

**STUDI ANOMALI GRAVITASI
DAERAH SEKITAR MANIFESTASI AIR PANAS
(Studi Kasus Daerah Sumber Air Panas Desa Wagir Lor Ngebel Ponorogo)**

SKRIPSI

Oleh:
HINDUN BINTI MASRUOH
NIM. 18640033



**PROGRAM STUDI FISIKA
FAKULTASSAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2022**

HALAMAN PENGAJUAN

**STUDI ANOMALI GRAVITASI
DAERAH SEKITAR MANIFESTASI AIR PANAS
(Studi Kasus Daerah Sumber Air Panas Desa Wagir Lor Ngebel Ponorogo)**

SKRIPSI

Oleh:
HINDUN BINTI MASRUROH
NIM. 18640033

**Diajukan kepada:
Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang
Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Dalam
Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)**

**PROGRAM STUDI FISIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2022**

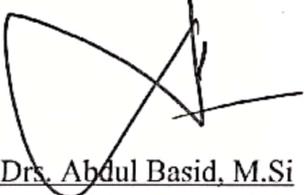
HALAMAN PERSETUJUAN

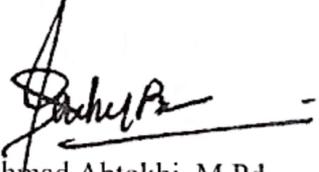
**STUDI ANOMALI GRAVITASI
DAERAH SEKITAR MANIFESTASI AIR PANAS
(Studi Kasus di Daerah Sumber Air Panas Desa Wagir Lor Ngebel Ponorogo)**

SKRIPSI

Oleh:
HINDUN BINTI MASRUOH
NIM. 18640033

Telah Diperiksa dan Disetujui untuk Diuji
Pada Tanggal: 23 Desember 2022

Pembimbing I
Menyetujui,

Drs. Abdul Basid, M.Si
NIP. 19650504 199003 1 003

Pembimbing II

Ahmad Abtokhi, M.Pd
NIP. 19761003200312 1 004

Mengetahui,
Ketua Program Studi

Dr. Imam Tazi, M.Si
NIP. 19740730 200312 1 002

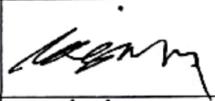
HALAMAN PENGESAHAN

**STUDI ANOMALI GRAVITASI
DAERAH SEKITAR MANIFESTASI AIR PANAS
(Studi Kasus Daerah Sumber Air Panas Desa Wagir Lor Ngebel Ponorogo)**

SKRIPSI

Oleh:
HINDUN BINTI MASRUOH
NIM. 18640033

Telah Dipertahankan di Depan Dewan Penguji Skripsi dan
Dinyatakan Diterima Sebagai Salah Satu Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)
Pada Tanggal: 23 Desember 2022

Ketua Penguji	<u>Irjan, M. Si</u> NIP. 19691231 200604 1 003	
Anggota Penguji	<u>Dr. Imam Tazi, M.Si</u> NIP. 197407302003121002	
Dosen Pembimbing I	<u>Drs. Abdul Basid, M.Si</u> NIP. 19650504 199003 1 003	
Dosen Pembimbing II	<u>Ahmad Abtokhi, M.Pd</u> NIP. 19761003200312 1 004	

Mengesahkan,
Ketua Prodi Fisika



Dr. Imam Tazi, M.Si
NIP. 197407302003121002

PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Hindun Binti Masruroh
NIM : 18640033
Program Studi : Fisika
Fakultas : Sains dan Teknologi
Judul Penelitian : Studi Anomali Gravitasi Daerah Sekitar Manifestasi Air Panas Studi Kasus di Daerah Sumber Air Panas Desa Wagir Lor Ponorogo

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa hasil penelitian ini tidak terdapat unsur-unsur penjiplakan karya penelitian atau karya ilmiah yang pernah dilakukan atau dibuat oleh orang lain, kecuali tertulis dikutip dalam makalah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan daftar Pustaka. Apabila ternyata hasil penelitian ini terbukti terdapat unsur-unsur penjiplakan, maka saya bersedia untuk menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Malang, 19 Desember 2022

Yang Membuat Pernyataan



Hindun Binti Masruroh
NIM. 18640033

MOTTO

Kita tidak akan dipersilahkan untuk mengatur “takdir” kita sendiri, kita hanya dipersilahkan untuk mengatur “hati” kita untuk menerima takdir tadi.
Sebab tiap-tiap takdir adalah seutuhnya “baik”

(Ning Nadia Abdurrahman)

HALAMAN PERSEMBAHAN

Dengan rasa syukur dan mengucapkan Alhamdulillah. Dengan selesainya skripsi ini, penulis persembahkan kepada:

1. Penguasa Alam Jagat Raya yang telah mengatur kehidupan, semoga karya ini menjadikan amal sholeh.
2. Baginda Nabi Muhammad SAW yang membawa kesejahteraan dalam bentuk ilmu pengetahuan dan memberikan suri tauladan, serta syafaatnya di hari kiamat.
3. Untuk sepasang malaikat (Bapak Sumadi dan Ibu Kolin yang tiada lelah menyuntikan semangat dan motivasi).
4. Dan segenap keluarga besar atas dukungan serta do'a yang telah diberikan. Terima kasih atas motivasi dan dukungan yang telah diberikan selama ini. Semoga Allah SWT membalasnya dengan lebih. Aamiin Ya Rabbal Aalamiin.

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah Swt. atas segala rahmat, taufik dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul Studi Anomali Gravitasi Daerah Sekitar Manifestasi Air Panas (Studi Kasus di Daerah Sumber Air Panas Desa Wagir Lor Ngebel Ponorogo). Shalawat dan salam semoga selalu terlimpahkan kepada Nabi Muhammad SAW., yang telah menuntun kita pada zaman zakyyah, yaitu Addinul Islam Wal Iman.

Pada kesempatan ini penulis tidak lupa mengucapkan jazakumullah al-khair yang telah membantu, membimbing, dan memberikan arahan dalam penulisan skripsi ini, sehingga dapat terselesaikan dengan baik. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak, khususnya kepada:

1. Prof. Dr. H. Zainuddin, M.A., selaku Rektor Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
2. Dr. Sri Harini, M.Si., selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
3. Dr. Imam Tazi, M.Si., selaku Ketua Jurusan Fisika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
4. Drs. Abdul Basid, M.Si., selaku Dosen Pembimbing Skripsi yang dengan sabar telah membimbing, mengoreksi, dan memberikan masukan, sehingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik.
5. Ahmad Abtokhi, M.Pd., selaku Dosen Pembimbing Integrasi Sains dan Islam yang telah memberikan masukan dan saran terhadap permasalahan integrasi dalam skripsi ini.
6. Seluruh Dosen Fisika, Laboran dan Admin Jurusan Fisika yang senantiasa memberikan ilmu pengetahuan dan pengarahannya.
7. Keluarga tercinta khususnya Abah dan ibu yang selalu mendo'akan, memberikan semangat dan dukungan dalam segala hal.
8. Segenap keluarga besar Fisika'18 UIN Malang yang telah memberikan dukungan serta memotivasi penulis dalam penulisan skripsi ini.
9. Teman-teman Geofisika UIN Malang yang telah membantu dan memberikan semangat selama proses pengerjaan skripsi.

10. Serta semua pihak yang telah membantu baik secara langsung maupun tidak langsung dalam terselesaikannya skripsi ini.

Semoga Allah Swt. membalas semua kebaikan dengan nikmat yang melimpah. Penulis menyadari bahwa dalam penulisan skripsi ini masih terdapat kekurangan dan ketidaksempurnaan. Oleh karena itu, kritik dan saran sangat diharapkan. Penulis berharap semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi penulis khususnya, dan semua pihak yang membaca skripsi dalam menambah wawasan ilmiah.

Malang, 17 November 2022

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGANTAR.....	ii
HALAMAN PERSETUJUAN	iii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iv
PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN	v
MOTTO	vi
HALAMAN PERSEMBAHAN	vii
KATA PENGANTAR.....	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiiiiv
ABSTRAK	xiv
ABSTRACT	xvi
نبذة مختصرة.....	xvi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	5
1.3 Tujuan Penelitian.....	6
1.4 Batasan Masalah.....	6
1.5 Manfaat Penelitian.....	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	8
2.1 Panas Bumi.....	8
2.1.1 Pengertian Panas Bumi (<i>Gheothermal</i>)	8
2.1.2 Pembentukan Panas Bumi	9
2.1.3 Sistem Panas Bumi	10
2.1.4 Manifestasi Panas Bumi	14
2.1.5 Hidrotermal (<i>Hydrothermal</i>)	16
2.2 Prinsip Gravitasi	18
2.2.1 Teori Gravitasi Newton	18
2.2.2 Metode Gravitasi	19
2.2.3 Potensial Gravitasi	20
2.2.4 Rapat Massa Batuan	20
2.3 Pengukuran Data Gravity GGMplus	22
2.4 Koreksi dalam Metode Gaya Berat	23
2.4.1 Koreksi Bouguer (<i>Bouguer Correction</i>).....	23
2.4.2 Anomali Bouguer Sederhana.....	24
2.4.3 Koreksi Medan (<i>Terrain Correction</i>)	24
2.4.4 Anomali Bouguer.....	25
2.5 Transformasi.....	26
2.5.1 Reduksi Bidang Datar.....	26

2.5.2 Kontinuasi ke Atas (<i>Upward continuation</i>).....	28
2.6 Geologi Daerah Penelitian	28
2.6.1 Letak Geografis	28
2.6.2 Geomorfologi Regional	29
2.6.3 Stratigrafi	30
2.6.4 Struktur Geologi Wilayah Penelitian.....	30
2.7 Integrasi Al-Qur'an	33
BAB III METODE PENELITIAN	35
3.1 Jenis dan Sumber Data	35
3.2 Desain Penelitian.....	35
3.3 Alat dan Bahan Penelitian.....	36
3.4 Prosedur Penelitian.....	36
3.4.1 Pengumpulan Data.....	36
3.4.2 Pengolahan Data	37
3.5 Transformasi.....	39
3.5.1 Reduksi ke Bidang Datar (<i>Reduction to Horizontal Surface</i>)	39
3.5.2 Pemisahan Anomali (<i>Upward Continuation</i>)	39
3.6 Pemodelan Struktur Bawah Permukaan.....	40
3.7 Interpretasi Data	40
3.8 Diagram Alir	41
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	42
4.1 Akuisisi Data	42
4.2 Pengolahan Data.....	43
4.2.1 Topografi	44
4.2.2 Koreksi Bouguer	45
4.2.3 Koreksi Medan.....	45
4.2.4 Anomali Bouguer Lengkap.....	46
4.3 Interpretasi Kualitatif	47
4.3.1 Reduksi Bidang Datar.....	47
4.3.2 Kontinuasi keatas (<i>Upward Continuation</i>).....	49
4.4 Interpretasi Kuantitatif	52
4.4.1 Interpretasi Penampang Irisan A-A'	54
4.4.2 Interpretasi Penampang Irisan B-B'	56
4.4.3 Interpretasi Penampang Irisan C-C'	57
4.4.4 Hasil Interpretasi Penampang Sayatan A-A', B-B', C-C'	59
4.5 Integrasi dan Hikmah Penelitian	61
BAB V PENUTUP.....	64
5.1 Kesimpulan.....	64
5.2 Saran.....	65
DAFTAR PUSTAKA.....	66
LAMPIRAN.....	66

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Sistem panas bumi	8
Gambar 2.2 Reservoir Panas Bumi	12
Gambar 2.3 Pendekatan Bouguer untuk massa di atas permukaan laut.....	23
Gambar 2.4 Model Hammer Chart untuk koreksi medan.....	25
Gambar 2.5 Sumber Ekuivalen Titik Massa	26
Gambar 2.6 Geologi Regional Daerah Penelitian	31
Gambar 3. 1 Area Penelitian	34
Gambar 3. 2 Diagram Alir	40
Gambar 4. 1 Grafik Prasnis.....	43
Gambar 4. 2 Kontur Topografi	44
Gambar 4. 3 Kontur Anomali Bouguer Lengkap.....	45
Gambar 4. 4 Kontur Anomali Setelah Reduksi Bidang Datar	47
Gambar 4. 5 Kontur Anomali Regional Hasil Kontinuasi Keatas	49
Gambar 4. 6 Kontur Anomali Lokal Hasil Kontinuasi Keatas	50
Gambar 4. 7 Profil Slice A-A', B-B', dan C-C' pada Kontur Anomali Lokal	52
Gambar 4. 8 Model Bawah Permukaan pada Sayatan A-A'	53
Gambar 4. 9 Model Bawah Permukaan pada Sayatan B-B'	54
Gambar 4. 10 Model Bawah Permukaan pada Sayatan C-C'	56

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Rapat Massa batuan	20
------------------------------------	----

ABSTRAK

Masruroh, Hindun Binti. 2022. Studi Anomali Gravitasi Daerah Sekitar Manifestasi Air Panas (Studi kasus: di Daerah Sumber Air Panas Desa Wagir Lor, Kecamatan Ngebel, Kabupaten Ponorogo). Skripsi. Jurusan Fisika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Pembimbing: (I) Drs. Abdul Basid, M.Si (II) Ahmad Abtokhi, M.Pd

Kata Kunci: Manifestasi air panas; Anomali gravitasi

Sumber panas bumi memiliki suhu yang sangat tinggi yang dapat mempengaruhi kondisi lingkungan sekitarnya. Salah satu dampaknya adalah munculnya manifestasi air panas yang muncul di sekitar sumber panas bumi. Manifestasi ini terjadi akibat adanya patahan sehingga terdapat zona trobosan fluida. Identifikasi zona patahan dapat dilihat dengan menganalisis struktur bawah permukaan daerah penelitian. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode gravitasi. Penelitian kali ini bertujuan untuk mengetahui pola anomali lokal dan struktur batuan bawah permukaan di daerah sumber air panas Wagir Lor, Ngebel, Jawa Timur. Batasan wilayah $7^{\circ}48'27''$ – $7^{\circ}49'28.02''$ LS dan $111^{\circ}37'49''$ – $111^{\circ}38'59.74''$ BT dengan metode gaya berat ini dilakukan 2 km x 2 km berdasarkan data satelit GGMPlus yang diperoleh 121 data dengan spasi jarak antar titik 200 m. Berdasarkan analisis kualitatif pada kontur anomali lokal didapatkan anomali yang rendah.

Interpretasi kuantitatif dengan hasil model penampang menghasilkan 4 lapisan, lapisan pertama berupa tuf dengan nilai densitas $2,1 \text{ gram/cm}^3$. Pada lapisan kedua merupakan andesit dengan densitas $2,6 \text{ gram/cm}^3$. Pada lapisan ketiga merupakan diorit dengan nilai densitas $2,47 \text{ gram/cm}^3$. Yang terakhir pada lapisan keempat berupa konglomerat gunungapi dengan nilai densitas $2,7 \text{ gram/cm}^3$. Manifestasi air panas di daerah Ngebel disebabkan oleh sesar yang membujur dari selatan ke utara yang sesuai dengan data anomali gravitasi.

ABSTRACT

Masruroh, Hindun Binti. 2022. Study of the Gravity Anomaly of the Area Around the Manifestation of Hot Water in the Hot Spring Area (Case study: of Wagir Lor Village, Ngebel District, Ponorogo Regency). Thesis. Department of Physics, Faculty of Science and Technology, State Islamic University of Maulana Malik Ibrahim Malang. Supervisor: (I) Drs. Abdul Basid, M.Si (II) Ahmad Abtokhi, M.Pd

Key Word: Manifestation of hot water; Gravity anomaly

Geothermal sources have very high temperatures so that they can affect the surrounding environmental conditions. One of the effects is the emergence of hot water manifestations that arise around geothermal sources. This manifestation occurs because of the fault so that there is a fluid breakthrough zone. Identification of fault zones can be seen by analyzing the subsurface structure of the study area. The method used in this research is the gravity method. This study aims to determine local anomaly patterns and subsurface rock structures in the Wagir Lor hot spring area, Ngebel, East Java. Regional boundaries $7^{\circ}48'27'' - 7^{\circ}49'28.02''$ South Latitude and $111^{\circ}37'49'' - 111^{\circ}38'59.74''$ East Longitude with the gravity method, it is carried out $2 \text{ km} \times 2 \text{ km}$ based on GGMPPlus satellite data obtained as many as 121 data with a distance of 200 meters between points.

Quantitative interpretation with the results of the cross-sectional model produces 4 layers, the first layer is tuff with a density value of $2,1 \text{ gram/cm}^3$. In the second layer is andesite with a density of $2,6 \text{ gram/cm}^3$. In the third layer is diorite with a density value of $2,47 \text{ gram/cm}^3$. The last one in the fourth layer is a lava instruction with a density value of $2,7 \text{ gram/cm}^3$. The manifestation of hot water in the Ngebel area is caused by a fault stretching from south to north which is in accordance with the gravity anomaly data.

نبذة مختصرة

مسروره ، هندون بينتي. 2022. دراسة شذوذ الجاذبية في المنطقة المحيطة بمظهر الينابيع الساخنة (دراسة حالة: في منطقة الينابيع الساخنة بقرية واجير لور ، منطقة نجبيل ، بنوروغو ريجنسي). فرضية. قسم الفيزياء ، كلية العلوم والتكنولوجيا ، جامعة الدولة الإسلامية مولانا مالك إبراهيم مالانج. المشرفون: (أول)د. عبد الباسيد ، الماجستير (الثاني) أحمد أبطوخي ، الماجستير

الكلمات الدالة: مظاهر الماء الساخن ، شذوذ الجاذبية

تتمتع مصادر الطاقة الحرارية الأرضية بدرجات حرارة عالية جدًا يمكن أن تؤثر على الظروف البيئية المحيطة. أحد التأثيرات هو ظهور الماء الساخن حول مصادر الطاقة الحرارية الأرضية. يحدث هذا المظهر بسبب خطأ في وجود منطقة اختراق السوائل. يمكن رؤية تحديد منطقة الصدع من خلال تحليل البنية تحت السطحية لمنطقة الدراسة. الطريقة المستخدمة في هذه الدراسة هي طريقة الجاذبية. تهدف هذه الدراسة إلى تحديد أنماط الشذوذ المحلية والتراكيب الصخرية تحت السطحية في منطقة الينابيع الساخنة واغير لور ، نجبيل ، جاوة الشرقية. حدود المنطقة $7^{\circ}49'28.02'' - 7^{\circ}48'27''$ جنوب خط العرض و $111^{\circ}38'59.74'' - 111^{\circ}37'49''$ بوصة باستخدام طريقة الجاذبية يتم تنفيذ 2×2 كم بناءً على بيانات القمر الصناعي GGMPPlus التي حصلت على 121 بيانات بمسافة 200 متر بين النقاط. بناءً على التحليل النوعي على ملامح الشذوذ المحلي ، وجد أن الشذوذ المنخفض. ينتج عن التفسير الكمي لنتائج النموذج المقطعي 4 طبقات ، الطبقة الأولى عبارة عن تاف بقيمة كثافة تبلغ 2.1 جرام cm^3 / في الطبقة الثانية يوجد أنديسايت بكثافة 2.6 جرام cm^3 / في الطبقة الثالثة يوجد الديوريت بكثافة 2.47 جرام cm^3 / الأخير في الطبقة الرابعة على شكل تعليمات حمم بكثافة 2.7 جرام cm^3 / إن ظهور الماء الساخن في منطقة نجبل ناتج عن صدع يمتد من الجنوب إلى الشمال وهو ما يتوافق مع بيانات شذوذ الجاذبية.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Wilayah Indonesia adalah negara yang termasuk dalam Cincin Api Pasifik (*Ring of Fire*), yaitu suatu wilayah melingkar tempat bertemunya batas lempeng sehingga mengakibatkan terbentuknya banyak gunung berapi. Indonesia terletak di antara pertemuan tiga lempeng tektonik besar yaitu, Lempeng Indo-Australia, Lempeng Eurasia, dan Lempeng Pasifik. Ketiga lempeng ini menghasilkan deretan pegunungan api yang membentang dari barat ke timur Indonesia. Besaran potensi panas bumi wilayah Indonesia mencapai 40% dari cadangan panas bumi dunia. Pasalnya, Indonesia sendiri memiliki 129 gunung berapi yang berpotensi sebagai daerah pengembangan panas bumi. Wujud dari keberadaan gunungapi tersebut tentunya memberikan dampak langsung terhadap lingkungan, baik itu positif maupun negatif, salah satu dampak negatifnya adalah bahaya letusan gunungapi (Wismaya, 2016).

Indonesia adalah negara yang memiliki potensi panas bumi terbesar di dunia akibat dari pergerakan lempeng yang saling bertabrakan salah satunya adalah Telaga Ngebel yang lokasinya berada di Kabupaten Ponorogo, Provinsi Jawa Timur. Indonesia berupaya mengembangkan beberapa energi alternatif, salah satunya energi panas bumi di daerah Ngebel (Zamroni, 2014). Keberadaan sumber energi ini ditandai dengan adanya manifestasi panas bumi berupa mata air panas naik ke permukaan melalui rekahan (Supriyanto, 2009). Hal ini disebabkan adanya batuan beku atau *hot rock* yang berperan sebagai sumber panas. Dugaan keberadaan

batuan tersebut, didukung oleh aktivitas vulkanik Gunung Wilis.

Keberadaan suatu sistem panas bumi umumnya ditunjukkan dengan adanya manifestasi di permukaan. Manifestasi permukaan ini bisa keluar langsung seperti mata air panas. Manifestasi panas bumi di permukaan diperkirakan terjadi karena perambatan panas dari bawah permukaan atau karena adanya zona permeabel yang memungkinkan fluida mengalir ke permukaan (Suharno, 2013). Manifestasi panas bumi banyak ditemukan di daerah penelitian, salah satunya adalah sumber air panas. Sistem panas bumi Ngebel berkapasitas 120 MW yang terletak di kompleks gunungapi kuarter Liman (Wilis). Potensi Panas Bumi Telaga Ngebel terdapat di sebelah selatan Telaga Ngebel tepatnya di Dusun Pandosan Desa Wagir Lor Kecamatan Ngebel yang merupakan desa yang terletak di kaki Gunung Wilis. Manifestasi permukaan yang ditemukan pada potensi Panas Bumi Telaga Ngebel berupa mata air panas, fumarol, dan batuan ubahan hidrotermal.

Berdasarkan Firman Allah SWT dalam QS. Yunus Ayat 101:

قُلْ انظُرُوا مَاذَا فِي السَّمٰوٰتِ وَالْاَرْضِ يَوْمَ تَعْنٰى الْاٰلِيٰتُ وَالتُّنٰدِرُ عَنْ قَوْمٍ لَا يُؤْمِنُوْنَ

Artinya: *“Katakanlah, Perhatikanlah apa yang ada di langit dan di bumi!” Tidaklah bermanfaat tanda-tanda (kebesaran Allah) dan rasul-rasul yang memberi peringatan bagi orang yang tidak beriman.” (QS Yunus:101).*

Dalam Ayat ini Allah memerintahkan makhluknya untuk memperhatikan dan sekaligus meneliti apa yang ada di langit dan bumi, termasuk potensi yang ada di dalamnya, yaitu potensi panas bumi.

Panas bumi merupakan sumber energi panas yang terkandung dalam air panas, uap air, dan batuan. Sumber energi panas bumi terbentuk secara alami di bawah permukaan bumi dengan memanaskan air bawah permukaan dengan batuan

beku panas dan magma. Air bawah permukaan ini berasal dari air meteorik yang meresap ke permukaan melalui celah pada kerak bumi sehingga terkumpul menjadi air tanah, dan air tersebut bersentuhan dengan magma atau batuan beku sehingga menjadi air panas dan uap panas. Karena adanya tekanan, suhu dan berat jenis, air panas dan uap panas kembali ke permukaan melalui celah-celah atau rekahan pada kerak bumi. Menurut Toth & Bobok (2017) Energi Panas Bumi adalah energi yang berasal dari kerak, mantel, dan inti bumi dengan suhu tinggi. Ketika komponen bumi lebih panas dari kondisi di permukaan, energi panas akan terus berpindah dari kondisi bawah permukaan yang lebih panas menuju permukaan melalui batuan kedap air. Keberadaan sistem energi panas bumi biasanya ditandai dengan manifestasi permukaan. Beberapa manifestasi permukaan menunjukkan gejala seperti fumarol dan solfatara, mata air panas, lumpur panas, uap tanah, geyser, kawah, dan batuan alterasi. Komponen penting sistem panas bumi menurut Suharno (2010) adalah: Sumber panas, Reservoir atau batuan berpori tempat uap panas terjebak di dalamnya, *Caprock* atau lapisan penutup berupa *claycap* (batuan kedap air), Struktur geologi (sesar, rekahan, dan ketidakselarasan), dan daerah resapan air atau aliran air bawah permukaan (*recharge area*).

Salah satu potensi panas bumi di Indonesia yaitu di Gunung Lawu. Gunung Lawu merupakan suatu kerucut gunung api yang terletak di perbatasan Provinsi Jawa Tengah dan Jawa Timur. Gunung api tipe strato ini berstatus istirahat namun masih menampilkan aktivitas vulkanik aktif dengan ditemukannya kepundan kecil yang masih mengeluarkan fumarol dan solfatara. Gunung lawu memiliki komposisi geologi berupa batuan vulkanik yang mendukung adanya perkembangan sistem panas bumi di bawah lapisan batumannya serta dekat dengan area tumbukan lempeng

Indo-Australia dan Eurasia sehingga sistem panas bumi diduga terjadi pada wilayah ini (Amalisana Birohmatin, dkk., 2017).

Metode gravitasi dipergunakan untuk mengetahui variasi percepatan gravitasi pada daerah penelitian. Variasi percepatan gravitasi disebabkan oleh variasi densitas di bawah permukaan bumi. Metode gravitasi digunakan dalam studi panas bumi karena dapat menjelaskan struktur bawah permukaan dan zona keluarnya fluida panas bumi ke permukaan. Secara lebih rinci, digunakan untuk mendeteksi struktur bawah permukaan sebagai pembentuk sistem panas bumi dan melokalisasi daerah anomali rendah yang diduga berkaitan dengan manifestasi panas bumi. Dari hasil penelitian yang diperoleh berupa anomali Bouguer. Salah satu survei yang digunakan untuk mengidentifikasi struktur bawah permukaan adalah geofisika. Geofisika adalah ilmu tentang bumi menggunakan parameter fisika.

Metode gravitasi adalah metode geofisika yang didasarkan pada perbedaan medan gravitasi akibat perbedaan densitas batuan penyusun di bawah permukaan bumi. Data percepatan gravitasi yang diperoleh selama pengukuran diolah menjadi anomali percepatan gravitasi bumi. Berdasarkan hasil pengolahan data dapat diketahui perbedaan rapat massa batuan, sehingga data tersebut dapat digunakan untuk menentukan struktur geologi bawah permukaan yang mengandung potensi energi panas bumi di daerah penelitian. Metode gravitasi memiliki kelebihan untuk survei awal karena memberikan informasi yang rinci tentang struktur geologi dan kontras kerapatan batuan.

Telah dilakukan penelitian tentang Studi Anomali bawah permukaan daerah sekitar manifestasi Air Panas, Desa Wagir Lor, Kec. Ngebel, Kab. Ponorogo oleh Khoiri Zamroni dan Bagus Jaya Santosa (2014) menggunakan metode magnetik.

Hasil analisis data geomagnet diperoleh perbedaan material penyusun bawah permukaan yang teridentifikasi sebagai batuan sedimen. Manifestasi air panas di kawasan Ngebel disebabkan oleh sesar yang membentang dari selatan ke utara yang sesuai dengan data anomali magnetik. Pada penelitian lainnya, pada tahun 2014 Sari melakukan penelitian menggunakan metode gravitasi di daerah Dlingo, Bantul, Yogyakarta. Dari penelitian ini diperoleh hasil berupa pemodelan bawah permukaan yang menunjukkan adanya dua batuan yaitu batupasir dan batugamping dengan densitas $1,9 \text{ g/cm}^3$ dan $2,385 \text{ g/cm}^3$. Pada wilayah tersebut terdapat patahan berupa sesar.

Berdasarkan uraian di atas, maka penulis bermaksud untuk melakukan penelitian dengan judul “Studi Anomali Gravitasi Daerah Sekitar Manifestasi Air Panas Studi Kasus di Daerah Sumber Air Panas Desa Wagir Lor Ngebel Ponorogo”. Diharapkan penulis dapat memberikan informasi mengenai struktur permukaan di wilayah tersebut.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah tersebut, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana pola anomali bouguer di sekitar daerah manifestasi air panas di area penelitian?
2. Bagaimana struktur batuan bawah permukaan di sekitar daerah manifestasi air panas di area penelitian?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dalam penelitian ini adalah:

1. Mengetahui pola anomali bouguer di sekitar daerah manifestasi air panas di area penelitian
2. Mengetahui struktur batuan bawah permukaan di sekitar daerah manifestasi air panas di area penelitian

1.4 Batasan Masalah

Pada penelitian ini terdapat beberapa batasan masalah, diantaranya:

1. Penelitian ini dilakukan dengan metode gaya berat (*gravity*) dengan menganalisis pola anomali Bouguer.
2. Data penelitian yang digunakan adalah data sekunder berupa data *gravity* yang diperoleh dari *Global Gravity Model Plus (GGMplus)* 2013.
3. Cakupan penelitian ini terletak pada koordinat $7^{\circ}48'27'' - 7^{\circ}49'28.02''$ LS dan $111^{\circ}37'49'' - 111^{\circ}38'59.74''$ BT dengan luas daerah penelitian sebesar 2 km x 2 km dan jarak spasi antar titik sebesar 200 m.
4. Penelitian ini dilakukan di sekitar daerah manifestasi air panas Desa Wagir lor Ngebel.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini memberikan manfaat bagi beberapa pihak, antara lain:

1. Manfaat untuk Akademis

Penelitian ini digunakan untuk mengetahui anomali medan gravitasi lokal dan struktur bawah permukaan daerah manifestasi air panas di Desa Wagir lor Ngebel

Ponorogo. Selain itu, hasil penelitian ini diharapkan memberikan wawasan dan dijadikan referensi bagi peneliti selanjutnya.

2. Manfaat untuk Masyarakat

Penelitian ini diharapkan memberikan informasi mengenai struktur geologi bawah permukaan potensi panas bumi di Desa Wagir Lor Ngebel Ponorogo kepada pihak terkait guna memaksimalkan potensi panas bumi yang ada di daerah tersebut.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Panas Bumi

2.1.1`Pengertian Panas Bumi (*Gheothermal*)

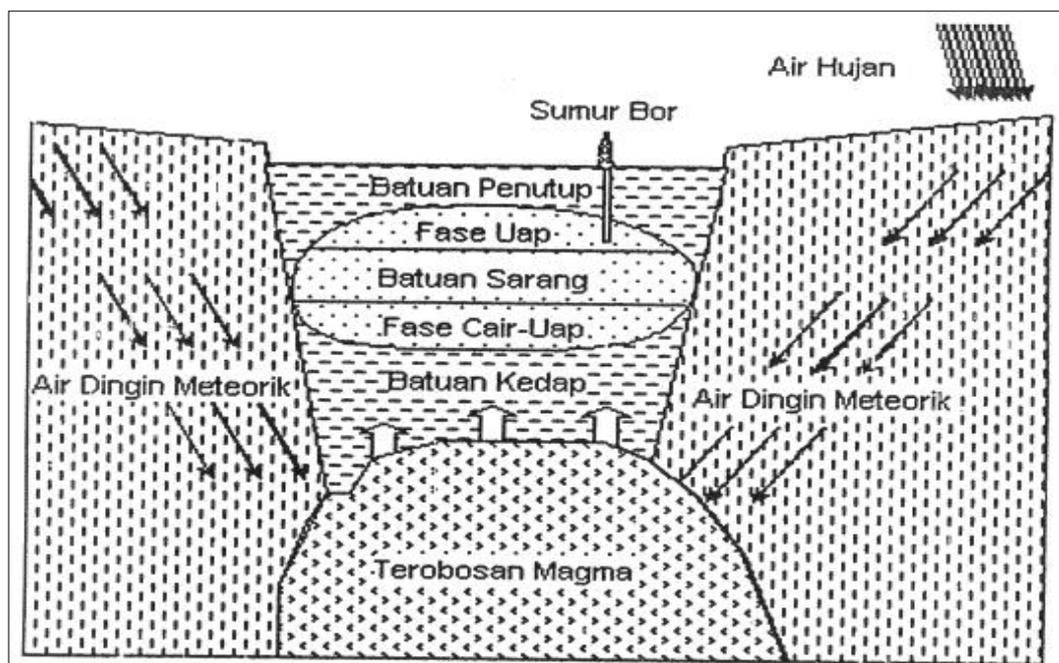
Secara bahasa, istilah *geothermal* terbentuk berasal dari dua kata yaitu *geo* yang berarti bumi dan *thermal* yang artinya panas. Istilah *geothermal* sebab itu didefinisikan menjadi panas bumi yang terbentuk secara alami di bawah permukaan bumi. Panas bumi adalah sumber panas yang ditemukan dan dihasilkan dalam kerak bumi. Pada umumnya, sumber energi panas bumi terkandung dalam fluida hidrotermal, uap air, batuan beserta mineral dan gas lainnya (Polanunu, dkk., 2020).

Panas bumi adalah sebuah sumber panas yang ditemukan serta terbentuk di dalam kerak bumi. *Geothermal* ialah sumber energi panas yang terkandung di dalam air panas, uap air dan batuan, serta mineral dan gas lainnya yang secara genetic tidak dapat dipisahkan dalam suatu sistem panas bumi dan untuk pemanfaatannya diperlukan proses penambangan (Broto et al., 2011). Ada beberapa jenis panas bumi, yaitu reservoir hidrotermal, reservoir bertekanan tinggi, reservoir batuan panas kering, dan reservoir magma.

Panas bumi dapat diartikan sebagai jumlah kandungan panas yang tersimpan di dalam tanah, membentuk sistem panas bumi yang telah ada sejak bumi terbentuk. Sistem panas bumi tersebut mencakup sistem hidrotermal yaitu, sistem tata air, proses pemanasan dan kondisi sistem dimana air panas terkumpul, sehingga sistem panas bumi memiliki persyaratan seperti ketersedianya air, batuan pemanas, batuan sarang, dan batuan penutup (Alzwar, 1987; Basid, dkk., 2014).

Proses pembentukan panas bumi berkaitan dengan arus konveksi. Air tanah

yang terperangkap dalam batuan kedap air dan berada di atas dapur magma atau batuan panas yang berkontak langsung dengan magma menyebabkan suhu air tanah di atasnya relatif tinggi (100-250°C). Pada suhu relatif tinggi, air tanah tersebut mengalami penguapan, jika terdapat rekahan atau patahan di permukaan yang menghubungkan permukaan dengan tempat terperangkapnya air tanah yang dipanaskan, maka manifestasi panas akan terlihat di permukaan (Farrel Robawa, 2016).



Gambar 2.1 Sistem panas bumi (Alzwar.1987)

2.1.2 Pembentukan Panas Bumi

Pembentukan panas bumi pada umumnya terjadi di sepanjang jalur vulkanik seperti di Indonesia, sehingga pembentukan panas bumi tersebut dipengaruhi oleh proses geologi yang terjadi di sepanjang jalur gunungapi. Proses geologi adalah aktivitas magmatik dan proses pengangkatan. Aktivitas magmatik terjadi berupa rekahan dan letusan gunungapi, sedangkan proses pengangkatannya mengarah terbentuknya sesar di sepanjang jalur gunungapi. Proses pengangkatan tersebut

akan menyebabkan daerah yang bersangkutan terangkat lebih tinggi dari daerah sekitar dan akan membentuk sistem pegunungan yang berfungsi sebagai daerah penangkap air hujan, karena air yang meresap di dalam tanah relatif lebih banyak dibandingkan daerah sekitarnya, maka daerah tersebut merupakan wadah air tanah meteorik selama waktu geologi yang lintasannya merupakan sumber air bagi daratan rendah di sekitarnya, sedangkan jalur rekahan yang terbentuk akibat pengangkatan menyebabkan air panas atau uap merembes ke permukaan dan ini merupakan indikasi adanya sistem panas bumi di kedalaman dan indikasi gejala akhir kegiatan vulkanisme gunungapi.

Air yang sudah terpanasi dan terkumpul pada batuan sarang karena terapit oleh lapisan kedap air (uap) menyebabkan air dan uap pada batuan sarang berada dalam kondisi tekanan hidrostatik tinggi. Tekanan yang sangat tinggi ini menyebabkan uap jenuh di dalam batuan cadangan menjadi fasa cair, sehingga sistem batuan cadangan memiliki dua fasa uap, yaitu fasa cair-uap yang terkondensasi dan fasa uap yang sebenarnya. Pengurangan dan pelepasan tekanan hidrostatik ini, contohnya karena pengeboran yang mengakibatkan air yang bersuhu sangat tinggi berubah menjadi uap.

2.1.3 Sistem Panas Bumi

Pergerakan lempeng benua dan lempeng samudera menyebabkan terbentuknya zona subduksi (tumbukan antar kerak, menyebabkan kerak samudera menunjam di bawah kerak benua). Akibat gesekan antar kerak tersebut, terjadi peleburan batuan dan lelehan batuan ini bergerak ke permukaan melalui rekahan dan kemudian membentuk busur gunungapi di tepi benua. Kerak benua bergerak menjauh satu sama lain secara horizontal, sehingga menyebabkan rekahan atau

patahan.

Sistem panas bumi adalah sistem energi panas bumi yang memenuhi kriteria *geologi*, *hidrogeologi*, dan *heat transfer* yang cukup terkontaminasi untuk menjadi sumber daya energi. Tidak setiap kondisi *geologi* yang serupa menghasilkan sistem panas bumi yang sama. Secara umum pembagian sistem panas bumi di Indonesia ada dua yaitu sistem konveksi *hidrotermal* dan sistem panas kering (Djoko Santoso, 1995).

Sistem panas bumi di Indonesia umumnya merupakan sistem hidrotermal, yaitu sistem panas bumi yang reservoirnya mengandung uap, air atau campuran keduanya. Sistem panas bumi dibagi menjadi dua bagian menurut lingkungan geologinya, yaitu lingkungan vulkanik dan non-vulkanik. Lingkungan vulkanik dicirikan oleh kandungan sumber daya panas bumi berkualitas tinggi yang tersebar di sepanjang jalur vulkanik. Biasanya membentuk reservoir dengan suhu atau entalpi rendah hingga sedang (Risdianto, dkk., 2015).

Menurut Saptadji (2009), sistem hidrotermal dibagi menjadi tiga kelompok, yaitu:

1. Sistem reservoir temperatur tinggi (diatas 225°C)
2. Sistem reservoir temperatur sedang (antara 125°C-225°C)
3. Sistem reservoir temperatur rendah (< 125°C)

Panas bumi secara umum dapat diartikan sebagai jumlah kandungan panas yang tersimpan di dalam bumi dan membentuk suatu sistem panas bumi yang telah ada sejak bumi terbentuk. Sistem panas bumi tersebut meliputi sistem hidrotermal yang merupakan sistem tata air, proses pemanasan dan kondisi sistem dimana air yang terpanasi terkumpul sehingga sistem panas bumi memiliki persyaratan seperti

harus tersedianya air, batuan pemanas, batuan sarang, dan batuan penutup (Alzwar, 1987).

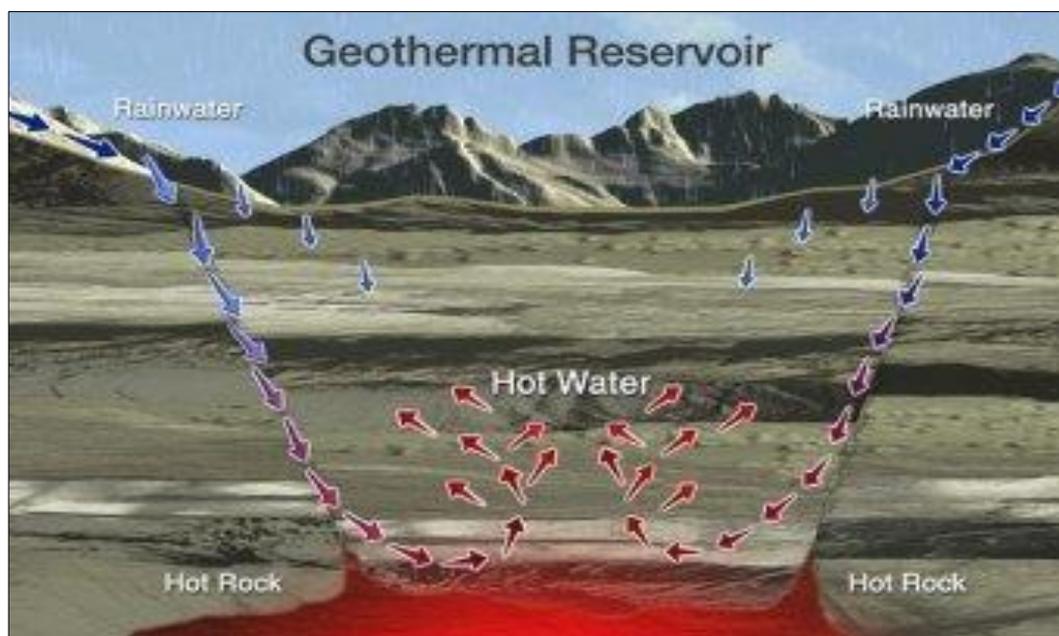
Magma gunungapi adalah sumber panas yang memanasi air bawah permukaan, mengubahnya menjadi uap panas bumi. Magma ini muncul di permukaan disebabkan oleh aliran konveksi pergerakan cairan magma dibawah lempeng bumi yang berusaha keluar melalui rekahan yang muncul akibat perbedaan tekanan dan temperatur didalamnya. Magma ini mengalir dari tempat temperatur tinggi ke rendah melalui pematang tengah samudera (*Mid Oceanic Ridge*) dan kemudian bergerak mendorong lempengan yang ada (sebagai dasar samudra) ke arah palung dan masuk kembali ke perut bumi.

Siklus ini berlangsung sekitar 200 tahun-an, setelah lempeng samudera pertama terbentuk di pematang tengah samudera, kembali masuk ke dalam palung samudera melebur kembali menjadi magma dan sebagian dikeluarkan kembali melalui gunung berapi. Siklus ini dikemukakan oleh Alfred Wegener (1912) sebagai teori kontinental drift yang kemudian pada tahun 1960 di kenal sebagai teori "*plate tectonics*".

Sistem panas bumi merupakan energi yang tersimpan dalam bentuk air panas atau uap panas pada kondisi geologi tertentu pada kedalaman beberapa kilometer didalam kerak bumi. Sistem panas bumi meliputi panas dan fluida memindahkan panas ke arah permukaan. Adanya konsentrasi energi panas pada sistem panas bumi umumnya dicirikan oleh adanya anomali panas yang dapat terekam di permukaan (Broto et al., 2011).

Di daerah gunungapi, dimana terdapat potensi gheothermal sering ditemukan struktur sesar (*fault*) dan kaldera (*caldera*). Keberadaan struktur tersebut

membuka pori-pori batuan sehingga menciptakan rekahan yang memanjang hampir vertical. Air tanah kemudian bertemu dengan batuan panas, terakumulasi dan terpanaskan. Akibatnya, suhu air meningkat, volume meningkat dan tekanan meningkat. Lokasi tempat fluida panas tersebut disebut reservoir panas bumi (*geothermal reservoir*), sedangkan lapisan batuan di bagian atasnya disebut batuan penutup (*caprock*) yang bersifat impermeable atau teramat sulit ditembus oleh fluida (Bronto, 2001).



Gambar 2.2 Reservoir panas bumi

Panas bumi di permukaan dapat berupa seperti *warm ground*, *steaming ground*, kolam lumpur panas, kolam air panas, *fumarol*, sumber air panas, rembesan, *geyser*, dan daerah alterasi hidrotermal selalu berhubungan dengan proses geologi dan model sistem panas bumi (Djoko Santoso, 1995).

2.1.4 Manifestasi Panas Bumi

Manifestasi panas bumi diduga disebabkan oleh perpindahan panas dari bawah permukaan, dimana terdapat rekahan yang memungkinkan fluida panas bumi mengalir ke permukaan. Secara umum, analisis manifestasi panas bumi daerah penelitian dapat dilakukan dengan beberapa indikator, hal ini tergantung pada daerahnya yang menunjukkan indikasi adanya panas bumi. Pada umumnya tekanan di bawah permukaan bumi lebih rendah, sehingga air panas atau uap air panas yang terperangkap di bawah permukaan bumi akan berupaya mencari jalan terobosan supaya bisa keluar ke permukaan bumi. Berikut adalah penjelasan mengenai jenis-jenis manifestasi panas bumi dipermukaan (Isa, 2018).

1) *Warm ground*

Warm ground adalah tanah panas. Panas yang keluar disebabkan oleh konduktivitas termal pada lapisan bagian atas dan gradien suhu lebih dari 25°-30°C.

2) *Steaming ground*

Steaming ground bisa diartikan sebagai tanah beruap. Uap yang keluar berasal dari penguapan air panas pada kedalaman yang dangkal atau dari sangat dalam.

3) Kolam lumpur panas

Kolam lumpur panas atau *mud vulkano* adalah kubangan lumpur panas, mengandung sedikit uap dan gas CO_2 dan tidak mengembun. Gas CO_2 keluar dari satu celah dengan temperatur lebih kecil dari titik didih.

4) Kolam air panas

Kolam air panas biasanya ditemukan di dalam kubangan hidrotermal minor purba dan juga bisa berupa *hot lake*. Kolam air panas terbentuk oleh fumarol yang sudah tidak aktif lagi. Kolam air panas dengan sistem uap air biasanya berlumpur

dan berwarna abu-abu, sedangkan yang bersistem air panas biasanya bersih dan sedikit abu-abu, yang bersistem air panas asam berada pada kedalaman yang sangat dalam.

5) *Fumarol*

Fumarol adalah hembusan gas magnetik dan uap yang keluar pada suhu tinggi, dimana uap air biasanya lebih banyak terdapat pada suhu dibawah 100°C.

6) Sumber air panas

Sumber air panas biasanya berasosiasi dengan sumber air bawah permukaan yang memiliki kecepatan aliran yang tinggi dan biasanya berwarna terang disertai endapan silica sinter.

7) Rembesan

Aliran air panas dari kedalaman yang dalam menuju ke permukaan sebagian akan merembes ke wilayah zona topografi rendah hingga bercampur dengan aliran sungai.

8) *Geyser*

Geyser adalah sistem air panas yang melepaskan udara setiap saat karena rongga dalam batuan terisi penuh dan tekanan mengakibatkan air panas atau uap terdorong keluar ke udara.

9) Daerah Alterasi Hidrotermal

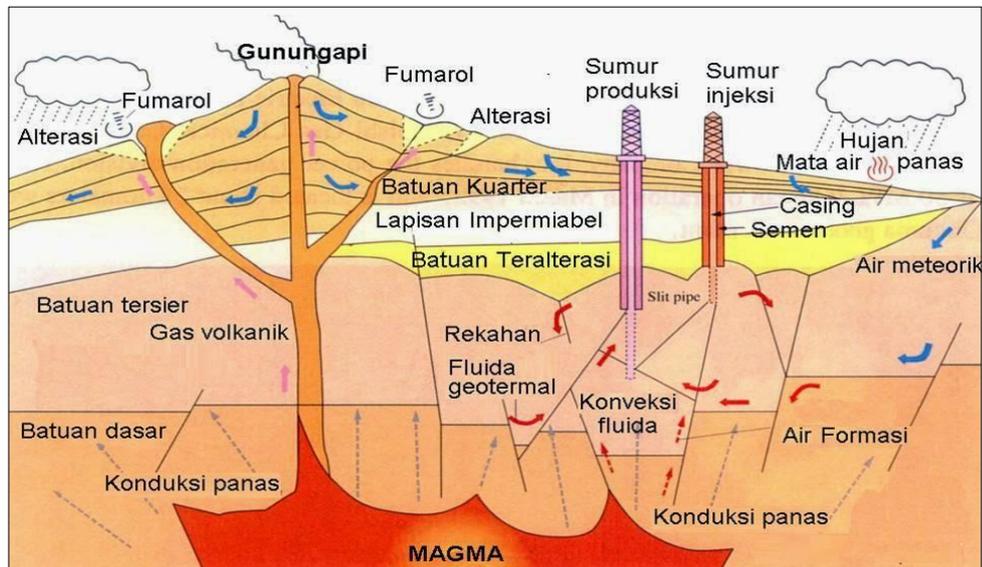
Daerah alterasi hidrotermal adalah daerah dimana antara fluida dan batuan reservoir saling bereaksi, menghasilkan perubahan fase padat dan cair dan menghasilkan mineral baru. Kelimpahan mineral hidrotermal yang terbentuk oleh interaksi fluida dan batuan tergantung pada beberapa faktor terutama suhu, komposisi fluida (PH), ketersediaan fluida (*permeabilitas*) dan adanya pendidihan.

Panas bumi dapat dimanfaatkan dengan dua cara, yaitu secara langsung dan tidak langsung. Pemanfaatan langsung biasanya digunakan untuk mandi, mencuci, memasak, pemanasan ruangan, di bidang pertanian, perikanan, peternakan dan untuk pariwisata. Dalam pemanfaatan tidak langsung digunakan sebagai energi panas bumi untuk pembangkit tenaga listrik panas bumi (PLTPB). Selain itu, pembagian sistem panas bumi menurut Goff dan Cathy (2000) dapat dibedakan menjadi lima jenis berdasarkan kriteria geologi, geofisika, hidrologi, dan teknologi, dapat dibagi atas 5 tipe, yaitu (1) sistem panas bumi dari batuan beku muda (*young igneous systems*), (2) sistem tektonik (*tectonic systems*), (3) *geopressured system*, (4) *hot dry rock systems*, (5) *magma tap systems*. Dari tipe satu sampai tipe tiga, air panas alami dapat diperoleh melalui aktivitas eksploitasi. Karena itu, dapat dihubungkan ke sistem hidrotermal. Sebaliknya, dengan tipe empat dan lima, air panas alami tidak dapat diperoleh.

2.1.5 Hidrotermal (*Hydrothermal*)

Secara bahasa, kata hidrotermal terdiri dari dua kata yaitu *Hydro* yang berarti air dan *thermal* yang berarti panas. Jadi istilah hidrotermal dapat diartikan sebagai air panas. Menurut Ryan Donovan dkk. (2020), sistem hidrotermal proses berpindahnya panas dari sumber panas ke permukaan secara konveksi. Fluida meteorik yang dihasilkan oleh bagian penyerapan dialirkan ke daerah rembesan fase cair. Sistem ini terdiri dari sumber panas, reservoir dengan fluida panas, daerah resapan, dan daerah rembesan panas yang berupa manifestasi. Sistem panas bumi adalah sistem energi panas bumi yang memenuhi kriteria geologi, hidrogeologi, dan *heat transfer* yang cukup terkontaminasi untuk menjadi sumber daya energi. Semua

kondisi geologi tidak ada yang serupa menciptakan sistem panas bumi. Secara umum, ada dua pembagian sistem panas bumi di Indonesia, yaitu sistem konveksi hidrotermal dan sistem panas kering.



Gambar 2.3 Proses hidrotermal

White (1967) dalam Saptadji (2009) berpendapat bahwa fluida panas bumi yang terkandung dalam reservoir hidrotermal berasal dari air permukaan, termasuk air hujan (air meteorik) yang meresap masuk ke bawah permukaan dan dipanaskan oleh suatu sumber panas. Air akan masuk melalui rekahan-rekahan kedalam batuan permeable. Apabila disekitar batuan tersebut terdapat sumber panas, panas mengalir melalui batuan (secara konduksi) melalui fluida (secara konveksi). Perpindahan panas secara konveksi pada dasarnya disebabkan oleh gaya apung air karena gaya gravitasi selalu cenderung bergerak kebawah, tetapi apabila air tersebut kontak dengan suatu sumber panas, maka terjadi perpindahan panas, sehingga suhu air menjadi lebih tinggi dan air menjadi lebih ringan. Keadaan ini menyebabkan air yang lebih panas mengalir ke atas dan air yang lebih dingin mengalir turun ke bawah, sehingga terjadi sirkulasi air.

2.2 Prinsip Gravitasi

2.2.1 Teori Gravitasi Newton

Menurut Jacobs (1974), teori gravitasi didasarkan pada hukum Newton tentang gravitasi. Hukum gravitasi Newton yang menyatakan bahwa gaya tarik menarik antara dua buah benda adalah sebanding dengan massa kedua benda tersebut dan berbanding terbalik dengan jarak kuadrat antara pusat massa kedua benda tersebut (Jacobs, 1974).

Persamaan hukum gravitasi Newton (Burger, 1992):

$$F = G \frac{mM}{R^2} \quad (2.1)$$

dimana,

- F : Gaya tarik antara dua objek (N)
- G : Konstanta gravitasi ($6,67 \times 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2$)
- M : Massa bumi (kg)
- m : Massa benda (kg)
- r : Jarak antara kedua pusat massa benda (m)

Dimana, konstanta gravitasi ($G = 6.67 \times 10^{-11} \text{ N.m}^2.\text{kg}^{-2}$). Sementara itu, hukum Newton lainnya menyatakan bahwa gaya (F) adalah perkalian antara massa dan percepatan. Hukum Newton mengenai gerak Newton, yaitu (Burger, 1992):

$$F = mg \quad (2.2)$$

Persamaan (2.1) disubstitusikan ke persamaan (2.2), maka di dapat (Burger, 1992):

$$g = G \frac{M}{R^2} \quad (2.3)$$

Persaman terakhir ini menunjukkan bahwa besar percepatan gravitasi di bumi (g) adalah berbanding lurus dengan massa bumi (M) dan berbanding terbalik dengan kuadrat jari-jari bumi (R). Secara teoritis, nilai gravitasi bumi sama di seluruh permukaan bumi. Pada kenyataannya, nilai gravitasi bervariasi di setiap

tempat karena bentuk bumi pepat akibat rotasi bumi, bentuk topografi permukaan bumi yang tidak beraturan, dan distribusi massa yang berbeda, terutama di dekat permukaan (Santoso, 2002).

2.2.2 Metode Gravitasi

Metode gravitasi adalah metode penelitian geofisika yang didasarkan pada variasi medan gravitasi di permukaan bumi. Metode tersebut mempelajari variasi gravitasi akibat variasi rapat massa bawah batuan di bawah permukaan, oleh karena itu, dalam pelaksanaannya yang diuji perbedaan gravitasi dari satu titik pengamatan terhadap pengamatan lainnya (Sunaryo, 1997).

Metode *Gravity* didasarkan pada pengukuran variasi medan gravitasi yang disebabkan oleh rapat massa batuan di bawah permukaan. Medan gravitasi di permukaan bumi tidak homogen karena dipengaruhi oleh massa jenis benda, termasuk perbedaan batuan penyusun kerak bumi terhadap lingkungan sekitarnya. Perbedaan ini disebabkan oleh distribusi massa yang tidak merata di kerak bumi, yang menyebabkan tidak meratanya distribusi dan deformasi massa jenis batuan. Batuan yang memiliki massa jenis yang berbeda tersebut akan mempengaruhi medan gravitasi bumi di permukaan bumi, atau disebut juga dengan anomali gravitasi.

Dalam metode gravitasi, pengukuran dilakukan terhadap nilai komponen vertikal dari percepatan gravitasi di suatu tempat. Namun pada kenyataannya, bentuk bumi tidak bulat sehingga terdapat variasi nilai percepatan gravitasi untuk masing-masing tempat. Hal-hal yang dapat mempengaruhi nilai percepatan gravitasi adalah perbedaan derajat garis lintang, perbedaan ketinggian (*topografi*),

letak bumi dalam tata surya, variasi kerapatan massa batuan di bawah permukaan bumi, perbedaan elevasi tempat pengukuran dan hal lain yang dapat mempengaruhi nilai gravitasi, misalnya bangunan dan lain-lain (Sunaryo, 1997).

2.2.3 Potensial Gravitasi

Pada potensial gravitasi berlaku prinsip superposisi yaitu potensial gravitasi dari sekumpulan massa dari masing-masing massa. Beda potensial pada partikel uji merupakan penjumlahan vektor dari potensial massa. Prinsip superposisi dapat diterapkan untuk potensial gravitasi pada distribusi massa yang kontinu. Suatu distribusi massa yang kontinu m adalah sekumpulan massa yang sangat kecil dan banyak, $dm = \rho(x, y, z) dv$, dimana $\rho(x, y, z)$ adalah densitas distribusi massa. Dengan menerangkan prinsip supersposisi maka didapatkan (Blakely, 1995):

$$U(p) = \gamma \int_v \frac{dm}{r} = \gamma \int_v \frac{\rho(Q)}{r} dv \quad (2.4)$$

Dimana pengintegralan meliputi v , volume sebenarnya dari massa. P adalah titik pengamatan, Q merupakan titik pengintegralan dan r adalah jarak antara P dan Q . Satuan densitas adalah gr.cm^{-3} (Blakely, 1995).

2.2.4 Rapat Massa Batuan

Rapat massa (ρ) adalah perbandingan antara massa dengan volume suatu benda. Batuan dengan pori-porinya yang terisi oleh fluida (air, minyak atau gas) dapat dinyatakan dengan rapat massa dengan n komponen. Fraksi dan rapat massa fraksi masing-masing V_1 dan ρ_1 dapat dinyatakan dengan persamaan (Kadir, 1999):

$$\rho = \sum_{i=1}^n \frac{V_1}{V} \rho_i \quad (2.5)$$

Apabila fraksi disederhanakan menjadi tiga bagian yaitu fraksi matriks padat,

fraksi liquid dan fraksi gas, maka persamaan di atas menjadi (Kadir, 1999):

$$\rho = \frac{V_m}{V} \rho_m + \frac{V_f}{V} \rho_f + \frac{V_g}{V} \rho_g \quad (2.6)$$

Dimana ρ_m, ρ_f, ρ_g masing-masing adalah rapat massa material matriks, rapat massa fluida, dan rapat massa gas. Persamaan di atas menjelaskan bahwa kerapatan massa dipengaruhi oleh perubahan saturasi cairan atau perubahan massa komponen-komponennya. Dengan kerapatan massa komponen pembentuk yang tetap maka porositas batuan tidak berubah. Anomali gravitasi ini berhubungan langsung dengan adanya perubahan kerapatan massa sebagai akibat adanya perubahan material yang mengisi volume pori sumber anomali (Kadir, 1999).

Rapat massa (*density*) batuan merupakan besaran utama dalam menentukan nilai percepatan gravitasi. Variasi rapat massa pada batuan sedimen disebabkan oleh tekanan gaya tektonik (Untung, 2001).

Densitas batuan dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu rapat massa butir pembentuknya, porositas, kandungan fluida yang mengisi pori-porinya, serta pepadatan akibat tekanan dan pelapukan yang dialami batuan tersebut (Kirbani, 2001).

Tabel 2.1 Rapat Massa batuan

Batuan/mineral	Rapat massa (gr/cm ³)	Rapat Massa Rata-rata(gr/cm ³)
Batuan Beku		
Andesit	2.40-2.80	2.61
Basalt	2.70-3.30	2.99
Diorit	2.72-2.99	2.85
Gabro	2.70-3.50	3.03
Granit	2.50-2.81	2.64
Lava	2.70-3.00	2.90
Porfiritik	2.60-2.89	2.74
Batuan Sedimen		
Lempung	1.63-2.60	1.70
Kerikil	1.70-2.40	1.95
Pasir	1.70-2.30	1.6
Lanau	1.80-2.20	1.43
Batu pasir	1.61-2.76	2.35
Batu gamping	1.93-2.90	2.55
Batu malihan		
Kuarsa	2.50-2.70	2.60
Granulit	2.52-2.73	2.65
Marmer	2.60-2.90	2.75

2.3 Pengukuran Data Gravity GGMplus

GGMplus (*Global Gravity Model Plus*) adalah model komposit yang memurnikan model gravitasi yang merupakan gabungan dari gravitasi satelit GRACE dan GROCE, EGM2008 dan data gravitasi topografi resolusi tinggi yang berasal dari data topografi SRTM. Satelit GRACE merupakan jenis satelit gravimeter yang menyediakan data gravitasi dalam kurun waktu lima tahun. Satelit ini mendeteksi perubahan medan gravitasi bumi secara berkala dengan mengamati perubahan jarak yang terjadi. Satelit GROCE adalah satelit gravimeter yang menentukan medan gravitasi bumi dengan akurasi 1 mGal dengan akurasi geoid 1 cm pada resolusi 100 km dan ketinggian orbit 25 km (Karimah dan Suprianto, 2020).

Data gravitasi GGMplus memiliki jarak antar titik lebih rapat (± 200 m) di bandingkan data satelit seperti BGI (± 3.6 km) dan Topex (± 1.8 km). Model dari GGMplus merupakan hasil dari penelitian Universitas Curtin (Perth, Australia Barat) dan Universitas Teknik Munich (Jerman). Data yang disediakan oleh GGMplus meliputi data percepatan gravitasi, *gravitasi disturbance*, *geoid*, dan defleksi komponen vertikal utara-selatan dan timur-barat. Anomali *gravity disturbance* pada GGMplus adalah data yang diperoleh dengan mengurangkan nilai percepatan gravitasi GGMplus dari nilai gravitasi normal dipermukaan (*Free-Air Correction*).

2.4 Koreksi dalam Metode Gaya Berat

2.4.1 Koreksi Bouguer (*Bouguer Correction*)

Koreksi Bouguer digunakan untuk menghilangkan efek massa batuan yang mengisi ruang antara titik pengukuran dan bidang acuan. Besar koreksi dihitung menurut persamaan (Sunaryo, 1997):

$$BC = 2\pi G \rho h \quad (2.7)$$

Karena, $2\pi G = 0,04191$ maka, $BC = 0.04191\rho h$

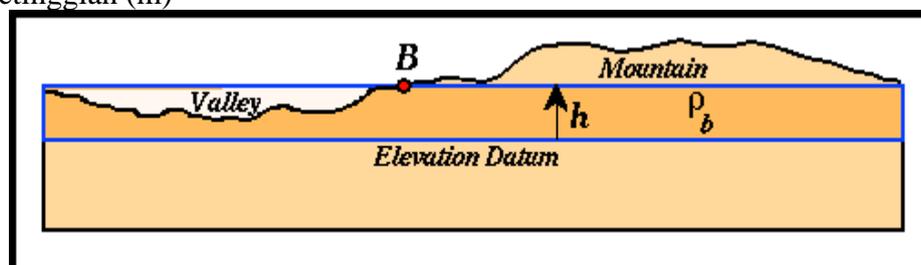
Dimana,

BC: Bouguer Correction (mGal/m)

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

ρ : Rapat massa batuan rata-rata ($2,67 \text{gr}/\text{cm}^3$)

h: Ketinggian (m)



Gambar 2.4 Pendekatan Bouguer untuk massa di atas permukaan laut

Nilai h yang dimasukkan adalah nilai free air data GGMPPlus. Dari nilai koreksi yang dihitung, dapat diperoleh nilai anomali Bouguer sederhana (ABS). Nilai ρ dihitung menggunakan metode parsnis dengan versi yang serupa, merupakan pendekatan analitis yang mirip dengan metode grafik Nettleton, yaitu dengan asumsi bahwa tidak ada korelasi antara topografi dan densitas permukaan sehingga anomali tersebar secara acak bersamaan terhadap ketinggian. Dimana persamaan metode parsnis sebagai berikut:

$$\rho = \frac{BC}{\rho_0} - TE \quad (2.8)$$

Dimana,

BC	:	Koreksi Bouguer (mGal)
ρ	:	Densitas batuan (Mg/m^3)
ρ_0	:	Densitas rata-rata
TE	:	Efek Medan (<i>Terrain Effect</i>)

2.4.2 Anomali Bouguer Sederhana

Setelah ditemukan dan didapatkan hasil *Free Air Anomaly* dan nilai *Bouguer Correction*, maka dihitung nilai Anomali Bouguer Sederhana dengan persamaan:

$$ABS = FAA - BC \quad (2.9)$$

Dimana,

ABS	:	Anomali Bouguer Sederhana
FAA	:	Anomali udara bebas (<i>Free Air Anomaly</i>)
BC	:	Koreksi Bouguer (mGal)

2.4.3 Koreksi Medan (*Terrain Correction*)

Kondisi topografi di sekitar titik pengamatan sebagian tidak beraturan seperti adanya lembah atau perbukitan, yang juga mempengaruhi nilai gravitasi di titik pengamatan. Bukit mempunyai efek yaitu memperkecil percepatan gravitasi. Oleh karena itu, bukit tersebut harus dilakukan koreksi *terrain* sehingga lembah di sekitar

titik pengamatan dianggap mempunyai massa batuan (Sari, 2012). Karena efek ini telah terkurangkan pada saat koreksi bouguer, maka koreksi *terrain* untuk lembah harus ditambahkan untuk mengembalikan efek bouguer tersebut. Secara topografi dapat diambil bentuk silindris konsentris yang dibagi menjadi zona dan kompartemen dengan ketinggian berbeda, ditulis dalam bentuk rumus berikut (Burger, 1992; Sari, 2012):

$$TC = 2\pi\gamma\rho \left[R_2 - R_1 + \sqrt{(R_1^2 + \Delta h^2)} - \sqrt{(R_2^2 + \Delta h^2)} \right] \quad (2.10)$$

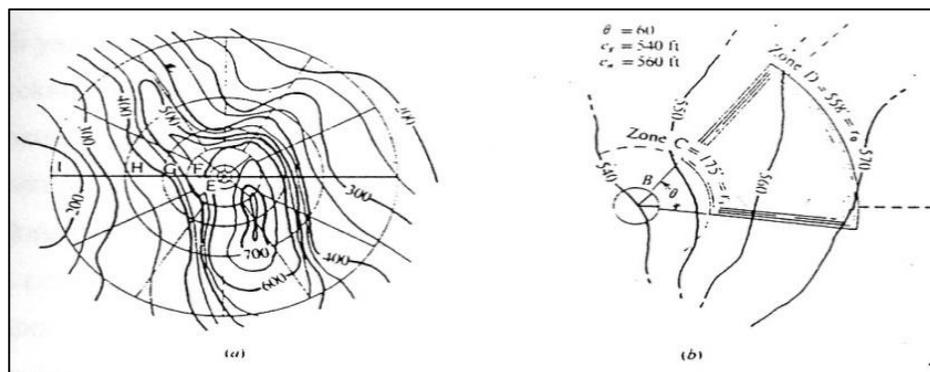
Dimana,

R_1 = Radius bagian dalam suatu zona

R_2 = Radius bagian luar dalam suatu zona

Δh = Beda ketinggian dari titik pengamatan

Perhitungan koreksi ini menggunakan *hammer chart* yang transparan seperti pada gambar 2.4. *Hammer chart* membagi daerah titik pengamatan menjadi zona-zona dan kompartemen yang merupakan bagian dari silinder konsentris (Dobrin, 1960; Indarwati, 2016).



Gambar 2.5 Model Hammer Chart untuk koreksi medan (Telford, 1990)

Koreksi hammer chart berguna untuk memudahkan koreksi dengan cara membagi daerah penelitian menjadi daerah-daerah yang dibatasi oleh kurva.

2.4.4 Anomali Bouguer

Anomali Bouguer merupakan suatu pemaparan dari gravitasi paling umum

yang dapat digunakan untuk memperkirakan kondisi bawah permukaan berdasarkan kontras rapat massa batuan. Dengan demikian, nilai anomaly Bouguer dapat dirumuskan sebagai berikut (Sunaryo, 1997):

$$ABL = G_{\text{obs}} - G_n + FAC - BC + TC \quad (2.11)$$

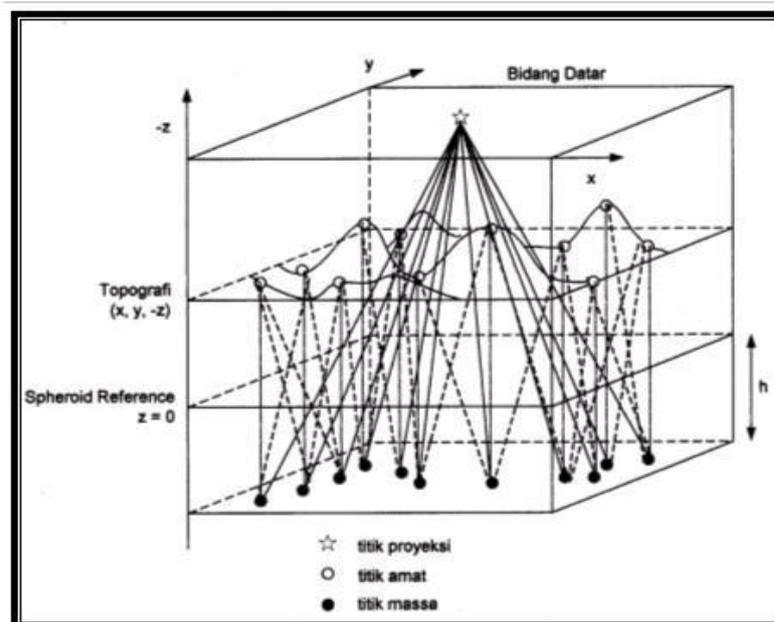
Dimana,

- ABL = Anomali bouguer lengkap
- G_{obs} = Nilai gravitasi obeservasi
- G_n = Nilai gravitasi koreksi lintang (gravitasi normal)
- FAC = *Free air correction*/koreksi udara bebas
- BC = *Bouguer correction*/koreksi Bouguer
- TC = *Terrain correction*/ koreksi topografi

2.5 Transformasi

2.5.1 Reduksi Bidang Datar

Data anomali Bouguer lengkap masih berada di permukaan topografi pada ketinggian yang bervariasi, sedangkan dalam analisis lebih lanjut diperlukan data anomali medan gravitasi yang terletak pada bidang datar. Hal ini dapat diatasi dengan membawa anomali Bouguer lengkap ke bidang datar pada ketinggian tertentu menggunakan metode sumber ekuivalen titik massa (Dampney, 1969). Proses penggunaan metode sumber ekuivalen titik massa ini adalah menentukan sumber ekuivalen titik massa diskrit pada kedalaman tertentu di bawah permukaan dengan memanfaatkan data anomali Bouguer lengkap permukaan. Kemudian dihitung medan gravitasi teoritis yang diakibatkan oleh sumber ekuivalen tersebut pada suatu bidang datar dengan ketinggian tertentu seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.5.



Gambar 2.6 Sumber ekuivalen titik massa (Ariyanto dkk, 2014)

Persamaan dasar yang digunakan dalam proses ini adalah (Dampney, 1969):

$$\Delta g(x, y, z) = G \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{\rho(\alpha, \beta, h)(h-z) d\alpha d\beta}{((x-\alpha)^2 + (y-\beta)^2 + (z-h)^2)^{3/2}} dx' dy' \quad (2.12)$$

Dimana $\Delta g(x, y, z)$ adalah nilai anomali gravitasi pada topografi, $\rho(\alpha, \beta, h)$ adalah distribusi kontras densitas pada bidang titik massa ($z = h$), z adalah sumbu tegak yang menyatakan jarak dari topografi ke sferoida referensi dengan arah positif ke bawah, dan h adalah kedalaman sumber ekuivalen titik-titik massa dari sferoida referensi. Untuk mendapatkan nilai kedalaman sumber ekuivalen titik massa yang terbaik, maka diperoleh selisih jarak antara sumber ekuivalen titik massa dan ketinggian bidang datar dari sferoida referensi minimal 2,5 kali jarak rata-rata antar stasiun pengukuran dan maksimal 6 kali jarak rata-rata antar stasiun pengukuran, atau dapat dituliskan sebagai berikut:

$$2.5\Delta x < (h - Z_i) < 6\Delta x \quad (2.13)$$

Dimana Δx adalah jarak rata-rata antar stasiun pengukuran, h adalah bidang kedalaman ekuivalen titik massa, dan Z_i adalah ketinggian rata-rata titik pengukuran.

2.5.2 Kontinuasi ke Atas (*Upward continuation*)

Kontinuasi ke atas adalah langkah pengubahan data medan potensial yang diukur pada tingkat permukaan menjadi data yang seolah-olah diukur pada tingkat permukaan yang lebih tinggi. Kontinuasi ke atas juga merupakan metode yang digunakan sebagai filter yang berguna untuk menghilangkan bising yang ditimbulkan dari objek di dekat permukaan.

$$F(x, y, h) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{h/2\pi}{\{(x-x')^2 + (y-y')^2 + h^2\}^{3/2}} dx' dy' \quad (2.14)$$

Dimana $U(x, y, z_0 - \Delta z)$ adalah nilai potensial pada bidang hasil kontinuasi, $U(x', y', Z_0)$ adalah nilai medan potensial pada bidang observasi sebenarnya, Δz adalah jarak atau ketinggian pengangkatan (Blakely, 1995).

2.6 Geologi Daerah Penelitian

2.6.1 Letak Geografis

Kompleks Vulkanik Wilis adalah salah satu gunungapi di Pulau Jawa yang telah mati berumur Kuartar, tetapi masih menyimpan panas di dalamnya. Tanda-tanda sistem panas di wilayah ini adalah dengan ditemukannya keberadaan sumber air panas. Secara geologi daerah penelitian dibagi menjadi tiga satuan berdasarkan morfostratigrafi, yaitu Satuan Morfonit Jedding, Satuan Morfonit Tanjungsari, dan Satuan Endapan Lava. Daerah penelitian ini berada di sekitar kawasan sumber air panas (*hydrothermal*) di desa Wagir Lor, Kecamatan Ngebel, Kabupaten Ponorogo, Daerah panas bumi Telaga Ngebel terletak di Provinsi Jawa Timur. Secara geografis terletak pada posisi $7^{\circ}47' - 7^{\circ}50'$ LS dan $111^{\circ}36'50'' - 111^{\circ}40'$ BT. Luas daerah panas bumi Ngebel kurang lebih 49.550 Ha (17,48 km x 28,35 km).

Potensi energi panas bumi Ngebel ditunjukkan adanya manifestasi berupa fumarol, air panas, gas CO_2 , dan batuan alterasi. Panas bumi Ngebel telah

ditetapkan sebagai WKP (Wilayah Kerja Pertambangan) berdasarkan KEPUTUSAN Menteri Energi dan Sumber Daya Alam No.1788 K/33/MEM/2007 tanggal 23 Mei 2007. Potensi energi panas bumi Ngebel bersumber dari aktivitas vulkanik Gunung Wilis. Potensi panas bumi Ngebel dapat dilihat pada beberapa fenomena dengan keberadaan manifestasi yang tersebar di beberapa lokasi, yaitu:

- a. Fumarol ditemukan di Glagahombo di lereng selatan Telaga Ngebel. Suhu fumarol 87,7°C.
- b. Air panas muncul di daerah Padusan, Umbul dan Glagahombo bersifat asam dengan $\text{pH} < 2$. Air panas Padusan juga berada di selatan Telaga Ngebel dengan suhu 74°C dan bersifat netral. Air panas ini berada di kaki Gunung Wilis di sebelah barat.
- c. Aktivitas gas CO_2 dikaitkan dengan munculnya air dingin berada di sebelah selatan fumarol Glagahombo.
- d. Batuan alterasi banyak ditemukan di sepanjang aliran sungai sekitar lokasi mata air panas Padusan.

Berdasarkan data landaian suhu, sumber panas kawasan energi panas bumi Ngebel disebabkan oleh batuan intrusi diorite (Zamroni, 2013).

2.6.2 Geomorfologi Regional

Menurut Van Bemmelen, area peta terdiri dari lima zona. Van Bemmelen (1949) membagi fisiografi Jawa Timur menjadi lima zona fisiografis, zona-zona tersebut terdiri dari:

1. Zona Kendeng
2. Zona Rembang

3. Zona Depresi Tengah
4. Zona Aerial Ridge
5. Zona Lereng Selatan Aerial Ridge

2.6.3 Stratigrafi

Daerah Ponorogo dan sekitarnya terletak di jalur Pegunungan Selatan Jawa Timur dan termasuk dalam formasi Andesit Tua (Van Bemmelen, 1949). Perbatasan utaranya ditandai dengan tebing yang cukup kompleks. Ciri litologi dilapangan dan penamaannya merupakan satuan litostratigrafi tidak resmi, dimana pembagian satuan itu sendiri berdasarkan pemberian deskriptif dan dominasi batuan yang ada.

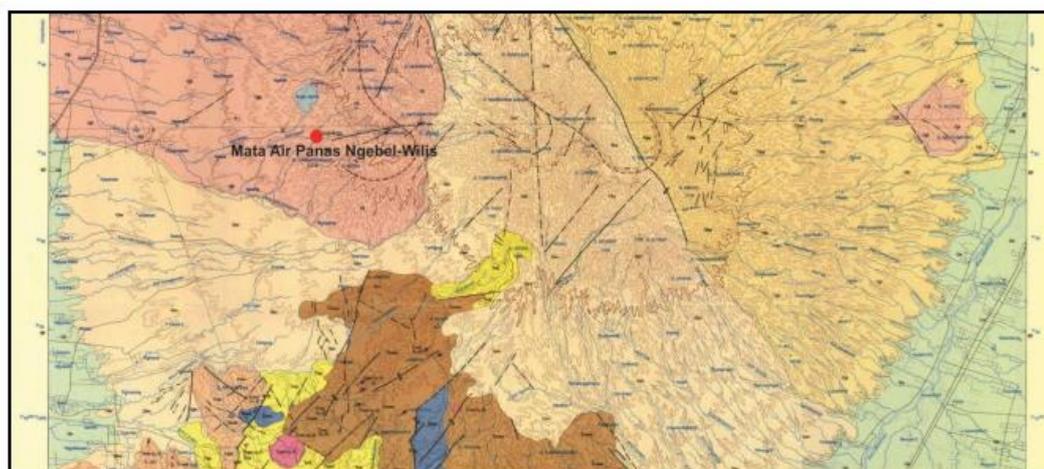
1. Satuan Batuan Lava
2. Satuan Batuan Tuf
3. Satuan Batuan Breksi

2.6.4 Struktur Geologi Wilayah Penelitian

Struktur geologi Pegunungan Selatan bagian timur terdiri dari lapisan homoklin, sesar, kekar dan lipatan. Struktur utama yang terbentuk di Pegunungan Selatan Bagian Timur ini terutama adalah sesar yang berkembang di sepanjang Sungai Grindulu dan kemungkinan besar struktur inilah yang menimbulkan banyak dijumpai mineralisasi di daerah ini. Ciri-ciri geologi yang ada di daerah pemetaan adalah kekar dan sesar geser kiri. Sumber panas dari sistem panas bumi yang terdapat pada daerah penelitian berasal dari batuan andesit yang mengintrusi lapisan batuan breksi yang ada di atasnya serta panasnya dialirkan melalui permukaan rekahan rekahan yang terbentuk akibat adanya sesar menuju medan alirannya.

Susunan litostratigrafi, dimulai dari yang tertua, terdiri dari batuan breksi, tuf, dan batuan terobosan andesit yang di endapkan pada zaman Plistosen awal hingga Plistosen akhir, dengan lingkungan pengendapan di darat.

Berdasarkan informasi geologi Lembar Madiun skala 1: 100.000 oleh U. Hartono, Baharuddin dan K. Brata (1985), terdapat tiga morfosit, dari tua ke muda yaitu, Morfoset Jeding-Petukbanteng (Qj) tersusun oleh lava andesit piroksen, breksi gunung api, serta sisipan tuf dan batuapung. Morfoset Pawon sewu (Qp), dan morfoset Argokalangan (Qav). Hubungan stratigrafi antara ketiganya karena ketidakselarasan morfologi. Morfoset Jeding-Petukbanteng mempunyai empat morfonit, Morfonit Tanjungsari (Qjt) dengan litologi tuf lapilli batuapung bersisipan tuf kasar, Morfonit Ngebel (Qjn) yang tersusun oleh breksi gunungapi berkeping andesit piroksen, andesit hornblende dan diorite, tuf dan konglomerat gunungapi. Morfonit Dangean (Qjd), dan Morfonit Klotok (Qjk). Morfonit Pawonsewu memiliki tiga morfonit yaitu, Morfonit Gajahmungkur (Qpg), dan lainnya diduga sebagai batuan terobosan andesit piroksen yaitu Terobosan Andesit Morfonit Parang (Qppr) dan Terobosan Andesit Punjul (Qpp). Morfoset Argokalangan mempunyai sebuah morfonit, yaitu Morfonit Sedudo (Qas).



Gambar 2.7 Geologi regional daerah penelitian

Berdasarkan lembar geologi pola sistem berada pada satuan batuan Qjn yang terdiri dari batuan tuf, andesit, diorit dan intrusi batuan lava. Satuan ini tersebar di sekitar Telaga Ngebel dan terdiri dari breksi gunungapi, tuf dan konglomerat gunung api. Breksi gunungapi, umumnya berkomponen andesit piroksen, andesit horeblenda, dan sedikit mikrodiorit. Ukuran komponen bervariasi dari 15 hingga 50 cm dan tertanam di dalam masa dasar tuf kasar yang Sebagian besar sudah sangat lapuk menjadi tanah merah. Tuf bersifat kristal, kasar, bersifat andesit, tersusun oleh felspar, piroksen, horeblenda dan pecahan batuan. Batuan ini berlapis-lapis, tebal lapisannya 20 cm sampai 1,5 m. Struktur lapisan bersusun dijumpai secara setempat, mulai dari tuf kasar yang mengandung kerikil andesit di bagian bawah dan secara berangsur ke atas berupa tuf halus berukuran lanau. Konglomerat gunungapi dengan kepingan andesit membundar ditemukan di dinding lensa. Morfonit ngebel tersebut diduga merupakan hasil letusan terakhir Kepundan Jeding-Patuk banteng, yang sebagian besar bahannya berasal dari reruntuhan kepunden. Telaga itu sendiri merupakan kawah parasit yang berupa “maar” yang tidak mengeluarkan bahan gunung api.

Pola morfologi di daerah ini dikendalikan oleh litologi maupun oleh struktur geologinya. Berdasarkan pada ketinggian bukitnya daerah ini dipisahkan menjadi empat satuan morfologi yaitu, kerucut gunungapi, perbukitan bertimbulan tajam, perbukitan menggelombang, dan pedataran rendah. Morfologi kerucut gunungapi terdapat bagian lembar tengah, satuan ini dibentuk oleh Pegunungan Wilis, yang berupa batuan gunungapi. Morfometri wilayah pemetaan dapat dibedakan menjadi tiga satuan morfologi, yaitu satuan morfologi pegunungan landai, satuan morfologi pegunungan miring, dan satuan morfologi pegunungan terjal. Morfologi Kawasan

ini berbukit sedang sampai berbukit terjal dengan jurang yang curam, batuan yang tersingkap sebagian sudah lapuk terdiri dari batuan piroklastik, lava andesit, breksi dan tuf.

2.7 Integrasi Al-Qur'an

Indonesia saat ini berusaha mengembangkan beberapa bentuk energi alternatif, salah satunya energi panas bumi di wilayah Ngebel (Zamroni, 2014). Keberadaan sumber energi ini ditandai adanya manifestasi panas bumi berupa mata air panas yang naik ke atas permukaan melalui rekahan (Supriyanto, 2009). Hal ini disebabkan adanya batuan beku atau *hot rock* yang berperan sebagai sumber panas. Dugaan keberadaan batuan tersebut didukung oleh aktivitas vulkanik Gunung Wilis.

Keberadaan suatu sistem panas bumi biasanya ditandai dengan adanya manifestasi permukaan. Manifestasi permukaan ini bisa keluar secara langsung sebagai mata air panas. Manifestasi panas bumi di permukaan diduga terjadi disebabkan adanya perambatan panas dari bawah permukaan atau karena adanya zona permeabel yang memungkinkan fluida mengalir ke permukaan (Suharno, 2013). Mengidentifikasi zona permeabel seperti sesar atau rekahan dapat dilakukan dengan menggunakan metode geofisika.

Panas bumi ini dapat dimanfaatkan dengan berbagai cara, seperti pemandian air panas karena adanya kandungan mineral sulfur atau belerang, pembangkit listrik tenaga panas bumi (PLTP), dan Budidaya perikanan. Dari hal tersebut, maka perlu dilakukan penelitian guna untuk mengeksplorasi sebaran panas bumi, sehingga

nantinya dapat diketahui sebaran dan struktur bawah permukaan disekitar daerah penelitian. Dalam Al-Qur'an Surah Az-Zumar Ayat 21 Allah SWT Berfirman:

أَلَمْ تَرَ أَنَّ اللَّهَ أَنْزَلَ مِنَ السَّمَاءِ مَاءً فَسَلَكَهُ يَنَابِيعٌ فِي الْأَرْضِ ثُمَّ يُخْرِجُ بِهِ زَرْعًا مُخْتَلِفًا أَلْوَانُهُ
ثُمَّ يَهْبِجُ فَتَرَاهُ مُصْفًرًا ثُمَّ يَجْعَلُهُ حُطَامًا إِنَّ فِي ذَلِكَ لَذِكْرًا لِأُولِي الْأَبْصَارِ

Artinya: “Apakah engkau tidak memperhatikan, bahwa Allah menurunkan air dari langit, lalu diaturnya menjadi sumber-sumber air di bumi, kemudian dengan air itu ditumbuhkan-Nya tanam-tanaman yang bermacam-macam warnanya, kemudian menjadi kering, lalu engkau melihatnya kekuning-kuningan, kemudian dijadikan-Nya hancur berderai-derai. Sungguh, pada yang demikian itu terdapat pelajaran bagi orang-orang yang mempunyai akal sehat” (Q.S Az-zumar [39]:21).

Dalam ayat diatas, dapat kita ambil pengertian bahwa Manusia sebagai hamba Allah SWT diberi kesempatan untuk melakukan eksplorasi, guna mengetahui apa yang terdapat di langit maupun di bumi, sehingga manusia dapat mengambil manfaat dan pengetahuan dari apa yang terdapat di alam ini (Purwanto, 2015).

BAB III

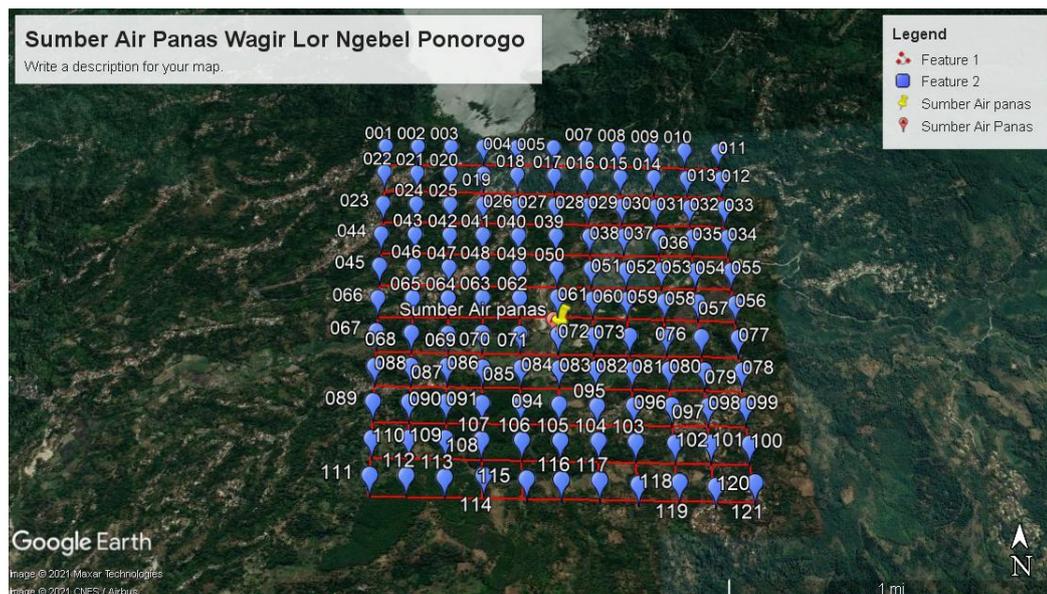
METODE PENELITIAN

3.1 Jenis dan Sumber Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini yaitu: Data grafity GGMPPlus yang merupakan jenis data sekunder. Datanya berupa grid dengan spasi antar titik 200 meter. Data yang digunakan sebanyak 121 data dengan luas $2 \text{ km} \times 2 \text{ km}$. Data gravitasi GGMPPlus dapat diakses di <http://murraylab.caltech.edu/GGMPPlus/>.

3.2 Desain Penelitian

Lokasi penelitian dilakukan di sekitar sumber mata air panas Desa Wagir Lor yang terletak di Kecamatan Ngebel Kabupaten Ponorogo. Desain penelitian dibuat dengan menggunakan *software* Google Earth Pro yang meliputi koordinat $7^{\circ}48'27'' - 7^{\circ}49'28.02''$ LS dan $111^{\circ}37'49'' - 111^{\circ}38'59.74''$ BT. Desain penelitian dapat ditunjukkan pada gambar berikut:



Gambar 3.1 Area penelitian

3.3 Alat dan Bahan Penelitian

Sumber data yang digunakan pada penelitian ini adalah data sekunder. Data sekunder merupakan sumber data yang diperoleh secara tidak langsung dengan menggunakan data satelit atau data yang sudah ada. Oleh karena itu, alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. *Hardware*: Menggunakan seperangkat laptop.
2. *Software*: *Software Microsoft Excel 2013*, *Software Surfer 13*, *Software Matlab 2013*, *Software Global Mapper 15*, dan *Software Geosoft Oasis Montaj*.

3.4 Prosedur Penelitian

Tahap penelitian ini memiliki tiga tahapan yaitu tahap pengumpulan data, tahap pengolahan data, dan tahap interpretasi data. Berikut adalah penjelasan langkah-langkah dalam melakukan survei penelitian menggunakan metode gravity.

3.4.1 Pengumpulan Data

Penelitian ini menggunakan data GGMPPlus beresolusi tinggi yang dapat diakses melalui <http://murray-lab.caltech.edu/GGMplus/>. Masukan dari GGMPPlus ini berupa titik koordinat (lintang dan bujur) maksimum dan minimum dari lokasi penelitian. Sedangkan output datanya berupa titik koordinat (bujur dan lintang) dan nilai *Free Air Correction* yang kemudian diekstrak dalam bentuk data *excel*. Luas daerah penelitian disesuaikan dengan target yang diinginkan. Luas area penelitian $2\text{ km} \times 2\text{ km}$. Data GGMPPlus memberikan gambaran gravitasi bumi dengan jarak spasi sekitar 200 m dan diperoleh 121 data. Selanjutnya data yang diperoleh

dimasukkan ke dalam *google earth* yang dirubah dari data *excel* menjadi data KML untuk memunculkan titik *point* pada daerah penelitian. Selanjutnya untuk mencari nilai elevasi cukup dengan menekan pada masing-masing titik. Selanjutnya mengubah koordinat DD (*decimal degree*) ke koordinat UTM menggunakan *surfer 13*. Data dibuat di *Mc. Excel* dengan mengatur *Source Coordinate System* dengan *Word Geodetic System 1985*. Selanjutnya mengatur target *Coordinate System* dengan *WGS84 UTM Zone 49S*. UTM Zone diatur sesuai dengan lokasi penelitian.

3.4.2 Pengolahan Data

Pengolahan data dilakukan dengan menggunakan beberapa koreksi metode gravitasi untuk mengolah data seperti koreksi *Bouguer*, anomali bouguer sederhana, koreksi medan, dan perhitungan anomali bouguer lengkap. Pada metode gravitasi ini juga dilakukan beberapa transformasi yaitu reduksi bidang datar dan kontinuitas keatas (*upward continuation*).

3.4.2.1 Proses Koreksi Metode Gravity

1. Koreksi Bouguer

Koreksi Bouguer digunakan untuk menghilangkan pengaruh massa batuan yang mengisi ruang antara titik pengukuran dan titik acuan. Koreksi Bouguer dilakukan dengan menggunakan *Software Microsoft Excel*. Nilai h yang dimasukkan adalah nilai *free air* data *GGMPlus*. Dari nilai koreksi yang telah dihitung, dapat diperoleh nilai anomali Bouguer sederhana (ABS).

Nilai ρ dihitung dengan menggunakan metode paransis yang merupakan pendekatan analitis yang mirip dengan metode grafik Nettleton, yaitu dengan

asumsi bahwa tidak ada korelasi antara topografi dan densitas permukaan sehingga anomali tersebar secara acak mengikuti ketinggian. Pada metode ini, densitas ditentukan dengan membuat grafik nilai anomali udara bebas dan koreksi bouguer.

Berikut persamaan metode parasnis

$$\rho = \frac{BC}{\rho_0} - TE \quad (3.1)$$

- a. Langkah awal dengan membuat tabel yang terdiri dari kolom jumlah data, elevasi, nilai FAA, dan nilai TC sementara. Dimana nilai TC sementara merupakan nilai densitas standar untuk proses tersebut. Perbedaan nilai TC sementara dengan koreksi medan terletak pada nilai densitas yang digunakan pada metode parasnis. Pada kolom TC/Rho masukkan nilai Rho standar 2,67. Kemudian menghitung nilai BC sementara dengan menggunakan rumus $=0,04193 \cdot \text{elevasi}$. Gambar berikut menunjukkan nilai BC-(TC-Rho).
- b. Langkah selanjutnya plot pada grafik dengan memasukkan nilai X dan nilai Y, dimana nilai X adalah nilai dari BC-(TC/Rho) dan untuk nilai Y merupakan nilai FAA. Grafik tersebut berupa nilai $(y=ax+b)$, dimana a adalah nilai densitas yang bernilai 2,278.

2. Perhitungan Anomali Bouguer Sederhana

Setelah ditemukan dan didapatkan hasil *Free Air Anomaly* dan nilai *Bouguer Correction* maka dilakukan perhitungan nilai Anomali Bouguer Sederhana. Nilai Anomali Bouguer Sederhana diperoleh dari koreksi *Bouguer* dikurangi nilai FAA.

$$ABS = FAA - BC \quad (3.2)$$

3. Koreksi Medan (*Terrain Correction*)

Koreksi medan dilakukan untuk mengoreksi adanya pengaruh penyebaran massa yang tidak merata disekitar titik pengukuran. Misalnya lembah, gunung dan

perbukitan. Topografi yang tidak rata akan mengurangi nilai medan gravitasi. Koreksi medan dapat dilakukan dengan menggunakan *software Oasis Montaj* dan *Gloabal Mapper 15*. Input koreksi medan ini berupa data koordinat titik ukur, peta DEM dan nilai elevasi.

4. Perhitungan Anomali Bouguer Lengkap (ABL)

Setelah data pembacaan gravitasi dikoreksi, nilai anomali Bouguer lengkap diperoleh dengan menggunakan persamaan:

$$ABL = G_{obs} - G_n + FAC - BC + TC \quad (3.3)$$

Nilai ABL sudah diketahui, maka selanjutnya membuat kontur menggunakan *software surfer 13* dengan menginput nilai bujur dan nilai lintang pada koordinat UTM serta nilai ABL. Kemudian dilanjutkan dengan plotting data pada *software surfer 13*.

3.5 Transformasi

3.5.1 Reduksi ke Bidang Datar (*Reduction to Horizontal Surface*)

Nilai anomali Bouguer merupakan hasil dari beberapa koreksi yang nilainya masih terpapar oleh topografi dan terletak pada titik-titik yang tidak beraturan. Sehingga perlu direduksi ke bidang datar dengan menggunakan *metode Dampney* menggunakan *software matlab 2013*. Terlebih dahulu membuat data inputan reduksi bidang datar dengan memasukkan koordinat UTM (x, y), elevasi, nilai anomali bouguer lengkap.

3.5.2 Pemisahan Anomali (*Upward Continuation*)

Anomali Bouguer terdiri dari anomali regional dan anomali lokal. Anomali lokal disebabkan oleh pengaruh batuan yang letaknya dalam keadaan dangkal,

sedangkan anomali regional disebabkan oleh pengaruh batuan yang letaknya lebih dalam. Metode pemisahan anomali regional dan lokal ini dilakukan pada ketinggian tertentu untuk mendapatkan anomali lokal yang akurat. *Upward continuation* dilakukan menggunakan *software magpick*. Setelah didapatkan anomali lokal, kemudian dilakukan penggambaran kontur menggunakan *software surfer 13*.

3.6 Pemodelan Struktur Bawah Permukaan

Pemodelan ini dilakukan dengan memodelkan struktur bawah permukaan dengan parameter ρ (densitas) dan h (kedalaman) menggunakan *software oasis montaj* untuk memodelkan kondisi bawah permukaan dengan mencocokkan informasi geologi daerah penelitian. Dengan nilai input anomali lokal yang telah disayat dengan nilai topografi serta nilai densitas batuan.

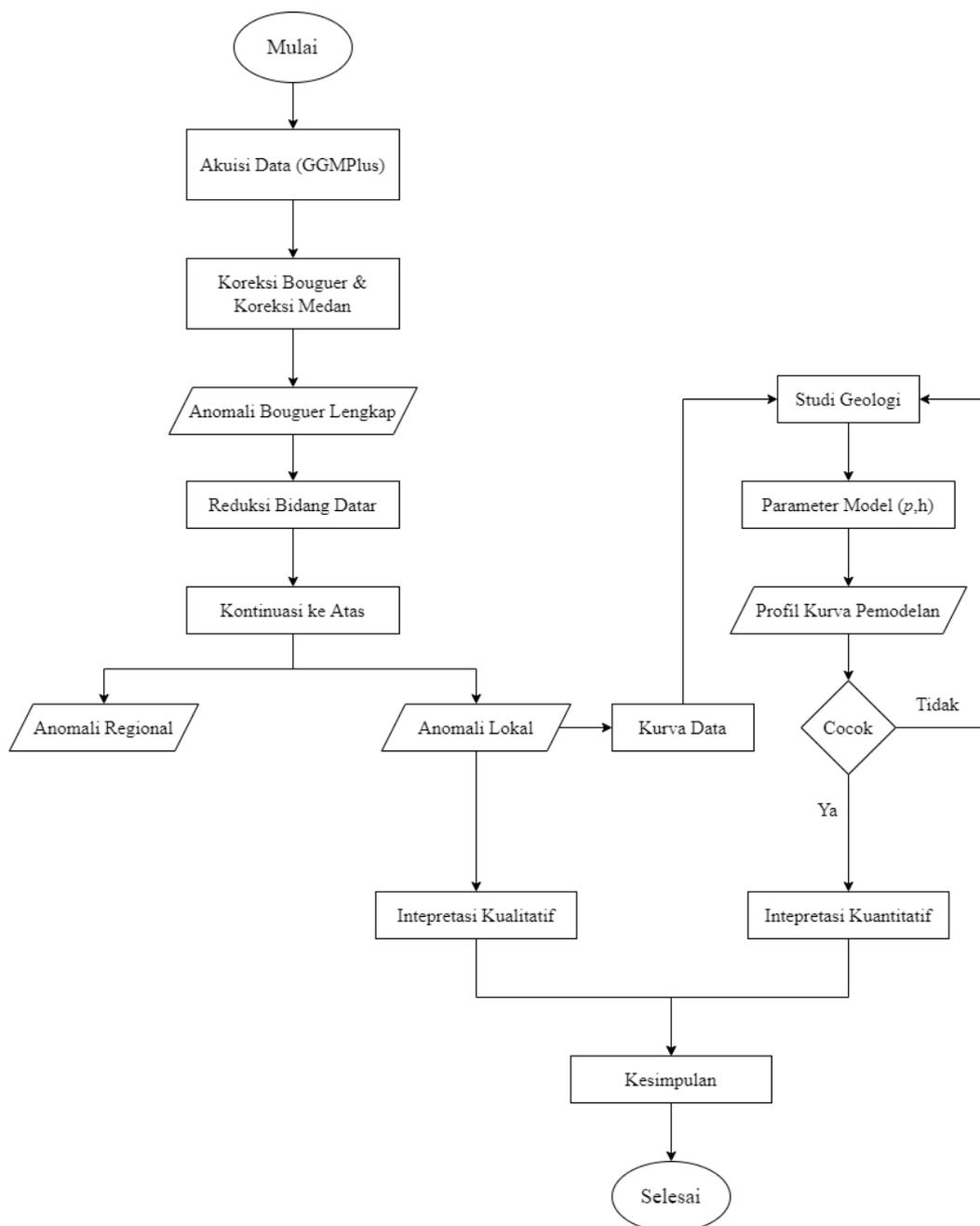
3.7 Interpretasi Data

Interpretasi data dilakukan dengan dua cara, yaitu interpretasi kuantitatif dan interpretasi kualitatif. Interpretasi data yang dilakukan dengan membaca pola anomali gravitasi yang dikaitkan dengan tatanan geologi dan data geologi lainnya dari kontur daerah penelitian disebut interpretasi kualitatif. Sedangkan analisis struktur bawah permukaan dari penampang pola anomali di sepanjang lintasan tertentu yang ditentukan yang dilakukan menggunakan *Oasis Montaj* disebut dengan interpretasi kuantitatif.

Interpretasi data juga dapat dilakukan dengan melihat peta sebaran anomali Bouguer dan anomali lokal berdasarkan data geologi daerah sehingga diperoleh gambaran struktur bawah permukaan daerah penelitian. Pada tahap interpretasi

yang perlu diperhatikan adalah posisi, dimensi, kontras rapat massa dengan sekitar, besar benda, dan lain-lain. Selain itu, diperlukan kontrol lain seperti data geologi, data metode geofisika yang lainnya.

3.8 Diagram Alir



Gambar 3. 2 Diagram alir

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

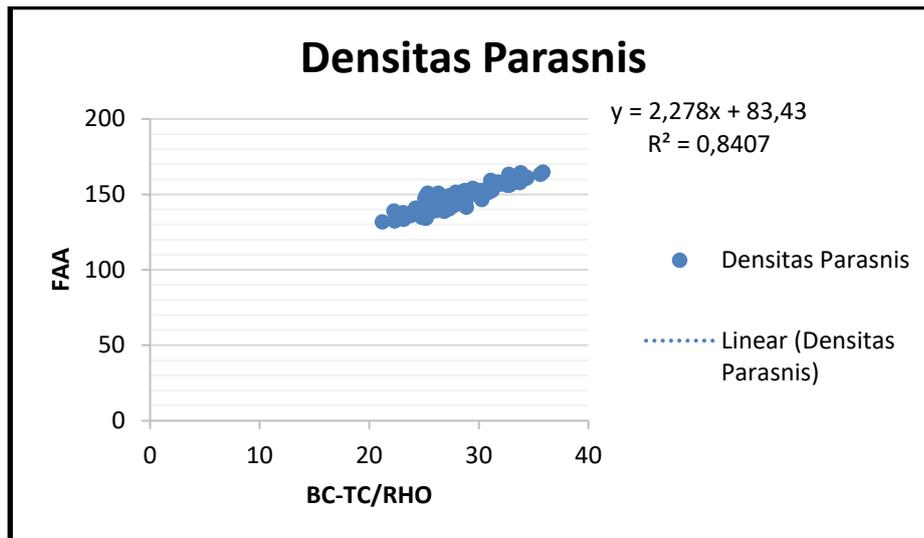
Metode gaya berat merupakan metode eksplorasi dalam geofisika yang menggambarkan struktur geologi bawah permukaan berdasarkan variasi medan gravitasi yang disebabkan oleh perbedaan densitas batuan. Metode ini sering digunakan untuk eksplorasi pendahuluan untuk menentukan suatu daerah tertentu yang kemudian dijadikan acuan untuk melakukan penelitian pendukung lainnya. Target dan survei gravitasi adalah medan gravitasi. Nilai anomali medan gravitasi menggambarkan distribusi densitas batuan bawah permukaan. Pola anomali kemudian diidentifikasi sehingga dapat memberikan informasi litologi bawah permukaan sumber panas bumi. Tahapan eksplorasi gravitasi terdiri dari akuisi data, pengolahan data dan interpretasi data.

4.1 Akuisisi Data

Penelitian ini dilakukan dengan mengambil data dengan menggunakan metode grid data. Data Anomali Bouguer Lengkap untuk penelitian ini merupakan data olahan dari citra satelit GGMPlus <http://murray-lab.caltech.edu/GGMplus/>. Data yang diperoleh dari GGMPlus berupa titik koordinat lintang bujur, nilai anomali udara bebas (*Free Air Correction*) yang berjumlah 121 data dengan spasi antar titik pengukuran 200 m yang berlokasi di Desa Wagir Lor Kecamatan Ngebel Kabupaten Ponorogo, Dengan ketinggian rata-rata pada daerah tersebut 70,40 m. Data yang diperoleh kemudian disimpan sesuai dengan format yang telah ditentukan dan selanjutnya dilakukan pengolahan data.

4.2 Pengolahan Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data sekunder. Data diambil dengan jarak antar titik 200 m dengan luas daerah penelitian $2 \text{ km} \times 2 \text{ km}$ dan dihasilkan data sebanyak 121 data. Data dari GGMPPlus berupa data *Free Air Anomaly* (FAA). Data dari GGMPPlus dicocokkan dengan titik koordinat penelitian. Elevasi titik penelitian dapat dicari menggunakan *Google Earth*. Setelah mengumpulkan data berupa data koordinat, elevasi, dan FAA kemudian menghitung nilai koreksi medan. Koreksi medan dapat dicari dengan bantuan software oasis montaj dengan inputan DEM pada lokasi penelitian. Data DEM diolah terlebih dahulu dengan *software global mapper*. Pada proses pengolahan data harus mengetahui nilai batas lokal dan nilai batas regional dari lokasi penelitian. Langkah selanjutnya menentukan nilai densitas parasnis. Densitas parasnis merupakan densitas rata-rata. Densitas dapat dicari dengan korelasi sumbu Y yaitu nilai FAA (mGal) dan sumbu X yaitu perhitungan dari $0,04193 \times h - TC/\rho^0$ dimana nilai h merupakan elevasi atau ketinggian (m), TC merupakan koreksi *terrain* (mGal), dan ρ^0 merupakan nilai densitas rata-rata batuan ($2,67 \text{ gram/cm}^3$). Dari dua variabel tersebut kemudian di plot pada *excel*, setelah itu dicari persamaan garis linier dengan mengklik titik-titik pada grafik kemudian pilih *trendline display equation on chart*. Dengan mencari gradien garis lurus $y = mx + c$, dimana m (gradien) yaitu $2,278 \text{ gram/cm}^3$ merupakan nilai densitas parasnis pada lokasi penelitian. Nilai densitas parasnis selanjutnya dapat digunakan untuk menghitung koreksi *Bouguer*. Koreksi *Bouguer* diperlukan untuk mereduksi pengaruh efek anomali udara bebas yang dapat mempengaruhi nilai medan pada titik pengukuran.

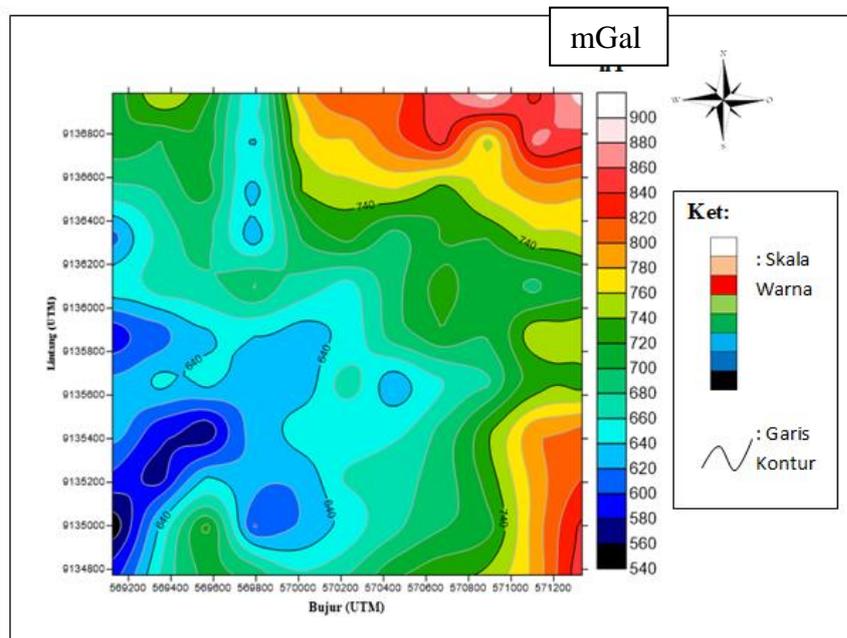


Gambar 4.1 Grafik Prasnis

4.2.1 Topografi

Area penelitian ini terletak pada koordinat $7^{\circ}48'27''$ – $7^{\circ}49'28.02''$ LS dan $111^{\circ}37'49''$ – $111^{\circ}38'59.74''$ BT. Area penelitian terletak di Desa Wagir lor, Kecamatan Ngebel, Kabupaten Ponorogo. Peta kontur menggambarkan topografi daerah penelitian berupa lembah, bukit, lereng, maupun yang lainnya. Peta kontur diatas menunjukkan bentuk topografi yang tidak datar yang ditandai dengan anomali rendah, sedang dan tinggi. Nilai topografi daerah penelitian dengan ketinggian minimum 54 m dan ketinggian maksimum 90 m. Anomali rendah, sedang, dan tinggi yang ditampilkan berdasarkan skala warna yang berbeda. Dapat dilihat bahwa daerah yang berwarna biru tua hingga biru muda termasuk ke dalam daerah topografi rendah, sebarannya berada di sekitar sumber air panas dan mengarah ke barat daya dengan ketinggian antara 55 m sampai 66 m. Warna hijau hingga kuning termasuk daerah dengan topografi sedang, sebarannya dari barat daya hingga ke arah barat laut dengan ketinggian 67 m sampai 80 m. Sedangkan warna merah termasuk pada daerah dengan topografi tinggi, yaitu daerah dengan

dataran tinggi yang terletak dari arah timur laut, tenggara dengan ketinggian antara 81 m sampai 89 m.



Gambar 4.2 Kontur topografi

4.2.2 Koreksi Bouguer

Data yang diperoleh dari satelit GGMPPlus berupa data FAA (*Free Air Correction*) sehingga perlu dilakukan koreksi lanjutan. Koreksi bouguer bertujuan untuk menghilangkan perbedaan ketinggian tanpa mengabaikan massa yang mendasarinya. Perbedaan ketinggian akan mempengaruhi massa di bawah permukaan yang mengakibatkan besarnya gravitasi titik pengukuran.

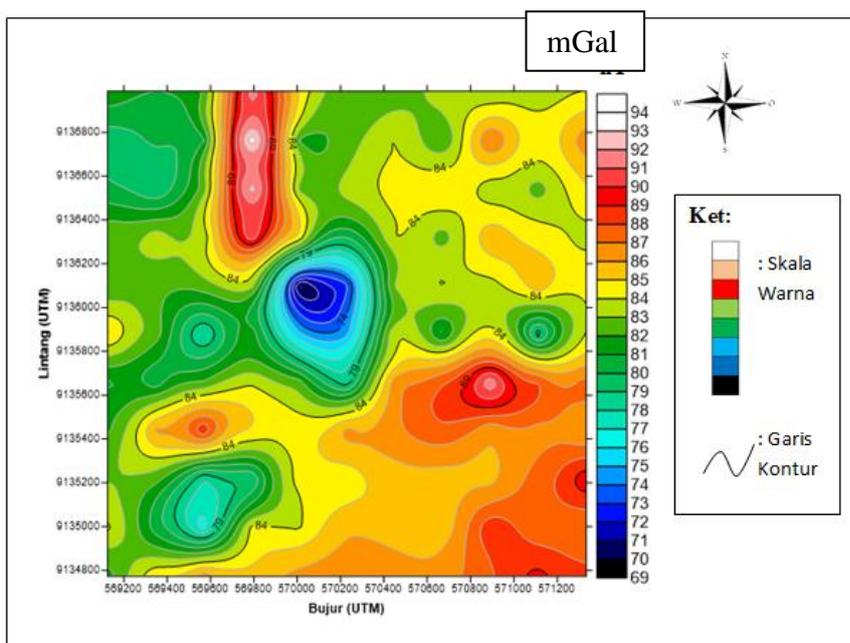
4.2.3 Koreksi Medan

Koreksi medan dilakukan karena pada saat pengukuran terdapat pengaruh topografi adanya lembah dan perbukitan di sekitar titik pengukuran. Pengukuran yang dilakukan di lembah akan menghasilkan nilai percepatan gravitasi yang cenderung lebih besar. Sedangkan pengukuran yang dilakukan pada perbukitan

akan menghasilkan nilai percepatan gravitasi yang lebih kecil.

4.2.4 Anomali Bouguer Lengkap

Anomali bouguer lengkap merupakan hasil dari beberapa tahapan koreksi-koreksi standard dalam metode gravitasi. Setelah melalui proses koreksi maka didapatkan nilai anomali lengkap dapat dihitung secara teoritis. Sebaran anomali bouguer di daerah penelitian bervariasi antara 69 mGal hingga 94 mGal. Nilai-nilai ini kemudian dikonturkan dengan menggunakan surfer 13 dengan inputan lintang (UTM), bujur (UTM) dan nilai anomali bouguer lengkap, seperti pada gambar 4.3 di bawah ini. Nilai anomali yang tinggi diperkirakan berasal dari struktur batuan dengan nilai rapat massa yang tinggi.



Gambar 4.3 Kontur anomali Bouguer lengkap

Untuk mendapatkan informasi geologi dari daerah penelitian, perlu dilakukan pengolahan lebih lanjut terhadap data anomali bouguer lengkap yang diperoleh. Yaitu reduksi bidang datar dan proses pemisahan anomali regional dan lokal dengan

melakukan kontinuitas keatas pada data yang telah di reduksi pada bidang datar.

4.3 Interpretasi Kualitatif

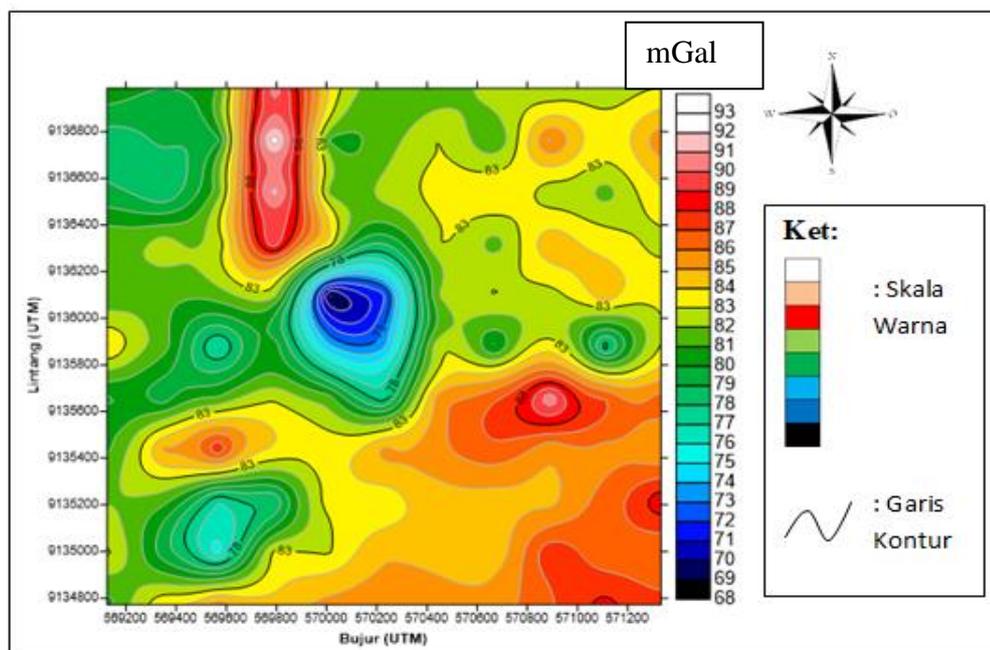
Interpretasi data secara umum terbagi menjadi dua, yaitu interpretasi kualitatif dan kuantitatif. Interpretasi kualitatif adalah interpretasi yang didasarkan pada analisis pola kontur anomali gravitasi dari objek atau batuan bawah permukaan yang menjadi target pengukuran dengan memberikan gambaran struktur geologi bawah permukaan daerah penelitian.

4.3.1 Reduksi Bidang Datar

Setelah anomali bouger lengkap selesai, langkah selanjutnya adalah proses reduksi bidang datar. Nilai Anomali Bouguer Lengkap diperoleh pada daerah topografi tidak rata dengan ketinggian yang bervariasi, sehingga masih terjadi distorsi pada nilai permukaan yang tidak rata tersebut yang akan berdampak pada kesalahan dalam interpretasi atau pemodelan. Untuk menghindarinya, dilakukan dengan cara membawa ABL tersebut ke bidang datar dengan ketinggian tertentu, dan salah satu metodenya adalah dengan menggunakan sumber ekuivalen titik massa.

Pada metode ekuivalen sumber titik massa, dilakukan proses penentuan sumber kedalaman titik massa diskrit dilakukan pada kedalaman tertentu di bawah permukaan dengan memanfaatkan data anomali bouguer lengkap pada topografi. Kemudian dihitung medan gravitasi teoritis karena sumber ekuivalen pada *regular surface* sembarang seperti yang diinginkan. Penentuan kedalaman bidang ekuivalen titik massa dilakukan dengan coba-coba sesuai batas yang ditentukan dengan hasil

pola kontur dan nilai anomali yang mendekati pola kontur nilai Anomali Bouguer Lengkap dengan perubahan pada nilai anomali yang sedikit lebih rendah dari pola Anomali Bouguer yang sebelum direduksi. Proses reduksi bidang datar ini menggunakan pendekatan metode *Dampney* dengan memanfaatkan nilai Anomali Bouguer Lengkap yang dihitung menggunakan *software matlab 2008*. Dengan menginput *equivalent depth 1500*, *Height of plane -704*, nilai *tolerance 0,000001 mGal*, literasi 100 dan nilai *RMS error*. Kemudian dikontur menggunakan *software surfer 13*, maka didapatkan hasil reduksi bidang datar seperti gambar di bawah ini.



Gambar 4.4 Kontur anomali setelah reduksi bidang datar

Gambar 4.4 merupakan hasil reduksi ke bidang datar dengan nilai anomali antara 68 mGal hingga 93 mGal. Dimana titik semburan air panas termasuk dalam anomali rendah antara 68 mGal sampai 76 mGal. Pada kontur hasil reduksi bidang datar menghasilkan kontur yang mirip dengan kontur anomali Bouguer lengkap dengan perubahan nilai anomali yang lebih rendah dari nilai anomali bouguer

lengkap sebelum direduksi. Perubahan nilai anomali setelah direduksi ke bidang datar disebabkan oleh penyebaran batuan di bawah permukaan. Perbedaan nilai anomali juga dipengaruhi oleh ketinggian bidang datar pada saat di reduksi.

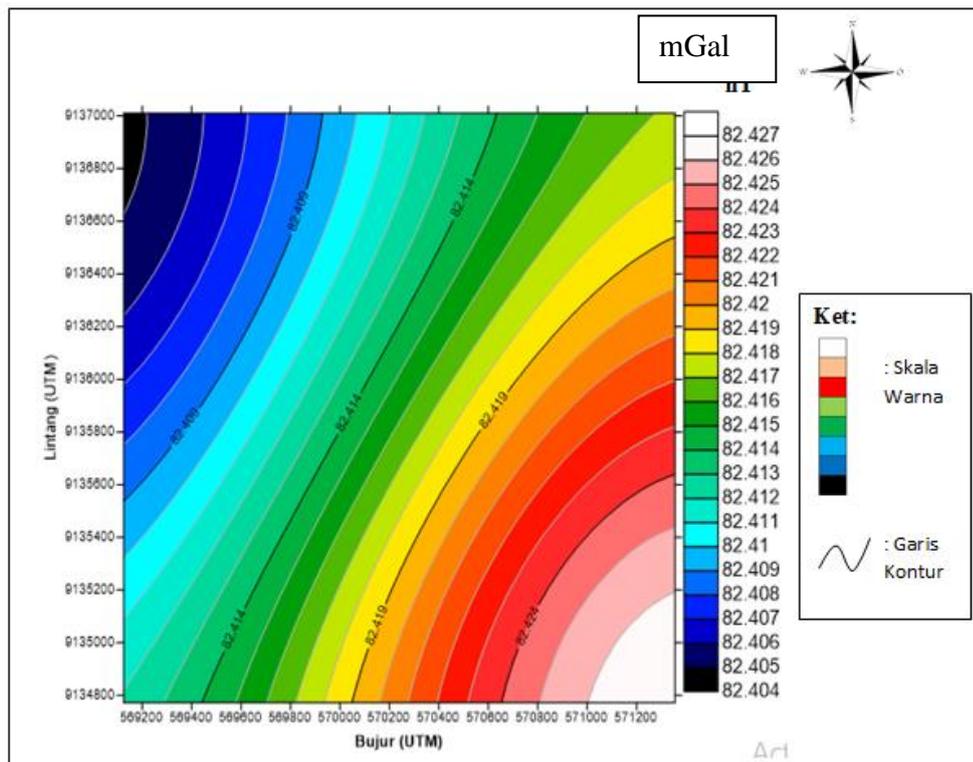
4.3.2 Kontinuasi keatas (*Upward Continuation*)

Data anomali yang dihasilkan berupa data campuran dari anomali regional dan anomali lokal, sehingga data yang telah direduksi bidang datar perlu dilakukan tahap lanjutan yaitu, kontinuasi keatas untuk memisahkan anomali lokal dan anomali regional. Tahapan ini menggunakan *software magpick* kemudian dikontur menggunakan *software surfer13*. Metode ini pada dasarnya digunakan untuk menghilangkan efek lokal sehingga hanya diperoleh regionalnya saja.

Hasil yang diperoleh kemudian dikurangkan nilai anomali medan gravitasi bouguer lengkap yang telah direduksi pada bidang datar, sehingga diperoleh anomali medan gravitasi lokal yang siap untuk diinterpretasikan. Kerapatan kontur pada peta, menunjukkan kedalaman anomali. Jika kontur lebih rapat maka anomali berada pada bagian yang lebih dangkal atau anomali lokal, sedangkan peta dengan kontur yang kurang rapat berada pada bagian yang lebih dalam atau anomali regional.

Proses kontinuasi ke atas adalah proses pengubahan data yang diukur pada tingkat permukaan menjadi data yang seolah-olah terukur pada tingkat permukaan yang lebih tinggi. Kontinuasi keatas juga merupakan metode yang digunakan sebagai filter yang berguna untuk menghilangkan bising yang ditimbulkan oleh objek di dekat permukaan. Pada penelitian ini, *software magpick* digunakan untuk melakukan proses kontinuasi ke atas. Setelah dilakukan beberapa percobaan

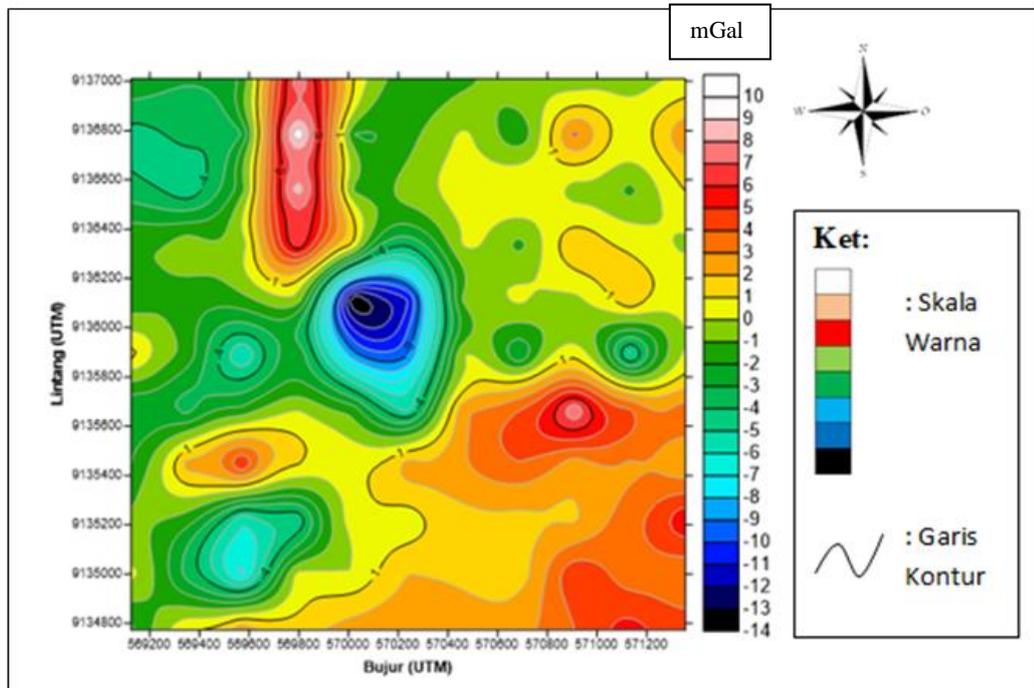
kontinuasi dengan ketinggian dari 100 m sampai 4000 m, kontinuasi yang dianggap paling bagus yaitu dengan ketinggian 4000 m. Ketinggian pengangkatan ini sangat berpengaruh terhadap anomali regional. Jadi perlu dilakukan pengangkatan pada ketinggian yang optimal. Kemudian hasil pemisahan dengan *software Magpick* dikonturkan menggunakan *software Surfer 13*.



Gambar 4.5 Kontur anomali regional hasil kontinuasi keatas

Nilai anomali regional yang didapatkan antara 82,404 mGal sampai dengan 82,427 mGal dengan selisih nilai anomali sebesar 0,001 mGal. Jika dilihat dari gambar diatas tidak ada lagi *closure-closure* yang tertutup. Dari Peta kontur anomali regional terlihat adanya sebaran nilai anomali rendah, sedang, dan tinggi. Nilai anomali rendah terletak di bagian barat laut dengan warna hitam sampai biru yang bernilai 82,404 mGal sampai 82,411 mGal. Sedangkan nilai anomali sedang berada di bagian tengah dengan warna hijau muda sampai kuning dengan nilai

82,412 mGal sampai 82, 418 mGal. Nilai anomali tinggi ditunjukkan dengan warna orange hingga putih dengan nilai 82,419 mGal hingga 82,427 mGal.



Gambar 4. 6 Kontur anomali lokal hasil kontinuasi keatas

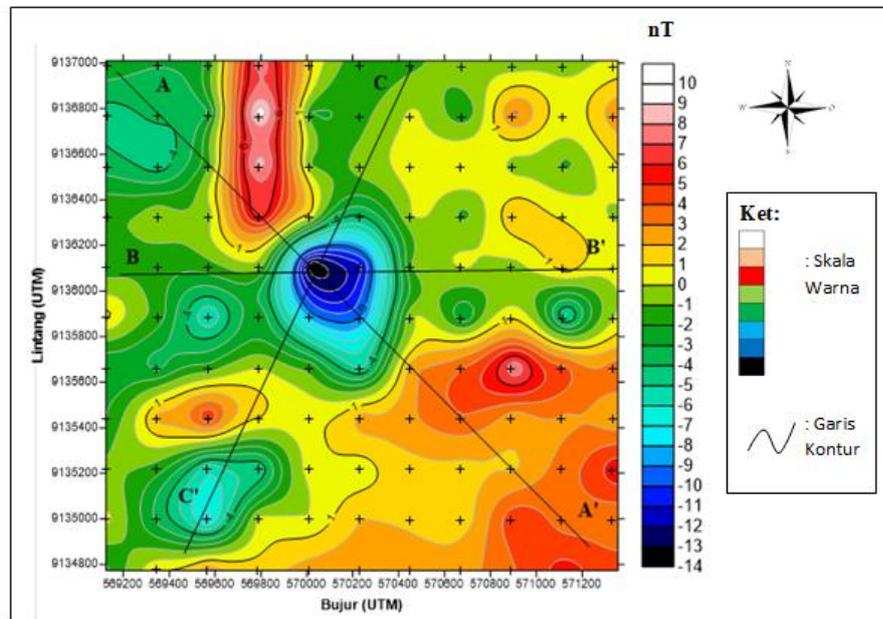
Berdasarkan kontur pada Gambar 4.6 nilai anomali bouger lengkap lokal didapat -14 mGal sampai 10 mGal. Pada bagian tengah tepat pada titik daerah penelitian dengan nilai -14 mGal sampai -6 mGal merupakan anomali rendah. Sedangkan anomali sedang tersebar di barat daya hingga timur laut dengan nilai anomali sebesar -5 mGal sampai 1 mGal, sedangkan anomali tinggi tersebar di timur laut, tenggara dengan nilai anomali sebesar 2 mGal sampai 10 mGal. Hal ini menunjukkan bahwa proses kontinuasi keatas dapat memisahkan anomali regional-residual di daerah penelitian. Dari peta kontur anomali lokal terlihat nilai anomali positif dan negatif disebabkan oleh densitas batuan, posisi batuan dan ukuran batuan yang menghasilkan anomali tersebut. Nilai positif menunjukkan bahwa nilai densitas pada struktur batuan bawah permukaan bernilai tinggi. Sebaliknya, jika

anomali bernilai negatif menunjukkan bahwa densitas pada batuan di bawah permukaan rendah. Semakin besar nilai gravitasi, semakin padat batuan di bawah permukaan. Sama halnya dengan struktur geologi yang berupa sesar atau patahan memiliki nilai gravitasi rendah karena memiliki rongga yang berkaitan rendahnya densitas batuan. Anomali bouger lengkap lokal kemudian diiris dan kemudian diinterpretasi secara kuantitatif mengenai struktur bawah permukaan.

4.4 Interpretasi Kuantitatif

Interpretasi kuantitatif adalah proses interpretasi berdasarkan interpretasi kualitatif dengan menganalisis penampang anomali lokal sepanjang profil sayatan. Interpretasi kuantitatif bertujuan untuk mengetahui model bawah permukaan yang menunjukkan kedalaman target yang diteliti dan struktur geologi bawah permukaan. Setelah anomali regional dan anomali lokal dipisahkan, maka didapatkan anomali lokal yang kemudian diinterpretasikan. Interpretasi dilakukan dengan menganalisis penampang pola anomali sepanjang lintasan yang telah ditentukan dan mengiris anomali lokal. Pada penelitian ini dibuat tiga lintasan slice pada kontur anomali lokal untuk mendapatkan penampang bawah permukaannya yaitu penampang A-A', B-B' dan C-C'. Interpretasi dilakukan menggunakan *software* Oasis Montaj dengan menggunakan konsep *forward modeling* yang menyamakan bentuk anomali pengamatan berupa garis putus putus dengan anomali perhitungan berupa garis tegas. Proses penyamaan menghasilkan model keberadaan batuan yang menyebabkan anomali dan struktur bawah permukaan. Pada tahap pemodelan dilakukan dengan menggunakan metode *trial and error* dimana mencoba mendapatkan hasil *error* yang paling kecil. Berikut profil *slice*

dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 4.7 Profil Slice A-A', B-B', dan C-C' pada Kontur Anomali Lokal

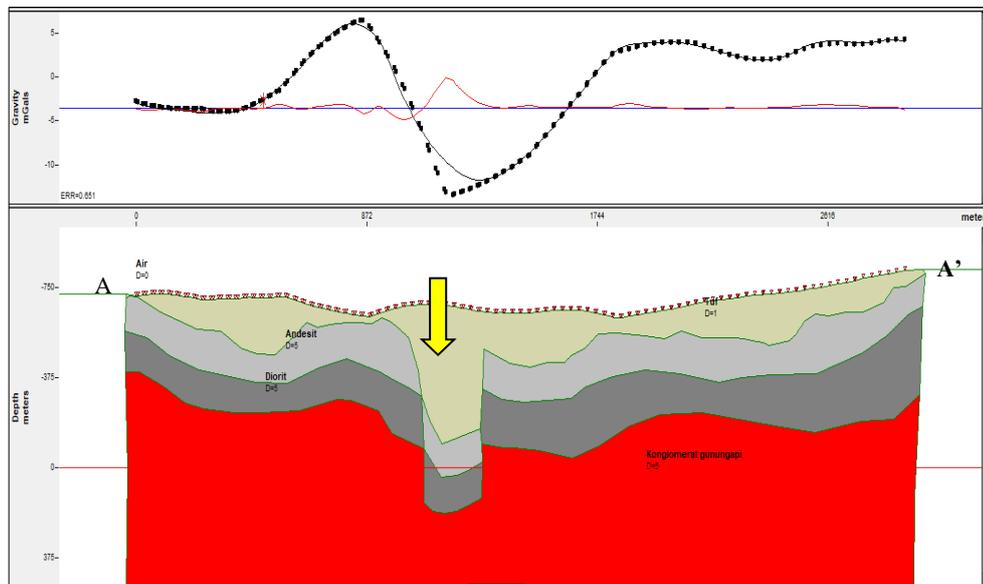
Pada kontur anomali lokal dilakukan pemodelan dengan tiga sayatan, yaitu penampang A-A', B-B', dan C-C' untuk memperlihatkan batuan bawah permukaan daerah penelitian yang lebih jelas. Data hasil sayatan tersebut digunakan sebagai masukan untuk pemodelan berupa data topografi dan anomali. Berdasarkan lembar geologi pola sistem berada pada satuan batuan Qjn yang terdiri dari batuan tuff, andesit, diorite dan Konglomerat gunungapi.

Dalam interpretasi kuantitatif terdapat ambiguitas karena berbagai model yang dapat dihasilkan karena parameter rapat massa, geometri dan kedalaman tidak pasti. Oleh karena itu, diperlukan data pendukung berupa data geologi daerah penelitian, dan parameter rapat massa batuan (densitas) penyusun struktur sehingga dari informasi tersebut dapat diketahui target penelitian. Pada penelitian ini digunakan *software oasis montaj* dengan inputan nilai anomali hasil dari irisan kontur anomali lokal dan irisan kontur topografi. Parameter yang digunakan pada

pemodelan ini yaitu nilai densitas, dengan kedalaman pemodelan menggunakan kedalaman 500 meter, karena diduga mencapai kedalaman optimum. Kedalaman (*depth*) selalu bernilai positif karena selalu berada dibawah permukaan laut (*sea levels*), sedangkan ketinggian selalu bernilai negatif karena berada di atas permukaan laut.

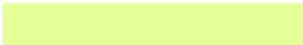
4.4.1 Interpretasi Penampang Irisan A-A'

Garis A-A' memotong titik memiliki panjang lintasan 2973 m dengan kedalaman pemodelan 500 m. Nilai *error* yang diperoleh sebesar 0,629%. Lintasan *slice* ini mengarah dari arah barat laut ke tenggara. Pemodelan ini menggambarkan adanya 4 lapisan penyusun yang berbeda yang didominasi dengan anomali positif.



Gambar 4.8 Model bawah permukaan pada sayatan A-A'

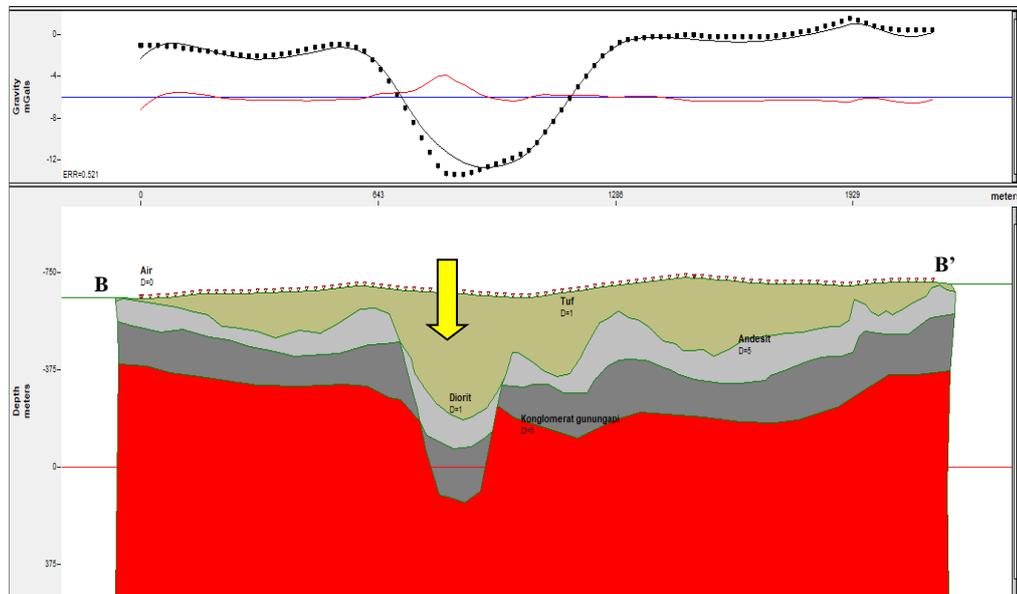
Keterangan:

	: Tuff	(2,1 gram/cm ³)
	: Andesit	(2,6 gram/cm ³)
	: Diorit	(2,47 gram/cm ³)
	: Konglomerat gunungapi	(2,7 gram/cm ³)
	: Mata air panas	

Interpretasi struktur batuan di daerah tersebut didasarkan pada informasi Lembar Geologi Madiun. Dimana lokasi penelitian adalah morfonit ngebel, yang tersusun oleh breksi gunungapi, tuf dan konglomerat gunungapi. Morfonit ngebel ini diduga merupakan hasil letusan terakhir Kepundan Jeding-Petukbanteng.

Model bawah permukaan pada penampang sayatan A-A' memiliki empat lapisan. Lapisan pertama pada pemodelan ini ditunjukkan dengan warna coklat muda yang diduga sebagai tuf dengan nilai densitas 2,1 gram/cm³. Tuf berupa kristal, kasar, tersusun oleh felspar, piroksen, horeblenda dan pecahan batuan. Batuan ini berlapis, dengan tebal lapisan 20 cm sampai 1,5 m. Pada lapisan kedua ditunjukkan dengan warna abu-abu muda yang diduga sebagai andesit dengan nilai densitas 2,6 gram/cm³. Pada lapisan ketiga ditunjukkan dengan warna abu-abu tua yang diduga sebagai diorit dengan nilai densitas 2,47 gram/cm³. Pada lapisan keempat ditunjukkan dengan warna merah yang diduga sebagai konglomerat gunungapi dengan nilai densitas 2,7 gram/cm³.

4.4.2 Interpretasi Penampang I risan B-B'



Gambar 4.9 Model bawah permukaan pada sayatan B-B'

Keterangan:

	: Tuff	(2,1 gram/cm ³)
	: Andesit	(2,6 gram/cm ³)
	: Diorit	(2,47 gram/cm ³)
	: Konglomerat gunungapi	(2,7 gram/cm ³)
	: Mata air panas	

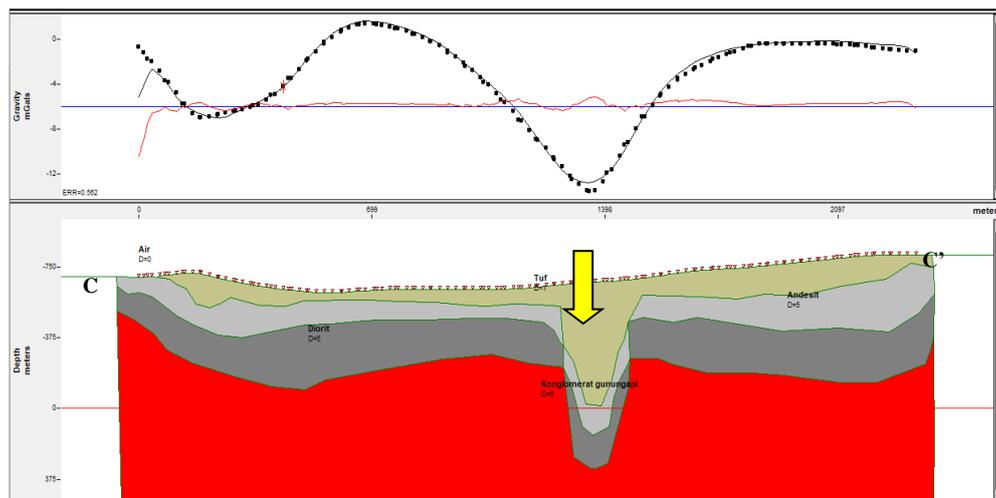
Interpretasi struktur batuan di daerah tersebut didasarkan pada informasi Lembar Geologi Madiun. Dimana lokasi penelitian adalah morfonit ngebel, yang tersusun oleh breksi gunungapi, tuf dan konglomerat gunungapi. Morfonit ngebel ini diduga merupakan hasil letusan terakhir Kepundan Jeding-Petukbanteng.

Panjang lintasan pada *slice* B-B' ini yaitu 2207 m dengan kedalaman pemodelan 500 m yang mengarah dari barat ke timur memotong sumber

air panas pada koordinat $7^{\circ}47' - 7^{\circ}50'$ LS dan $111^{\circ}36'50'' - 111^{\circ}40'$ BT. Pada kedalaman 877 m terdapat sumber air panas. Nilai *error* yang didapatkan yaitu 0,461%. Pemodelan ini menggambarkan adanya 4 lapisan penyusun yang berbeda yang didominasi dengan anomali positif.

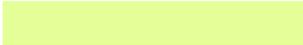
Berdasarkan gambar 4.9 lapisan pertama pada pemodelan ini ditunjukkan dengan warna coklat muda yang diduga sebagai Tuf dengan nilai densitas $2,1 \text{ gram/cm}^3$. Tuf berupa kristal, kasar, tersusun oleh felspar, piroksen, horenlenda dan pecahan batuan. Batuan ini berlapis, dengan tebal lapisan 20 cm sampai 1,5 m. Pada lapisan kedua ditunjukkan dengan warna abu-abu muda yang diduga sebagai andesit dengan nilai densitas $2,6 \text{ gram/cm}^3$. Pada lapisan ketiga ditunjukkan dengan warna abu-abu tua yang diduga sebagai diorit dengan nilai densitas $2,47 \text{ gram/cm}^3$. Pada lapisan keempat ditunjukkan dengan warna merah yang diduga sebagai konglomerat gunungapi dengan nilai densitas $2,7 \text{ gram/cm}^3$.

4.4.3 Interpretasi Penampang Iris an C-C'



Gambar 4.10 Model bawah permukaan pada sayatan C-C'

Keterangan:

	: Tuff	(2,1 gram/cm ³)
	: Andesit	(2,6 gram/cm ³)
	: Diorit	(2,47 gram/cm ³)
	: Konglomerat gunungapi	(2,7 gram/cm ³)
	: Mata air panas	

Interpretasi struktur batuan di daerah tersebut didasarkan pada informasi Lembar Geologi Madiun. Dimana lokasi penelitian merupakan morfonit ngebel, yang tersusun oleh breksi gunungapi, tuf dan konglomerat gunungapi. Morfonit ngebel ini diduga merupakan hasil letusan terakhir Kepundan Jeding-Petukbanteng.

Berdasarkan gambar 4.10 panjang lintasan pada *slice C-C'* mencapai 2373 m dengan kedalaman 783 m dari timur laut hingga barat daya yang memotong titik semburan air panas pada koordinat 7°47'–7°50' LS dan 111°36'50"–111°40' BT. Nilai *error* yang di peroleh yaitu 0,548%. Pada pemodelan ini ada 4 lapisan penyusun yang didominasi oleh anomali negatif.

Berdasarkan gambar 4.10 lapisan pertama pada pemodelan ini ditunjukkan dengan warna coklat muda yang diduga sebagai tuf dengan nilai densitas 2,1 gram/cm³. Tuf berbentuk kristal, kasar, tersusun oleh felspar, piroksen, horeblenda dan pecahan batuan. Batuan ini berlapis, dengan tebal lapisan 20 cm sampai 1,5 m. Pada lapisan kedua berwarna abu-abu muda yang diduga sebagai andesit dengan nilai densitas 2,6 gram/cm³. Pada lapisan ketiga berwarna abu-abu tua yang diduga sebagai diorit dengan nilai densitas 2,47 gram/cm³. Pada lapisan keempat ditunjukkan dengan warna merah yang diduga sebagai konglomerat

gunungapi dengan nilai densitas $2,7 \text{ gram/cm}^3$.

4.4.4 Hasil Interpretasi Penampang Sayatan A-A', B-B', C-C'

Berdasarkan hasil pada setiap *slice* terdapat 4 lapisan yang sama. Lapisan pertama coklat muda diinterpretasikan sebagai tuf dengan nilai densitas $2,1 \text{ gram/cm}^3$. Pada lapisan kedua abu-abu muda diinterpretasikan sebagai andesit dengan nilai densitas $2,6 \text{ gram/cm}^3$. Lapisan ketiga berwarna abu-abu tua yang diinterpretasikan sebagai diorite dengan nilai densitas $2,47 \text{ gram/cm}^3$. Lapisan keempat berwarna merah yang diinterpretasikan sebagai konglomerat gunungapi dengan nilai densitas $2,7 \text{ gram/cm}^3$.

Berdasarkan gambar pemodelan diatas dapat diidentifikasi ada sesar. Dilihat dari peta geologi daerah tersebut, memang terdapat patahan yang melintang dari utara ke selatan dan terdapat dua sesar yang berada di daerah penelitian. Selain itu, tidak menutup kemungkinan sesar tersebut akan membentang dari barat daya hingga timur laut. Hal ini dapat dilihat dari arah aliran sungai di daerah penelitian. Berdasarkan geologi daerah penelitian, titik semburan air panas berada pada formasi Qjn yang terdiri dari batuan tuf, andesit, diorite dan konglomerat gunungapi.

Berdasarkan morfometri wilayah di Desa Wagir Lor dan sekitarnya, kecamatan Ngebel, kabupaten Ponorogo dibagi menjadi 3 satuan morfologi yaitu, satuan morfologi pegunungan agak landai, satuan morfologi pegunungan landai, dan satuan morfologi pegunungan curam. Susunan litostratigrafi yaitu, Breksi, tuf, dan batuan trobosan andesit. Struktur geologi daerah tersebut berasal dari batuan andesit yang mengintrusi lapisan batuan breksi yang ada diatasnya dan panasnya

dialirkan ke permukaan dengan media rekahan-rekahan yang terbentuk akibat adanya sesar. Morfologi daerah berbukit sedang sampai berbukit terjal dengan jurang curam. Batuan yang tersingkap sebagian sudah lapuk terdiri dari batuan lava, andesit, breksi, dan tuf.

Energi panas bumi berasal dari inti bumi yang berasal dari magma sehingga menimbulkan panas bumi. Air yang secara tidak langsung berkontak langsung dengan magma (batuan panas) secara otomatis memanaskan air yang berada di atasnya hingga suhu yang sangat tinggi. Oleh karena itu, terdapat celah pada kerak bumi sehingga air akan mengalami penguapan yang menyebabkannya timbulnya sumber air panas (*hot spring*).

Dengan terindikasi adanya sumber mata air panas di daerah sekitar Desa Wagir Lor, Kecamatan Ngebel, Kabupaten Ponorogo memungkinkan adanya suatu sistem panas bumi. Perubahan seperti porositas dan permeabilitas dapat terjadi karena alterasi hidrothermal. Manifestasi panas bumi di permukaan diperkirakan terjadi akibat perambatan panas di bawah permukaan atau adanya rekahan yang memungkinkan fluida panas bumi mengalir ke permukaan. Manifestasi panas bumi di daerah penelitian disebabkan oleh sesar yang memanjang dari arah selatan ke utara.

Berdasarkan peta geologi di duga reservoir berada di lapisan kedua yaitu batuan andesit karena memiliki komponen kasar yang memiliki permeabilitas yang tinggi. Di duga untuk batuan penutup (*caprock*) berada di lapisan pertama. Batuan tuf ini memiliki tekstur yang halus, yaitu kedap air sehingga air sulit untuk naik ke permukaan. Batuan penutup (*caprock*) adalah lapisan penahan fluida panas dari reservoir yang memiliki permeabilitas rendah atau disebut impermeable.

Sedangkan pada lapisan paling bawah terdapat batuan konglomerat gunungapi. Batuan konglomerat gunungapi ini merambat ke lapisan atasnya dimana batuan konglomerat gunungapi sangat mudah terkonveksi karena memiliki porositas yang sangat tinggi.

4.5 Integrasi dan Hikmah Penelitian

Geothermal adalah panas bumi yang terbentuk secara alami di bawah permukaan bumi dengan kandungan panas yang tersimpan dalam bumi. Sistem panas bumi meliputi sistem hidrotermal, proses pemanasan, dan kondisi sistem. Sistem panas bumi dapat berada pada daerah bermorfologi datar dan dapat pula di daerah bermorfologi curam.

Awal mula terbentuknya panas bumi disebabkan oleh adanya batuan panas di bawah permukaan bumi. Batuan yang menjadi sumber pemanas adalah batuan yang dihasilkan oleh magma yang berada di bawah litosfir. Proses munculnya magma ke permukaan disebabkan oleh aliran konveksi (pergerakan cairan magma) yang terjadi di bawah lempeng bumi yang berusaha keluar melalui rekahan yang muncul akibat perbedaan tekanan dan temperatur di dalamnya. Allah Swt menciptakan langit dan bumi kemudian Allah menurunkan wahyu-Nya antara langit dan bumi agar makhluknya mengetahui. Allah Swt menciptakan langit dan bumi terdiri dari tujuh lapis yang berbeda dan tujuh lapis tersebut mempunyai rapat massa yang berbeda-beda. Dalam Al-qur'an pada Surat At-Talaq ayat 12.

اللَّهُ الَّذِي خَلَقَ سَبْعَ سَمَاوَاتٍ وَمِنَ الْأَرْضِ مِثْلَهُنَّ يَتَنَزَّلُ الْأَمْرُ بَيْنَهُنَّ لِتَعْلَمُوا أَنَّ اللَّهَ عَلَىٰ كُلِّ شَيْءٍ قَدِيرٌ وَأَنَّ اللَّهَ قَدْ أَحَاطَ بِكُلِّ شَيْءٍ عِلْمًا

Artinya: " Allah-lah yang menciptakan tujuh langit dan seperti itu pula bumi, perintah Allah berlaku padanya, agar kau mengetahui bahwasannya Allah Maha Kuasa atas segala sesuatu, dan sesungguhnya Allah ilmunya benar-benar segala sesuatu" (Q.S At-Talaq ayat 12).

Proses meluasnya dasar lautan samudera terjadi pada poros tengahnya, yang disertai dengan gempa bumi, letusan dan erupsi vulkanik. Pembentukan gunung berapi dan aktivitas magmatiknya di tengah lautan juga telah termaktub dalam Q.S at-Thur ayat (6)

وَالْبَحْرِ الْمَسْجُورِ

Artinya: " Dan laut yang di dalam tanahnya ada api" (Q.S at-Thur ayat 6).

Kata *al-masjur* berasal dari *sajara yasjuru sajiran* yang berarti menyala, meluap, memancarkan, bergelombang. *Al masjur* adalah *isim maf'ul* (objek atau yang dikenai pekerjaan). *Al-bahrul masjur* dapat berarti laut yang bergelombang, laut dipancarkan atau disemburkan oleh gunung berapi di bawah permukaan laut. Adapun penyebabnya adalah adanya patahan di dasar laut dan letusan gunung api yang menyebabkan terjadinya gelombang dan sumber panas.

Pembentukan sistem panas bumi di suatu daerah sangat dipengaruhi oleh geologi yang berkaitan dengan hidrologi, struktur geologi, litologi, petrologi, susunan tektonik dan proses geologi di sepanjang jalur magmatik. Sumber panas bumi di desa Wagir lor merupakan sistem panas bumi yang disebabkan oleh batuan intrusi diorite yang berasal dari aktivitas vulkanik Gunung Wilis.

Dari ilmu gaya berat dapat diketahui struktur batuan penyusun di daerah penelitian, sehingga dapat dijadikan informasi oleh warga akan adanya sumber air

panas sehingga warga sekitar dapat memanfaatkannya dengan baik. Manifestasi geotermal berupa mata air panas di daerah Wagir Lor Kecamatan Ngebel Kabupaten Ponorogo ini dapat dimanfaatkan sebagai pemandian air panas, pembangkit listrik tenaga panas bumi, budidaya perikanan, dan sebagainya. Untuk itulah Al-Qur'an mengajak manusia untuk memanfaatkan sumber mata air, baik itu terjadi akibat vulkanik maupun non-vulkanik. Dalam Al-qur'an Surat Ali-Imran ayat 191:

الَّذِينَ يَذْكُرُونَ اللَّهَ قِيَامًا وَقُعُودًا وَعَلَىٰ جُنُوبِهِمْ وَيَتَفَكَّرُونَ فِي خَلْقِ السَّمٰوٰتِ وَالْاَرْضِ رَبَّنَا مَا خَلَقْتَ
هٰذَا بَاطِلًا سُبْحٰنَكَ فَقِنَا عَذَابَ النَّارِ

Artinya:” (yaitu) orang-orang yang mengingat Allah sambil berdiri, duduk atau dalam keadaan berbaring, dan mereka memikirkan tentang penciptaan langit dan bumi (seraya berkata), “Ya Tuhan kami, tidaklah Engkau menciptakan semua ini sia-sia; Mahasuci Engkau, lindungilah kami dari azab neraka” (Q.S Ali-Imran ayat 191).

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil interpretasi yang diperoleh menggunakan metode gravity di sekitar daerah manifestasi air panas di Desa Wagir Lor, Kecamatan Ngebel, Kabupaten Ponorogo berdasarkan pemodelan anomali lokal maka dapat diambil kesimpulan bahwa:

1. Berdasarkan data yang diambil didapatkan hasil bahwa anomali Bouguer dari sumber air panas bernilai anomali rendah dengan rentang 78 mGal sampai 94 mGal. Letak semburan air panas ini berada pada kedalaman ± 800 m dibawah permukaan.
2. Berdasarkan hasil pemodelan secara umum terdapat 4 lapisan penyusun. lapisan pertama pada pemodelan ini ditunjukkan dengan warna coklat muda yang diduga sebagai tuf dengan nilai densitas $2,1 \text{ gram/cm}^3$. Pada lapisan kedua ditunjukkan dengan warna abu-abu muda yang diduga sebagai andesit dengan nilai densitas $2,6 \text{ gram/cm}^3$. Pada lapisan ketiga ditunjukkan dengan warna abu-abu tua yang diduga sebagai diorit dengan nilai densitas $2,47 \text{ gram/cm}^3$. Pada lapisan keempat ditunjukkan dengan warna merah yang diduga sebagai konglomerat gunungapi dengan nilai densitas $2,7 \text{ gram/cm}^3$. Dimana Irisan model 2 dimensi dan informasi geologi, dapat dilihat bahwa terdapat sesar.

5.2 Saran

Penelitian lanjutan sebaiknya dilakukan akuisisi data di lapangan untuk perbandingan dengan data satelit GGMPus agar informasi yang diperoleh semakin akurat dan *detail* mengenai posisi sumber air panas yang ada di Desa Wagir Lor Kecamatan Ngebel Kabupaten Ponorogo ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Al-Quran, *Al-Quran dan Terjemahnya*. Jakarta: Departemen Agama RI.
- Alzwar, Muzil. 1988. *Pengantar Ilmu Gunungapi*. Bandung: Penerbit Nova
- Amalisana, B., Pin T., dan Saraswati, R. Penentuan Potensi Panas Bumi Menggunakan Landsat 8 dan Hubungannya dengan Kondisi Geologi. Prosiding Industrial Research Workshop and National Seminar. 2017 Juli.
- Ariyanto, S. V. *et al.* (2014) "Pendugaan Struktur Kantong Magma Gunungapi Kelud Berdasarkan Data Gravity Menggunakan Metode Ekuivalen Titik Massa," *Natural B*, 2(3), hal. 229–234.
- Bemmelen, R.W, van., 1949, *The Geology of Indonesia*, VOL. 1A, Martinus Nijhoff, The Hague.
- Blakely, Richard J., 1995. *Potential Theory in Gravity and Magnetic Application*.
- Burger, Robert H. 1992. *Exploration Geophysics of the shallow subsurface*. New Jersey. Prentice Hall.
- Dampney, C. N. G. (1969) "The equivalent source technique," *Geophysics*, 34(1), hal. 39–53. doi: 10.1190/1.1439996.
- Donovan, R., Karyanto dan Dewanto, O. 2020. Studi Sifat Termal Batuan Daerah Lapangan Panas Bumi Way Ratai Berdasarkan Pengukuran Metode Konduktivitas Termal. *Jurnal Geofisika Eksplorasi Vol. 4 No. 3: 103-119*. Lampung: Jurusan Teknik Geofisika, FT UNILA.
- Hartono U., Baharudin & K. Brata, 1992, *Geology of the Madiun Quadrangle*, Jawa Geological Research and Development Centre, Indonesia.
- Isa, Muhammad. 2018. *Eksplorasi Energi Panas Bumi*. Darussalam, Banda Aceh: Syiah Kuala University Press.
- Jacobs, J. A, Russel, R. D, Wilson, J. Tuzo. 1974. *Physics and Geology*. New York: Mc Graw-Hill Book Company.
- Kadir WGA. 1999. Survey gaya berat 4 dimensi dan dinamika sumber bawah permukaan, Surabaya: Prosiding HAGI XXIV.
- Karimah, N. A. dan Suprianto, A. (2020) "Korelasi Data Gravitasi Satelit Pada Daerah Panas Bumi Blawan-Ijen Correlation of Satellite Gravitation Data in Blawan Geothermal Area -Ijen," 9(1), hal. 11–15.
- Kirbani, SB. DR. 2001. *Teori dan Aplikasi Metode Gravitasi*. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada (UGM).

- Polanunu, T. T., Sukiyah, E. dan Haryanto, A. D. 2020. Analisis Kerapatan Kelurusan (*Liniament Density*) untuk Pendugaan Zona Permeabilitas di Daerah Gunung Patuha. *Padjajaran Geoscience Journal Vol. 4 No. 5: 393-400*. Teknik Geologi Universitas Padjajaran. i-ISSN: 2597-4033.
- Purwanto, Agus. 2015. *Ayat-ayat Semesta: Sisi Al-Qur'an yang Terlupakan*. Bandung: PT Mizan Pustaka.
- Risdianto, D., Permana, A. P., Wibowo, A. E. A., Sugiato, A., dan Hermawan, D. 2015. *Sistem Panas Bumi Non-Vulkanik di Sulawesi*. Bandung: PSDG – Badan Geologi.
- Robawa, Farrel N. 2016. Identifikasi Potensi Panas Bumi Menggunakan Landsat 8 serta Rekomendasi Lokasi PLTP dengan Analisis Sistem Informasi Geografis (Studi Kasus: Kawasan Gunung Lawu). *Skripsi*. Surabaya: Jurusan Teknik Geomatika, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, ITS.
- Santoso, Djoko. 2002. *Diktat Kuliah TG-424 Eksplorasi Energi Panas Bumi*. Jurusan Teknik Geologi. Bandung: ITB.
- Saptadji, N. M. 2009. *Karakterisasi Reservoir Panas Bumi*. Bandung: ITB.
- Sari, Indah Permata. 2012. *Studi Komparasi Metode Filtering Untuk Pemisahan Anomali Regional dan Residual Dari Data Anomali Bouguer*. Skripsi. Depok: Universitas Indonesia.
- Setyawan, A. et al. (2021) “Detecting hot spring manifestations based on gravity data satellite on mountain Lawu,” *Journal of Physics: Conference Series*, 1943(1). doi: 10.1088/1742-6596/1943/1/012034.
- Suharno, 2013. *Eksplorasi Geothermal*. Lembaga Penelitian Universitas Lampung.
- Sunaryo. 1997. *Panduan Praktikum Geofisika*. Universitas Brawijaya
- Supriyanto, S., 2009. *Energi Panas Bumi, Edisi 1*. ed. Departemen Fisika-FMIPA Univeristas Indonesia.
- Telford, W. M., Geldart, L. P. dan Sheriff, R. E. (1990) “*Applied Geophysics, Second Edition*.” Cambridge University Press.
- U.Sumotarto et al., 2018. *Geothermal Energy Potential of Arjuno and Welirang Vulcanoos Area, East Java, Indonesia*. International Journal of Renewable Energy Research. Vol:8 No:1.
- Wismaya. Y.G., dkk. 2016. Analisis Deformasi Gunung Merapi Berdasarkan Data Pengamatan GPS Feburari – Juli 2015. *JURNAL TEKNIK ITS Vol. 5, No. 2, (2016) ISSN: 2337-3539*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya

Zamroni, K., 2014. *Studi Anomali Bawah Permukaan Daerah Manifestasi Air Pans, Desa Wagir Lor, Kec. Ngebel, Kab. Ponorogo Dengan Menggunakan Metode Magnetik*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

LAMPIRAN

Row	Latitude	Longitude	UTM X	UTM Y	Elevasi	FAA	TC	TC/RHO	BC	BC-TC/RHO	K. Bouguer	ABS	ABL
R2	-7,807	111,627	569128	9136987	706	145,2	3,757	1,4069	29,588	28,1815312	67,18183	78,018	81,7747
R3	-7,809	111,627	569128	9136766	716	144	3,574	1,3387	30,008	28,6689083	68,133414	75,867	79,4408
R4	-7,811	111,627	569128	9136545	675	141	3,507	1,3133	28,289	26,9759167	64,23192	76,768	80,2747
R5	-7,813	111,627	569127	9136324	610	137	3,9	1,4605	25,565	24,1045757	58,046624	78,953	82,853
R6	-7,815	111,627	569127	9136103	658	141,4	3,234	1,211	27,577	26,3657313	62,614227	78,786	82,0193
R7	-7,817	111,627	569127	9135882	582	136	4,59	1,7192	24,392	22,6724065	55,382189	80,618	85,2081
R8	-7,819	111,627	569126	9135660	625	137,5	2,83	1,06	26,194	25,13375	59,474	78,026	80,8562
R9	-7,821	111,627	569126	9135439	635	139,3	2,949	1,1045	26,613	25,5083556	60,425584	78,874	81,8234
R10	-7,823	111,627	569126	9135218	597	136	3,751	1,4049	25,02	23,6153636	56,809565	79,19	82,9415
R11	-7,825	111,627	569125	9134997	543	131,7	4,181	1,5658	22,757	21,1912873	51,671011	80,029	84,2098
R12	-7,827	111,627	569125	9134776	590	133,5	4,23	1,5841	24,727	23,1428176	56,143456	77,357	81,586
R13	-7,807	111,629	569349	9136987	761	149,4	4	1,4981	31,894	30,3953827	72,415542	76,984	80,9845
R14	-7,809	111,629	569349	9136766	699	142,8	4,023	1,5067	29,295	27,7883859	66,515722	76,284	80,3072
R15	-7,811	111,629	569348	9136545	683	140,5	3,516	1,3167	28,625	27,3077884	64,993187	75,507	79,0225
R16	-7,813	111,629	569348	9136323	665	143,3	3,485	1,3052	27,87	26,5649815	63,280336	80,02	83,5045
R17	-7,815	111,629	569348	9136102	674	143,5	2,953	1,106	28,247	27,1413475	64,136762	79,363	82,3162
R18	-7,817	111,629	569347	9135881	606	136	4,202	1,5736	25,397	23,8238645	57,66599	78,334	82,5355
R19	-7,819	111,629	569347	9135660	649	139,1	3,04	1,1386	27,2	26,0610132	61,757802	77,342	80,3822
R20	-7,821	111,629	569347	9135439	585	138	3,823	1,4318	24,517	23,0855522	55,667664	82,332	86,1552
R21	-7,823	111,629	569346	9135218	569	132,5	4,063	1,5218	23,847	22,3249548	54,14513	78,355	82,4182
R22	-7,825	111,629	569346	9134997	642	137,7	3,921	1,4685	26,906	25,4377181	61,091693	76,608	80,5292
R23	-7,827	111,629	569346	9134776	661	142,2	5,517	2,0663	27,703	25,6362553	62,899702	79,3	84,8172
R24	-7,807	111,631	569569	9136986	728	147	4,375	1,6387	30,51	28,8717909	69,275315	77,725	82,1

R25	-7,809	111,631	569569	9136765	716	144,8	4,16	1,5579	30,008	28,4496948	68,133414	76,667	80,8261
R26	-7,811	111,631	569569	9136544	714	147,5	2,918	1,0927	29,924	28,8310434	67,943098	79,557	82,4744
R27	-7,813	111,631	569568	9136323	686	145,7	3,011	1,1276	28,75	27,6226945	65,278662	80,421	83,4319
R28	-7,815	111,631	569568	9136102	677	143,6	3,361	1,2588	28,373	27,1142685	64,422237	79,178	82,5388
R29	-7,817	111,631	569568	9135881	636	134,4	3,862	1,4465	26,655	25,2082431	60,520742	73,879	77,7415
R30	-7,819	111,631	569567	9135660	649	139,6	4,221	1,5808	27,2	25,618766	61,757802	77,842	82,063
R31	-7,821	111,631	569567	9135439	561	138,9	3,356	1,2571	23,512	22,2544313	53,383862	85,516	88,8725
R32	-7,823	111,631	569567	9135218	643	134,4	4,826	1,8076	26,948	25,1404896	61,186851	73,213	78,0395
R33	-7,825	111,631	569566	9134996	728	141,4	4,411	1,6522	30,51	28,8583077	69,275315	72,125	76,536
R34	-7,827	111,631	569566	9134775	704	147,5	6,058	2,2688	29,505	27,235876	66,991514	80,508	86,5661
R35	-7,807	111,633	569790	9136986	641	148,4	4,117	1,542	26,864	25,3222875	60,996534	87,403	91,5207
R36	-7,809	111,633	569790	9136765	635	150,8	3,383	1,2672	26,613	25,3456964	60,425584	90,374	93,7577
R37	-7,811	111,633	569789	9136544	629	149,2	3,124	1,1701	26,361	25,1913151	59,854634	89,345	92,4695
R38	-7,813	111,633	569789	9136323	626	147,2	3,118	1,1676	26,236	25,068057	59,569158	87,631	90,7483
R39	-7,815	111,633	569789	9136102	704	147,2	3,293	1,2331	29,505	28,2714939	66,991514	80,208	83,501
R40	-7,817	111,633	569788	9135881	641	138,3	4,211	1,5772	26,864	25,2870815	60,996534	77,303	81,5147
R41	-7,819	111,633	569788	9135659	635	140,2	4,064	1,5221	26,613	25,0907152	60,425584	79,774	83,8385
R42	-7,821	111,633	569788	9135438	629	140,9	3,854	1,4434	26,361	24,9180192	59,854634	81,045	84,8992
R43	-7,823	111,633	569787	9135217	626	134,8	3,77	1,4121	26,236	24,8235626	59,569158	75,231	79,0011
R44	-7,825	111,633	569787	9134996	597	136,3	4,776	1,7888	25,02	23,231506	56,809565	79,49	84,2664
R45	-7,827	111,633	569787	9134775	698	146	5,759	2,1568	29,253	27,096401	66,420563	79,579	85,338
R46	-7,807	111,635	570010	9136986	791	156,7	3,4	1,2732	33,151	31,877589	75,270294	81,43	84,8292
R47	-7,809	111,635	570010	9136765	767	151,5	3,293	1,2333	32,145	30,9117116	72,986493	78,514	81,8063
R48	-7,811	111,635	570010	9136544	741	150,1	3,039	1,1381	31,055	29,9172576	70,512374	79,588	82,6262
R49	-7,813	111,635	570009	9136322	701	147,9	3,649	1,3666	29,379	28,0122808	66,706038	81,194	84,8429

R50	-7,815	111,635	570009	9136101	674	130	3,958	1,4825	28,247	26,7647932	64,136762	65,863	69,8216
R51	-7,817	111,635	570009	9135880	628	131	3,938	1,4751	26,319	24,8444238	59,759475	71,241	75,1789
R52	-7,819	111,635	570008	9135659	623	138,3	3,407	1,2758	26,11	24,8340873	59,283683	79,016	82,4228
R53	-7,821	111,635	570008	9135438	651	142,7	3,809	1,4267	27,283	25,8566684	61,948118	80,752	84,5613
R54	-7,823	111,635	570008	9135217	625	139,9	4,083	1,5292	26,194	24,664574	59,474	80,426	84,5089
R55	-7,825	111,635	570007	9134996	622	138,3	4,775	1,7885	26,068	24,2794807	59,188525	79,111	83,8869
R56	-7,827	111,635	570007	9134775	663	144,2	5,195	1,9456	27,786	25,840712	63,090019	81,11	86,3048
R57	-7,807	111,637	570231	9136985	817	156	3,844	1,4397	34,24	32,8008071	77,744413	78,256	82,0995
R58	-7,809	111,637	570231	9136764	776	152,8	3,58	1,3406	32,522	31,1815233	73,842918	78,957	82,5366
R59	-7,811	111,637	570230	9136543	751	151	3,856	1,4441	31,474	30,0303276	71,463958	79,536	83,3917
R60	-7,813	111,637	570230	9136322	727	144,8	4,416	1,6539	30,469	28,8147123	69,180157	75,62	80,0356
R61	-7,815	111,637	570230	9136101	650	131	3,672	1,3752	27,242	25,8662566	61,85296	69,147	72,8189
R62	-7,817	111,637	570229	9135880	645	132	4,113	1,5405	27,032	25,4914631	61,377168	70,623	74,7359
R63	-7,819	111,637	570229	9135659	676	138,7	3,994	1,4958	28,331	26,8353922	64,327078	74,373	78,3666
R64	-7,821	111,637	570229	9135438	646	143,4	4,353	1,6305	27,074	25,4433731	61,472326	81,928	86,2811
R65	-7,823	111,637	570228	9135217	665	143,7	3,825	1,4327	27,87	26,4374159	63,280336	80,42	84,2451
R66	-7,825	111,637	570228	9134995	645	142,3	4,951	1,8542	27,032	25,1777927	61,377168	80,923	85,8734
R67	-7,827	111,637	570228	9134774	680	146,9	4,606	1,7251	28,499	26,7736689	64,707712	82,192	86,7984
R68	-7,807	111,639	570451	9136985	811	156,2	3,712	1,3902	33,989	32,5987853	77,173462	79,027	82,7384
R69	-7,809	111,639	570451	9136764	814	157,8	3,711	1,3898	34,115	32,7249273	77,458938	80,341	84,0519
R70	-7,811	111,639	570451	9136543	760	152,5	4,308	1,6134	31,852	30,2381918	72,320384	80,18	84,4874
R71	-7,813	111,639	570450	9136322	688	145,4	4,088	1,5312	28,834	27,302919	65,468979	79,931	84,0192
R72	-7,815	111,639	570450	9136101	693	145,4	3,7	1,3856	29,044	27,658012	65,944771	79,455	83,1548
R73	-7,817	111,639	570450	9135880	693	146,5	3,385	1,2679	29,044	27,7757648	65,944771	80,555	83,9404
R74	-7,819	111,639	570449	9135658	622	140,9	4,878	1,827	26,068	24,2410537	59,188525	81,711	86,5895

R75	-7,821	111,639	570449	9135437	654	145	3,947	1,4784	27,409	25,9307505	62,233594	82,766	86,7137
R76	-7,823	111,639	570449	9135216	674	145,1	4,489	1,6811	28,247	26,5662164	64,136762	80,963	85,4518
R77	-7,825	111,639	570448	9134995	673	145,3	4,368	1,636	28,205	26,5694749	64,041603	81,258	85,6264
R78	-7,827	111,639	570448	9134774	717	150,5	4,29	1,6066	30,049	28,4429157	68,228573	82,271	86,5609
R79	-7,807	111,641	570672	9136985	853	160,7	3,755	1,4065	35,749	34,3427131	81,170115	79,53	83,2853
R80	-7,809	111,641	570672	9136764	849	157,8	4,951	1,8545	35,582	33,7271331	80,789482	77,011	81,9619
R81	-7,811	111,641	570671	9136543	728	149,4	4,674	1,7506	30,51	28,7598433	69,275315	80,125	84,7989
R82	-7,813	111,641	570671	9136321	721	147,3	3,804	1,4246	30,217	28,7925033	68,609206	78,691	82,4945
R83	-7,815	111,641	570671	9136100	729	149,8	3,648	1,3661	30,552	29,1862477	69,370474	80,43	84,0771
R84	-7,817	111,641	570670	9135879	720	144,9	4,345	1,6272	30,175	28,5479715	68,514048	76,386	80,7307
R85	-7,819	111,641	570670	9135658	657	145,5	4,846	1,8151	27,535	25,7198138	62,519069	82,981	87,8271
R86	-7,821	111,641	570670	9135437	687	149,2	3,964	1,4845	28,792	27,3076756	65,373821	83,826	87,7898
R87	-7,823	111,641	570669	9135216	689	146,7	4,414	1,6531	28,876	27,2229188	65,564138	81,136	85,5496
R88	-7,825	111,641	570669	9134995	698	147,4	4,315	1,616	29,253	27,6372249	66,420563	80,979	85,294
R89	-7,827	111,641	570669	9134774	737	151,9	4,612	1,7273	30,888	29,1604041	70,131741	81,768	86,3801
R90	-7,807	111,643	570892	9136984	897	163,3	5,283	1,9785	37,593	35,6147681	85,357085	77,943	83,2255
R91	-7,809	111,643	570892	9136763	750	153,5	5,126	1,9199	31,433	29,5126498	71,3688	82,131	87,2572
R92	-7,811	111,643	570892	9136542	771	152,7	4,161	1,5583	32,313	30,7542954	73,367126	79,333	83,4936
R93	-7,813	111,643	570891	9136321	720	150,5	3,806	1,4256	30,175	28,7496195	68,514048	81,986	85,7923
R94	-7,815	111,643	570891	9136100	703	146,3	4,198	1,5721	29,463	27,8905952	66,896355	79,404	83,6012
R95	-7,817	111,643	570891	9135879	701	147,4	3,938	1,4748	29,379	27,9041534	66,706038	80,694	84,6316
R96	-7,819	111,643	570890	9135658	675	150,8	5,243	1,9637	28,289	26,3255421	64,23192	86,568	91,8112
R97	-7,821	111,643	570890	9135437	737	152,1	4,137	1,5493	30,888	29,3383442	70,131741	81,968	86,105
R98	-7,823	111,643	570890	9135216	728	150,5	4,489	1,6813	30,51	28,8291317	69,275315	81,225	85,7139
R99	-7,825	111,643	570889	9134994	710	151,4	4,933	1,8477	29,756	27,9083846	67,562464	83,838	88,7709

R100	-7,827	111,643	570889	9134773	745	154	4,72	1,7678	31,223	29,4551597	70,893008	83,107	87,827
R101	-7,807	111,645	571113	9136984	831	157,8	4,53	1,6964	34,827	33,1307681	79,07663	78,723	83,2529
R102	-7,809	111,645	571113	9136763	867	161,5	5,227	1,9576	36,336	34,3784045	82,502333	78,998	84,2244
R103	-7,811	111,645	571112	9136542	791	152,7	5,132	1,9221	33,151	31,2287126	75,270294	77,43	82,5617
R104	-7,813	111,645	571112	9136321	755	152,4	4,063	1,5216	31,642	30,1204395	71,844592	80,555	84,6181
R105	-7,815	111,645	571112	9136100	693	146,7	5,063	1,8961	29,044	27,1475626	65,944771	80,755	85,8177
R106	-7,817	111,645	571111	9135879	761	146,5	4,293	1,6079	31,894	30,2855699	72,415542	74,084	78,3777
R107	-7,819	111,645	571111	9135657	727	152,5	4,72	1,7677	30,469	28,7008921	69,180157	83,32	88,0395
R108	-7,821	111,645	571111	9135436	798	158,2	4,438	1,6621	33,444	31,7820452	75,936403	82,264	86,7015
R109	-7,823	111,645	571110	9135215	787	157,5	4,864	1,8217	32,983	31,1614472	74,889661	82,61	87,4743
R110	-7,825	111,645	571110	9134994	789	157,5	4,896	1,8336	33,067	31,233357	75,079978	82,42	87,3158
R111	-7,827	111,645	571110	9134773	785	159,2	4,814	1,8029	32,899	31,0964661	74,699344	84,501	89,3144
R112	-7,807	111,647	571333	9136984	893	164,8	4,228	1,5834	37,426	35,8422218	84,976451	79,824	84,0512
R113	-7,809	111,647	571333	9136763	845	162,6	4,557	1,7068	35,414	33,7071335	80,408848	82,191	86,7484
R114	-7,811	111,647	571333	9136542	783	154,2	5,205	1,9493	32,816	30,8662791	74,509027	79,691	84,8955
R115	-7,813	111,647	571332	9136320	760	151,7	4,273	1,6004	31,852	30,2512255	72,320384	79,38	83,6526
R116	-7,815	111,647	571332	9136099	710	146,9	4,998	1,8717	29,756	27,8843772	67,562464	79,338	84,335
R117	-7,817	111,647	571332	9135878	756	151,6	4,398	1,6473	31,684	30,0366566	71,93975	79,66	84,0585
R118	-7,819	111,647	571331	9135657	728	152,2	4,469	1,6736	30,51	28,8368845	69,275315	82,925	87,3932
R119	-7,821	111,647	571331	9135436	807	157,8	4,98	1,865	33,821	31,9563513	76,792829	81,007	85,9868
R120	-7,823	111,647	571331	9135215	820	163,4	4,357	1,6318	34,366	32,7343648	78,029888	85,37	89,7271
R121	-7,825	111,647	571330	9134994	844	162,9	4,432	1,66	35,372	33,7120775	80,31369	82,586	87,0184
R122	-7,827	111,647	571330	9134773	854	164,3	5,266	1,9724	35,791	33,8187055	81,265274	83,035	88,3011
					704,02								
	-7,817	111,63591	570109	9135882	semburan								



KEMENTERIAN AGAMA RI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM MALANG
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
PROGRAM STUDI FISIKA

Jl. Gajayana No. 50 Malang 65144 Telp. / Fax. (0341) 558933
Website : <http://fisika.uin-malang.ac.id>, e-mail : Fis@uin-malang.ac.id

BUKTI KONSULTASI SKRIPSI

Nama : Hindun Binti Masruroh
NIM : 18640033
Fakultas/Program Studi : Sains dan Teknologi/Fisika
Judul Skripsi : Studi Anomali Gravitasi Daerah Sekitar Manifestasi Air Panas
(Studi Kasus di Daerah Sumber Air Panas Desa Wagir Lor,
Kecamatan Ngebel, Kabupaten Ponorogo)
Pembimbing 1 : Drs. Abdul Basid, M.Si
Pembimbing 2 : Ahmad Abthoki, M.Pd

- Konsultasi Fisika

No	Tanggal	Hal	Tanda Tangan
1.	25 November 2021	Konsultasi Bab I, II dan III	
2.	07 Desember 2021	Konsultasi Bab I, II dan III Acc	
3.	20 April 2022	Konsultasi Data	
4.	16 Agustus 2022	Konsultasi Peta Kontur	
5.	24 September 2022	Konsultasi Slice	
6.	27 September 2022	Konsultasi Pemodelan	
7.	18 November 2022	Konsultasi Bab IV dan Acc	
8.	23 Desember 2022	Acc Revisi Skripsi	

- Konsultasi Integrasi

No	Tanggal	Hal	Tanda Tangan
1.	21 November 2022	Konsultasi Bab I - IV	
2.	22 Desember 2022	Acc Revisi Skripsi	

Malang, 22 Desember 2022
Mengetahui,
Ketua Program Studi,

Dr. Imam Tazi, M.Si
NIP. 19740730 200312 1 002

