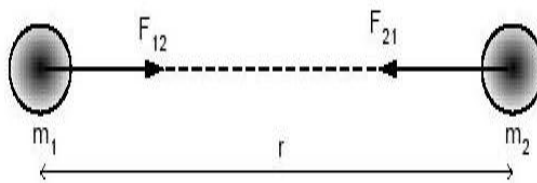
$F(r)$ = Gaya tarik menarik (N)

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

r = Jarak antara dua buah benda (m)

G = Konstanta gravitasi universal ($6,67 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg s}^{-2}$)

Adapun ilustrasi tersebut dapat dilihat pada **Gambar 11**.



Gambar 11. Gaya tarik menarik antara dua benda (Grandis, 2009).

Hukum I Newton menjelaskan bahwa jika tidak ada gaya yang bekerja pada benda, kecepatan benda tidak akan berubah, atau benda tidak akan mengalami percepatan. Atau dengan kata lain, jika benda dalam keadaan diam, dia akan tetap diam. Jika benda dalam keadaan bergerak, dia akan terus bergerak dengan kecepatan yang sama

(Halliday, 2005).

3.1.2 Percepatan Gravitasi (Hukum Newton II)

Newton mendefinisikan hubungan antara gaya dan percepatan. Hukum II Newton tentang gerak menyatakan gaya merupakan perkalian dari massa dan percepatannya.

$$F = m \cdot a \quad (2)$$

Dimana percepatan sebuah benda bermassa m_2 yang disebabkan oleh tarikan benda yang memiliki massa M pada jarak r , dapat dinyatakan dengan:

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

Apabila ditetapkan dengan percepatan gaya tarik bumi, persamaan tersebut menjadi:

$$g = \frac{F}{m} \quad (4)$$

$$g = \frac{G \frac{m_1 m_2}{R^2}}{m} \quad (5)$$

$$g = G \frac{M}{R^2} \quad (6)$$

Dimana,

a = Percepatan

g = Percepatan gaya tarik bumi

M = Massa bumi

m = Massa benda

F = Gaya berat

R = Jari-jari bumi

Persamaan di atas menunjukkan bahwa besarnya percepatan yang disebabkan oleh gravitasi bumi (g) adalah berbanding lurus dengan massa bumi (M) dan berbanding terbalik dengan kuadrat jari-jari bumi (r). Galileo melakukan pengukuran percepatan gravitasi yang pertama kali, sehingga didefinisikan:

$$1 \text{ Gall} = 1 \text{ cm/s}^2 = 10^{-2} \text{ m/s}^2 \text{ (dalam c.g.s)} \quad (7)$$

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

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

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

$$1 \text{ mGall} = 10 \text{ g.u.} = 10^{-5} \text{ m/s}^2 \quad (9)$$

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

3.1.3 Potensial Gravitasi

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

$$\begin{aligned} V &= Gm \int_0^r \frac{dr}{r^2} \\ V &= G \frac{m}{r^2} r \\ V &= G \frac{m}{r} \end{aligned} \quad (10)$$

dimana:

V = Potensial gravitasi

M = Massa benda (kg)

r = Jarak (m)

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

(Blakely, 1996).

3.1.4 Rapat Massa Batuan

Rapat massa atau densitas batuan ialah besaran utama dalam menentukan nilai percepatan gravitasi. Densitas batuan dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu rapat massa, porositas, kandungan fluida yang mengisi pori-pori batuan, tekanan yang mengakibatkan pemadatan dan pelapukan pada batuan (Kirbani, 2001). Adapun variasi densitas dapat dilihat pada **Tabel 2**.

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

Jenis Batuan	Batas (g/cc)	rata-rata (g/cc)	Jenis Batuan	Batas (g/cc)	rata-rata (g/cc)
<i>Batuan Sedimen</i> <i>Aluvium</i>	1,96-2,00	1,98	<i>Batuan Metamorf</i> <i>Schist</i>	2,39-2,90	2,64
Clay	1,63-2,60	2,21	Gneiss	2,59-3,00	2,80
Gravel	1,70-2,40	2,00	Phyllite	2,68-2,80	2,74
Loess	1,40-1,93	1,64	Slate	2,70-2,90	2,79
Silt	1,80-2,20	1,93	Granulite	2,52-2,7	2,65
Soil	1,20-2,40	1,92	Amphibolite	2,90-3,04	2,96
Sand	1,70-2,30	2,00	Eclogite	3,20-3,54	3,37
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					
Riolit	2,35-2,70	2,52			
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			

3.2 Koreksi – Koreksi dalam Metode Gaya Berat

Dalam memproses data metode gaya berat, terdapat beberapa koreksi-koreksi yang harus dilakukan untuk mendapatkan anomali gaya berat, adapun koreksi-koreksi tersebut antara lain:

3.2.1 Koreksi Lintang (*Latitude Correction*)

Gaya berat pada lintang geografis berbeda disebabkan oleh adanya gaya sentrifugal dan bentuk *elipsoid* atau akibat dari bentuk bumi yang tidak bulat, maka perlu dilakukan koreksi gaya berat di setiap lintang geografis (*spheroid* dan *geoid*), Koreksi lintang dapat

dilakukan dengan 2 cara yaitu menggunakan diferensi IGRF 67 (untuk derajat lintang/latitude) atau IGRF 84 (untuk radian).

IGRF 67:

$$g_{\theta} = 978031.8 (1 + 0.0053924 \sin^2\theta - 0.0000059 \sin^2 2\theta) \quad (11)$$

IGRF 84:

$$g_{\theta} = 978032.7 (1 + 0.0053024 \sin^2\theta - 0.0000058 \sin^2 2\theta) \quad (12)$$

3.2.2 Koreksi Udara Bebas (*Free Air Correction*)

Menurut Lowrie (2007), ketinggian titik amat mempengaruhi nilai gaya berat observasi, semakin tinggi nilai titik amat maka nilai gaya berat observasi semakin menurun, dan semakin menurun titik pengamatan maka nilai gaya berat observasi akan semakin meningkat. Perbedaan nilai gaya berat antara yang terletak di *mean sea level* dengan yang terletak dengan elevasi h (meter) adalah koreksi udara bebas diberikan pada persamaan (Reynolds, 1997):

$$\partial g_F = g_h - g_0 = -\left(\frac{2g_0 h}{R}\right) = 0,3086h \text{ mGal} \quad (13)$$

dimana:

$$g_0 = 981785 \text{ mGal}$$

$$R = 6371000 \text{ meter}$$

Maka koreksi udara bebasnya ,

$$FAC = 0.3086 \cdot h \text{ (mGal)} \quad (14)$$

dimana, h adalah ketinggian stasiun pengukuran (meter).

Sedangkan anomali udara bebasnya/FAA, dapat dirumuskan

$$FAA = g_{obs} - g_{intang} + FAC \quad (15)$$

3.2.3 Koreksi Bouguer (*Bouguer Correction*)

Koreksi *Bouguer* dilakukan perhitungan akibat adanya efek dari tarikan massa benda yang berada di antara stasiun dengan bidang datum yang belum dilakukan perhitungan pada koreksi udara bebas. Koreksi *Bouguer* dilakukan dengan menggunakan pendekatan yaitu pendekatan sebuah benda berupa slab tak berhingga dengan benda

slab yang memiliki ketebalan dan densitas yang sama. Persamaan koreksi *Bouguer* adalah:

$$\begin{aligned} BC &= 2\pi\gamma\rho h \\ BC &= 0.04192\rho h \end{aligned} \quad (16)$$

dimana:

ρ = densitas

h = elevasi.

Anomali gaya berat yang dapat dihasilkan setelah diaplikasikan dengan koreksi *Bouguer* dan anomali udara bebas atau disebut sebagai *Simple Bouguer Anomaly* adalah:

$$SBA = FAA - BC \quad (17)$$

3.2.4 Koreksi Medan (*Terrain Correction*)

Pada titik pengukuran memiliki topografi yang tidak beraturan, sehingga bisa mempengaruhi nilai gaya beratnya. Contohnya jika terdapat bukit di sekitar pengukuran, maka bukit ini memiliki medan yang dapat menekan *gravimeter* untuk menaikkan percepatan gaya berat. Sebaliknya, adanya lembah akan memberikan efek penurunan hasil pengukuran gaya berat. Koreksi medan didapatkan dengan melakukan pengolahan data menggunakan *hammer chart* (Telford, dkk., 1990).

3.2.5 Penentuan Densitas Permukaan *Bouguer* menggunakan Metode *Parasnis*

Estimasi rapat massa metoda ini diturunkan dari anomali gaya berat dituliskan sebagai berikut:

$$CBA = g_{obs} - g_L + 0.3085h - 2\pi\gamma\rho h \quad (18)$$

dimana suku terakhir bagian kanan adalah koreksi medan dengan c nilai koreksi medan sebelum dikalikan dengan rapat massa. Dari persamaan tersebut didapat:

$$(g_{obs} - g_L + 0.3085h) = (2\pi\gamma h)\rho \text{ atau } y = \rho x \quad (19)$$

3.3 Analisis Spektral

Analisis spektral dilakukan untuk untuk mengestimasi lebar jendela serta estimasi kedalaman anomali gaya berat. Analisis spektral dilakukan dengan cara mentransformasi Fourier lintasan yang telah ditentukan pada peta kontur Anomali *Bouguer* Lengkap. Secara umum, suatu transformasi Fourier yaitu mengurai kembali atau menyusun suatu gelombang sembarang ke dalam gelombang sinus dengan frekuensi bervariasi, dimana hasil penjumlahan gelombang-gelombang sinus tersebut adalah bentuk gelombang aslinya

(Kadir, 2000).

Untuk melakukan analisis lebih lanjut, amplitudo pada gelombang-gelombang sinus tersebut ditampilkan sebagai fungsi dari frekuensi. Secara matematis hubungan antara gelombang $s(t)$ yang akan diidentifikasi gelombang sinusnya (input) dan $S(f)$ merupakan hasil dari transformasi Fourier sehingga dapat diberikan persamaan sebagai berikut:

$$S(f) = \int_{-\infty}^{\infty} S(t)e^{-j2\pi ft} dt \quad (20)$$

Dimana $j = \sqrt{-1}$

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

$$F(U) = \gamma \mu F\left(\frac{1}{r}\right) \quad \text{dan} \quad F\left(\frac{1}{R}\right) = 2\pi \frac{e^{|k|(z_0-z_1)}}{|K|} \quad (21)$$

Dimana $z_1 > z_0$, $|k| \neq 0$, U adalah potensial gaya berat, μ adalah anomali rapat massa, γ adalah konstanta gaya berat dan r adalah jarak.

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

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

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

$$F(g_z) = Gm\partial z\partial F\left(\frac{1}{r}\right) \quad (24)$$

Transformasi Fourier pada lintasan yang diinginkan adalah:

$$F(g_z) = 2\pi Gme^{|k|(z_0-z_1)}, \quad z_1 > z_0 \quad (25)$$

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

$$A = C e^{|k|(z_0-z_1)} \quad (26)$$

Dimana A adalah amplitudo dan C adalah konstanta.

Untuk memperoleh hubungan antara amplitudo (A) dengan bilangan gelombang (k) dan kedalaman (z_0-z_1) dilakukan dengan melogaritmakan persamaan $A = C e^{|k|(z_0-z_1)}$ sehingga bilangan gelombang k berbanding lurus dengan *spectral amplitude*.

$$\ln A = \ln 2\pi Gme^{|k|(z_0-z_1)} \quad (27)$$

$$\ln A = (z_0 - z_1)|k| + \ln C \quad (28)$$

Persamaan di atas dapat dirumuskan dalam persamaan garis lurus:

$$y = mx + c \quad (29)$$

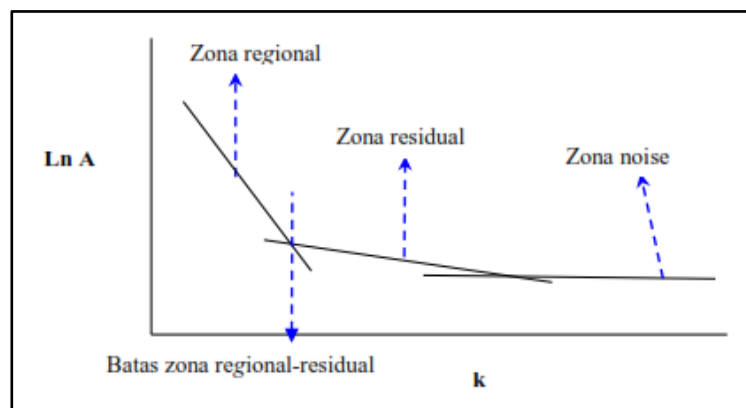
Dimana $\ln A$ sebagai sumbu y , $|k|$ sebagai sumbu x , dan $(z_0 - z_1)$ sebagai kemiringan garis (gradien). Oleh karena itu, kemiringan garisnya merupakan kedalaman bidang dalam dan dangkal. $|k|$ sebagai sumbu x didefinisikan sebagai bilangan gelombang yang besarnya $\frac{2\pi}{\lambda}$ dan satuannya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

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

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

$$N = \frac{2\pi}{k_c \cdot \Delta x} \quad (31)$$

Dimana Δx adalah domain spasi yang akan digunakan dalam *Fast Fourier Transform* (FFT), dan k_c adalah bilangan gelombang *cut off*. Dalam proses ini akan terbentuk kurva hubungan antara f (frekuensi) dan k (bilangan gelombang) seperti pada **Gambar 12**.



Gambar 12. Kurva Ln A terhadap k (Blakely, 1996).

Semakin besar nilai k maka nilai frekuensi akan tinggi. Hubungan bilangan gelombang k dengan frekuensi f adalah $k = 2\pi f$, frekuensi yang sangat rendah diperkirakan berasal dari anomali regional dan frekuensi tinggi diperkirakan berasal dari sumber anomali residual

3.4 Filter *Moving Average*

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

Untuk memperoleh anomali yang terasosiasi dengan kondisi geologi yang

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

Moving average dilakukan dengan cara merata-ratakan nilai anomalnya. Hasil perata-rataan tersebut adalah anomali regional dan pengurangan data hasil pengukuran gaya berat dengan anomali regional merupakan anomali residual.

$$\Delta g_{reg}(i) = \frac{\Delta g(i-n) + \dots + \Delta g(i) + \dots + \Delta g(i+n)}{N} \quad (32)$$

keterangan:

i = nomor stasiun

N = lebar jendela

Δg_{reg} = besarnya anomali regional

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

$$\Delta g_{reg} = \frac{1}{9} \sum_{N=1}^9 \Delta g(n) \quad (33)$$

Nilai anomali residual Δg_{res} dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$\Delta g_{res} = \Delta g - \Delta g_{reg} \quad (34)$$

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

3.5 Pemisahan Regional-Residual

Data yang diperoleh setelah melakukan koreksi-koreksi adalah data anomali *bouguer*. Anomali *Bouguer* merupakan total dari anomali residual dan regional, dimana secara sistematis dapat dituliskan sebagai berikut:

$$g_{Bouguer} = g_{reg} + g_{res} \quad (35)$$

Dimana $g_{Bouguer}$ adalah anomali *bouguer*, g_{reg} adalah anomali regional dan g_{res} adalah anomali residual.

Sehingga untuk memperoleh anomali residual yang merepresentasikan benda-benda anomali di kedalaman dangkal, maka perlu dilakukan pemisahan antara anomali regional dan residual dengan cara mengurangi nilai anomali *bouguer* dengan anomali regionalnya.

$$g_{res} = g_{bouguer} - g_{reg} \quad (36)$$

Pada umumnya terdapat beberapa metoda dalam proses pemisahan regional-residual yang akan digunakan untuk memperoleh nilai anomali regional, diantaranya:

1. *Low Pass Filter*
2. *Trend Surface Analysis* atau *Polynomial Fitting*
3. *Upward Continuation*

Pada dasarnya metode pemisahan dilakukan untuk memisahkan anomali berdasarkan frekuensi yang berhubungan dengan kedalaman sumber anomali tersebut. Anomali regional berhubungan dengan frekuensi rendah, sedangkan anomali residual berhubungan dengan anomali tinggi. Tujuan dilakukannya proses pemisahan ini adalah untuk memperoleh nilai anomali regional dan residual yang representatif dengan keadaan bawah permukaan yang sebenarnya (Sari, 2012).

3.6 *First Horizontal Derivative (FHD)*

Pengertian *Horizontal Derivative* pada data anomali gayaberat adalah perubahan nilai anomali gayaberat dari satu titik ke titik lainnya dengan jarak tertentu. *Horizontal Derivative* dari anomali gayaberat yang disebabkan oleh suatu body cenderung untuk menunjukkan tepian dari *body*-nya tersebut. Jadi metode *Horizontal Derivative* dapat digunakan untuk menentukan lokasi batasan karakteristik berupa densitas horizontal dari data gaya berat (Cordell, 1979).

Metode ini dapat digunakan untuk menggambarkan struktur bawah permukaan yang dangkal maupun dalam. Amplitudo dari *Horizontal Derivative* ditunjukkan sebagai berikut (Cordell and Graunch, 1985) :

$$HG^{1ST} = \sqrt{\left(\frac{\partial g}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial g}{\partial y}\right)^2} \quad (37)$$

Dimana $\frac{\partial g}{\partial x}$ dan $\frac{\partial g}{\partial y}$ adalah turunan horizontal gaya berat pada arah x dan y.

Satuan dari HG adalah mGal.m-1.

3.7 *Second Vertical Derivative (SVD)*

Metode ini digunakan untuk memunculkan sumber-sumber anomali yang bersifat dangkal/lokal. Metode ini sangat bagus untuk mengetahui diskontinuitas dari suatu struktur bawah permukaan, khususnya adanya patahan pada suatu daerah survei (Saibi, dkk., 2006).

Metode *Second Vertical Derivative* ini diturunkan dari persamaan Laplace untuk anomali gaya berat di permukaan dapat dirumuskan:

$$\nabla^2 \cdot \Delta g = 0 \quad (38)$$

Atau:

$$\frac{\partial^2 \Delta g}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \Delta g}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \Delta g}{\partial z^2} \quad (39)$$

Sehingga *second vertical derivative* nya diberikan oleh:

$$\frac{\partial^2 \Delta g}{\partial z^2} = -\left(\frac{\partial^2 \Delta g}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \Delta g}{\partial x^2}\right) \quad (40)$$

Untuk data 1-D (data penampang) persamaan nya diberikan oleh:

$$\frac{\partial^2 \Delta g}{\partial z^2} = \frac{\partial^2 \Delta g}{\partial x^2} \quad (41)$$

Persamaan SVD dan 1-D diatas menunjukkan bahwa *second vertical derivative* dari suatu anomali gaya berat permukaan adalah sama dengan negatif dari derivatif orde dua horizon. Artinya bahwa anomali *second vertical derivative* dapat melalui derivatif horizontal yang secara praktis lebih mudah dikerjakan. Untuk data anomali gaya berat dalam *grid* teratur, anomali *second vertical derivative* dapat diturunkan melalui proses *filtering* dimana persamaan konvolusi nya diberikan oleh:

$$\Delta G_{svd}(\Delta x, \Delta y) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \Delta g(x, y) F(x - \Delta x, y - \Delta y) dx dy \quad (42)$$

Dimana F adalah filter *second vertical derivative* sesuai persamaan diatas dan Δg adalah anomali gaya berat sebagai data input. Lalu filter *Second Vertical Derivative* (SVD) dengan operator Elkins dapat dilihat pada **Tabel 3**.

Tabel 3. Operator filter SVD (Sarkowi, 2010).

SVD Tipe Henderson & Zietz (1949)				
0.00	0.00	-0.0838	0.00	0.00
0.00	1.00	-2.6667	1.00	0.00
-0.0838	-2.6667	17.00	-2.6667	-0.0838
0.00	1.00	-2.6667	1.00	0.00
0.00	0.00	-0.0838	0.00	0.00
SVD Tipe Elkins (1951)				
0.00	-0.0833	0.00	-0.0833	0.00
-0.0833	-0.6667	-0.0334	-0.6667	-0.0833
0.00	-0.0334	-1.0668	-0.0334	0.00
-0.0833	-0.6667	-0.0334	-0.6667	-0.0833
0.00	-0.0833	0.00	-0.0833	0.00
SVD Tipe Rosenbach (1953)				
0.00	-0.0416	0.00	-0.0416	0.00
-0.0416	-0.3332	-0.75	-0.3332	-0.0416
0.00	-0.75	4.00	-0.75	0.00
-0.0416	-0.3332	-0.75	-0.3332	-0.0416
0.00	-0.0416	0.00	-0.0416	0.00

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

Untuk sesar naik ;

$$\left| \frac{\partial^2 g}{\partial z^2} \max \right| < \left| \frac{\partial^2 g}{\partial z^2} \min \right| \quad (43)$$

Sedangkan untuk sesar turun:

$$\left| \frac{\partial^2 g}{\partial z^2} \max \right| > \left| \frac{\partial^2 g}{\partial z^2} \min \right| \quad (44)$$

Untuk menentukan arah (dip) sesar dapat dilihat dari kurva-kurva Anomali Gaya Berat, FHD, dan SHD. Arah (dip) sesar tersebut akan mengikuti dari kemiringan arah kurva Anomali Gayaberat dan kurva SVD. Jika arah kurva Anomali Gaya berat dan kurva SVD menurun ke arah kiri, maka sesar pun arahnya akan menurun ke arah kiri bawah, begitu juga sebaliknya. Jika arah kurva Anomali Gayaberat dan kurva SVD menurun ke arah kanan, maka sesar pun arahnya akan menurun ke arah kanan bawah.

3.8 *Second Horizontal Derivative (SHD)*

Second Horizontal Derivative bersifat high-pass filter, sehingga dapat menggambarkan anomali residual yang berasosiasi dengan struktur dangkal yang dapat digunakan untuk mengidentifikasi jenis patahan turun atau naik. Untuk menentukan nilai SHD dapat dilakukan menggunakan persamaan berikut:

$$SHD = g(i+1) - 2g(i) + g(i-1) : \Delta x^2 \quad (45)$$

g adalah nilai anomali dalam mGal, Δx adalah selisih jarak pada lintasan dalam meter dan SHD adalah *Second Horizontal Derivative*.

Analisis *Second Horizontal Derivative* dapat digunakan untuk menggambarkan sumber-sumber anomali dan menentukan jenis struktur geologi bawah permukaan seperti patahan naik ataupun turun. Salah satu metoda untuk melakukan analisis *Second Horizontal Derivative* adalah dengan teknik gradien horizontal. Teknik gradien horizontal dapat digunakan untuk menentukan lokasi batas kontak kontras densitas horizontal dari data gravitasi (Cordell, 1985).

3.9 **Inversi Data**

Proses inversi adalah suatu proses pengolahan data lapangan yang melibatkan teknik penyelesaian matematika dan statistika untuk mendapatkan informasi yang digunakan untuk mengetahui distribusi sifat fisis bawah permukaan. Dalam proses inversi dilakukan analisis data lapangan dengan melakukan *curve fitting* (pencocokan kurva) antara model matematika dan data lapangan. Tujuan dari proses inversi adalah untuk mengestimasi parameter fisis batuan

yang tidak diketahui sebelumnya. Dalam inversi selalu berhubungan dengan parameter model (M) dan jumlah data (N) yang mana jumlah masing-masing akan menentukan klasifikasi permasalahan inversi dan cara penyelesaiannya. Bila jumlah model parameter lebih sedikit dibandingkan data lapangan ($M < N$), maka disebut *overdetermined*. Cara penyelesaiannya menggunakan pencocokan (*best fit*) terhadap data lapangan. Jika dalam kondisi lain dimana parameter yang ingin dicari lebih banyak dari jumlah datanya maka disebut *problem underdetermined*. Namun bila banyak model yang dapat sesuai dengan datanya hal ini disebut *non-uniqueness* (Supriyanto, 2007).

Pemodelan inversi (*inversion modelling*) merupakan suatu metode dalam memodelkan bawah permukaan dari data hasil pengukuran. Pemodelan ini menggunakan parameter model yang didapatkan secara langsung dari data pengukuran. Inversi merupakan suatu perhitungan matematis dan statistika yang digunakan untuk mengetahui informasi suatu sistem berdasarkan observasi terhadap sistem tersebut. (Grandis, 2009).

Untuk kasus dimana fungsi yang menghubungkan data dengan parameter model adalah suatu fungsi *linear*, maka persamaannya dapat dinyatakan berupa matriks dengan perkalian sebagai berikut:

$$d = \underline{A} m \quad (46)$$

Atau

$$\begin{bmatrix} d_1 \\ d_2 \\ \vdots \\ d_N \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} & \dots & A_{1M} \\ A_{21} & A_{22} & \dots & A_{2M} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ A_{N1} & A_{N2} & \dots & A_{NM} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} m_1 \\ m_2 \\ \vdots \\ m_M \end{bmatrix} \quad (47)$$

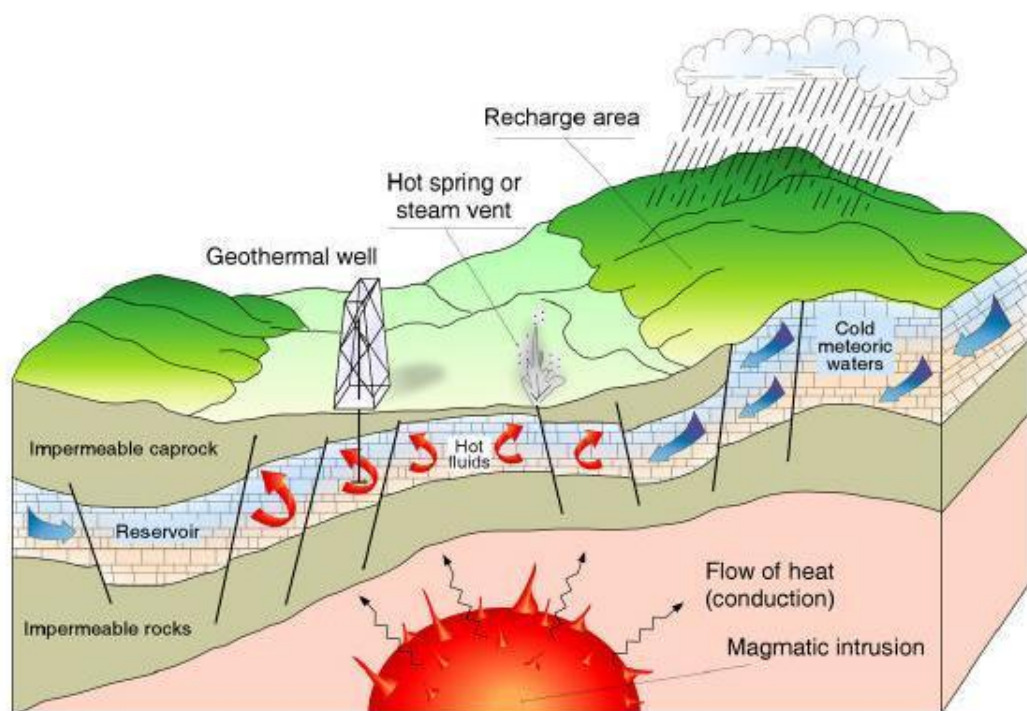
Dimana A adalah matriks (N x M) yang sering disebut sebagai matriks kernel. Matriks A tersebut pada dasarnya adalah fungsi *forward modeling* yang tidak mengandung elemen parameter model. Solusi inversi *linear* untuk memperoleh estimasi parameter model adalah:

$$m = |\underline{A}^T \underline{A}|^{-1} \underline{A}^T d \quad (48)$$

Pada pemodelan gravitasi untuk pendekatan model 2-D, bentuk penampang benda anomali dalam arah sumbu x dan z sehingga dianggap tetap atau sama sepanjang arah struktur. Untuk menggambarkan distribusi rapat massa secara 2-D maka medium di diskretisasi menjadi *grid* atau blok berukuran seragam (homogen) dengan rapat massa yang bervariasi. Geometri *grid* dianggap tetap dan diketahui sehingga parameter model adalah rapat massa setiap blok yang dapat diperkirakan melalui pemodelan inversi linier (Grandis, 2009).

3.10 Sistem Panas Bumi

Sistem panas bumi secara umum dideskripsikan sebagai transfer panas dalam suatu volume terisolasi pada kerak bumi secara alami. Panas tersebut dipindahkan dari sebuah sumber panas (*heat source*) ke sebuah penampang panas (*reservoir*) (Hochstein dan Browne, 2000).



Gambar 13. Penampang ideal suatu sistem panas bumi (Dickson dan Fanelli, 2003).

Sistem panas bumi dijumpai pada daerah dengan gradien panas bumi relatif normal, terutama pada bagian tepi lempeng dimana gradien panas

bumi biasanya mempunyai kisaran suhu yang lebih tinggi daripada suhu rata-rata (Dickson dan Fanelli, 2003).

Menurut Suharno (2010), sistem panas bumi dikontrol oleh adanya:

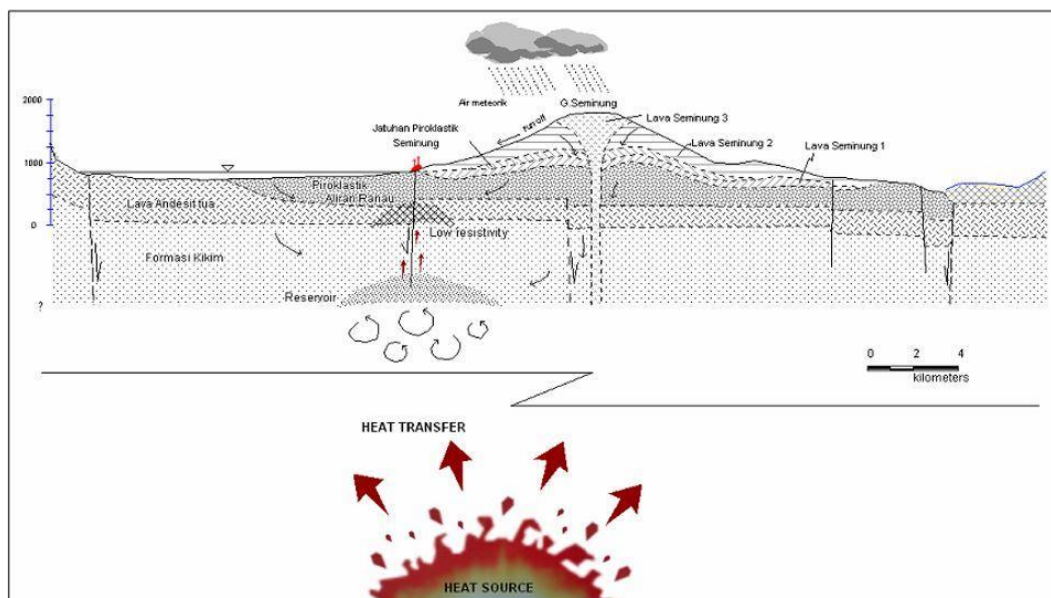
1. Sumber panas (*heat source*) berupa plutonik
2. Batuan berporos atau *reservoir* tempat uap panas terjebak di dalamnya
3. Lapisan penutup, berupa batu lempung
4. Keberadaan struktur geologi (patahan, *collapse*, rekahan dan ketidakselarasan)
5. Daerah resapan air atau aliran air bawah permukaan (*recharge area*).

Sistem panas bumi terdiri dari 3 elemen utama, yaitu batuan *reservoir* yang *permeable*, aliran fluida untuk menyalurkan panas dari *reservoir* ke permukaan bumi, dan sumber panas. Pada kenyataannya banyak tipe batuan yang dapat menjadi tempat bagi *reservoir* panas bumi, dan air tanah, yang biasanya terdiri dari presipitasi air purba ke modern atau air laut, sirkulasi ke kedalaman beberapa kilometer hampir terjadi di seluruh kerak bumi. Sistem panas bumi umumnya menghasilkan *hot springs* dan *fumaroles* yang muncul sebagai indikasi dari panas yang ada di dalam reservoir. Area *hot spring* dan fumarol banyak mengandung sulfur dan mineral lain yang terbentuk dari sejak jaman terdahulu (Goff dan Janik, 2000).

Keberadaan suatu sistem panas bumi biasanya ditandai oleh adanya manifestasi di permukaan. Sebuah manifestasi yang muncul di permukaan menunjukkan adanya sumber panas bumi di kedalaman yang dikenal dengan *reservoir*. Fluida panas bumi tidak sampai ke permukaan tanpa ada media salurannya. Fluida panas bumi mengalir melalui patahan atau rekahan yang terbentuk oleh proses geologi. Kemunculan manifestasi tidak persis di atas *reservoir*, untuk mendapatkan letak *reservoir* yang tepat, maka jenis patahan dan arah aliran fluidanya harus diketahui dengan tepat. Ada patahan yang dapat menyalurkan (*leaking*) dan ada patahan (*sealing*). Hanya patahan *leaking* yang dapat menjadi saluran fluida panas bumi (Haerudin dkk., 2020).

3.11 Sistem Panas Bumi Danau Ranau

Daerah panas bumi Danau Ranau terdiri dari *clay cap*, *reservoir*, *recharge area* dan *heat source*. Panas bumi Danau Ranau diperkirakan sistem *up flow* dari Gunung Semining.



Gambar 14. Model tentatif panas bumi Danau Ranau (Badan Geologi, 2005 dalam Utami, 2013).

1. Batuan Penudung (*Clay Cap*)

Batuan Penudung (*Clay Cap*) mengisi rongga dan rekahan di sekeliling struktur. Batuan yang berperan sebagai penudung dalam sistem panas bumi Danau Ranau ini diduga batuan lava andesit yang terbentuk dari batuan ubahan argilik.

2. *Reservoir*

Reservoir banyak dijumpai di sekitar struktur atau sesar. Zona *reservoir* di Danau Ranau diperkirakan terbentuk akibat pendinginan dari proses tektonik dari Gunung Semining.

3. *Recharge area*

Penyebaran *recharge area* dikontrol oleh pola struktur sesar di daerah penelitian. Air hujan yang meresap melalui porositas batuan atau melalui rekahan-rekahan yang terbentuk akibat proses deformasi. Air tersebut meresap dengan melewati batuan breksi dan piroklastik tersebut sampai

menuju uap panas yang berasal dari magma sehingga terpanaskan dan terbentuk air panas.

4. *Heat source* (Sumber panas)

Sumber panas pada daerah penelitian berasal dari sisa magma yang berasal dari Gunung Seminung, sehingga membentuk batuan vulkanik. Magma yang berasal dari Gunung Seminung naik ke permukaan karena adanya gaya endogen dari dalam. Pembentukan batuan pada daerah penelitian bersifat eksplosif dikarenakan batuan yang ada yaitu lava dan piroklastik.

IV. METODOLOGI PENELITIAN

4.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Waktu dan tempat penelitian ini dilaksanakan pada

Waktu : Laboratorium Pengolahan dan Pemodelan Teknik
Geofisika Universitas Lampung.

Alamat : Jl.Prof. Sumantri Brojonegoro No.1 Gedung Meneng,
Kec.Rajabasa, Rajabasa, Kota Bandar Lampung,
Lampung 35142.

Tanggal : 1 Desember 2020 – 30 Mei 2021.

4.2 Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Peta Anomali *Bouguer* daerah panas bumi Danau Ranau
2. Peta Geologi daerah panas bumi Danau Ranau
3. Penampang Magnetotellurik panas bumi Danau Ranau
4. Laptop
5. *Microsoft Word 2007*
6. *Microsoft Excel 2007*
7. *Surfer 11*
8. *Arcgis 10.3*
9. *Grav3D*

4.3 Tahapan Pengolahan Data

1. Analisis Spektrum

Analisis spektrum dilakukan pada peta Anomali *Bouguer* Lengkap, untuk mengetahui kedalaman anomali regional dan kedalaman anomali residual yang didapatkan dari nilai frekuensi. Proses analisis spektrum ini menggunakan *Transformasi Fourier* yang dapat mengubah suatu fungsi dalam jarak atau waktu menjadi suatu fungsi dalam bilangan gelombang atau frekuensi. Gelombang dengan frekuensi rendah berasosiasi dengan panjang gelombang panjang mengindikasikan daerah regional yang mewakili struktur dalam dan luas. Sebaliknya, gelombang dengan frekuensi tinggi berasosiasi dengan panjang gelombang pendek mengindikasikan daerah residual yang mewakili struktur dangkal. Analisis spektrum dapat menentukan lebar jendela filter yang akan digunakan. Pada penelitian ini terdapat 5 garis lintasan yang dibuat pada peta kontur Anomali *Bouguer* Lengkap. Selanjutnya, data yang didapat dari lintasan tersebut diolah di Microsoft Excel untuk mencari nilai $\ln A$ dan K yang nantinya digunakan untuk mengetahui estimasi kedalaman yang kita cari.

2. Pemisahan Anomali Regional dan Residual

Proses pemisahan anomali regional dan anomali residual dilakukan untuk

memisahkan sumber dari anomali dalam dan dangkal. Anomali *Bouguer* merupakan suatu nilai anomali gaya berat yang disebabkan oleh perbedaan densitas batuan pada daerah dangkal dan daerah yang lebih dalam di bawah permukaan. Proses pemisahan anomali yang dilakukan pada penelitian ini yaitu menggunakan metode *moving average*. *Moving average* dilakukan dengan cara merata-ratakan nilai anomalnya dengan lebar jendela N yang didapatkan dari proses analisis spektrum. Hasil perata-rataan tersebut merupakan anomali regional, sedangkan anomali residual diperoleh dari selisih anomali *bouguer* dengan anomali regional.

3. Analisis Derivative

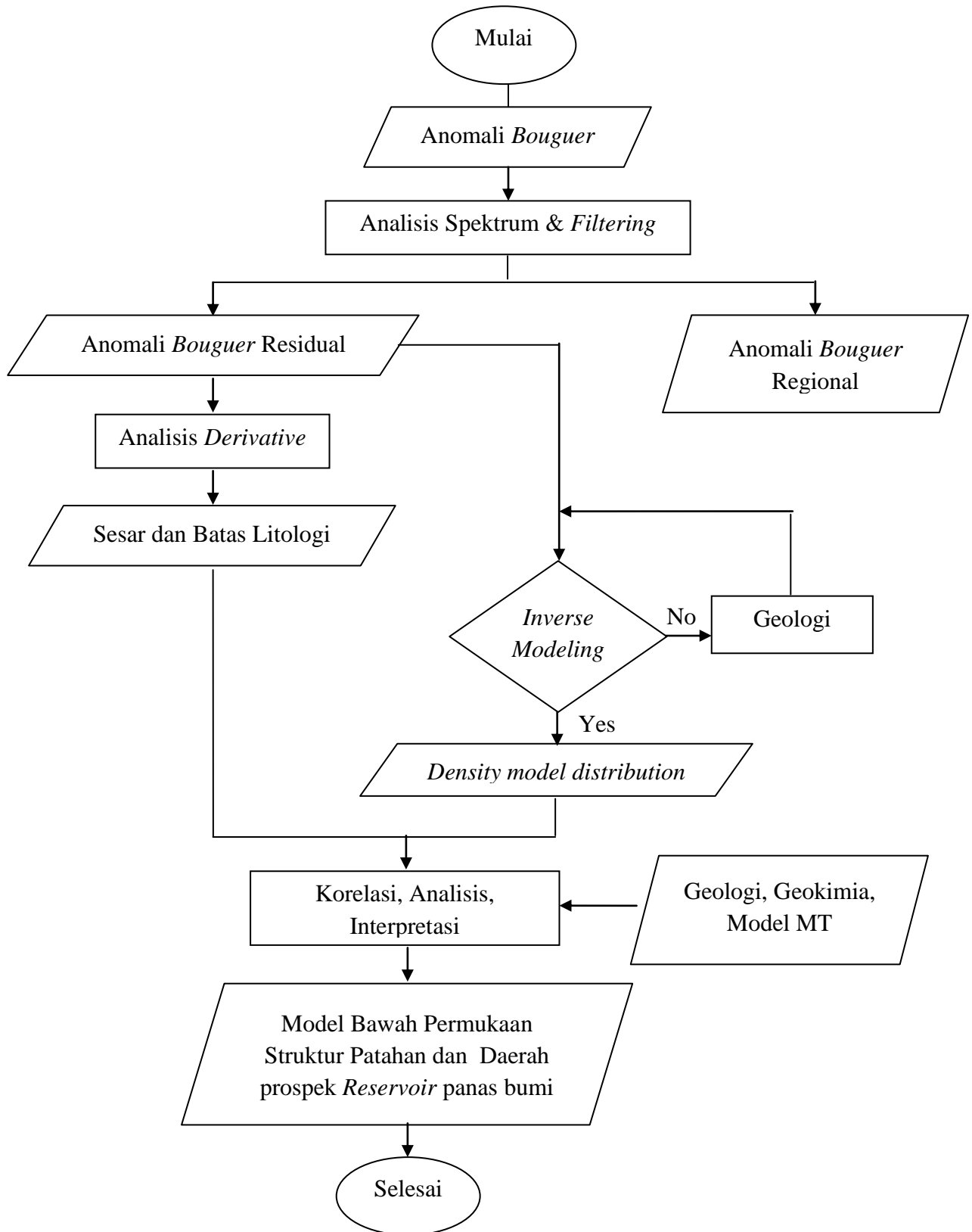
Dari filter *moving average* didapatkan anomali residual dan anomali regional yang kemudian dapat memperlihatkan nilai anomali rendah dengan adanya batuan dengan kontras rapat massa batuan yang tinggi dan rendah. Analisis *derivative* yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Second Vertical Derivative* (SVD), *First Horizontal Derivative* (FHD) dan *Second Horizontal Derivative* (SHD). Hasil dari analisis *derivative* digunakan untuk data pendukung analisis struktur bawah permukaan agar mengetahui sebaran patahan daerah penelitian.

4. Pemodelan Bawah Permukaan

Pemodelan bawah permukaan pada penelitian ini yaitu *inverse modeling* pemodelan 3D menggunakan *software Geosoft Oasis Montaj* dan *software grablox*. Pada *inverse modeling* model awal yang dibuat menggunakan *software Grablox 1.7* yang dibagi menjadi 20 blok sumbu X, 20 blok sumbu Y dan 10 blok sumbu Z sehingga menghasilkan sebanyak 4000 blok. Model daerah penelitian dimodelkan 14 km ke arah timur (sumbu X) dan 16 km ke arah utara (sumbu Y) dengan target kedalaman model adalah 4 km ke arah vertikal (sumbu Z). Pemodelan ini didasarkan pada suatu model yang dihasilkan langsung dari data yang dilakukan dengan memadukan informasi geologi seperti geologi permukaan, struktur geologi, dan stratigrafi pada daerah penelitian

4.4 Diagram Alir

Diagram alir penelitian dapat dilihat pada **Gambar 15**.



Gambar 15. Diagram Alir

VI. KESIMPULAN

6.1 Kesimpulan

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

1. Anomali *Bouguer* daerah penelitian prospek panas bumi Danau Ranau mempunyai rentang nilai 10 mGal-56 mGal. Anomali yang tinggi berada di bagian Baratdaya-Selatan berkorelasi pada Satuan Aliran Lava Vulkanik Tua yang berupa lava berwarna abu-abu kehitaman, bertekstur porfiritik dengan mineral plagioklas, piroksen dan *hornblende*. Anomali rendah berada di bagian Barat–Utara, Timur dan sedikit di Tenggara-Selatan berkorelasi pada Satuan Aliran Lava Seminung berupa lava basaltik berwarna abu-abu kehitaman dan Jatuhan Piroklastik Seminung berupa tuf dan pumis
2. Hasil *Second Vertical Derivative* menunjukkan nilai nol yang merupakan batas karakteristik geologi yaitu adanya sesar serta perbedaan sifat fisis dari densitas batuan. Struktur sesar yang teridentifikasi merupakan sesar normal yang berarah baratlaut-tenggara, yang terletak di timurlaut, baratlaut, tenggara, baratdaya, selatan dan timurlaut. Sesar normal yang berarah utara-selatan, terletak di bagian timur daerah penelitian.
3. Terdapat zona prospek reservoir panas bumi Danau Ranau berdasarkan pemodelan inversi yang dikompilasikan dengan data geologi, geokimia serta magnetotellurik yang berada pada kedalaman 1-2 km, dengan densitas 1.9-2.2 gr/cc terletak di sekitar manifestasi panas bumi, sekitar puncak Gunung Seminung, sebelah selatan dan sebelah timurlaut puncak Gunung Seminung.

6.2 Saran

Perlu dilakukan dilakukan survei lanjutan dari metode geofisika lain, seperti Mikrosesismik untuk mendukung keberadaan *reservoir* dan survei lebih detail di daerah tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

- Afiat., Idianto, O., Rera, G.F., Wardoyo, G.K., Sutopo., Pratama, H.B., dan Hamdani, M.R., 2020. Updated Conceptual Model and Resource Assessment using Numerical Reservoir Simulation of Danau Ranau Geothermal Field Indonesia. *Proceedings World Geothermal Congress 2020*.
- Blakely, R. J., 1996, *Potential Theory in Gravity and Magnetic Applications*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Cordell, L., dan V.J.S. Grauch, 1985. *Mapping basement magnetization zones from aeromagnetic data in the San Juan basin*. New Mexico. The utility of regional gravity and magnetic anomaly maps: SEG.
- Dickson, M.H. dan Fanelli, M., 2003, *Geothermal Energy: Utilization and Technology*, Unesco Publishing, Paris.
- Diyanti, 2014, Interpretasi Struktur Geologi Bawah Permukaan Daerah Leuwidamar Berdasarkan Analisis Spektral Data Gaya Berat. (Skripsi) Prodi Fisika FPMIPA Universitas Pendidikan Indonesia, Bandung
- ESDM. 2017. *Potensi Panas Bumi Indonesia Jilid 1*. Direktorat Panas Bumi. Jakarta.
- Goff, F. dan Janik, C.J. 2000. *Encyclopedia of Volcanoes*. Elsevier. Amsterdam.
- Grandis, H. 2009. *Pengantar Pemodelan Inversi Geofisika*. Himpunan Ahli Geofisika Indonesia. Jakarta.
- Haerudin, N., Dikpride, D., dan Suharno. 2020. Penentuan Patahan dan Saluran Fluida Panas Bumi Rajabasa Bagian Selatan dengan Kombinasi Metode Second Horizontal Derivatif (SHD) dan Audio Magnetotelluric (AMT). Universitas Lampung. Bandar Lampung.

- Halliday, R. 2005. *Fisika Dasar Edisi 7 Jilid 1*. Erlangga. Jakarta.
- Hochstein, M.P. dan Browne, P.R.L., 2000, *Surface Manifestation of Geothermal Systems with Volcanic Heat Sources*, Academic Press, San Diego.
- Ibrahim, M.M., Puspita, M., Andarini, D., Marbun, A.G., dan Arifianti, D.I., 2020. Identifikasi Dan Interpretasi Geologi Berdasarkan Citra Penginderaan Jauh Pada Daerah Panas Bumi Danau Ranau, Ogan Komering Ulu (Oku) Selatan, Sumatera Selatan. *Seminar Nasional AVoER XII 2020*.
- Kadir, W.G.A., 2000, *Eksplorasi Gaya Berat dan Magnetik*. Jurusan Teknik Geofisika Fakultas Ilmu Kebumihan dan Teknologi Mineral, ITB.
- Kirbani, S.B, 2001, *Panduan Workshop Eksplorasi Geofisika: Metode Gravitasi, Laboratorium Geofisika Universitas Gadjah Mada*, Yogyakarta.
- Kusuma, D.S., Widodo, S., Bakrun, Suhanto, E., Mustang, Ario., Foeh, I.M., dan Sulaeman, B., 2015. Prospek Panas Bumi Di Daerah Danau Ranau, Lampung Dan Sumatera Selatan. *Kolokium Hasil Lapangan-DIM, 2005*
- Lowrie, W., 2007. *Fundamentals of Geophysics, 2nd ed. x + 381 pp*. Cambridge, New York, Melbourne: Cambridge University Press.
- Muraoka, H., Takahashi, M., Sundhoro, H., Dwipa, S., Soeda, Y., dan Momita, M.: Geothermal Systems Constrained by the Sumatran Fault and Its Pull-Apart Basins in Sumatra, Western Indonesia, Proceedings, World Geothermal Congress (2010).
- Nicholson, K. 1993. *Geothermal Fluids, Chemistry and Exploration Techniques*. Berlin, Springer.
- Nouel, R. 2009. Potensial Panas Bumi Berdasarkan Metode Geokimia dan Geofisika Danau Ranau Lampung-Sumatera Selatan. Skripsi Program Strata I Institut Teknik Bogor Tahun Ajaran 2009.
- Octonovrihya, L., 2009, Analisa Perbandingan Anomaly Gravitasi dengan persebaran intrusi air asin (Studi kasus Jakarta 2006-2007), *Jurnal Meteorologi dan Geofisika* Vol.10 No.1 : AMG.
- PT. PLN. Work Program and Development Plan for Danau Ranau Geothermal Work Areas, Jakarta (2017).

- Pusat Sumber Daya Geologi. 2007. *Peta Sebaran Panas Bumi Indonesia*. Badan Geologi.
- Reynolds, J. M., 1997, *An Introduction to Applied and Environmental Geophysics*. Chichester John Wiley and Sons Ltd. 796p
- Saibi, H., Nishijima, J., Ehara, S. dan Aboud, E., 2006, Integrated gradient interpretation techniques for 2D and 3D gravity data interpretation, *Earth Planets Space*, 58, 815–821.
- Sari, I.P. 2012. Study Komparasi Metode Filtering Untuk Pemisahan Regional dan Residual Dari Data Anomali Bouguer. (*Skripsi*) Prodi Fisika FPMIPA Universitas Indonesia. Depok.
- Sarkowi, M., 2010, Identifikasi Struktur Daerah panas bumi Ulubelu Berdasarkan Analisa Data SVD Anomali Bouguer, *Jurnal Sains MIPA*, Vol. 16, No.2, Hal.:111-118.
- Serway, R. dan John, W., 2009, *FISIKA Untuk Sains dan Teknik Buku 1 Edisi 6*. Jakarta: Salemba Teknika.
- Suharno, 2010. *Pengembangan Prospek Panas Bumi*. Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- Sulistio, I., Guntoro, D., dan Sugianto, A., Aplikasi Metode Magnetotellurik Dalam Kegiatan Eksplorasi Panas Bumi Di Daerah “X”. *Prosiding Teknik Pertambangan*, ISSN: 2460-649, Volume 4, No. 2, Tahun 2018.
- Supriyanto. 2007. *Analisis Data Geofisika: Memahami Teori Inversi*. Departemen Fisika FMIPA Universitas Indonesia, Depok.
- Telford, W.M., Geldart, L.P. dan Sheriff, R.E., 1990, *Applied Geophysics*. USA : Cambridge University.
- Tim Penyiapan WKP Panas Bumi. 2007. Penyajian Evaluasi Wilayah Kerja Pertambangan Panas Bumi Daerah Danau Ranau Kabupaten Lampung Barat Provinsi Lampung Dan Kabupaten Ogan Komering Ulu Provinsi Sumatera Selatan, *Potensi Panas Bumi Indonesia Jilid 1*, Kementerian ESDM, 2017.
- Utami, F.M. 2013. “Potensi Sumber Daya Energi Panas Bumi Di Danau Ranau, Lampung Dan Sumatera Selatan”. Tesis. Teknik Pertambangan. Universitas Sriwijaya. Palembang.

Wibowo, M.G.A., 2013, Pendekatan Inversi 1D untuk Mengurangi Efek Galvanic pada Model 2D Magnetotellurik Daerah Panas Bumi Danau Ranau, *Jurnal Geofisika Eksplorasi*, Universitas Negeri Lampung. Vol 1, No 02.

Widodo, Sri. 2009. *Evaluasi Potensi Panasbumi Daerah Danau Ranau Wilayah Kabupaten Lampung Barat-Provinsi Lampung Dan Kabupaten OKU Selatan-Provinsi Sumatera Selatan*. Pusat Sumber Daya Geologi. Bandung.