

**IDENTIFIKASI STRUKTUR BATUAN BAWAH PERMUKAAN
DI DAERAH PEMANDIAN AIR PANAS BANYU BIRU
MENGUNAKAN METODE GRAVITY
(Studi Kasus: Desa Gondangwetan, Jatikalen, Nganjuk)**

SKRIPSI

Oleh:

AISYATIN KAMILAH
NIM. 18640065



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

HALAMAN PENGAJUAN

**IDENTIFIKASI STRUKTUR BATUAN BAWAH PERMUKAAN
DI DAERAH PEMANDIAN AIR PANAS BANYU BIRU
MENGUNAKAN METODE GRAVITY
(Studi Kasus: Desa Gondangwetan, Jatikalen, Nganjuk)**

SKRIPSI

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

Oleh:

**AISYATIN KAMILAH
NIM. 18640065**

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

HALAMAN PERSETUJUAN
IDENTIFIKASI STRUKTUR BATUAN BAWAH PERMUKAAN
DI DAERAH PAMANDIAN AIR PANAS BANYU BIRU
MENGGUNAKAN METODE GRAVITY
(Studi Kasus: Desa Gondangwetan, Jatikalen, Nganjuk)

SKRIPSI

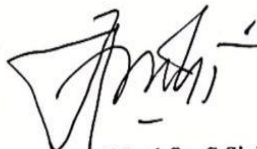
Oleh:

AISYATIN KAMILAH
NIM (18640065)

Telah diperiksa dan disetujui untuk Diuji
Pada tanggal, 24 Juni 2022

Menyetujui,

Pembimbing I



Ahmad Luthfin, S.Si, M.Si
NIP. 19860504201903 1 009

Pembimbing II



Ahmad Abtokhi, M.Pd
NIP. 19761003200312 1 004

Mengetahui,

Ketua Program Studi



Dr. Imam Tazi, M.Si
NIP. 19740730200312 1 002

HALAMAN PENGESAHAN



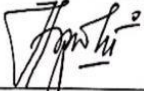
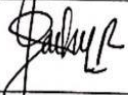
**IDENTIFIKASI STRUKTUR BATUAN BAWAH PERMUKAAN
DI DAERAH PAMANDIAN AIR PANAS BANYU BIRU
MENGUNAKAN METODE GRAVITY
(Studi Kasus: Desa Gondangwetan, Jatikalen, Nganjuk)**

SKRIPSI

Oleh:


AISYATIN KAMILAH
NIM. 18640065

Telah Dipertahankan Di Depan Dewan Penguji Skripsi dan
Dinyatakan Diterima sebagai Salah Satu Persyaratan
untuk Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)
Tanggal 24 Juni 2022

Penguji Utama	<u>Irian, M.Si</u> NIP.19691231 200604 1 003	
Ketua Penguji	<u>Wiwis Sasmitaninghidayah, M.Si</u> NIDT. 19870215 20180201 2 233	
Sekretaris Penguji	<u>Ahmad Luthfin, S.Si, M.Si</u> NIP. 19860504201903 1 009	
Anggota Penguji	<u>Ahmad Abtokhi, M.Pd</u> NIP. 19761003200312 1 004	

Mengesahkan,
Ketua Program Studi




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

PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Aisyatin Kamilah

NIM : 18640065

Jurusan : Fisika


Fakultas : Sains dan Teknologi

Judul Penelitian : Identifikasi Struktur Batuan Bawah Permukaan di Daerah Pemandian Air Panas Banyu Biru Menggunakan Metode Gravity (Studi Kasus: Desa Gondangwetan, Jatikalen, Nganjuk)

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, 20 Juni 2022

Yang Membuat Pernyataan


Aisyatin Kamilah
NIM. 18640065

MOTTO

Jika Anda ingin belajar tentang kesombongan, belajarliah pada orang tua.
Sebab tak ada ruang bagi kesombongan atas jasa-jasa orang tua kepada
anak-anak mereka.

HALAMAN PERSEMBAHAN

Dengan rasa syukur yang mendalam dan mengucapkan Alhamdulillah. Dengan telah diselesaikannya skripsi ini, penulis persembahkan untuk:

1. Bapak Samsul Hadi, S.Pd dan Ibu Nurul Jannah, S.Pdi untuk pengorbanan dan kasih sayang, serta doa tulus sepanjang waktu. Sehingga saya dapat terus berjuang melewati segala rintangan yang dihadapi.
2. Saya sendiri, Aisyatin Kamilah yang sudah berjuang sampai pada titik ini.
3. Para dosen dan pembimbing yang telah membantu dan membimbing serta dan semoga ilmu yang didapat bisa bermanfaat dengan baik.
4. Teman-teman seperjuangan di program studi S1 Fisika 2018 UIN Maulana Malik Ibrahim Malang yang telah membantu hingga terselesaikannya skripsi ini.
5. Almamaterku tercinta serta tanah air tercinta

Terima kasih atas motivasi dan dukungan yang telah diberikan selama ini. Semoga Allah SWT membalas dengan yang lebih. Aamiin Ya Rabbal Aalamiin...

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT. Yang senantiasa memberikan rahmat, taufiq dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan proposal skripsi yang berjudul “IDENTIFIKASI STRUKTUR BATUAN BAWAH PERMUKAAN DI DAERAH PEMANDIAN AIR PANAS BANYU BIRU MENGGUNAKAN METODE GRAVITY (STUDI KASUS: DESA GONDANGWETAN, JATIKALEN, NGANJUK)”. Sholawat serta salam senantiasa tercurahkan kepada Nabi Muhammad SAW yang telah menuntun manusia menuju zaman zakiyyah, yakni Addinul Islam Wal Iman.

Penulis menyadari bahwa banyak pihak yang telah berpartisipasi dan membantu dalam menyelesaikan penulisan proposal skripsi ini. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terimakasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam menyelesaikan proposal skripsi. Ucapan terimakasih penulis sampaikan kepada:

1. Prof. Dr. H. M. 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. Ahmad Luthfin, M.Si selaku Pembimbing skripsi yang selalu memberikan banyak kesabaran, tenaga dan seluruh upaya dalam penulisan proposal ini.
5. Erna Hastuti, M.Si selaku Dosen Wali yang senantiasa memberikan pengarahan, motivasi dan ilmu pengetahuan.
6. Segenap dosen, Laboran dan Admin Jurusan Fisika UIN Maulana Malik Ibrahim Malang yang senantiasa memberikan pengarahan dan ilmu pengetahuan.
7. Keluarga tercinta khususnya Samsul Hadi S.Pd dan Nurul Jannah S.Pdi yang selalu memberi semangat dan doa serta dukungan dalam penulisan laporan ini.
8. Semua pihak yang secara langsung maupun tidak langsung memberikan dukungan dalam penulisan proposal skripsi ini.

Penulis sangat menyadari pasti masih banyak kekurangan dan kesalahan dari penelitian ini, karena mengingat banyaknya keterbatasan baik secara

penulisan ataupun pengetahuan. Demikian yang dapat penulis sampaikan, semoga skripsi ini dapat memberikan tambahan wawasan serta kontribusi bagi perkembangan kedepannya.

Malang, 01 November 2021

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGAJUAN	ii
HALAMAN PERSETUJUAN	iii
HALAMAN PENGESAHAN	iv
PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN	v
MOTO	vi
HALAMAN PERSEMBAHAN	vii
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
ABSTRAK	xv
ABSTRACT	xvi
مستخلص البحث	xvii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan	4
1.4 Manfaat	4
1.5 Batasan Masalah	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Panas Bumi (<i>Geothermal</i>)	6
2.1.1 Pembentukan Panas Bumi	6
2.1.2 Sistem Panas Bumi	6
2.2 Geologi Daerah Penelitian	9
2.2.1 Geografis Wilayah	9
2.3 Prinsip-Prinsip Gravitasi	10
2.3.1 Teori Gravitasi Newton	10
2.3.2 Metode Gravitasi	10
2.3.3 Potensial Gravitasi	11
2.3.4 Rapat Massa Batuan	12
2.4 Data Gravitasi Citra Satelit GGMPlus	14
2.5 Koreksi dalam Metode Gravitasi	15
2.5.1 Koreksi Bouguer (<i>Bouguer Correction</i>)	15
2.5.2 Koreksi Medan (<i>Terrain Correction</i>)	16
2.5.3 Anomali Bouguer	18
2.5.4 Anomali Percepatan Gravitasi	19
2.6 Reduksi Bidang Datar	19
2.7 Kontinuasi Keatas (<i>Upward Continuation</i>)	20
BAB III METODE PENELITIAN	21
3.1 Lokasi Penelitian	21
3.2 Jenis dan Sumber Data	21

3.3 Alat dan Bahan Penelitian	21
3.4 Prosedur Pelaksanaan Penelitian	22
3.4.1 Pengumpulan Data	22
3.4.2 Pengolahan Data	22
3.4.3 Interpretasi Data	24
3.5 Diagram Alir Penelitian.....	25
BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN.....	26
4.1 Pengumpulan Data	27
4.2 Pengolahan Data.....	29
4.2.1 Proses Koreksi Data Gravitasi	29
4.3 Interpretasi Kualitatif	35
4.3.1 Reduksi Bidang Datar	36
4.3.2 Kontinuasi Keatas (<i>Upward Continuation</i>)	37
4.4 Interpretasi Kuantitatif	39
4.4.1 Interpretasi Penampang Irisan A-A'	40
4.4.2 Interpretasi Penampang Irisan B-B'	41
4.4.3 Interpretasi Penampang Irisan C-C'	44
4.4.3 Hasil Interpretasi Penampang Irisan A-A', B-B', dan C-C'	45
4.5 Integrasi dan Hikmah Penelitian	46
DAFTAR PUSTAKA	48
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Model Sistem <i>Geothermal</i>	6
Gambar 2.2 Peta Geologi Lembar Kediri	9
Gambar 2.3 Koreksi Topografi	18
Gambar 2.4 Sumber Ekuivalen Titik Massa	20
Gambar 3.1 Area Penelitian	22
Gambar 3.2 Diagram Alir	25
Gambar 4.1 Kontur Topografi dan Titik Pengukuran	26
Gambar 4.2 Data yang Diperoleh	27
Gambar 4.3 Excel to KML	28
Gambar 4.4 <i>New Projected Coordinates</i>	28
Gambar 4.5 <i>Source Coordinate System</i> dan <i>Coordinate System</i>	29
Gambar 4.6 Koordinat DD dan Koordinat UTM	29
Gambar 4.7 Tabel Parasnis	30
Gambar 4.8 Grafik Parasnis	30
Gambar 4.9 Koreksi Bouguer	31
Gambar 4.10 Perhitungan Nilai ABS	31
Gambar 4.11 Referensi Arah Utara	31
Gambar 4.12 Referensi Arah Selatan	31
Gambar 4.13 Referensi Arah Timur	32
Gambar 4.14 Referensi Arah Barat	32
Gambar 4.15 Referensi Arah Regional dan Lokal	32
Gambar 4.16 Gambar Peta DEM	33
Gambar 4.17 <i>Regional Terrain Correction Grid</i>	33
Gambar 4.18 <i>Terrain Corrections</i>	34
Gambar 4.19 Database <i>Terrain Correction</i>	34
Gambar 4.20 Anomali Bouguer Lengkap	34
Gambar 4.21 Kontur Anomali Bouguer Lengkap	35
Gambar 4.22 Kontur Anomali Setelah Reduksi Bidang Datar	36
Gambar 4.23 Kontur Anomali Regional Hasil Kontinuasi Keatas	37
Gambar 4.24 Kontur Anomali Lokal Hasil Kontinuasi ke Atas	38
Gambar 4.25 Profil <i>Slice A-A'</i> , <i>B-B'</i> , dan <i>C-C'</i> pada Kontur Anomali Lokal	39
Gambar 4.26 Model 2D Bawah Permukaan Pada Sayatan <i>A-A'</i>	40
Gambar 4.27 Struktur Pada Hasil Pemodelan	41
Gambar 4.28 Model 2D Bawah Permukaan Pada Sayatan <i>B-B'</i>	42
Gambar 4.29 Struktur Pada Hasil Pemodelan	43
Gambar 4.30 Model 2D Bawah Permukaan Pada Sayatan <i>C-C'</i>	44
Gambar 4.31 Struktur Pada Hasil Pemodelan	45

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Rapat Massa Batuan.....	32
-----------------------------------	----

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Tabel Data.....	64
Lampiran 2 Bukti Konsultasi	67

ABSTRAK

Kamilah, Aisyatin 2022. Identifikasi Struktur Batuan Bawah Permukaan di Daerah Pemandian Air Panas Banyu Biru Menggunakan Metode *Gravity* (Studi Kasus: Desa Gondangwetan, Jatikalen, Nganjuk). Skripsi. Jurusan Fisika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Pembimbing: (I) Ahmad Luthfin, S.Si, M.Si (II) Ahmad Abtokhi, M.Pd

Kata Kunci: Metode *Gravity*, Geotermal, Litologi

Penelitian kali ini bertujuan untuk mengetahui pola anomali lokal dan struktur batuan bawah permukaan di daerah pemandian air panas Jatikalen, Nganjuk, Jawa Timur. Batasan wilayah $7^{\circ}52'12.02''$ LS $112^{\circ}10'8.58''$ BT sampai $7^{\circ}50'25.65''$ LS $112^{\circ}12'9.19''$ BT dengan metode gaya berat berdasarkan data satelit GGMPlus yang diperoleh sebanyak 100 data dengan spasi jarak antar titik 200 meter. Berdasarkan analisa kualitatif pada kontur anomali lokal didapatkan anomali rendah -2,6 mGal hingga -0,8 mGal, anomali sedang -0,6 mGal hingga 2,2 mGal, dan anomali tinggi 0,6 mGal – 2,2 mGal. Interpretasi kuantitatif dengan hasil model penampang menghasilkan 5 lapisan *topsoil* dengan nilai densitas $1,2 \text{ gram/cm}^3$. Pada lapisan kedua merupakan alluvium berupa kerakal, kerikil, pasir dengan densitas $1,7 \text{ gram/cm}^3$. Pada lapisan ketiga merupakan lempung tufan dengan densitas 2 gram/cm^3 dan lapisan keempat berupa tuf gampingan dengan nilai densitas $2,67 \text{ gram/cm}^3$. Sedangkan yang terakhir pada lapisan kelima merupakan batuan breksi dengan nilai densitas 3 gram/cm^3 .

ABSTRACT

Kamilah, Aisyatin 2022. Identification of Subsurface Rock Structures in Banyu Biru Hot Springs Using the Gravity Method (Case Study: Gondangwetan Village, Jatikalen, Nganjuk). Thesis. Physics Study Program, Faculty of Science and Technology, Maulana Malik Ibrahim Islamic State University Malang. Supervisors: (I) Ahmad Luthfin, S.Si, M.Si (II) Ahmad Abtokhi, M.Pd

Key Word: Gravity Method, Geothermal, lithology

This study aims to determine local anomaly patterns and subsurface rock structures in the Jatikalen hot spring area, Nganjuk, East Java. Borderline wilayah $7^{\circ}52'12.02''$ LS $112^{\circ}10'8.58''$ BT sampai $7^{\circ}50'25.65''$ LS $112^{\circ}12'9.19''$ BT with the gravity method based on GGMPlus satellite data obtained as much as 100 data with a distance of 200 meters between points. Based on the qualitative analysis of the local anomaly contours, the low anomaly was -2.6 mGal to -0.8 mGal, the moderate anomaly was -0.6 mGal to 2.2 mGal, and the high anomaly was 0.6 mGal – 2.2 mGal. Quantitative interpretation with the results of the cross-sectional model resulted in 5 layers of topsoil with a density value of 1.2 grams. In the second layer is alluvium in the form of gravel and sand with a density of 1.7 grams/cm³. The third layer is tuffaceous clay with a density of 2 grams/cm³ and the fourth layer is calcareous tuff with a density value of 2.67 grams/cm³. While the last in the fifth layer is breccia rock with a density value of 3 grams/cm³.

مستخلص البحث

كما ملة وعاشة . 2022. تحديد الهياكل الصخرية الجوفية في ينابيع بانيو بيرو الساخنة باستخدام طريقة الجاذبية (دراسة حالة: قرية جوندانجويتان ، جاتيكالين ، نجانجوك). البحث الجامعي. قسم الفيزياء ، كلية العلوم والتكنولوجيا، جامعة مولانا مالك إبراهيم الإسلامية الحكومية مالانج. المشرف الأول: محمد حذيفة الماجستير، المشرف الثاني: الأستاذ الدكتور الحاج تورمذي الماجستير.

الكلمات المفتاحية: طريقة الجاذبية ، الطاقة الحرارية الجوفية ، الليثولوجيا

تهدف هذه الدراسة إلى تحديد نمط الشذوذ المحلي والتركيب الصخري تحت السطحي في منطقة الينابيع الحارة جاتيكالين ، نجانجوك ، جاوة الشرقية. الحدود الإقليمية 7 ° 52' [[12.02]] ' ^ 'خط العرض الجنوبي 112 ° 10' [[8.58]] ' ^ "خط الطول الشرقي إلى 7 ° 50' [[25.65]] ' ^ 'خط العرض الجنوبي 112 ° 12' [[9.19]] ' ^ " شرقاً تم الحصول على ما يصل إلى 100 بيانات مع وجود مسافة بين نقطتين تبلغ 200 متر. بناءً على التحليل النوعي لخطوط الشذوذ المحلية ، كان الشذوذ المنخفض هو -2.6 مللي جالون إلى -0.8 مللي جالون ، وكان الشذوذ المعتدل -0.6 مللي جالون إلى 2.2 مللي جالون ، وكان الشذوذ المرتفع 0.6 مللي جالون - 2.2 مللي جالون. نتج عن التفسير الكمي مع نتائج النموذج المقطعي 5 طبقات من التربة السطحية بقيمة كثافة 1.2 جرام / سم³. في الطبقة الثانية يوجد الطمي على شكل حصى وحصى ورمل بكثافة 1.7 جرام / سم³. الطبقة الثالثة عبارة عن طين التافاس بكثافة 2 جرام / سم³ والطبقة الرابعة عبارة عن طنة كلسية بكثافة 2.67 جرام / سم³. بينما الأخيرة في الطبقة الخامسة هي صخور بريشيا بكثافة 3 جرام / سم³.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kebutuhan dasar yang bisa digunakan oleh manusia salah satunya yaitu energi, karena dengan itu manusia bisa menggunakannya dalam berbagai hal. Di Indonesia, jumlah penduduk semakin hari semakin bertambah dan kebutuhan dari energi juga semakin tinggi. Saat ini, sebagian besar dari kebutuhan Indonesia dipenuhi oleh bahan bakar fosil berupa gas, minyak dan batu bara yang dikembangkan sebagai sumber panas bumi (Utama, 2012).

Indonesia ialah salah satu negara yang telah melakukan pemanfaatan energi panas bumi langsung ataupun tidak langsung. Panas bumi di Jawa Timur tersebar di 13 titik salah satunya yaitu di WKP Gunung Pandan, panas bumi di Gunung Pandan yang ditetapkan menjadi WKP dengan SK Nomor 2774 K/30/ME/2014 tertanggal 03-06-2014 mencakup daerah Bojonegoro, Madiun, dan Nganjuk. Dimana Kabupaten Nganjuk sendiri terletak di antara lereng Gunung Wilis di sebelah selatan dan disebelah utara Gunung Pandan (Delfianto, 2021). Beberapa daerah dengan manifestasi panas bumi digunakan sebagai tempat wisata seperti kawah dan sumber air panas. Nganjuk ialah daerah di Indonesia dengan manifestasi panas bumi, salah satunya adalah mata air panas Banyu Biru yang terdapat di Desa Gondangwetan, Kecamatan Jaticalen, Kabupaten Nganjuk. Awal adanya pamandian air panas ini karena sumur yang dibor untuk dijadikan aliran sawah, akan tetapi air yang keluar adalah air panas dengan kedalaman kisaran 250-300 meter yang mempunyai suhu panas yaitu sekitar 37° C.

وَالسَّمَاءَ بَنَيْنَاهَا بِأَيْدٍ وَإِنَّا لَمُوسِعُونَ {47}

Artinya: “Dan, langit Kami bangun dengan kekuasaan (Kami) dan Kami benar-benar meluaskannya”. (Adz-Dzariyat 51:47)

Dari ayat di atas dapat diketahui bahwa Allah SWT memudahkan kehidupan manusia di bumi dengan memberikan semua kebutuhan dan menyesuaikan kondisi bumi untuk manusia dengan adanya oksigen, air, dan bahan makanan yang cukup. Suhu bumi juga sesuai dengan kebutuhan manusia untuk hidup. Bumi juga mengeluarkan material yang dibutuhkan oleh manusia, seperti besi yang digunakan untuk mengembangkan teknologi atau minyak dan gas bumi sebagai sumber energi.

Diketahui keberadaan *system geothermal* dengan tanda-tanda yang ada seperti, munculnya sumber air panas, semburan uap, lumpur panas, sublimasi belerang, dan batuan ubahan (alterasi) di permukaan bumi yang dipanaskan oleh fluida hidrotermal. Geotermal yang ditemukan terletak didalam batuan perut bumi, semakin dalam letaknya maka akan meningkat pula temperatur batu-batuan tersebut. Jika disana ditemukan geotermal, maka memungkinkan masih ada sumber-sumber geotermal disekitarnya. Geotermal di pemandian air panas banyu biru belum diketahui struktur batuanya, sedangkan air yang keluar mempunyai suhu sangat tinggi hingga 37° C yang sangat berpotensi dijadikan sumber panas bumi. Adanya fenomena alam berupa panas bumi perlu dilakukan sebuah penelitian yang tujuannya untuk mengetahui struktur batuan bawah permukaan di daerah tersebut dan pemerintah daerah berencana untuk mengembangkan pengeboran geotermal. Untuk memodelkan fitur densitas batuan maka digunakan salah satu metode geofisika yaitu gravitasi (Zain, 2015).

Metode gravitasi didasarkan pada Hukum Newton yang menjelaskan adanya gaya tarik-menarik oleh dua buah partikel yang akan berbanding lurus dengan

perkalian, sedangkan berbanding terbalik oleh dua massa tersebut dengan kuadrat jarak antar pusat kedua partikel. Metode ini didasarkan prinsip bahwa anomali gaya berat muncul karena kenekaragaman rapat massa batuan akan menggambarkan adanya struktur geologi di bawah permukaan bumi pada jangkauan dengan kedalaman yang jauh. Kemunculan sumber air panas terjadi karena adanya struktur patahan atau batuan gunungapi. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi mengenai stuktur batuan pada bawah permukaan yang mungkin menjadi jalur keluarnya fuida panas bumi di daerah penelitian (Purnomo, 2013).

Seiring dengan kemajuan teknologi, pengambilan data gravitasi dapat dilakukan dengan menggunakan citra satelit berupa data posisi geografis titik ukur di permukaan bumi. Metode gravitasi yang digunakan pada penelitian ini berupa data dari penyedia data gravitasi satelit yaitu *Global Gravity Model Plus* (GGMPlus), karena resolusi pada GGMPlus yaitu sekitar 200 meter dibandingkan dengan satelit gravitasi yang lain. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan data anomali grvaitasi GGMPlus yang diunduh dari <http://murray-lab.caltech.edu/GGMplus/index.html>. Data yang didapat berupa data anomali *Free Air Anomaly* (FAA).

Telah dilakukan penelitian terkait Struktur Bawah Permukaan Geologi di Karangsembung (Rista, Lorensiana, dkk, 2018) menggunakan metode gaya berat. Pada penelitian ini menghasilkan beberapa indikasi batuan yang berada dibawah struktur permukannya, seperti batuan andesit, basal, metamorf, gabro, sedimen, dan intrusi. Dan penelitian lain dilaporkan tentang analisis data gravitasi pada daerah manifestasi panas bumi Waesekat oleh (Akbar, Fathony dkk, 2020) menggunakan

metode gravitasi. Potensi panas bumi diduga mempunyai nilai anomali yang rendah yang didominasi oleh batuan serpih, batu pasir, dan batu gamping.

Berdasarkan latar belakang di atas, maka peneliti akan melakukan sebuah penelitian tentang geotermal (panas bumi) dengan penggunaan metode gravitasi yang dapat menganalisa perbedaan densitas batuan di bawah permukaan.

1.2 Rumusan Masalah

Dari uraian latar belakang di atas, berikut penulis merumuskan masalah:

1. Bagaimana anomali lokal di daerah penelitian menggunakan metode *gravity*?
2. Bagaimana struktur batuan bawah permukaan area pemandian air panas banyu biru?

1.3 Tujuan

Adapun tujuan pada penelitian kali ini:

1. Untuk mengetahui anomali lokal di daerah penelitian menggunakan metode *gravity*
2. Untuk mengetahui struktur batuan bawah permukaan area pemandian air panas banyu biru

1.4 Manfaat

Manfaat bagi beberapa pihak, yakni:

1. Manfaat Akademis

Penelitian ini bisa dimanfaatkan untuk melatih terkait penerapan ilmu tentang panas bumi serta menjadi referensi bagi peneliti selanjutnya.

2. Manfaat untuk Masyarakat dan Pemerintah

Penelitian ini dimaksudkan agar memperoleh informasi mengenai struktur batuan bawah permukaan dan pola anomali di bawah permukaan.

1.5 Batasan Masalah

Berikut beberapa batasan penelitian:

1. Metode yang dipergunakan adalah metode *gravity* dengan menganalisa pola anomali Bouguer.
2. Penelitian ini menggunakan data GGMPlus yang diakses melalui <http://murray-lab.caltech.edu/GGMplus/index.html>.
3. Luas area yang diteliti yaitu 2 km x 2 km dengan batas $7^{\circ}52'12.02''$ LS $112^{\circ}10'8.58''$ BT sampai $7^{\circ}50'25.65''$ LS $112^{\circ}12'9.19''$ BT.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

1.1 Panas Bumi (*Geothermal*)

Adapun tinjauan dari segi etimologis, *geothermal* berasal dari sub kata *geo* yang mempunyai arti bumi dan *thermal* yang berarti panas. Dengan demikian, *geothermal* didefinisikan sebagai panas bumi. *Geothermal* dapat didefinisikan sebagai panas bumi yang dibentuk di bawah permukaan bumi secara alamiah.

Secara umum, energi panas bumi adalah bentuk dari energi panas yang terkandung pada batuan di bawah permukaan bumi yang didalamnya terdapat fluida, sedangkan sistem panas bumi ialah sistem yang memungkinkan terjadinya fluida dari daerah *meteoric recharge* ke dalam reservoir yang berada di atas sumber panas (*heat source*) (Torkis, 2012). Pada kedalaman beberapa kilometer pada kondisi geologi tertentu terdapat energi dalam bentuk air panas atau uap.

Panas bumi terdapat pada lapisan kerak bumi yang ada di bagian luar permukaan di bumi. Pada daerah ini terdapat permukaan yang tidak merata karena benjolan yang awalnya dari gunung dan lembah di suatu daratan dan palung pada lautan. Allah SWT menerangkan bahwa bumi dan langit itu sama, memiliki tujuh lapisan.

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 ۝۱۲

Artinya: “Allah-lah yang menciptakan tujuh langit dan seperti itu pula bumi. Perintah Allah berlaku padanya, agar kamu mengetahui bahwasanya Allah Maha Kuasa atas segala sesuatu, dan Sesungguhnya Allah ilmu-Nya benar-benar meliputi segala sesuatu.” (Q.S. At-Thalaq, 65:12).

Bagian ayat ini menjelaskan bahwa penciptaan langit dan bumi itu memiliki banyak lapisan dengan karakteristik yang berbeda, serta fungsi yang berbeda. Zona bumi dibagi menjadi tujuh lapisan sesuai dengan karakteristik komposisi kimia dan mekanismenya. Yaitu inti bumi, lapisan terluar inti bumi, lapisan terbawah (*lower band*) pita bumi, lapisan tengah pita bumi (pita tengah), lapisan teratas pita bumi (pita atas), lapisan bawah kerak bumi, dan lapisan atas kerak bumi.

2.1.1 Pembentukan Panas Bumi

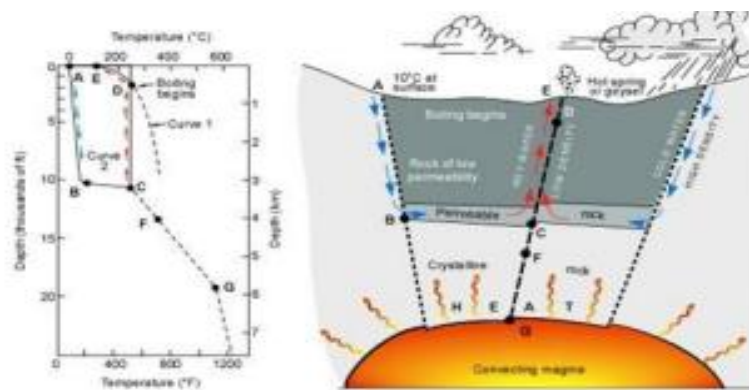
Seperti di Indonesia, biasanya terdapat formasi panas bumi pada jalur vulkanik yang dapat mempengaruhi proses geologi yang terjadi di sepanjang jalur vulkanik. Proses geologi yang disebutkan diatas ialah aktivitas batuan beku dan proses pengangkatan. Ketika magma berubah bentuk menjadi bentuk terobosan dan letusan gunungapi, patahan terbentuk di sepanjang jalur gunungapi yang menyebabkan pengangkatan. Dalam pembentukan sistem pegunungan, proses pengangkatan ini mengakibatkan wilayah yang terkena akan terangkat lebih tinggi daripada daerah disekitarnya. Karena pada daerah itu penangkapan air hujan yang diserap akan jauh lebih banyak daripada disekitarnya. Daerah tersebut menjadi tempat air tanah meteorik pada waktu geologi yang lintasannya berupa sumber air bagi daratan rendah di sekitarnya. Di sisi lain, garis patahan yang dibuat oleh pengangkatan memungkinkan air panas dan uap menembus permukaan bumi menunjukkan adanya sistem dari panas bumi.

Di dalam batuan sarang akan ada air yang telah dipanasi dan berkumpul karena dikelilingi oleh lapisan kedap air yang disebabkan oleh air dan uap didalamnya sehingga berada pada keadaan tekanan hidrostik yang tinggi. Dalam tekanan yang sangat tinggi akan terjadi uap jenuh yang ada pada batuan cadangan yang akan menjadi fasa cairan, menyebabkan sistem batuan cadangan akan ada

dua fasa uap yakni yang pertama fasa cair-uap yang terkondensasi dan yang kedua yaitu fasa uap sebenarnya. Setelah itu, tekanan hidrostatik akan mengurang dan terlepas karena adanya pengeboran yang menghasilkan air itu mempunyai suhu yang tinggi kemudian akan berubah menjadi uap.

2.1.2 Sistem Panas Bumi

Saat air hujan (meteorik) yang mengandung reservoir hidrotermal pada fluida panas bumi akan merembes melalui bawah permukaan dan dipanaskan akibat sumber panas (Gambar 2.1). Air yang mengalir pada celah batuan permeabel, merambat melalui batuan (secara konduksi) dan merambatkan fluida (konveksi), yang terjadi pada dasarnya karena gaya apung (*buoyancy*) White dalam Singarimbun, A, 2020).



Gambar 2.1 Model Sistem *Geothermal*

Air selalu bergerak ke bawah karena gravitasi, tetapi ketika air berkontak secara langsung oleh sumber panas lalu akan terjadi perpindahan yang menyebabkan temperature meningkat. Keadaan ini mengakibatkan air yang lebih panas bergerak turun membawa sirkulasi air atau arus konveksi Hochstein (dalam Singarimbun, 2020).

Sistem panas bumi dikontrol oleh beberapa faktor antara lain, karena adanya sumber panas (*heat source*), batuan reservoir lapisan penutup, keberadaan struktur geologi dan daerah resapan air. Dalam pembentukan panas bumi, sistem panas bumi memiliki peranan yang berbeda-beda:

1. Sumber Panas (*Heat Source*)

Ada beberapa sumber panas pada sistem panas bumi yaitu dari intrusi batuan, dapur magma (*magma chambers*) atau *gradient temperature* karena semakin kedalam temperature akan tinggi. Pada daerah gunungapi, sistem panas bumi yang asalnya dari instrusi batuan atau magma akan ditemukan. Sedangkan, sumber panas yang asalnya dari *gradient temperature* biasanya ditemukan di lempeng tektonik aktif dan cekungan sedimen (*sedimentary basins*). Akibat dari masuknya air ke dalam permukaan selama terjadinya proses subduksi, magma yang menjadi sumber panas di dalam sistem panas bumi akan terjadi (Zain, 2015).

Ada beberapa proses panas dialirkan yaitu antara lain konduksi, konveksi, dan radiasi. Dalam perpindahan panas di sistem panas bumi, bisa saja terdapat dua proses yaitu konduksi dan konveksi. Proses konduksi sendiri disebut perpindahan energi kinetik dari atom atau molekul pada benda yang suhunya tinggi ke rendah. Sementara proses konveksi ialah perpindahan panas yang melibatkan perpindahan massa dari satu tempat ke tempat lain.

2. Fluida Panas Bumi (*Geothermal Fluid*)

Fluida panas bumi adalah bagian dari reservoir yang berupa air, gas, atau cairan lainnya. (Rais, dkk. 2021) membagi fluida menjadi beberapa bagian

yaitu *Juvenile water*, *Magmatic water*, *Meteoric water*, dan *Connate water*.

Air Juvenile adalah air baru yang berubah menjadi salah satu hidrosfer yang awalnya magma primer. Air magmatik dari magma yang bercampur dengan air meteorik atau air dari mineral sedimen. Air meteorik adalah air di atmosfer. Sedangkan air bawaan berupa air dari laut yang mengalami proses perubahan fisik dan kimia. Air bawaan juga merupakan fosil yang berasosiasi dengan atmosfer selama periode geologis yang panjang. Di cekungan sedimen, air ditutupi oleh formasi batuan tebal.

3. Reservoir Panas Bumi (*Geothermal Reservoir*)

Reservoir panas bumi ialah batuan dengan porositas dan permeabilitasnya sangat baik sehingga fluida bisa terakumulasi oleh sumber panas untuk dipanaskan. Selain itu, reservoir panas bumi bisa disebut produktif jika volumenya besar, suhu tinggi, dan banyaknya jumlah fluid. (Torkis, 2012).

4. Batuan Penundung (*Cap Rock*)

Dalam sistem panas bumi, batuan penundung dari reservoir digunakan untuk mencegah panas keluar ke permukaan. Batuan penundung juga sering mengalami proses alterasi yang menjadi indikator terjadinya interaksi fluida ketika melewati batuan dalam sistem panas bumi di suatu daerah. (Torkis, 2012).

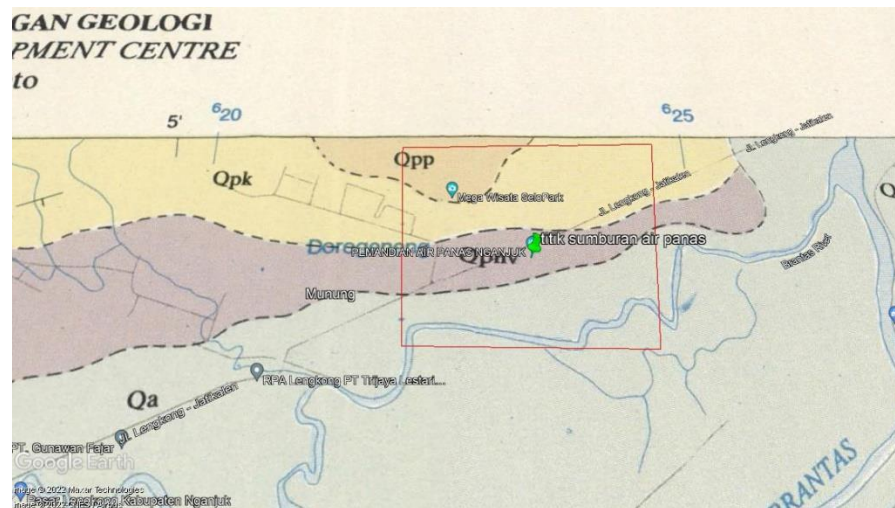
5. Struktur Geologi

Komponen utama sistem panas bumi adalah struktur geologi di bawah permukaan bumi, seperti patahan dan sesar tempat munculnya manifestasi panas bumi (Sugianto, 2017).

2.2 Geologi Daerah Penelitian

2.2.1 Geografis Wilayah

Pemetaan geologi Lembar Kediri (1508-3), Jawa pada skala 1:100.000 yang dibatasi oleh koordinat 112°00'-112°30' dan 7°30'-8°00', dengan luas daratan lebih kurang 3.250 km². Cangkupan wilayah Kabupaten Kediri terdiri dari Kabupaten Nganjuk, Kabupaten Jombang, Kabupaten Mojokerto, Kabupaten Malang dan Kabupaten Blitar, Propinsi Jawa Timur. Dimana sebelah utara Lembar ini berbatasan dengan Lembar Mojokerto, di timur dengan Lembar Malang, di selatan dengan Lembar Blitar dan di barat dengan Lembar Madiun (Santosa dalam Delfianto, 2021).



Gambar 2.2 Peta Geologi Lembar Kediri

Secara morfologi pada Lembar Kediri dapat dibagi menjadi tiga satuan; pegunungan, pebukitan, dan dataran. Lokasi penelitian terletak pada satuan morfologi dataran yang menempati daerah aliran sungai utama yaitu: S. Brantas, S. Konto, S. Widas, S. Brangkal, dan S. Bangsal; yang berpola aliran yang meranting, semi sejajar, teranyam, bermeander. Morfologi berketinggian sampai 100 meter dari permukaan air laut.

UMUR		FORMASI		LITHOLOGI	FOSIL / SISA Ttb	LINGKUNGAN		
K U A R T E R S I E R	P L I S T O S E N	A k h i r	ALUVIUM	ENDAPAN ROMBAKAN	Aluv. Kerakal — lumpur	Sisa-tumbuhan	Darat	
			ENDAPAN TERAS	ENDAPAN LAHAR	En.Rb. Kerakal — lanau End.Tr. Kerakal — lempung End.Lh. Pasir ga — lahar	Sisa-tumbuhan	Darat	
	P L I S T O S E N	T e n g a h	A w a i	BATUAN GUNUNGAPI KUARTER ATAS	BATUAN GUNUNGAPI PARASIT	Ga. Kelud: breksituf lava, tuf, lahar dengan aglomerat	—	darat
				FORMASI NOTOPURO	Batuan Gunungapi Kawi - Butak	Ga. Kuartier Atas: breksi, tuf dan lava	—	darat
				Formasi Kabuh	Batuan Gunungapi Anjasmara-Tua	Ga. Anjasmara Muda: breksi, tuf, lava dan lahar	—	darat
				FORMASI LIDAH	LAVA PEGAT	Formas Notopuro: breksi, batupasir, batugamping dan batulempung	Foram	darat littoral
FORMASI LIDAH	LAVA PEGAT	Formasi Pucangan: breksi, batupasir, batulempung dan konglomerat	Foram	darat-laut dangkal				
					FORMASI LIDAH	LAVA PEGAT	Formasi Lidah: batulempung, sisipan batupasir dan batugamping	Foram
FORMASI LIDAH	LAVA PEGAT	Lava-Pegat: lava, breksi dan lahar	—	darat				
					FORMASI LIDAH	LAVA PEGAT	Lava-Pegat: lava, breksi dan lahar	—

Gambar 2.3 Stratigrafi Lembar Kediri, Jawa

Stratigrafi pada daerah penelitian termasuk pada formasi Alluvim (Qa) dengan batuan tersusun oleh kerikil, kerakal, pasir, lempung, lumpur, dan sisa tumbuhan. Formasi Notopuro (Qp_{nv}) tersusun oleh batuan breksi, batupasir tufan, batulempeng tufan, batupasir gampingan dan batugamping. Formasi Pucangan (Qpp) tersusun oleh breksi, batupasir, sisipan lempung, dan konglomerat. Sedangkan yang terakhir Formasi Kabuh (Qpk) yaitu batupasir, batulempung, sisipan konglomerat dan tuf (Santosa dalam Delfianto, 2021)

2.3 Prinsip-Prinsip Gravitasi

2.3.1 Teori Gravitasi Newton

Burger menyatakan bahwa hukum Newton mengenai gerak menyatakan bahwa gaya (F) merupakan perkalian antara masa dengan percepatan. Hukum Newton mengenai gerak Newton, yaitu (Wachidah, 2017):

$$F = mg \quad (2.1)$$

Sedangkan teori Gravitasi didasarkan oleh hukum Newton menyatakan bahwa gaya tarik-menarik yang terjadi antara massa dua buah benda adalah sebanding dan berbanding terbalik dengan jarak antara pusat massa kedua benda tersebut Jacobs (dalam Erwin, 2017).

$$F = G \frac{mM}{R^2} \quad (2.2)$$

Dimana konstanta gravitasi (G) = $6.67 \times 10^{-11} \text{ N.m}^2\text{kg}^{-2}$. Maka persamaan 2.1 jika disubstitusikan ke persamaan 2.2 akan didapatkan Burger (dalam Wachidah, 2017):

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

Persamaan terakhir ini menunjukkan bahwa besar percepatan yang ditimbulkan oleh gravitasi bumi (g) akan berbanding lurus dengan massa bumi (M) dan berbanding terbalik dengan kuadrat jari-jari bumi (R). Nilai gravitasi bumi dalam teori ini sama di seluruh permukaan bumi. Pada kenyataannya nilai gayaberat di setiap tempat berbeda karena bentuk bumi yang datar akibat perputaran bumi, topografi permukaan bumi juga tidak beraturan dan sebaran massa yang bervariasi terutama di dekat permukaan (Jusmi, 2018).

2.3.2 Metode Gravitasi

Cabang ilmu yang membahas tentang bumi menggunakan kaidah fisika yaitu geofisika. Geofisika ialah bentuk penelitian yang berguna untuk mengetahui gambaran struktur batuan bawah permukaan dengan menggunakan parameter-parameter fisika. Metode gravitasi merupakan metode eksplorasi untuk mengukur

adanya medan gravitasi pada kelompok titik lokasi dalam area tertentu. Metode gravitasi sering digunakan untuk mempelajari batuan dasar, lubang di dalam massa batuan dan shaft terpendam karena metode ini sensitif terhadap perubahan vertikal. Medan gravitasi yang bervariasi karena perbedaan massa batuan di bawah permukaan bumi merupakan hal yang diperhatikan dalam metode gravitasi. Medan gravitasi yang teramati dalam metode ini yaitu perbedaan antara titik observasi yang satu dengan yang lainnya.

Sumber anomali di bawah permukaan bumi dapat berpengaruh terhadap nilai percepatan gravitasi bumi dan medan gravitasi. Medan gravitasi akibat sumber anomali dengan arah vertikal yang bervariasi disebut sebagai kedudukan sumber anomali. Nilai medan gravitasi mengalami perubahan karena adanya sumber anomali yang nilainya lebih kecil dari nilai medan gravitasi bumi yang disebut anomali gravitasi Grant dan West (dalam Purnomo, 2013).

Struktur bawah permukaan bumi dapat digunakan karena adanya anomali gravitasi. Anomali gravitasi merupakan perbedaan nilai percepatan gravitasi jika dibandingkan dengan daerah disekitarnya. Anomali gravitasi ada karena beberapa faktor pendorong, diantaranya pengendapan mineral, alterasi hidrotermal, patahan, intrusi batuan, variasi porositas dan lain-lain (Purnomo, 2013).

2.3.3 Potensial Gravitasi

Telford menyatakan bahwa potensial gravitasi menggunakan 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

merupakan 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 (Chasanah, 2020):

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

Dimana pengintegralan meliputi v , volume sebenarnya dari massa. Sedangkan P merupakan titik pengamatan, Q merupakan titik pengintegralan dan r adalah jarak antara P dan Q . Densitas memiliki satuan gr.cm^{-3} .

2.3.4 Rapat Massa Batuan

Menurut Septian, 2020 menyatakan bahwa rapat massa (*density*) batuan merupakan besaran utama dalam menentukan nilai percepatan gravitasi. Variasi rapat massa pada batuan sedimen yang disebabkan oleh tekanan gaya tektonik. Ada beberapa faktor yang dapat memengaruhi densitas batuan diantaranya, rapat massa butir pembentuknya, porositas, kandungan fluida yang mengisi pori-pori, serta pemadatan akibat tekanan dan pelapukan yang dialami batuan tersebut. Rapat massa batuan ditunjukkan oleh tabel 2.1.

Tabel 2.1 Rapat Massa Batuan Telford (dalam Setiadi, 2018)

Tipe Batuan	Rentang Densitas (g/cm³)	Rata-rata (g/cm³)
Batuan Sedimen		
Overbunden		1,92
Tanah	1,2 – 2,4	1,92
Lumpur	1,63 – 2,60	2,21
Kerikil	1,7 – 2,3	2,0

Pasir	1,7 – 2,3	2,0
Batuan pasir	1,61 – 2,76	2,35
Serpih	1,77 – 3,20	2,40
Lempung	1,93 – 2,90	2,55
Dolomit	2,28 – 2,90	2,70
Batuan Beku		
Riolit	2,35 – 2,70	2,52
Andesit	2,4 – 2,8	2,61
Granit	2,50 – 2,81	2,64
Granodiorit	2,67 – 2,89	2,73
Propiri	2,60 – 2,89	2,74
Kuarsa diorit	2,62 – 2,96	2,79
Diorit	2,72 – 2,99	2,85
Lava	2,80 – 3,00	2,90
Diabas	2,5 – 3,2	2,91
Basal	2,7 – 3,3	2,99
Gabro	2,7 – 3,5	3,02
Peridotit	2,78 – 3,37	3,15
Asam Beku	2,30 – 3,11	2,16
Basa Beku	2,09 – 3,17	2,79
Batuan Metamorf		
Kuarsit	2,5 – 2,7	2,6
Sekis	2,39 – 2,90	2,64

Graywek	2,6 – 2,7	2,65
Marmer	2,6 – 2,9	2,75
Serpenit	2,4 – 3,1	2,78
Slat	2,7 – 2,9	2,79
Gneis	2,59 – 3,00	2,80
Ampibolit	2,90 – 3,04	2,96
Eclogit	3,20 – 3,54	3,37

2.4 Data Gravitasi Citra Satelit GGMPlus

GGMPlus (*Global Gravity Model Plus*) merupakan gabungan dari gravitasi satelit berupa GRACE (ITG2010), GROCE (TIM-4), dan EGM2008 dengan informasi data gravitasi topografi beresolusi tinggi yang berasal dari data topografi pada resolusi sekitar 200m. GGMplus menyediakan lima fungsi medan gravitasi, yaitu percepatan gravitasi, gravitasi *disturbance*, defleksi vertikal utara-selatan dan timur-barat, dan ketinggian quasigeoid (Hirt dkk., 2013). GGMplus menyediakan peta medan gravitasi terkomputerisasi pada 0,002 deg (7,2 arc-detik, dengan Resolusi 220 m searah lintang) untuk semua area daratan Bumi dalam jarak 60 lintang geografis, dan zona laut ~ 10 km yang berdampingan di sepanjang garis pantai (Gambar 2.8) (Hirt dkk., 2013).

Prinsip dari pengukuran satelit GRACE yaitu mendeteksi perubahan medan gravitasi bumi dengan cara memonitor perubahan jarak yang terjadi pada satelit GRACE. Apabila satelit GRACE depan mendekati sumber anomali lebih dahulu dibanding satelit GRACE belakang maka satelit GRACE depan akan merasakan gaya tarik gravitasi yang lebih besar, sehingga jarak kedua satelit akan merenggang.

Jarak kedua satelit akan kembali mendekat ketika satelit GRACE belakang mendekati sumber anomali dan kedua satelit berada diantara sumber anomali. Pada saat satelit GRACE depan menjauhi sumber anomali dan satelit GRACE belakang dekat dengan sumber anomali maka jarak antar satelit semakin merenggang (Simamora, 2017).

Satelit GOCE mengukur medan gravitasi bumi dengan menggunakan gradiometer. Gradiometer terdiri dari tiga pasang akselerometer identik yang dipasang pada tiga lengan yang ortogonal. Hal ini memungkinkan pengukuran secara simultan dari enam komponen medan gravitasi yang independen namun komplementer (Simamora, 2017). Sinyal yang diukur adalah perbedaan percepatan gravitasi di dalam pesawat ruang 26 angkasa dengan sinyal gravitasi merepresentasikan gaya tarik medan gravitasi yang bervariasi akibat pegunungan, lembah, zona subduksi, dan inhomogenitas mantel, dan lain-lain.

Earth Gravitational Model 2008 (EGM 2008) adalah sebuah model harmonik spheris dari potensial gravitasi bumi yang digunakan untuk menentukan undulasi geoid pada suatu posisi. EGM 2008 juga salah satu solusi untuk mendapatkan data tinggi orthometrik dengan metode pengukuran GPS Levelling. Pengukuran GPS levelling ini diterapkan terutama pada lokasi yang jauh jangkauannya dari sebaran Jaring control Vertikal. Pemodelan gravitasi dari GGMPPlus merupakan ide penelitian Curtin University (*Perth, western Australia*) dan *Technical University of Munich* (Jerman). Kelebihan dari data GGMPPlus ini dibanding pengukuran data lapangan yaitu tidak memerlukan biaya dan dapat melakukan perluasan wilayah penelitian dengan mudah (Karimah dkk, 2020).

2.5 Koreksi dalam Metode Gravitasi

1.5.1 Koreksi Bouguer (*Bouguer Correction*)

Koreksi Bouguer dilakukan untuk mengurangi efek rapat massa yang terletak diantara bidang sferoida referensi dengan bidang topografi melalui titik pengamatan. Koreksi Bouguer nilainya berlawanan dengan koreksi udara bebas, dikurangi jika titik pengamatan berada di atas bidang datum dan ditambahkan jika titik amat berada di bawah bidang datum (Burger dalam Taufiqudin, 2014).

Persamaan koreksi Bouguer (Darma, 2019):

$$BC = 0,04193 \rho h \left(\frac{mGal}{m} \right) \quad (2.12)$$

Dimana:

ρ = Rapat massa Bouguer

h = Ketinggian titik ukur (m)

rumus ini berlaku dengan asumsi bahwa bidang Bouguer merupakan pelat dasar tak hingga.

Grant dan West menjelaskan bahwa massa yang terdapat diantara permukaan topografi dan bidang sferoida dapat dibagi menjadi dua bagian (R. Fransiska, 2021):

- a. Bagian massa yang terletak antara bidang Bouguer dan sferoida referensi di mana efek dari massa ini disebut efek Bouguer. Anomali yang dihasilkan setelah dilakukan koreksi Bouguer terhadap anomali udara bebas disebut anomali Bouguer sederhana.
- b. Bagian massa yang berada di atas bidang Bouguer menghasilkan efek yang disebut efek medan (*Terrain Effect*). Anomali yang dihasilkan setelah dilakukan koreksi medan terhadap anomali Bouguer sederhana disebut anomali Bouguer lengkap.

Pada koreksi Bouguer dan koreksi Terrain terdapat satu nilai yang belum diketahui, yaitu densitas Bouguer yang merupakan rata – rata untuk seluruh massa di bawah permukaan. Densitas batuan dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya adalah rapat massa butir pembentuk, porositas, kandungan fluida, yang mengisi pori – porinya, serta pemadatan akibat tekanan dan pelapukan yang dialami batuan tersebut.

Metode penentuan densitas lapisan permukaan kerak bumi (densitas Bouguer):

- a. Densitas Bouguer standar = $2,67 \text{ kg/m}^3$ sebagai densitas kerak bumi rata – rata.
- b. Pengukuran langsung seperti pengumpulan sampel batuan baik dari permukaan dan sumur bor.
- c. Dari peta geologi didapatkan jenis batuan, kemudian dilihat harga densitasnya pada tabel densitas batuan.
- d. Profil densitas (metode Nettleton).
 - Secara grafis, yaitu membuat profil topografi dan profil anomali Bouguer untuk densitas yang berbeda – beda. Dari setiap lintasan yang dipilih sebagai densitas Bouguer ialah densitas yang profil anomali Bouguernya mempunyai koreksi paling minimum dengan profil topografi.
 - Secara analitik, yaitu menggunakan persamaan matematis untuk menghitung koefisien korelasi dari semua data pengukuran yang ada. Cara ini sangat baik karena memasukkan semua data pengukuran gravitasi sehingga menjadi korelasi silang antara dua dimensi. Persamaan analitik yang digunakan untuk menghitung koefisien korelasi (k) adalah:

$$k = \frac{\sum_{k=1}^n [\Delta g_k(\rho_1) - \Delta g][h_k - h]}{\sqrt{\sum_{k=1}^n [\Delta g_k(\rho_1) - \Delta g(\rho_1)]^2} \sqrt{\sum_{k=1}^n [h_k - h]^2}} \quad (2.13)$$

Dengan $\Delta g(\rho)$ adalah anomali Bouguer sederhana. Jika $k = 0$ maka harga elevasi tidak terkoreksi, yang berarti densitas yang diasumsikan merupakan harga densitas massa topografi yang tepat.

- e. 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 dengan ketinggian. Hal ini menyebabkan korelasi antara topografi dan g akan mengacu pada lapisan Bouguer. Dengan mengplot harga $\Delta g_{obs} = 0,3086h$ pada sumbu X terhadap harga $(-0,0419h + TC)$ pada sumbu Y dimana TC adalah koreksi medan, kemudian dicari persamaan garis regresinya melalui titik nol, maka harga koefisien kemiringan akan mendekati harga ρ .

1.5.2 Koreksi Medan (*Terrain Correction*)

Koreksi medan digunakan untuk menghilangkan pengaruh efek pada massa disekitar titik pengamatan. Adanya bukit dan lembah disekitar titik amat akan mengurangi besarnya medan gaya berat yang sebenarnya. Karena efek tersebut sifatnya mengurangi medan gaya berat yang sebenarnya di titik amat maka koreksi medan harus ditambahkan terhadap nilai medan gaya berat.

Adanya efek medan akibat terdapat bukit ataupun lembah disekitar titik pengukuran yang dapat menyebabkan efek penambahan ataupun pengurangan nilai gaya berat pengukuran. Oleh karena itu dilakukan koreksi medan. Koreksi

medan didapatkan dengan *Hammer Chart*. Persamaan yang digunakan pada koreksi ini adalah (Burger dalam Taufiqudin, 2012):

$$TC = 2\pi\gamma\rho \left[R_2 - R_1 + \sqrt{(R_1^2 - \Delta h^2)} - \sqrt{(R_2^2 - \Delta h^2)} \right] \quad (2.14)$$

Dimana:

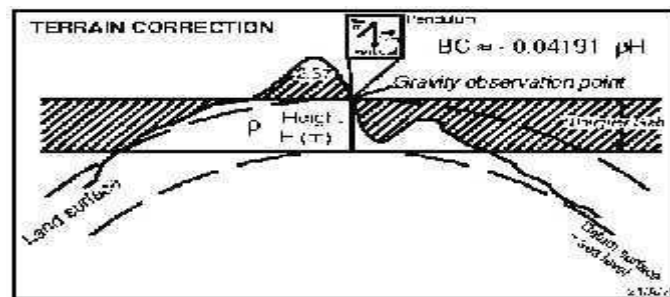
γ = Konstanta gravitasi ($6.67 \times 10^{-11} \text{ N.m}^2\text{kg}^{-2}$)

ρ = Densitas rata-rata daerah penelitian (kg^{-3})

R_1 = Radius bagian dalam suatu zona (m)

R_2 = Radius bagian luar dalam satu zona (m)

Δh = Beda ketinggian dari titik pengamatan (m)



Gambar 2.3 Koreksi Topografi (Zhou dalam Tematur, 2018)

1.5.3 Anomali Bouguer

Menurut Telford, massa di bawah permukaan tidak diperhitungkan pada koreksi udara bebas perhitungan ketinggian. Massa tersebut mempengaruhi nilai gaya berat yang ditimbulkan. Koreksi Bouguer digunakan untuk menghilangkan gaya berat yang ditimbulkan akibat massa tersebut. Hasil akuisisi data berupa data mentah yang kemudian diolah dan dikoreksi sehingga didapatkan hasil untuk diinterpretasikan keadaan bawah permukaan. Setelah melalui beberapa tahap koreksi gaya berat maka didapatkan data jadi. Persamaan untuk mendapatkan nilai anomali Burger adalah (Wachidah, 2017):

$$ABL = g_{obs} - (g_{\phi} - FAC + BC - TC)$$

$$ABL = g_{obs} - g_{\phi} + FAC - BC + TC \quad (2.15)$$

Dimana:

ABL = Anomali Bouguer Lengkap

g_{obs} = Nilai gravitasi observasi (mGal)

g_{ϕ} = Nilai gravitasi koreksi lintang (mGal)

FAC = *Free Air Correction* (Koreksi Udara Bebas)

BC = *Burger Correction* (Koreksi Burger)

TC = *Terrain Correction* (Koreksi Medan)

1.5.4 Anomali Percepatan Gravitasi

Setelah dilakukan konversi terhadap percepatan gravitasi hasil pengukuran, maka akan diperoleh anomaly percepatan gravitasi yaitu (Blakely dalam Dzakiya, 2014):

a) Anomali Udara Bebas (Δg_{fa})

$$\Delta g_{fa} = g_{ob} - g_n + 0,03086h + T_{dc} \quad (2.16)$$

b) Anomali Bouguer Lengkap (g_{bg})

- Anomali Bouguer Sederhana (Δg_{bgs})

$$\Delta g_{bgs} = g_{ob} - g_n + 0.03086h - 0.04193 \rho h + T_{dc} \quad (2.17)$$

- Anomali Bouguer Lengkap (Δg_{bg})

$$\Delta g_{bg} = g_{ob} - g_n + 0,03086h - 0,04193 \rho h + T_c + T_{dc} \quad (2.18)$$

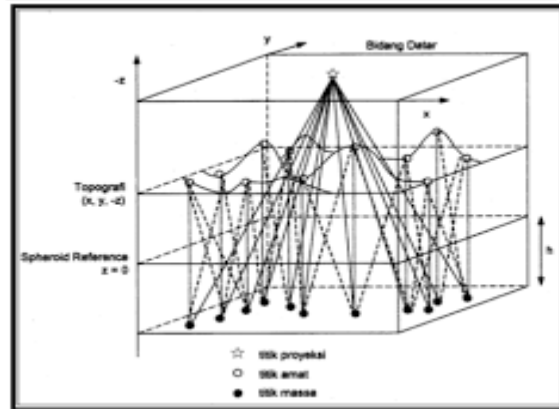
1.6 Reduksi Bidang Datar

Data Anomali Burger Lengkap (ABL) yang dihasilkan dari proses reduksi bidang, terpapar pada permukaan topografi pada ketinggian yang bervariasi dapat menyebabkan distorsi pada data gravitasi. Untuk mencegah terjadinya distorsi dapat dilakukan dengan cara membawa ABL ke bidang datar pada ketinggian tertentu dengan menggunakan metode sumber ekuivalen titik massa (Dampney dalam Dzakiya, 2014). Proses yang dilakukan oleh metode *Dampney* yaitu dengan menentukan sumber ekuivalen titik massa diskrit dengan memanfaatkan data ABL pada kedalaman tertentu di bawah permukaan (Gambar 2.5).

Data anomali gravitasi yang ada pada titik-titik tidak beraturan dengan ketinggian yang berbeda dapat dibuat suatu sumber ekuivalen titik-titik massa diskrit diatas bidang datar pada kedalaman tertentu di bawah permukaan bumi. Kedalaman bidang sumber ekuivalen titik-titik massa tidak boleh berubah dari batas tertentu jarak stasiun. Setelah data ekuivalen diperoleh, maka percepatan gravitasi akibat sumber ekuivalen dapat dihitung secara teoritis sesuai dengan yang kita inginkan. Sifat dasar dari suatu medan gravitasi yaitu ketidakteraturan dalam menentukan sumber penghasil medan gravitasi tersebut. Persamaan dasar yang digunakan dalam proses ini adalah (Dampney dalam Dzakiya, 2014):

$$\Delta g(x, y, z) = G \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{\rho(\alpha, \beta, h)(h-z)d\alpha d\beta}{((x-\alpha)^2 + (y-\beta)^2 + (z-h)^2)^{3/2}} \quad (2.19)$$

dimana $\rho(\alpha, \beta, h)$ adalah distribusi kontras densitas yang meliputi bidang $z = h$, G adalah konstanta gravitasi umum, z adalah sumbu tegak dengan arah positif ke bawah, h adalah kedalaman ekuivalen titik-titik massa (sumber pengganti) dari permukaan.



Gambar 2.4 Sumber Ekuivalen Titik Massa

1.7 Kontinuasi ke Atas (*Upward Continuation*)

Kontinuasi ke atas adalah langkah perubahan data medan potensial yang diukur pada suatu *level* permukaan menjadi data yang seolah-olah diukur pada *level* permukaan yang lebih atas. Kontinuasi ke atas juga merupakan salah satu metode yang digunakan sebagai filter yang berguna menghilangkan bising yang ditimbulkan oleh benda-benda dekat permukaan.

$$U(x, y, z_0 - \Delta z) = \frac{\Delta z}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{U(x' y' z_0)}{((x-x')^2 + (y-y')^2 + \Delta z^2)} dx' dy' \quad (2.20)$$

Dimana:

$U(x, y, z_0 - \Delta z)$ = Harga medan potensial pada bidang hasil kontinuasi

$U(x' y' z_0)$ = Harga medan potensial pada bidang observasi sebenarnya

Δz = Jarak atau ketinggian pengangkatan (Blakely dalam

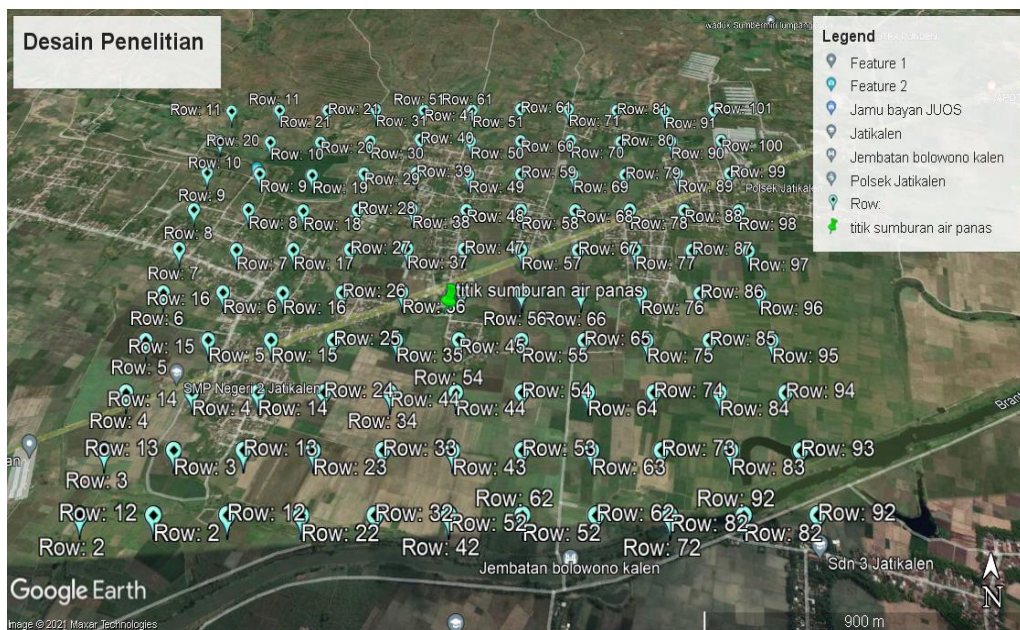
Purnmo, 2013).

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian dilakukan di sekitar mata air panas Banyu Biru yang terletak di Desa Gondangwetan Kecamatan Jatikalén Kabupaten Nganjuk. Batas wilayah daerah penelitian $7^{\circ}52'12.02''$ LS $112^{\circ}10'8.58''$ BT sampai $7^{\circ}50'25.65''$ LS $112^{\circ}12'9.19''$ BT dengan luasan area $2 \text{ km} \times 2 \text{ km}$. Desain penelitian dapat dilihat pada gambar 3.1.



Gambar 3.1 Area Penelitian

3.2 Jenis dan Sumber Data

Data yang digunakan pada penelitian ini yaitu data gravity *GGMPlus* yang merupakan jenis data sekunder. Datanya berupa grid dengan spasi antar titik 200 meter. Data yang digunakan sebanyak 100 data dengan luas spasi $2 \text{ km} \times 2 \text{ km}$.

Data gravitasi *GGMPlus* dapat diakses di web <http://murray-lab.caltech.edu/GGMplus/submitter.php>.

3.3 Alat dan Bahan Penelitian

Alat dan bahan pada penelitian kali ini adalah:

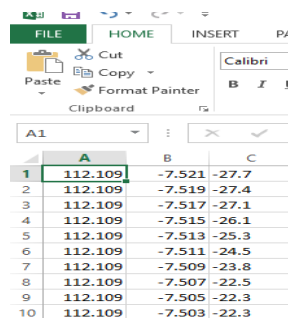
1. *Hardware*: Menggunakan seperangkat laptop.
2. *Software*: *software Microsoft Excel 2013*, *software Oasis Montaj*, *Global Mapper 15*, *software matlab 2013* dan *surfer 13*.

3.4 Prosedur Pelaksanaan Penelitian

Prosedur pelaksanaan penelitian ini ada tiga tahap yaitu pengumpulan data, tahap pengolahan data, dan tahap interpretasi data.

3.4.1 Pengumpulan Data

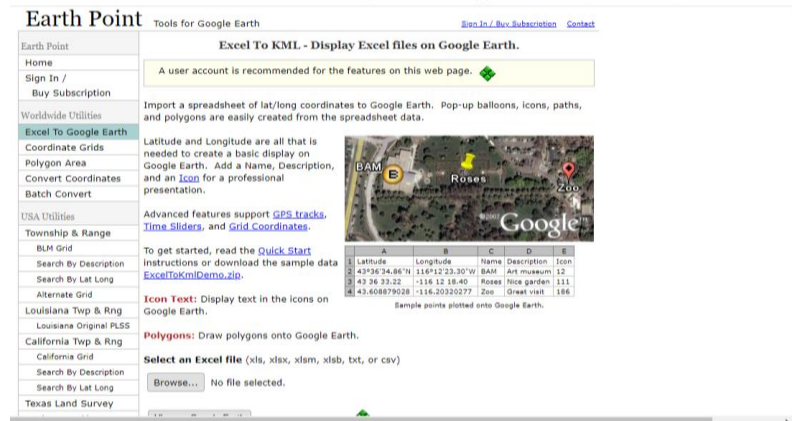
Penelitian ini menggunakan data *GGMPlus* beresolusi tinggi yang dapat diakses melalui <http://murray-lab.caltech.edu/GGMplus/index.html>. Masukan dari *GGMPlus* ini berupa titik koordinat (lintang dan bujur) maksimum dan minimum dari lokasi penelitian. Sedangkan output dari data ini berupa titik koordinat (bujur dan lintang) dan nilai *Free Air Correction* (FAA) yang kemudian di ekstrak sesuai dengan format yang diinginkan. Data *GGMPlus* memberikan gambaran tentang gravitasi bumi dengan spasi sekitar 200 m dan diperoleh sebanyak 100 data.



	A	B	C
1	112.109	-7.521	-27.7
2	112.109	-7.519	-27.4
3	112.109	-7.517	-27.1
4	112.109	-7.515	-26.1
5	112.109	-7.513	-25.3
6	112.109	-7.511	-24.5
7	112.109	-7.509	-23.8
8	112.109	-7.507	-22.5
9	112.109	-7.505	-22.3
10	112.109	-7.503	-22.3

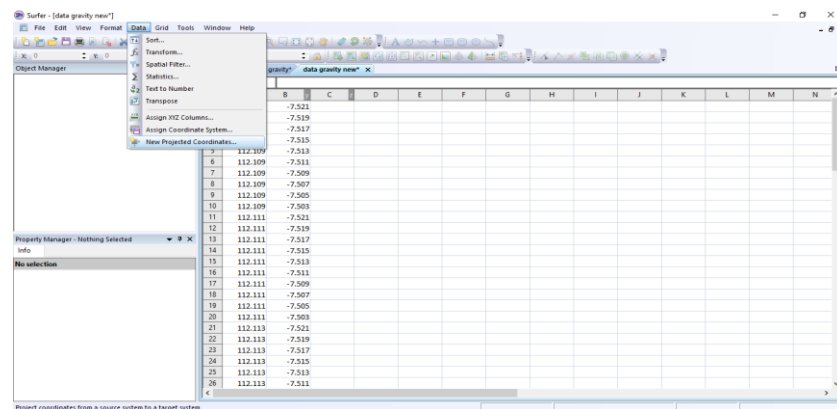
Gambar 3.2 Data yang Diperoleh

Selanjutnya memetakan data yang diperoleh ke dalam *google earth* yang akan dirubah dari data excel ke KML untuk munculkan menjadi titik *point* pada daerah penelitian. Seperti gambar di bawah ini

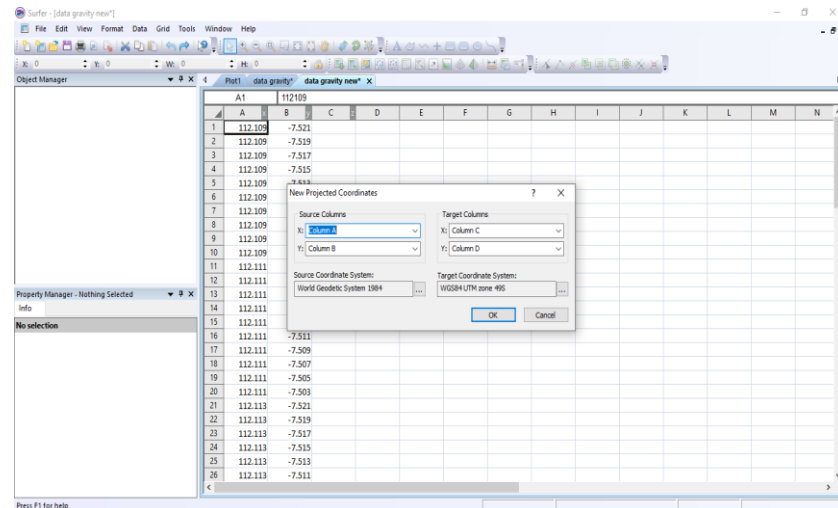


Gambar 3.3 Excel to KML

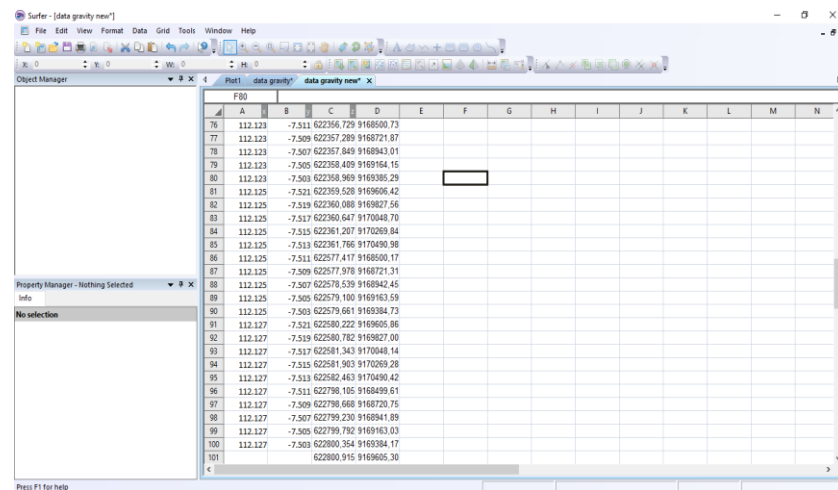
Setelah data dimunculkarn, untuk mencari nilai elevasi cukup dengan menekan pada setiap titik *point*. Kemudian mengubah koordinat DD (*decimal degree*) ke koordinat UTM menggunakan *surfer 13* dengan data yang dibuat di *Mc.Excel* dengan mangatur source Coordinate System dengan *World Geodetic System 1985* dan mengatur target *Coordinate System* dengan *WGS84 UTM Zone 49S* (Catatan : atur UTM Zone sesuai dengan lokasi daerah penelitian), seperti pada gambar di bawah ini.



Gambar 3.4 New Projected Coordinates



Gambar 3.5 Source Coordinate System dan Coordinate System



Gambar 3.6 Koordinat DD dan Koordinat UTM

3.4.2 Pengolahan Data

Pengolahan data dimulai dengan beberapa koreksi seperti koreksi *Bouguer*, Terrain Correction, dan mencari ABL. Pada metode gravitasi ini juga dilakukan beberapa transformasi yaitu reduksi bidang datar dan kontinuasi keatas (*upward continuation*).

3.4.2.1 Proses Koreksi Metode Gravity

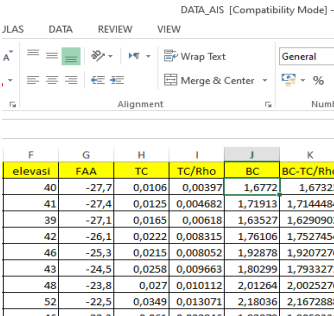
1. Perhitungan Densitas Parasnis

Metode parasnis merupakan pendekatan analitis yang mirip dengan metode grafik Netelton, bahwa tidak ada korelasi antara topografi dan

densitas permukaan sehingga anomali tersebar secara acak bersamaan dengan ketinggian. Penentuan densitas dalam metode ini yaitu dengan membuat grafik antara nilai anomali udara bebas dan koreksi bouguer. Dimana persamaan metode parsnis adalah

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

- a. Pertama dengan membuat tabel berisikan jumlah data, elevasi, nilai FAA, dan nilai TC sementara. Dimana pada nilai TC sementara merupakan nilai densitas standar untuk pengerjaannya, sedangkan perbedaan dari nilai TC sementara dengan koreksi medan yaitu pada nilai densitas yang digunakan pada metode parsnis ini. Pada TC/Rho yaitu dengan memasukkan Rho standar 2,67 dan selanjutnya nilai BC sementara menggunakan rumus $=0,04193 * \text{elevasi}$ dan untuk selanjutnya nilai BC-(TC-Rho) akan menunjukkan pada gambar di bawah ini.

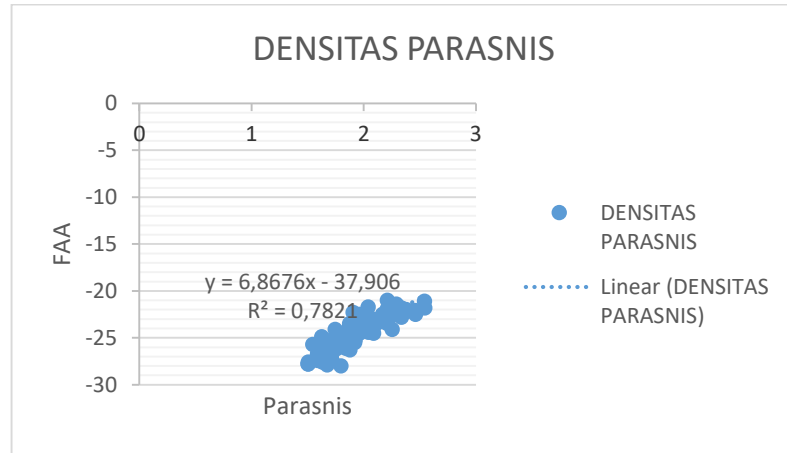


F	G	H	I	J	K
elevasi	FAA	TC	TC/Rho	BC	BC-TC/Rho
40	-27,7	0,0106	0,00397	1,6772	1,67323
41	-27,4	0,0125	0,004682	1,71913	1,7144484
39	-27,1	0,0165	0,00618	1,63527	1,6290902
42	-26,1	0,0222	0,008315	1,76106	1,7527454
46	-25,3	0,0215	0,008052	1,92878	1,9207276
43	-24,5	0,0258	0,009663	1,80299	1,7933271
48	-23,8	0,027	0,010112	2,01264	2,0025276
52	-22,5	0,0349	0,013071	2,18036	2,1672888
46	-22,3	0,061	0,022846	1,92878	1,9059336

Gambar 3.7 Tabel Parsnis

- b. Kedua, setelah semua kolom selesai. Kemudian akan diplot ke dalam grafik dengan memasukkan nilai X dan Y, dimana nilai X adalah nilai dari BC-(TC/Rho) dan Y merupakan nilai FAA. Setelah grafik

muncul maka akan mendapatkan nilai ($y = ax+b$), a disini berupa densitas yang bernilai 6,8676 seperti pada gambar di bawah ini.



Gambar 3.8 Grafik Parasnis

ROW	latitude	longitude	UTM X	UTM Y	elevasi(m)	FAA (mGal)	TC	TC/Rho	BC	BC-TC/Rho	K.Bouguer(mGal)
R2	-7.521	112.109	622356,7	9168501	40	-27,7	0,0106	0,00397	1,6772	1,67323	11,44873492
R3	-7.519	112.109	622357,3	9168722	41	-27,4	0,0125	0,004682	1,71913	1,7144484	11,73495329
R4	-7.517	112.109	622357,8	9168943	39	-27,1	0,0165	0,00618	1,63527	1,6290902	11,16251655
R5	-7.515	112.109	622358,4	9169164	42	-26,1	0,0222	0,008315	1,76106	1,7527454	12,02117167
R6	-7.513	112.109	622359	9169385	46	-25,3	0,0215	0,008052	1,92878	1,9207276	13,16604516
R7	-7.511	112.109	622359,5	9169606	43	-24,5	0,0258	0,009663	1,80299	1,7933271	12,30799004
R8	-7.509	112.109	622360,1	9169828	48	-23,8	0,027	0,010112	2,01264	2,0025276	13,7384819
R9	-7.507	112.109	622360,6	9170049	52	-22,5	0,0349	0,013071	2,18036	2,1672888	14,8833554
R10	-7.505	112.109	622361,2	9170270	46	-22,3	0,061	0,022846	1,92878	1,9059336	13,16604516

Gambar 3.9 Koreksi Bouguer

2. Perhitungan Anomali Bouguer Sederhana (ABS)

Nilai Anomali Bouguer Sederhana didapatkan dari koreksi *Bouguer* yang dikurangi dengan nilai FAA pada *Mr.Excel* seperti pada gambar 4.9

$$ABS = FAA - BC \tag{3.2}$$

DATA_AIS [Compatibility Mode] - Microsoft Excel

REVIEW VIEW

General

Alignment Number

Conditional Formatting Table Styles

G	H	I	J	K	L	M
FAA (mGal)	TC	TC/Rho	BC	BC-TC/Rho	K.Bouguer(mGal)	ABS
-27,7	0,0106	0,00397	1,6772	1,67323	11,44873492	-39,1487
-27,4	0,0125	0,004682	1,71913	1,7144484	11,73495329	-39,135
-27,1	0,0165	0,00618	1,63527	1,6290902	11,16251655	-38,2625
-26,1	0,0222	0,008315	1,76106	1,7527454	12,02117167	-38,1212
-25,3	0,0215	0,008052	1,92878	1,9207276	13,16604516	-38,466
-24,5	0,0258	0,009663	1,80299	1,7933271	12,30739004	-36,8074
-23,8	0,027	0,010112	2,01264	2,0025276	13,7384819	-37,5385
-22,5	0,0349	0,013071	2,18036	2,1672888	14,8833554	-37,3834
-22,3	0,061	0,022846	1,92878	1,9059336	13,16604516	-35,466

Gambar 3.10 Perhitungan Nilai ABS

3. Koreksi Medan (*Terrain Correction*)

Pada perhitungan koreksi medan dilakukan dengan *software global mapper* dan *software oasis montaj* dengan memasukkan data koordinat titik ukur, peta DEM, dan nilai elevasi.

- Membuat referensi arah/batas (utara, selatan, timur, barat) seperti pada gambar di bawah ini.

Koordinate (UTM)		Referensi Arah	
Latitude	Longitude		
622356,7	9168500,7	Utara	=MAX(Sheet2!B3:B102)
622357,3	9168721,9	Selatan	9168495,658
622357,8	9168943	Timur	624348,0467
622358,4	9169164,1	Barat	622356,7287

Gambar 3.11 Referensi Arah Utara

Koordinate (UTM)		Referensi Arah	
Latitude	Longitude		
622356,7	9168500,7	Utara	9170490,977
622357,3	9168721,9	Selatan	=MIN(B3:B102)
622357,8	9168943	Timur	624348,0467
622358,4	9169164,1	Barat	622356,7287

Gambar 3.12 Referensi Arah Selatan

Koordinate (UTM)		Referensi Arah	
Latitude	Longitude		
622356,7	9168500,7	Utara	9170490,977
622357,3	9168721,9	Selatan	9168495,658
622357,8	9168943	Timur	=MAX(A3:A102)
622358,4	9169164,1	Barat	622356,7287

Gambar 3.13 Referensi Arah Timur

Koordinate (UTM)		Referensi Arah	
Latitude	Longitude		
622356,7	9168500,7	Utara	9170490,977
622357,3	9168721,9	Selatan	9168495,658
622357,8	9168943	Timur	624348,0467
622358,4	9169164,1	Barat	=MIN(A3:A102)

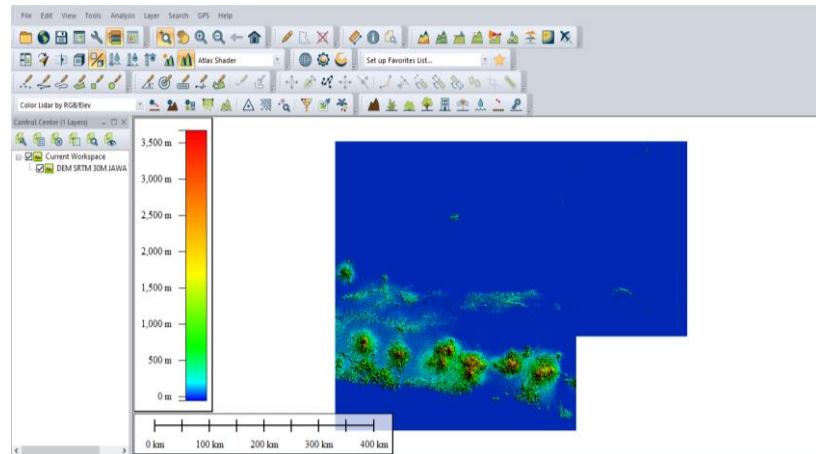
Gambar 3.14 Referensi Arah Barat

- b. Membuat batas regional dan lokal dengan cara untuk batas regional menambah referensi arah sebesar 5.000 (utara dan timur) mengurangi referensi arah sebesar 5.000 (selatan dan barat). Sedangkan untuk batas regional dengan menambahkan referensi arah sebesar 2.000 (utara dan timur) dan mengurangi referensi arah sebesar 2.000 (selatan dan barat), seperti perhitungan pada gambar di bawah ini.

Regional	
Utara	9175490,977
Selatan	9163495,658
Timur	629348,0467
Barat	617356,7287
Lokal	
Utara	9172490,977
Selatan	9166495,658
Timur	626348,0467
Barat	620356,7287

Gambar 3.15 Referensi Arah Regional dan Lokal

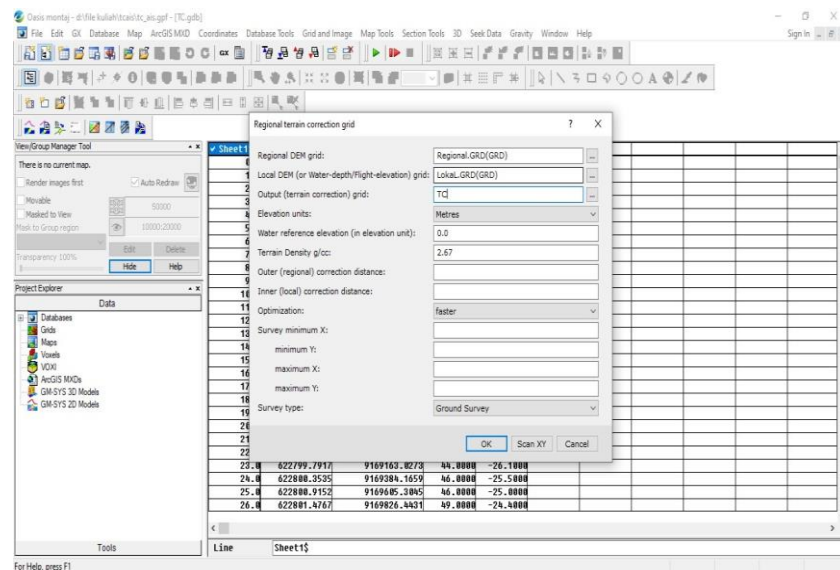
- c. Masukkan data yang sudah diolah di atas ke dalam software global mapper untuk di plot. Setelah *global mapper* dibuka, selanjutnya data DEM dibuka dengan format srtm yang disesuaikan dengan lokasi daerah penelitian.



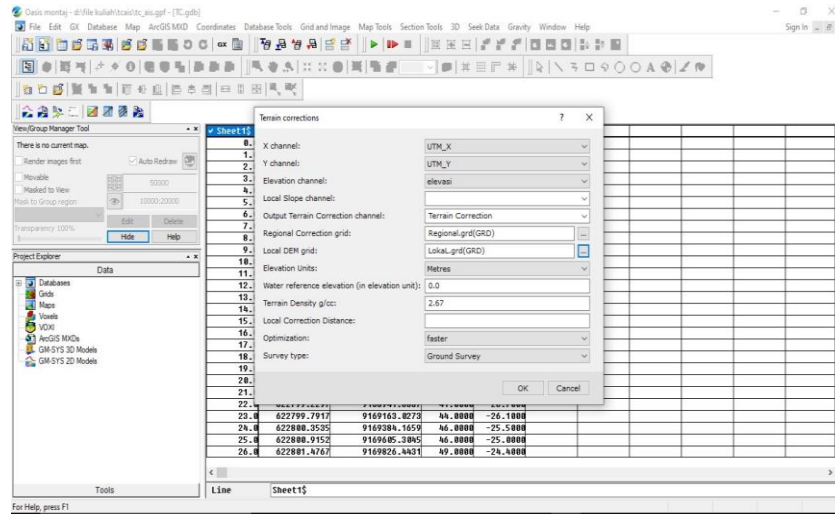
Gambar 3.16 Gambar Peta DEM

Selanjutnya memasukkan data batas regional dan lokal dan disimpan dalam bentuk format *Geosoft grid file*. Langkah berikutnya membuat data inputan pada *software oasis montaj* dengan *software Mr.Excel* yang akan digunakan untuk proses koreksi medan. Format inputan berupa keterangan stasiun, *easting*, *norting*, *latitude*, *longitude*, dan elevasi.

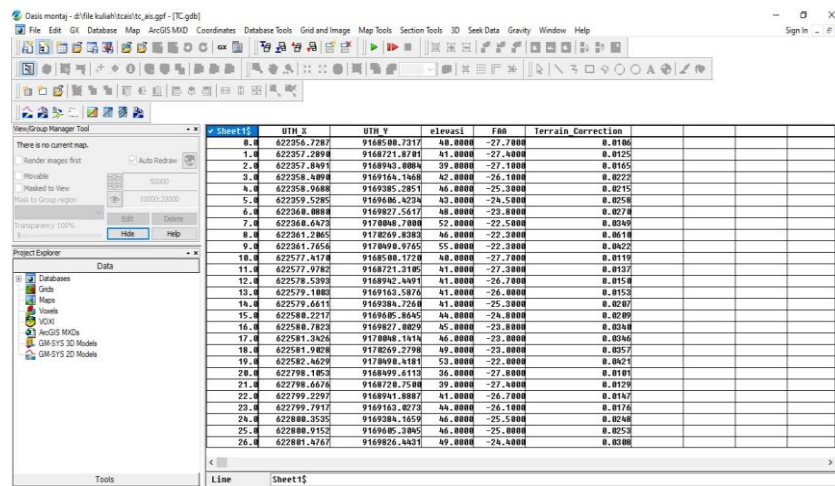
- d. Masukkan grid regional dan lokal dari hasil pengolahan pada *software global mapper*, sebelum itu pilih *load menu > gravity* untuk mengaktifkan fitur koreksi *gravity*.



Gambar 3.17 Regional Terrain Correction Grid



Gambar 3.18 Terrain Corrections



Gambar 3.19 Database Terrain Correction

4. Perhitungan Anomali Bouguer Lengkap (ABL)

Setelah data bacaan gravitasi dikoreksi maka didapatkan nilai anomali Bouguer lengkap dengan menggunakan persamaan:

$$ABL = ABS + TC \tag{3.3}$$

TC	TC/Rho	BC	BC-TC/Rho	K.Bouguer(mGal)	ABS	ABL
0,0106	0,00397	1,6772	1,67323	11,44873492	-39,1487	=M2+H2
0,0125	0,004682	1,71913	1,7144484	11,73495329	-39,135	-39,1225
0,0165	0,00618	1,63527	1,6290902	11,16251655	-38,2625	-38,246
0,0222	0,008315	1,76106	1,7527454	12,02117167	-38,1212	-38,099

Gambar 3.20 Anomali Bouguer Lengkap

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

3.4.2.2 Proses Transformasi

1. Reduksi Bidang Datar

Nilai anomali Burger merupakan hasil dari beberapa koreksi berupa nilai yang masih terpapar oleh topografi yang terletak pada titik yang tidak beraturan. Sehingga perlu dilakukan reduksi bidang datar dengan membawa nilai anomali ke suatu bidang yang sama dengan menggunakan pendekatan *Dampney* menggunakan *software matlab 2013*. Sebelum menjalankan software Matlab terlebih dahulu membuat data inputan reduksi bidang datar dengan memasukkan koordinat UTM (x,y), elevasi, nilai anomali bouguer lengkap.

2. Pemisahan Anomali (*Upward Continuation*)

Anomali Bourguer terdiri dari anomali regional dan anomali lokal. Anomali lokal disebabkan oleh adanya pengaruh batuan yang terletak pada keadaan dangkal. Sedangkan anomali regional disebabkan karena pengaruh batuan yang letaknya lebih dalam. Metode pemisahan anomali regional dan

lokal ini dilakukan pada ketinggian tertentu agar dapat diperoleh anomali residual yang akurat. *Upward continuation* dilakukan menggunakan *software magpick*. Setelah didapatkan anomali lokal dan regional, kemudian dilakukan penggambaran kontur menggunakan *software surfer13*.

3. Pemodelan Struktur Bawah Permukaan

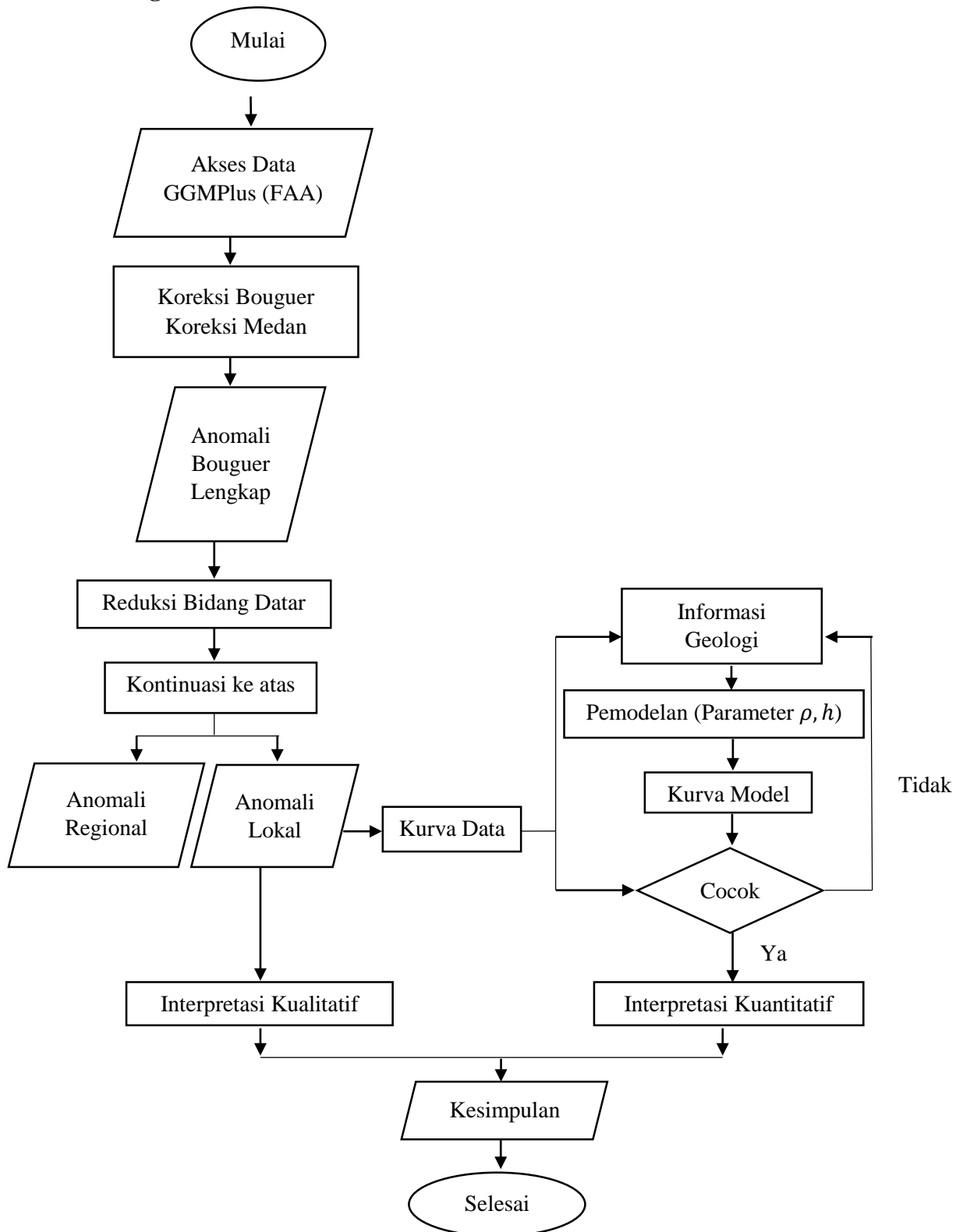
Pemodelan ini dilakukan dengan membuat model struktur bawah permukaan dengan parameter ρ (densitas) dan h (kedalaman) menggunakan *software oasis montaj* untuk memodelkan kondisi dibawah permukaan dengan mencocokkan dari informasi geologi daerah penelitian. Dengan nilai input anomali lokal yang telah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

3.5 Interpretasi Data

Interpretasi data dilakukan dengan melihat sebaran anomali Bouguer dan anomali lokal yang didasarkan data geologi daerah yang bersangkutan sehingga diperoleh gambaran benda bawah permukaan penyebab anomali struktur bawah permukaan di daerah panas bumi.

Interpretasi data dilakukan menggunakan dua cara yaitu interpretasi kuantitatif dan interpretasi kualitatif. Interpretasi kualitatif dilakukan dengan cara membaca peta kontur anomali lokal, sedangkan analisa kuantitatif dapat dilakukan menggunakan *Oasis Montaj* dengan menganalisa penampang pola anomali sepanjang lintasan tertentu yang telah ditentukan.

3.5 Diagram Alir

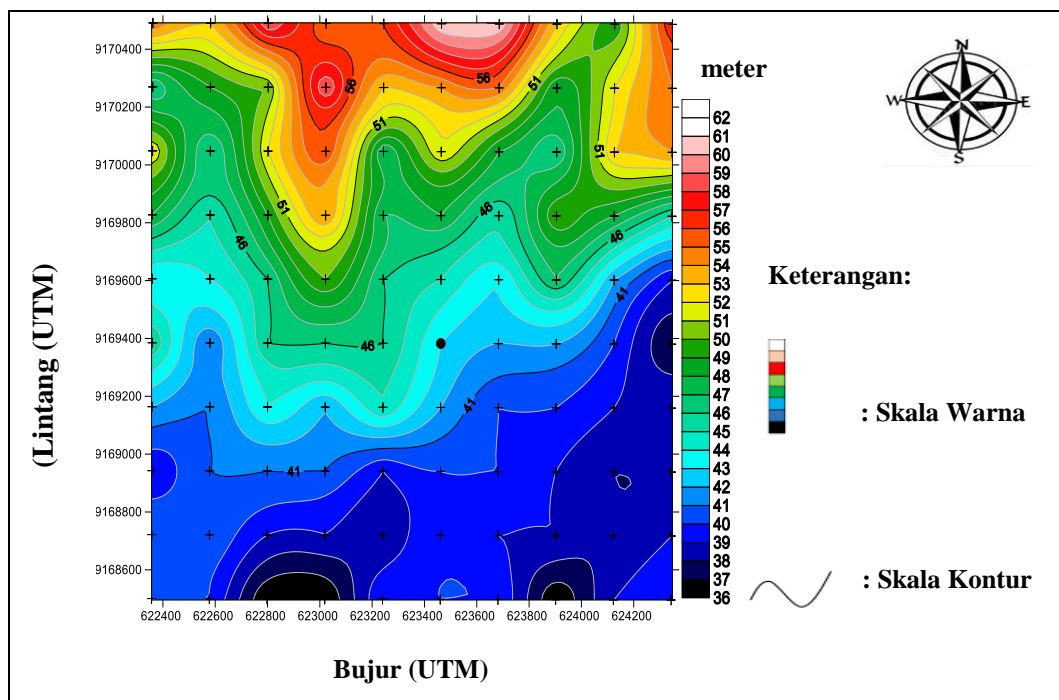


Gambar 3.21 Diagram Alir

BAB IV

ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

Salah satu metode geofisika yang digunakan adalah metode gaya berat (*gravity*) untuk mengetahui gambaran struktur geologi bawah permukaan berdasarkan variasi medan gravitasi yang disebabkan oleh perbedaan densitas batuan. sehingga *output* dari *GGMPlus* berupa titik koordinat lintang dan bujur, nilai anomali udara bebas (*Free Air Correction*). Data yang diperoleh dari *GGMPlus* berjumlah 100 data dengan spasi antar titik pengukuran 200 meter yang berlokasi di daerah pemandian air panas banyu biru, Gondangwetan, Jatikalen, Nganjuk. Dengan ketinggian rata-rata pada daerah tersebut 45,29 meter.



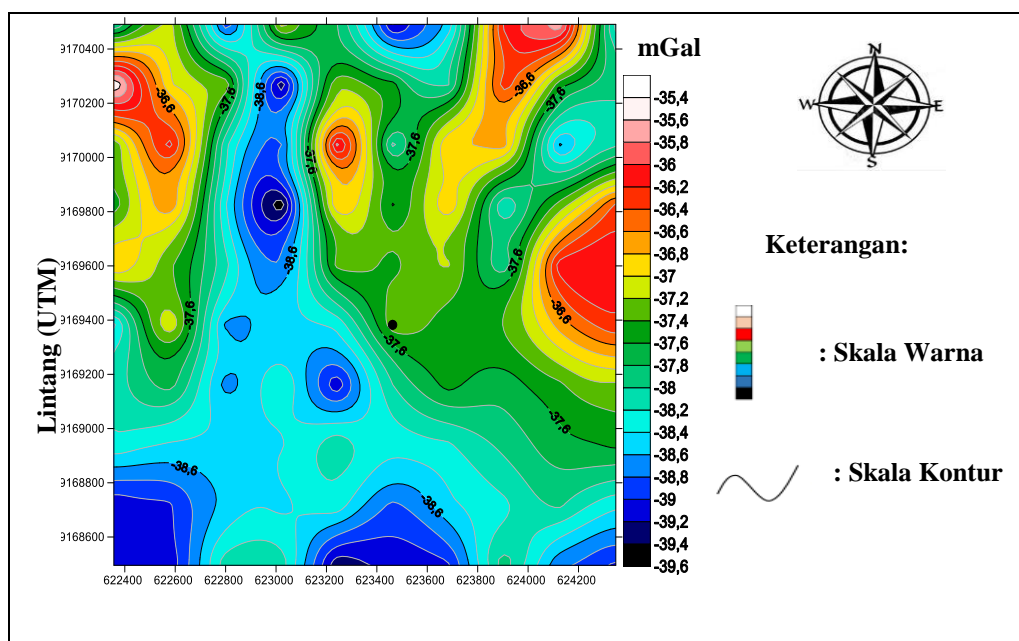
Gambar 4.1 Kontur Topografi dan Titik Pengukuran

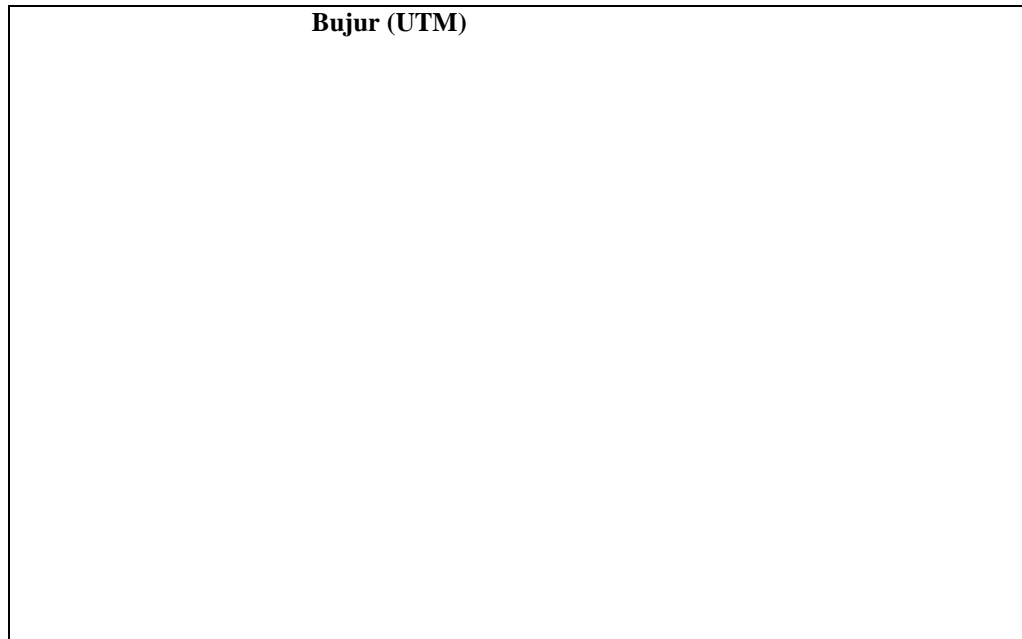
Gambar 4.22 merupakan topografi daerah disekitar penelitian yang berada di Desa Gondangwetan, Kecamatan Jatikalen, Kabupaten Nganjuk. Area penelitian ini terletak pada koordinat $7^{\circ}52'12.02''$ LS $112^{\circ}10'8.58''$ BT sampai $7^{\circ}50'25.65''$ LS $112^{\circ}12'9.19''$ BT. Bentuk topografi dari daerah penelitian tersebut tidak datar

dengan ketinggian minimum 36 meter dan maksimum 61 meter. Dapat dilihat bahwa daerah yang berwarna biru tua hingga biru muda termasuk daerah topografi yang rendah, persebarannya disekitar semburan mengarah dari barat daya ke timur dengan ketinggian antara 36 meter – 44 meter. Warna hijau hingga kuning termasuk daerah topografi yang sedang, persebarannya terletak dari barat laut ke timur laut dengan ketinggian antara 45 meter – 52 meter. Sedangkan warna oranye hingga merah termasuk dalam daerah topografi yang tinggi di bagian utara dengan ketinggian antara 53 meter – 61 meter.

4.1 Anomali Bouguer Lengkap

Nilai ABL sudah diketahui maka dilanjutkan dengan membuat kontur menggunakan *software surfer 13* dengan menginput nilai bujur dan lintang pada koordinat UTM serta nilai ABL. Kemudian dilanjutkan dengan plotting data pada *software surfer 13* dengan memunculkan *fitur levels* dan *fill contour* (rainbow 2), maka akan muncul tampilan gambar seperti di bawah ini.





Gambar 4.2 Kontur Anomali Bouguer Lengkap

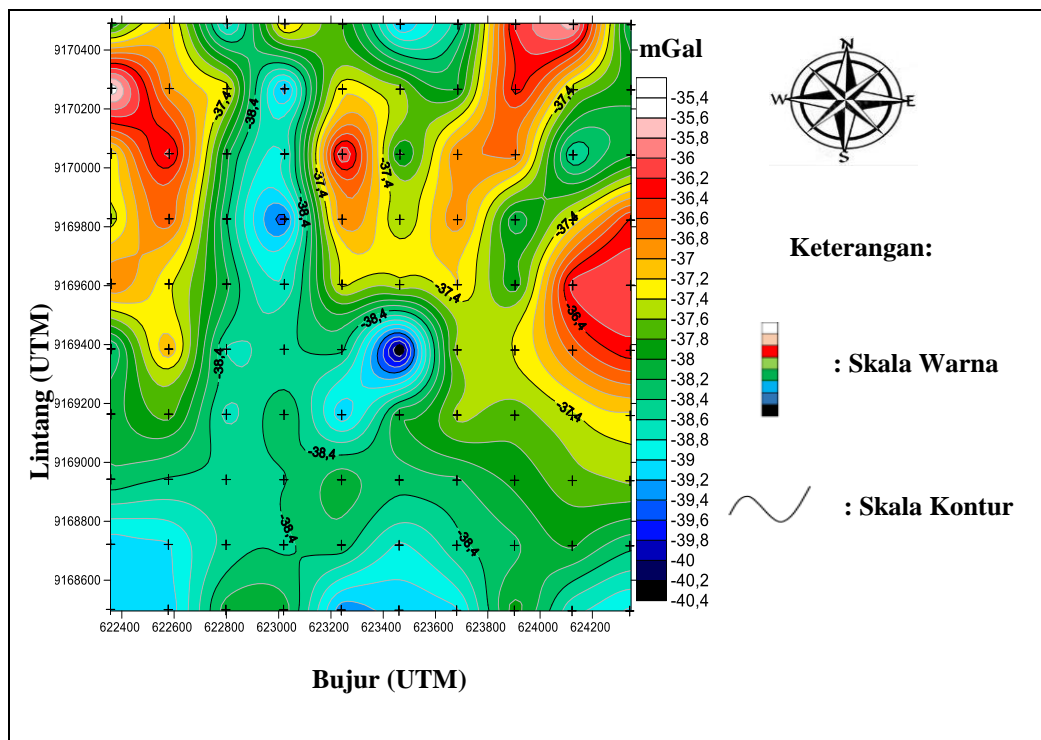
Dari peta kontur dapat diketahui daerah yang memiliki nilai anomali terendah sampai tertinggi berdasarkan distribusi warna tersebut. Nilai Anomali Bouguer Lengkap berkisar antara -39,5 mGal sampai -35,4 mGal dengan tiga pola anomali yang berbeda. Anomali rendah dengan warna biru yang terletak di bagian barat laut sampai selatan dengan nilai anomali -39,6 mGal sampai -38,2 mGal. Anomali sedang dengan warna hijau yang terletak menyebar di sekitar daerah penelitian dengan nilai anomali -38 mGal sampai -36,8 mGal. Anomali tinggi dengan warna merah yang terletak di bagian barat laut yaitu dengan nilai -36,4 mGal sampai -35,4 mGal.

4.2 Interpretasi Kualitatif

Interpretasi kualitatif merupakan suatu bentuk penafsiran berdasarkan pola anomali gravitasi dengan cara menghubungkan tatanan geologi daerah setempat dengan memberikan gambaran struktur geologi bawah permukaan daerah penelitian.

4.2.1 Reduksi Bidang Datar

Anomali Bouguer Lengkap yang diperoleh terletak pada bidang yang bervariasi, sehingga masih ada distorsi nilai pada permukaan yang tidak rata. Maka perlu dilakukan reduksi bidang datar pada ketinggian rata-rata. Proses reduksi bidang datar ini menggunakan pendekatan metode *Dampney* dengan memanfaatkan nilai Anomali Bouguer Lengkap yang dihitung menggunakan *software matlab2008*. Dengan menginput *equivalent depth* sebesar 562 meter, *height of plane* sebesar -45,29 meter, nilai *tolerance* 0,000001 mGal, literasi 100 dan RMS error sebesar 0,874662%. Kemudian dikontur menggunakan *software surfer 13*, maka didapatkan hasil reduksi bidang datar pada gambar 4.3 sebagai berikut.



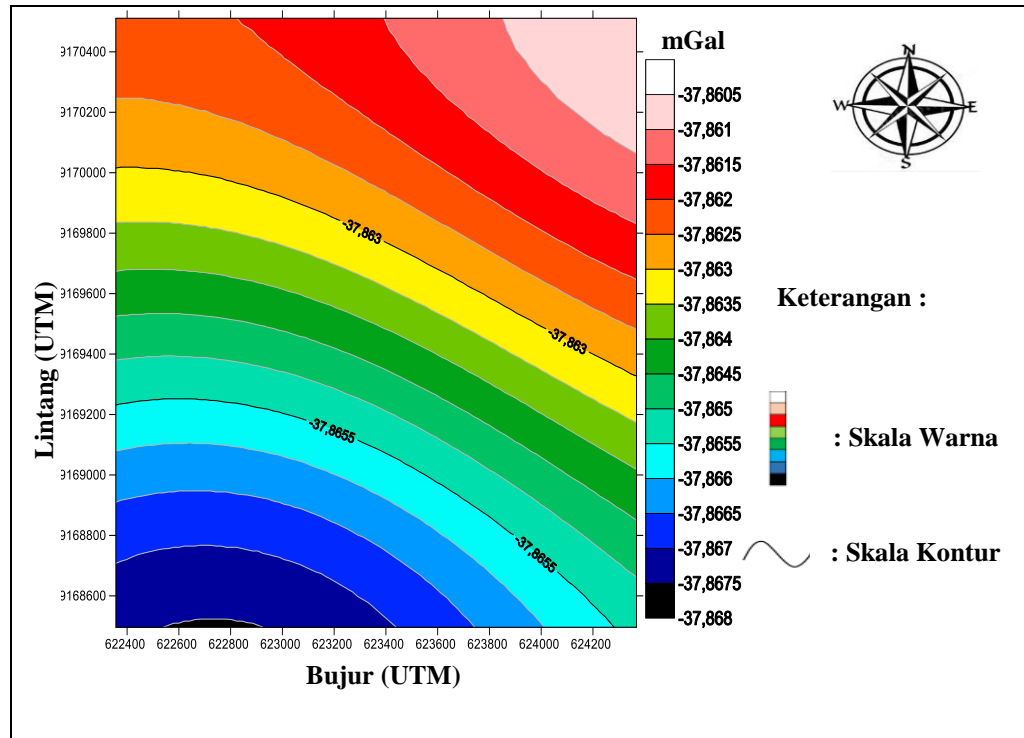
Gambar 4.3 Kontur Anomali Setelah Reduksi Bidang Datar

Gambar diatas merupakan hasil reduksi bidang datar. Dari gambar kontur anomali Bouguer setelah direduksi dapat diketahui nilai anomalnya yang berkisar antara -40,4 mGal sampai -35,4 mGal. Dimana titik semburan air panas termasuk

dalam anomali rendah antara -40,2 mGal sampai -38,4 mGal. Pada kontur hasil reduksi bidang datar menampilkan kontur yang mirip dengan anomali Bouguer lengkap dengan nilai anomali yang sedikit lebih rendah dari anomali Bouguer Lengkap sebelum direduksi.

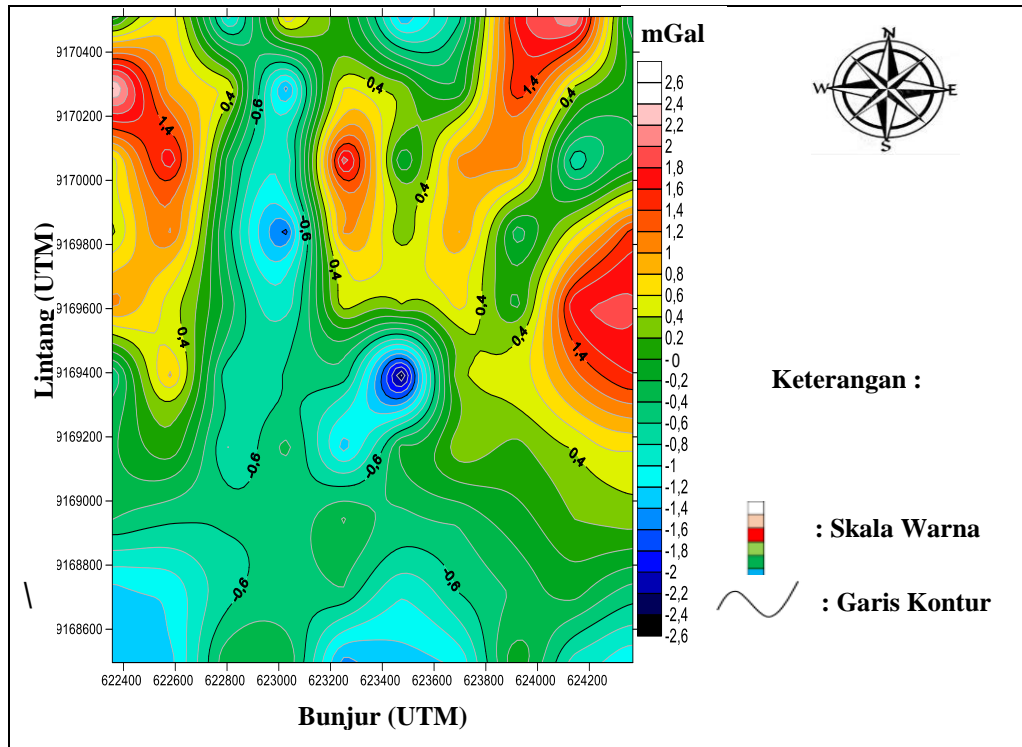
4.2.2 Kontinuasi Keatas (*Upward Continuation*)

Data anomali pada bidang datar yang diperoleh merupakan data anomali regional yang masih terpapar oleh anomali lokal. Oleh karena itu, perlu dilakukan kontinuasi keatas untuk memisahkan anomali lokal dan regional menggunakan *software magpick* lalu dikontur pada *software surfer13*. Tahap kontinuasi ke atas yaitu dengan mengubah data seolah-olah diukur di titik yang lebih atas berguna untuk menghilangkan *noise* akibat benda-benda dekat permukaan, *noise* disini bisa berupa tinggi rendahnya topografi pada titik pengukuran. Setelah dilakukan beberapa kali proses pengangkatan mulai dari 1000 meter - 3700 meter dengan selisih pengangkatan sebesar 100 meter, sehingga hasil kontinuasi ke atas yang paling bagus yaitu pada pengangkatan 3500 meter. Nilai anomali regional pada pengangkatan ini sangat berpengaruh sehingga perlunya pengangkatan pada ketinggian yang optimal, seperti yang ditunjukkan pada gambar di bawah ini.



Gambar 4.4 Kontur Anomali Regional Hasil Kontinuasi Keatas

Nilai anomali regional yang didapatkan yaitu diantara -37,868 mGal sampai -37,8605 mGal dengan selisih nilai anomali 0,0005 mGal. Jika dilihat dari gambar diatas sudah tidak ada lagi *closure-closure* yang tertutup. Nilai anomali rendah berada pada barat daya dengan warna hitam sampai biru yang bernilai -37,868 mGal sampai -37,865 mGal. Sedangkan nilai anomali sedang berada pada bagian tengah dengan warna hijau muda sampai kuning yang bernilai -37,865 mGal sampai -37,863 mGal. Nilai anomali tinggi ditunjukkan pada warna oranye sampai putih dengan nilai -37,8625 mGal sampai -37,8605 mGal.



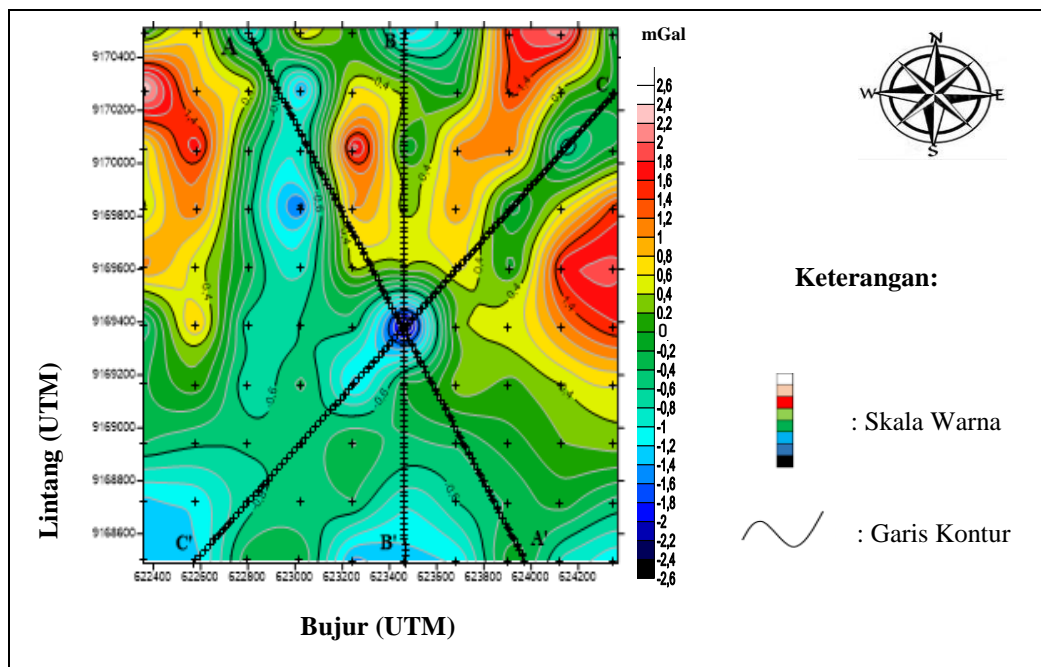
Gambar 4.5 Kontur Anomali Lokal Hasil Kontinuasi ke Atas

Nilai anomali lokal antara -2,6 mGal hingga 2,6 mGal. Pada bagian tengah tepat pada titik daerah penelitian dengan nilai -2,6 mGal hingga -0,8 mGal merupakan anomali rendah. Sedangkan anomali sedang tersebar sebagian besar pada wilayah barat daya hingga tenggara dan utara dengan nilai anomali sebesar -0,6 mGal hingga 0,4 mGal. Sedangkan anomali tinggi tersebar pada daerah timur, timur laut dengan nilai 0,6 mGal sampai 2,2 mGal dan tersebar juga di bagian wilayah barat laut dengan nilai 0,6 mGal sampai 2,6 mGal. Pada penelitian kali ini terdapat nilai anomali negatif dan positif, nilai positif menunjukkan bahwa nilai densitas pada struktur batuan di bawah permukaan bernilai tinggi. Sebaliknya, jika anomali bernilai negatif menunjukkan bahwa densitas pada batuan di bawah permukaan bernilai rendah. Semakin besar nilai gravitasi, maka semakin padat batuan di bawah permukaan, seperti struktur geologi berupa sesar

atau patahan yang memiliki nilai gravitasi rendah karena memiliki rongga yang berkaitan dengan rendahnya densitas batuan.

4.3 Interpretasi Kuantitatif

Setelah memisahkan nilai anomali lokal dan regional, selanjutnya nilai anomali Bouguer lengkap lokal yang kemudian diinterpretasi. Interpretasi kuantitatif dilakukan dengan cara menganalisis penampang anomali lokal dari beberapa hasil *slice* dengan pemodelan yang dilakukan menggunakan *software Oasis Montaj*. Prinsip kerja dari *software* ini berupa *forward modelling* dengan menyamakan bentuk kurva model yang berbentuk garis tegas dengan kurva data berupa garis titik. Pada tahap pemodelan ini dilakukan dengan metode *trial and error* yaitu dengan mencoba agar mendapatkan hasil *error* yang terkecil. Profil *slice* dapat dilihat pada gambar 4.25 di bawah ini.



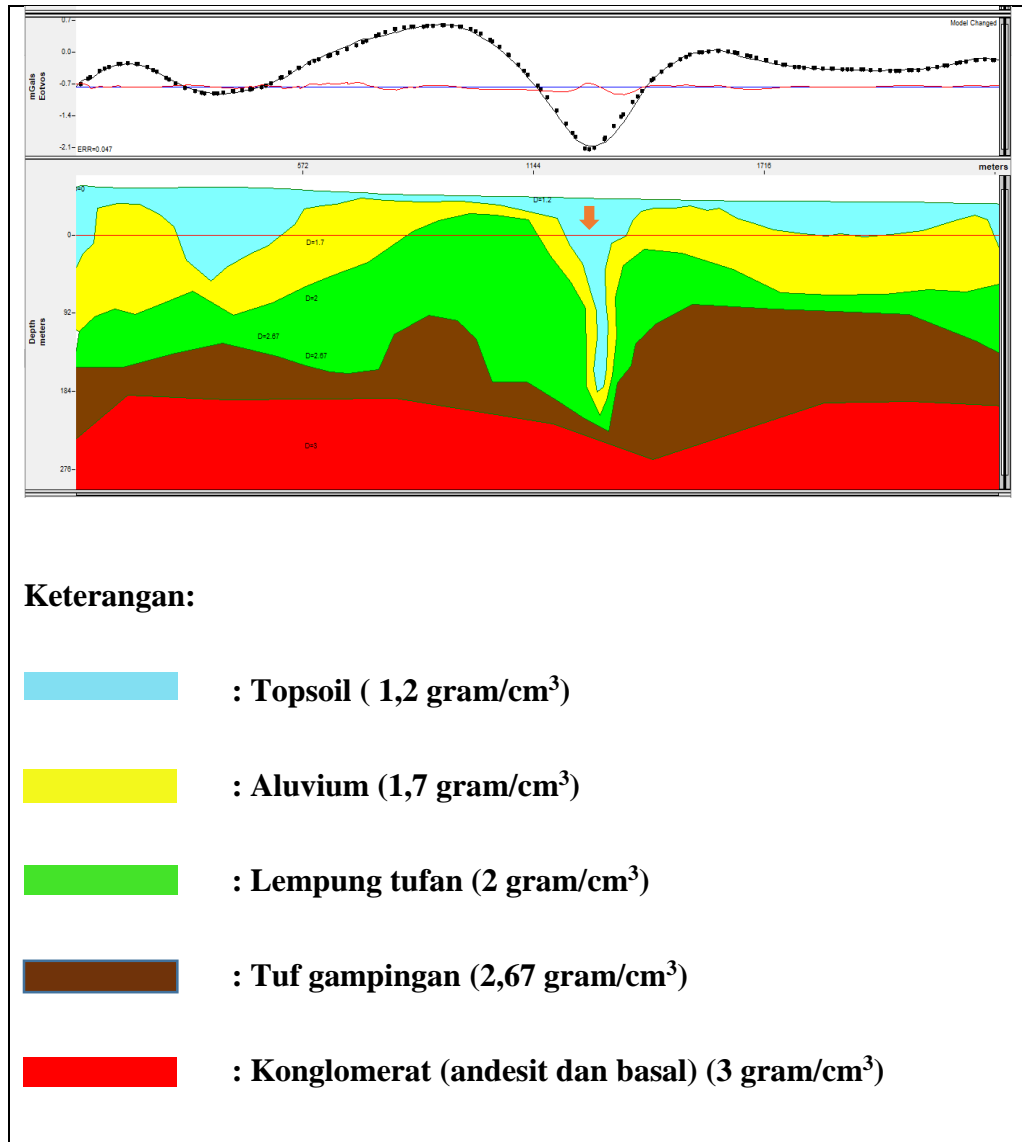
Gambar 4.6 Profil *Slice* A-A', B-B', dan C-C' pada Kontur Anomali Lokal

Interpretasi dilakukan berdasarkan pada gambar 4.25 Pada anomali lokal yang diiris dengan mengacu pada titik semburan air. Pada interpretasi kali ini dilakukan pemodelan dari 3 penampang irisan yaitu penampang A-A', B-B', dan C-C'. Interpretasi kuantitatif dilakukan berdasarkan hasil penafsiran kualitatif sehingga dapat ditentukan bagian-bagian penampang anomali yang menarik untuk di tafsirkan struktur geologinya.

Dalam interpretasi kuantitatif ini terdapat ambiguitas karena perbedaan model yang dihasilkan karena adanya parameter rapat massa, geometri, dan kedalaman yang tidak pasti. Oleh karenanya, diperlukan data pendukung berupa data geologi daerah penelitian, nilai rapat massa batuan.

4.3.1 Interpretasi Penampang Irisan A-A'

Garis A-A' memotong titik semburan air panas pada Gambar 4.7 yang memiliki panjang lintasan 2326 meter dengan kedalaman pemodelan 300 meter. Penampang *slice* A-A' terdiri dari 5 lapisan dengan nilai error 0,047%.



Gambar 4.7 Model 2D Bawah Permukaan Pada Sayatan A-A'

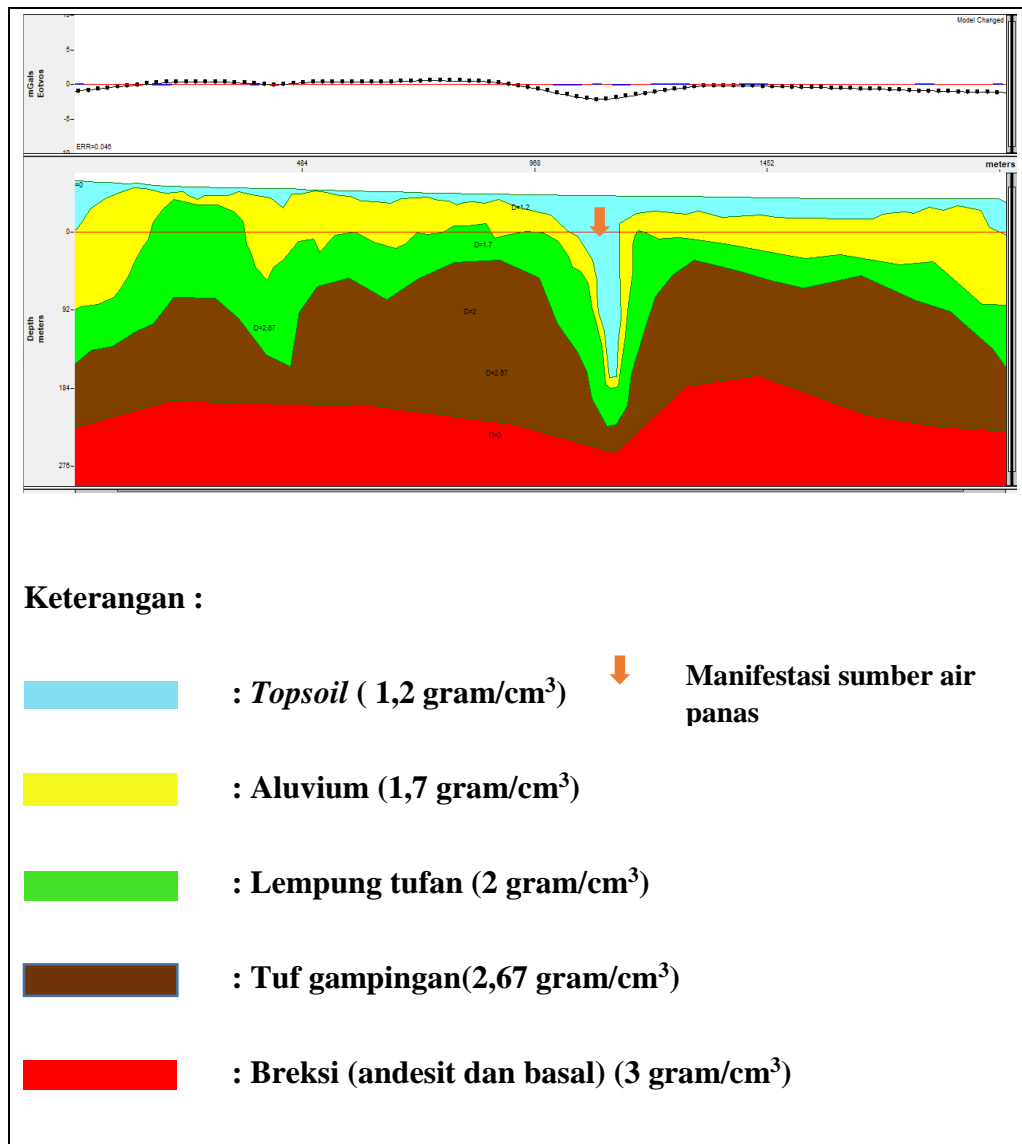
Interpretasi struktur batuan pada daerah tersebut didasarkan pada informasi Lembar Geologi Kediri. Dimana lokasi penelitian berada pada Formasi Aluvium, Formasi Notopuro, Formasi Kabuh, dan Formasi Pucangan.

Dapat dilihat pada gambar 4.26 pada pemodelan bawah permukaan penampang slice A-A' yang terdiri dari 5 lapisan. Pada lapisan pertama berwarna biru muda sebagai lapisan atas diinterpretasikan sebagai *topsoil* (tanah) yang memiliki nilai densitas 1,2 gram/cm³ dengan ketebalan 5 meter di atas permukaan air laut sampai 225 meter di bawah permukaan air laut. Pada lapisan

kedua berwarna kuning diinterpretasikan sebagai alluvium berupa kerikil, kerakal, pasir yang memiliki densitas $1,7 \text{ gram/cm}^3$ masuk dengan ketebalan 10 meter di atas permukaan air laut sampai 126 meter di bawah permukaan air laut. Pada lapisan ketiga yang berwarna hijau diinterpretasikan sebagai lempung tufan dengan densitas sebesar 2 gram/cm^3 masuk dalam Formasi Kabuh dengan ketebalan 14 meter sampai 195 meter di bawah permukaan air laut. Pada lapisan keempat berwarna coklat tua diinterpretasikan sebagai tuf gampingan dengan densitas sebesar $2,67 \text{ gram/cm}^3$ masuk dalam Formasi Notopuro dengan kedalaman 13 meter sampai 164 meter di bawah permukaan air laut. Pada lapisan terakhir yakni kelima yang berwarna merah diinterpretasikan sebagai breksi berkomponen andesit dan basal yang memiliki densitas sebesar 3 gram/cm^3 masuk dalam Formasi Pucangan dengan ketebalan 36 meter sampai 106 meter di bawah permukaan air laut.

4.3.2 Interpretasi Penampang Irisan B-B'

Garis B-B' memotong titik semburan air panas pada Gambar 4. yang memiliki panjang lintasan 2009 meter dengan kedalaman pemodelan 300 meter. Penampang *slice* B-B' terdiri dari 5 lapisan dengan nilai error 0,046 %.



Gambar 4.8 Model 2D Bawah Permukaan Pada Sayatan B-B'

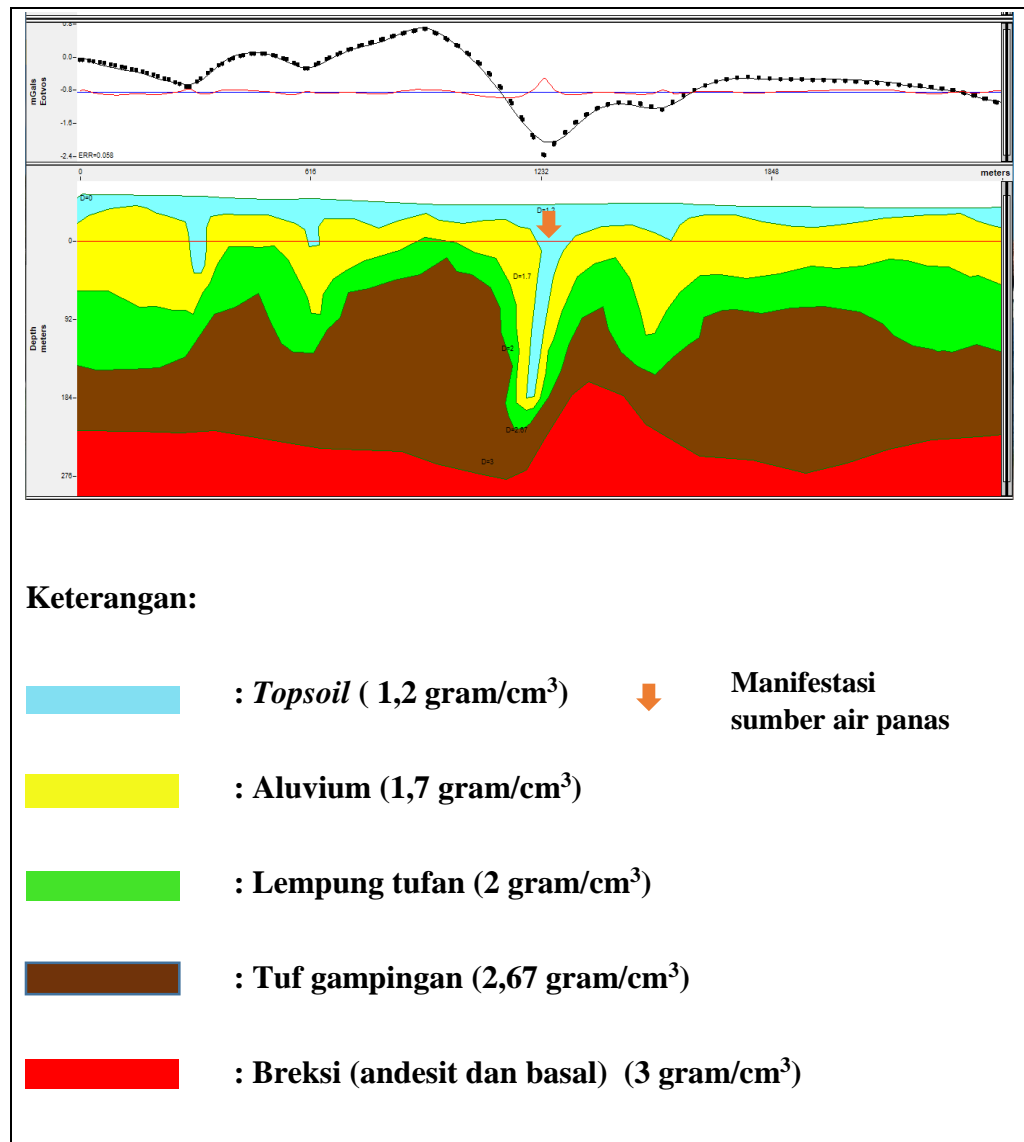
Interpretasi struktur batuan pada daerah tersebut didasarkan pada informasi Lembar Geologi Kediri. Dimana lokasi penelitian berada pada Formasi Aluvium, Formasi Notopuro, Formasi Kabuh, dan Formasi Pucangan.

Dapat dilihat pada gambar 4.8 pada pemodelan bawah permukaan penampang slice B-B' yang terdiri dari 5 lapisan. Pada lapisan pertama berwarna biru muda sebagai lapisan atas diinterpretasikan sebagai *topsoil* (tanah) yang memiliki nilai densitas 1,2 gram/cm³ dengan ketebalan 5 meter di atas permukaan air laut sampai 214 meter di bawah permukaan air laut. Pada lapisan

kedua berwarna kuning diinterpretasikan sebagai dengan ketebalan 5 meter sampai 121 meter di bawah permukaan air laut. Pada lapisan ketiga yang berwarna hijau diinterpretasikan sebagai lempung tufan dengan densitas sebesar 2 gram/cm^3 masuk dalam Formasi Kabuh dengan ketebalan 20 meter sampai 110 meter di bawah permukaan air laut. Pada lapisan keempat berwarna coklat tua diinterpretasikan sebagai tuf gampingan dengan densitas sebesar $2,67 \text{ gram/cm}^3$ Formasi Notopuro dengan ketebalan 30 meter sampai 188 meter di bawah permukaan air laut. Pada lapisan terakhir yakni kelima yang berwarna merah diinterpretasikan sebagai breksi berkomponen andesit dan basal yang memiliki densitas sebesar 3 gram/cm^3 masuk dalam Formasi Pucangan dengan ketebalan 40 meter sampai 130 meter di bawah permukaan air laut

4.3.3 Interpretasi Penampang Irisan C-C'

Garis C-C' memotong titik semburan air panas pada Gambar 4. yang memiliki panjang lintasan 2510 meter dengan kedalaman pemodelan 300 meter. Penampang *slice* B-B' terdiri dari 5 lapisan dengan nilai error 0,058%.



Gambar 4.9 Model 2D Bawah Permukaan Pada Sayatan C-C'

Interpretasi struktur batuan pada daerah tersebut didasarkan pada informasi Lembar Geologi Kediri. Dimana lokasi penelitian berada pada Formasi Aluvium, Formasi Notopuro, Formasi Kabuh, dan Formasi Pucangan.

Dapat dilihat pada gambar 4.9 pada pemodelan bawah permukaan penampang slice C-C' yang terdiri dari 5 lapisan. Pada lapisan pertama berwarna biru muda sebagai lapisan atas diinterpretasikan sebagai *topsoil* (tanah) yang memiliki nilai densitas 1,2 gram/cm³ dengan ketebalan 10 meter di atas permukaan air laut sampai 223 meter di bawah permukaan air laut. Pada lapisan

kedua berwarna kuning diinterpretasikan sebagai alluvium (kerikil, kerakal, dan pasir) yang memiliki densitas $1,7 \text{ gram/cm}^3$ dengan ketebalan 5 meter sampai 112 meter di bawah permukaan air laut. Pada lapisan ketiga yang berwarna hijau diinterpretasikan sebagai lempung tufan dengan densitas sebesar 2 gram/cm^3 masuk dalam Formasi Kabuh dengan ketebalan 10 meter sampai 100 meter di bawah permukaan air laut. Pada lapisan keempat berwarna coklat tua diinterpretasikan sebagai tuf gampingan dengan densitas sebesar $2,67 \text{ gram/cm}^3$ masuk dalam Formasi Notopuro dengan ketebalan 26 meter sampai 135 meter di bawah permukaan air laut. Pada lapisan terakhir yakni kelima yang berwarna merah diinterpretasikan sebagai breksi berkomponen andesit dan basal yang memiliki densitas sebesar 3 gram/cm^3 masuk dalam Formasi Pucangan dengan ketebalan 20 meter sampai 134 meter di bawah permukaan air laut.

Pada cekungan di atas diduga merupakan sinkholes yang merupakan lubang pada tanah yang terjadi akibat proses alami. Lubang tanah ini diakibatkan tekanan terhadap permukaan tanah yang terjadi ketika sebuah lapisan bawah tanah melemah dan tak mampu menopang struktur lapisan di atasnya. Peristiwa ini sering terjadi di mana batuan di bawah permukaan tanah adalah batu gamping, dolomit, batuan karbonat, atau jenis batuan yang dapat secara alami dihanyutkan oleh sirkulasi air tanah. Adanya formasi batu gamping penyebab utama larutnya batuan disekitar karena pengaruh air dan terbentuknya cekungan di bawah permukaan seperti gambar di atas.

4.3.4 Hasil Interpretasi Penampang Irisan A-A', B-B', dan C-C'

Berdasarkan hasil pada setiap *slice* mempunyai 5 lapisan yang sama. Lapisan pertama berwarna biru muda sebagai *topsoil* (tanah) dengan nilai

densitas $1,2 \text{ gram/cm}^3$. Pada lapisan kedua berwarna kuning diinterpretasikan sebagai aluvium (kerikil, kerakal, dan pasir) dengan nilai densitas $1,7 \text{ gram/cm}^3$. Pada lapisan ketiga berwarna hijau diinterpretasikan sebagai lempung tufan dengan densitas sebesar 2 gram/cm^3 . Pada lapisan keempat berwarna coklat tua diinterpretasikan sebagai tuf gampingan dengan densitas sebesar $2,67 \text{ gram/cm}^3$. Pada lapisan terakhir yakni kelima yang berwarna merah diinterpretasikan sebagai konglomerat berkomponen andesit dan basal yang memiliki densitas sebesar 3 gram/cm^3 . Titik semburan air panas ditunjukkan pada panah gambar 4.9.

Berdasarkan gambar pemodelan diatas dapat diidentifikasi ada cekungan yang cukup dalam, diduga merupakan sebuah energi yang berasal dari inti bumi. Berdasarkan geologi daerah penelitian, titik semburan berada pada formasi Qp_{nv} yang tersusun dari batuan breksi, batupasir, batugamping, batu lempung.

Energi panas bumi yang berasal dari inti bumi baik di luar atau batuan yang berasal dari magma yang menyebabkan terjadinya panas bumi. Air yang secara tidak langsung berkontak langsung dengan magma (batuan panas) maka akan otomatis memanaskan air yang ada diatasnya sampai pada suhu yang sangat tinggi. Akibat adanya celah pada kerak bumi maka air yang terpanaskan akan mengalami penguapan dan akan berusaha keluar, itulah yang mengakibatkan adanya sumber air panas (*hot spring*).

Adanya mata air panas (*hot springs*) di daerah hidrotermal desa Jatikalen, Nganjuk merupakan indikasi kemungkinan adanya suatu sistem geotermal. Perubahan fisika batuan reservoir seperti porositas dan permeabilitas dapat terjadi karena alterasi hidrotermal, sedangkan pengaruh dari alterasi hidrotermal adalah menurunnya porositas. Manifestasi panas bumi di permukaan diduga

dapat terjadi akibat adanya perambatan panas dari bawah permukaan atau adanya rekahan-rekahan yang memungkinkan fluida panas bumi (uap dan air panas) mengalir ke permukaan.

Berdasarkan peta data geologi yang sudah ada. Diduga reservoir berada di lapisan kedua yaitu alluvium yang terdiri dari kerakal, kerikil, dan pasir karena memiliki komponen yang kasar atau batuan yang kasar dan pasir sendiri memiliki permeabilitas yang tinggi. Untuk batuan penutup berada pada lapisan ketiga lempung tuff karena lempung sendiri memiliki tekstur yang halus sehingga diduga dapat menahan air pada alluvium. Air panas dalam kulit bumi merubah mineral batuan menjadi batuan lempung (*argillic alteration*) yang lama kelamaan membentuk lapisan penutup (*cap rock*) yang kedap air, sehingga air panas susah untuk naik ke permukaan. Air yang terjebak dapat ditahan adanya lempung yang dapat menahan air karena tekstur yang halus. Sedangkan sifat dari batuan tuff yaitu kasar sehingga memiliki permeabilitas yang besar dan pada batuan ini juga mengandung adanya klorit yang membantu meningkatkan kualitas pada batuan reservoir. Sedangkan pada formasi yang ada pada paling bawah ini terdapat batuan breksi yang berkomponen andesit dan basal. Sehingga sumber panas diduga berasal dari batuan andesit sehingga merambat ke lapisan atasnya dimana andesit sangat mudah terkonveksi karena mempunyai porositas yang sangat tinggi. Sehingga dapat diduga air bisa terjebak pada pori-pori yang tinggi yang memungkinkan adanya proses pemanasan saat bersentuhan dengan batuan panas yang kemudian menjadi *hydrothermal*.

Interpretasi ini juga berdasarkan penelitian sebelumnya dengan metode gravitasi yang dilakukan oleh Hidayat, N dan Abdul Basid (2011) yang menyimpulkan bahwa reservoir pada sistem geothermal di daerah penelitian

adalah batuan breksi gunungapi diduga sebagai batuan reservoir atau batuan sarang dalam sistem geothermal yang ada di sekitar Candi Songgoriti karena memiliki sifat kesarangan yang cukup baik. Sedangkan batuan penutup (*cap rock*) yang merupakan lapisan penahan fluida panas dari reservoir diperkirakan merupakan batuan tufaan yang terlempungkan, karena sifat impermeable dari batuan tersebut.

Sehingga susunan dari batuan terhadap potensi *geothermal* memiliki susunan yang sama yaitu batuan breksi dan batuan lempung. Batuan breksi yang berasal dari gunungapi diduga sebagai batuan reservoir. Sedangkan batuan penutup (*cap rock*) yang merupakan lapisan penahan fluida panas dari reservoir diperkirakan merupakan batuan tufaan yang terlempungkan, karena sifat impermeable dari batuan tersebut. Karena batuan breksi vulkanik sangat baik dalam kesarangan, batuan ini diduga sebagai batuan sarang (penampung) fluida yang telah terpanaskan oleh batuan pemanas, dengan batuan breksi tufaan terlempungkan sebagai *caprock* (tudung) dari manifestasi sistem geothermal berupa air panas yang ada di Nganjuk.

4.4 Integrasi dan Hikmah Penelitian

Di dalam Alquran sendiri pada Surah Al-Mu'minun/23 ayat 18-20 menerangkan bahwa bumi dan sumber daya alam berupa panas bumi (*Gheothermal*) baik itu tumbuhan, air agar dimanfaatkan dengan sebaik-baiknya. Seperti yang terkandung dalam ayat berikut:

وَأَنْزَلْنَا مِنَ السَّمَاءِ مَاءً بِقَدَرٍ فَأَسْكَنَّاهُ فِي الْأَرْضِ وَإِنَّا عَلَىٰ ذَهَابٍ بِهِ لِقَادِرُونَ {18} فَأَنْشَأْنَا لَكُمْ بِهِ جَنَّاتٍ مِّنْ نَّخِيلٍ وَأَعْنَابٍ لَّكُمْ فِيهَا فَوَاحٍ كَثِيرَةٌ وَمِنْهَا تَأْكُلُونَ {19} وَشَجَرَةً تَخْرُجُ مِنْ طُورٍ سَيْنَاءَ تَنْبُتُ بِالذُّهْنِ وَصِبْغٍ لِلْكَالِينِ {20}

Artinya: "Dan Kami turunkan air dari langit menurut suatu ukuran; lalu Kami jadikan air itu menetap di bumi, dan Sesungguhnya Kami benar-benar berkuasa menghilangkannya. Lalu dengan air itu, Kami tumbuhkan untuk kamu kebun-kebun kurma dan anggur; di dalam kebun-kebun itu kamu peroleh buah-buahan yang banyak dan sebahagian dari buah-buahan itu kamu makan. Dan pohon kayu keluar dari Thursina (pohon zaitun), yang menghasilkan minyak, dan pemakan makanan bagi orang-orang yang makan." (Departemen Agama RI, Alquran dan Terjemahnya, (Sygma Examedia Arkanleem, 2012: 343).

Gaya gravitasi merupakan bukti kekuasaan Allah SWT yang telah menciptakan alam semesta dengan sempurna. Seperti yang terkandung dalam ayat berikut:

أَلَمْ تَرَ أَنَّ اللَّهَ سَخَّرَ لَكُمْ مَا فِي الْأَرْضِ وَالْفُلْكَ تَجْرِي فِي الْبَحْرِ بِأَمْرِهِ وَيُمْسِكُ السَّمَاءَ أَنْ تَقَعَ عَلَى الْأَرْضِ إِلَّا بِإِذْنِهِ ۗ إِنَّ اللَّهَ بِالنَّاسِ لَرَّءُوفٌ رَحِيمٌ

Artinya: "Tidakkah engkau memperhatikan bahwa Allah menundukkan bagimu (manusia) apa yang ada di bumi dan kapal yang berlayar di lautan dengan perintah-Nya. Dan Dia menahan (benda-benda) langit agar tidak jatuh ke bumi, melainkan dengan izin-Nya? Sungguh, Allah Maha Pengasih, Maha Penyayang kepada manusia". (Q.S Al-Hajj 22:65)

Gravitasi merupakan salah satu ciptaan Allah Swt yang menentukan keseimbangan alam serta bahtera kehidupan di muka bumi, gravitasi adalah sebuah interaksi tarik menarik yang ada pada setiap makhluk bermassa baik besar maupun kecil, praktisnya setiap segala sesuatu di alam memiliki gravitasi yang berbeda, jauh hari sebelum Issac Newton mendapatkan ilham gravitasi beserta teori-teorinya dari buah apelnya, Al-Quran telah berbicara tentang substansi gravitasi. Jika gravitasi hilang maka dipahami bahwa semua keadaan di atas tidak akan terjadi lagi, dan terjadilah manusia, kendaraan, rumah, gunung akan lepas dari bumi dan beterbangan.

Jumlah bintang-bintang yang ada di alam semesta yang sudah terpantau hanya merepresentasikan 10 persen dari keseluruhan massa yang membentuk alam yang sudah terpantau. Hal ini menunjukkan adanya suatu kekuatan yang bekerja untuk mengaitkan semua benda-benda langit dan mencegahnya dari benturan antara satu

dengan lainnya, yang diatur oleh satu hukum yaitu hukum gravitasi (Hidayatullah, 2012). Pada tafsir al-Mishbah kata السَّمَاءُ berarti segala apa yang ada di atas anda. Dari sini kata tersebut dipahami dalam arti langit yang dalam konteks ayat ini adalah bendabenda langit. Ada juga yang memahami dalam arti hujan karena hujan turun dari atas/awan. Jika makna kedua ini yang di pilih, maka ayat tersebut bagaikan menyatakan bahwa Allah Swt berkata pengaturan-Nya, menjadikan curahan hujan dalam batas-batas tertentu. Dengan demikian, ketika Allah menahan langit yakni tidak menurunkan hujan, maka itu adalah anugerah dari-Nya. Dengan menahannya, manusia terhindar dari banjir yang membinasakan, dengan menurunkannya dalam batas tertentu, manusia dan binatang dapat memanfaatkannya sebaik mungkin. Allah telah mengajarkan manusia dan memberikan petunjuk hingga menemukan hukum-hukum itu. Sehingga, mereka mampu memanfaatkan dengan sebaik-baiknya dan semaksimal mungkin.

Dapat ditarik kesimpulan bahwa banyak kesamaan yang ada pada penjelasan ilmuwan fisika dengan alQur'an tentang gravitasi. Gravitasi salah satu hukum alam ciptaan-Nya, yang kita pikirkan dan syukuri. Dan teori gravitasi yang diungkapkan oleh ilmuwan memiliki hubungan yang sangat serasi walaupun sebagian kecil tidak di jelaskan dalam alQur'an, tetapi secara garis besar sama. Kita tidak akan pernah ragu lagi bahwa apa yang ada di bumi ini adalah hasil ciptaan Sang Kuasa (Rabb), bukan karena ada dengan sendirinya atau hasil dari karya manusia. Al-Qur'an memberikan dorongan kepada manusia untuk bekerja keras dalam menyelidiki hukum-hukum alam dan mengambil manfaatnya.

BAB V

PENUTUP

1.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil interpretasi pengolahan data dan pembahasan dapat diambil kesimpulan bahwa:

1. Berdasarkan hasil interpretasi peta anomali lokal serta kecocokan berdasarkan informasi geologi dapat dilihat bahwa titik semburan air panas terdapat di tengah daerah penelitian yang ditunjukkan dengan warna biru pada peta kontur anomali. Pendukung ini didukung oleh pemodelan 2 dimensi dari arah barat laut ke tenggara, utara ke selatan, dan timur laut ke barat daya. Pemodelan ini saling berpotongan pada titik semburan air panas dengan koordinat $7^{\circ}51'23.76''$ LS $112^{\circ}11'84.64''$ BT dimana letak semburan air panas berada pada kedalaman 250 meter di bawah permukaan.
2. Berdasarkan hasil pemodelan secara umum terdapat 5 lapisan penyusun. Dimana lapisan pertama merupakan *topsoil* dengan nilai densitas $1,2 \text{ gram/cm}^3$. Pada lapisan kedua merupakan alluvium berupa kerakal, kerikil, pasir dengan densitas $1,7 \text{ gram/cm}^3$. Pada lapisan ketiga merupakan lempung tufan dengan densitas 2 gram/cm^3 dan lapisan keempat berupa tuf gampingan dengan nilai densitas $2,67 \text{ gram/cm}^3$. Sedangkan yang terakhir pada lapisan kelima merupakan batuan breksi dengan nilai densitas 3 gram/cm^3 .

1.2 Saran

Penelitian lanjutan sebaiknya dilakukan akuisisi data di lapangan untuk membandingkan dengan data satelit GGMPlus agar informasi yang didapatkan

semakin detail mengenai posisi semburan air panas yang ada Pemandian Air Panas Nganjuk ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Arif, I. I. 2016. *Geoteknik Tambang*. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama.
- Ayu, Diah dkk. 2014. *Identifikasi Struktur Bawah Permukaan Berdasarkan Data Gayaberat di Daerah Koto Tengah, Kota Padang, Sumatera Barat*. Jurusan Fisika: FMIPA Universitas Brawijaya.
- A. P. Utama, A. Dwinanto, J. Situmorang, M. Hikmi, dan R. Irsamukhti, (2012), *Green Field Geothermal Systems in Java, Indonesia*, Proceeding ITB Geothermal Work.
- Wachidah, Nurin. 2017. *Identifikasi Struktur Lapisan Bawah Permukaan daerah Potensi Mineral dengan Menggunakan Metode Gravitasi di Lapangan "A", Pongkor, Jawa Barat*. Surabaya: ITS.
- Chasanah, Uswatun, dkk. 2020. *Pendugaan Struktur Bawah Permukaan Gunung Merapi Berdasarkan Analisis Data Anomali Medan Gravitasi Citra Satelit*. Banjarmasin: Universitas Lambung Mangkurat.
- Darma, Aji dan Danang Aji. 2019. *Analisa Matematis Pada Koreksi Bouguer dan Koreksi Medan Data Gravitasi Satelit Topex dalam Penentuan Kondisi Geologi Studi Kasus Sesar Palu Koro, Sulawesi Tengah*. Yogyakarta: Universitas Pembangunan Nasional Veteran.
- Delfianto, R, dkk. 2021. *Morfologi dan Klasifikasi Tanah Pada Toposekuen Lereng barat Gunung Kelud, Kediri, Jawa Timur*. Malang: Universitas Brawijaya.
- Dzakiya, Nurul dan Sismanto. 2014. *Pemodelan Tiga Dimensi (3D) Lapisan Bawah Permukaan Bumi di Subcekungan Jambi pada Lapangan "Zuhro" Berdasarkan Analisis Data Anomali Gravitasi*. Yogyakarta: Universitas Gajah Mada.
- Erwin, dkk. 2017. *Epistemologi dan Keterbatasan Teori Gravitasi*. Semarang: Universitas PGRI
- Fathony Akbar Pratikno, Jamaluddin, Hamriani Ryka, Iwan Prabowo. 2020. *Analisis Data Gravitasi Struktur Bawah Permukaan Daerah Manifestasi Panas Bumi Waesekat, Kabupaten Buru Selatan*. Program Studi Teknik Geologi, STT-Migas Balikpapan.
- Hidayatullah, Agus. 2012. *Al-Qur'an Transliterasi Per Kata Dan Terjemah Perkata*. Jakarta Barat: Cipta Bagus Segera.
- Karimah, Novi Arfiatul, dkk. 2020. *Korelasi Data Gravitasi Satelit pada Daerah Panas Bumi Blawan-Ijen*. J. Sains Dasar 2020 (1) 11-15.

- Jusmi, Fitri. 2018. *Pemetaan Anomali Bouguer Lengkap dan Topografi serta Penentuan Densitas Bouguer Batuan Daerah Panas Bumi Pamancalan*. Riau: Universitas Cokroaminoto Palopo.
- Purnomo, Jarot, dkk. 2013. *Pemisahan Anomali Regional-Residual pada Metode Gravitasi Menggunakan Metode Moving Average, Polynomial, dan Inversion*. Surakarta: Universitas Sebelas Maret.
- R. Fransiska, dkk. 2021. *Pemodelan Struktur Geometri Bawah Permukaan Dengan Menggunakan Metode Gravitasi 2-Dimensi di Sekitar Gunung inelika, Ngada, Flores*. Kupang: Universitas Nusa Cendana.
- Rais, Aslam. 2021. *Analisa Tipe Fluida Manifestasi Panasbumi Menggunakan Diagram Trilinier $CL-SO_4-HCO_3$ di Desa Bakan Kecamatan Lolayan Kabupaten Bolaang Mongondow*. Sulawesi: Universitas Negeri Manado.
- Rista, Lorensiana dkk. 2018. *Identifikasi Struktur Bawah Permukaan Geologi Karangsembung Terhadap Terobosan Dyke dan Sill Menggunakan Metode Gaya Berat*. Tanjungpura: FMIPA Universitas Tanjungpura.
- Santosa, S. dan S. Atmawinata. 1992. *Geologi Lembar Kediri, Jawa*, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Indonesia.
- Simamora, Buha, dkk. 2017. *Analisis Perubahan Anomali Gayaberat Sebelum dan Sesudah Gempa Bumi Padang 2016 Mw 7,8 Menggunakan Citra Satelit GRACE*. Banten: Sekolah Tinggi Meteorologi Klimatologi dan Geofisika.
- Singarimbun, Alamta dan Famelia. 2020. *Simulasi Aliran Fluida di Daerah Reservoir Panas Bumi*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Septian, Ari, dkk. 2020. *Pemrograman Dasar Dan Analisis Anomali Bouguer Sederhana Dalam Komputasi Menggunakan Matlab*. Lampung: Unila.
- Sugianto, Asep, dkk. 2017. *Identifikasi Struktur Sistem Panas Bumi Pantar Berdasarkan Analisis Gradien Horizontal dan Pemodelan 3D Data Gaya Berat*. Pusat Sumber Daya Mineral, Batubara dan Panas Bumi.
- Tematur, Godensius, dkk. 2018. *Interpretasi Bawah Permukaan Gunung Anak Ranakah dengan Pemodelan Dua Dimensi (2D) Berdasarkan Data Anomali Gravitasi Lokal*. Kupang: Universitas Nusa Cendana.
- Torkis, R. 2012. *Analisa dan Pemodelan Struktur Bawah Permukaan Berdasarkan Metode Gayaberat di Daerah Prospek Panas Bumi Gunung Lawu*. Skripsi. Universitas Indonesia Depok.

Wachidah, Nurin. 2018. *Identifikasi Struktur Lapisan Bawah Permukaan Daerah Potensi Mineral Dengan Menggunakan Metode Gravitasi di Lapangan A. Poongkor, Jawa Barat*. ITS.

Zain, M.A. 2015. *Studi Penerapan Metode Derivatif Pada Data Potensial Gravitasi Di Daerah Prospek Sistem Panas Bumi*. Depok: Universitas Indonesia.

LAMPIRAN

ROW	latitude	longitude	UTM X	UTM Y	Elevasi (m)	FAA (mGal)	TC (mGal)	TC/Rho	BC	BC-TC/Rho	BC	ABS (mGal)	ABL (mGal)
R2	-7.521	112.109	622356,7	9168501	40	-27,7	0,0106	0,00397	1,6772	1,67323	11,44873	-39,1487	-39,1381
R3	-7.519	112.109	622357,3	9168722	41	-27,4	0,0125	0,004682	1,71913	1,7144484	11,73495	-39,135	-39,1225
R4	-7.517	112.109	622357,8	9168943	39	-27,1	0,0165	0,00618	1,63527	1,6290902	11,16252	-38,2625	-38,246
R5	-7.515	112.109	622358,4	9169164	42	-26,1	0,0222	0,008315	1,76106	1,7527454	12,02117	-38,1212	-38,099
R6	-7.513	112.109	622359	9169385	46	-25,3	0,0215	0,008052	1,92878	1,9207276	13,16605	-38,466	-38,4445
R7	-7.511	112.109	622359,5	9169606	43	-24,5	0,0258	0,009663	1,80299	1,7933271	12,30739	-36,8074	-36,7816
R8	-7.509	112.109	622360,1	9169828	48	-23,8	0,027	0,010112	2,01264	2,0025276	13,73848	-37,5385	-37,5115
R9	-7.507	112.109	622360,6	9170049	52	-22,5	0,0349	0,013071	2,18036	2,1672888	14,88336	-37,3834	-37,3485
R10	-7.505	112.109	622361,2	9170270	46	-22,3	0,061	0,022846	1,92878	1,9059336	13,16605	-35,466	-35,405
R11	-7.503	112.109	622361,8	9170491	55	-22,3	0,0422	0,015805	2,30615	2,2903448	15,74201	-38,042	-37,9998
R12	-7.521	112.111	622577,4	9168500	40	-27,7	0,0119	0,004457	1,6772	1,6727431	11,44873	-39,1487	-39,1368
R13	-7.519	112.111	622578	9168721	41	-27,3	0,0137	0,005131	1,71913	1,7139989	11,73495	-39,035	-39,0213
R14	-7.517	112.111	622578,5	9168942	41	-26,7	0,015	0,005618	1,71913	1,713512	11,73495	-38,435	-38,42
R15	-7.515	112.111	622579,1	9169164	41	-26	0,0153	0,00573	1,71913	1,7133997	11,73495	-37,735	-37,7197
R16	-7.513	112.111	622579,7	9169385	41	-25,3	0,0207	0,007753	1,71913	1,7113772	11,73495	-37,035	-37,0143
R17	-7.511	112.111	622580,2	9169606	44	-24,8	0,0209	0,007828	1,84492	1,8370923	12,59361	-37,3936	-37,3727
R18	-7.509	112.111	622580,8	9169827	45	-23,8	0,034	0,012734	1,88685	1,8741159	12,87983	-36,6798	-36,6458
R19	-7.507	112.111	622581,3	9170048	46	-23	0,0346	0,012959	1,92878	1,9158212	13,16605	-36,166	-36,1314
R20	-7.505	112.111	622581,9	9170269	49	-23	0,0357	0,013371	2,05457	2,0411992	14,0247	-37,0247	-36,989
R21	-7.503	112.111	622582,5	9170490	53	-22	0,0421	0,015768	2,22229	2,2065222	15,16957	-37,1696	-37,1275
R22	-7.521	112.113	622798,1	9168500	36	-27,8	0,0101	0,003783	1,50948	1,5056972	10,30386	-38,1039	-38,0938
R23	-7.519	112.113	622798,7	9168721	39	-27,4	0,0129	0,004831	1,63527	1,6304385	11,16252	-38,5625	-38,5496
R24	-7.517	112.113	622799,2	9168942	41	-26,7	0,0147	0,005506	1,71913	1,7136244	11,73495	-38,435	-38,4203
R25	-7.515	112.113	622799,8	9169163	44	-26,1	0,0176	0,006592	1,84492	1,8383282	12,59361	-38,6936	-38,676
R26	-7.513	112.113	622800,4	9169384	46	-25,5	0,0248	0,009288	1,92878	1,9194916	13,16605	-38,666	-38,6412
R27	-7.511	112.113	622800,9	9169605	46	-25	0,0253	0,009476	1,92878	1,9193043	13,16605	-38,166	-38,1407
R28	-7.509	112.113	622801,5	9169826	49	-24,4	0,0308	0,011536	2,05457	2,0430344	14,0247	-38,4247	-38,3939
R29	-7.507	112.113	622802	9170048	52	-23,3	0,0296	0,011086	2,18036	2,1692739	14,88336	-38,1834	-38,1538
R30	-7.505	112.113	622802,6	9170269	50	-23	0,039	0,014607	2,0965	2,0818933	14,31092	-37,3109	-37,2719
R31	-7.503	112.113	622803,2	9170490	59	-22,1	0,0403	0,015094	2,47387	2,4587764	16,88688	-38,9869	-38,9466
R32	-7.521	112.115	623018,8	9168499	36	-27,8	0,0189	0,007079	1,50948	1,5024013	10,30386	-38,1039	-38,085
R33	-7.519	112.115	623019,4	9168720	39	-27,3	0,0145	0,005431	1,63527	1,6298393	11,16252	-38,4625	-38,448
R34	-7.517	112.115	623019,9	9168941	41	-26,7	0,021	0,007865	1,71913	1,7112648	11,73495	-38,435	-38,414
R35	-7.515	112.115	623020,5	9169162	42	-26,2	0,018	0,006742	1,76106	1,7543184	12,02117	-38,2212	-38,2032
R36	-7.513	112.115	623021	9169384	46	-25,3	0,0224	0,00839	1,92878	1,9203905	13,16605	-38,466	-38,4436
R37	-7.511	112.115	623021,6	9169605	50	-24,5	0,0247	0,009251	2,0965	2,0872491	14,31092	-38,8109	-38,7862
R38	-7.509	112.115	623022,2	9169826	54	-24,1	0,0313	0,011723	2,26422	2,2524972	15,45579	-39,5558	-39,5245

R39	-7.507	112.115	623022,7	9170047	56	-22,8	0,0285	0,010674	2,34808	2,3374058	16,02823	-38,8282	-38,7997
R40	-7.505	112.115	623023,3	9170268	59	-22,5	0,0338	0,012659	2,47387	2,4612108	16,88688	-39,3869	-39,3531
R41	-7.503	112.115	623023,9	9170489	55	-21,4	0,0426	0,015955	2,30615	2,2901949	15,74201	-37,142	-37,0994
R42	-7.521	112.117	623239,5	9168498	40	-27,9	0,0109	0,004082	1,6772	1,6731176	11,44873	-39,3487	-39,3378
R43	-7.519	112.117	623240	9168720	38	-27,4	0,012	0,004494	1,59334	1,5888456	10,8763	-38,2763	-38,2643
R44	-7.517	112.117	623240,6	9168941	39	-26,9	0,0162	0,006067	1,63527	1,6292026	11,16252	-38,0625	-38,0463
R45	-7.515	112.117	623241,2	9169162	45	-26,3	0,0276	0,010337	1,88685	1,8765129	12,87983	-39,1798	-39,1522
R46	-7.513	112.117	623241,7	9169383	46	-25,2	0,0232	0,008689	1,92878	1,9200909	13,16605	-38,366	-38,3428
R47	-7.511	112.117	623242,3	9169604	46	-24,2	0,0251	0,009401	1,92878	1,9193793	13,16605	-37,366	-37,3409
R48	-7.509	112.117	623242,9	9169825	47	-23,4	0,0271	0,01015	1,97071	1,9605602	13,45226	-36,8523	-36,8252
R49	-7.507	112.117	623243,4	9170046	47	-22,5	0,0252	0,009438	1,97071	1,9612718	13,45226	-35,9523	-35,9271
R50	-7.505	112.117	623244	9170268	53	-22,1	0,0265	0,009925	2,22229	2,2123649	15,16957	-37,2696	-37,2431
R51	-7.503	112.117	623244,6	9170489	56	-21,8	0,031	0,01161	2,34808	2,3364695	16,02823	-37,8282	-37,7972
R52	-7.521	112.119	623460,2	9168498	40	-27,7	0,0099	0,003708	1,6772	1,6734921	11,44873	-39,1487	-39,1388
R53	-7.519	112.119	623460,7	9168719	40	-27,4	0,0108	0,004045	1,6772	1,6731551	11,44873	-38,8487	-38,8379
R54	-7.517	112.119	623461,3	9168940	40	-26,9	0,0143	0,005356	1,6772	1,6718442	11,44873	-38,3487	-38,3344
R55	-7.515	112.119	623461,9	9169161	42	-26	0,0167	0,006255	1,76106	1,7548053	12,02117	-38,0212	-38,0045
R56	-7.513	112.119	623462,4	9169382	43	-28	0,0199	0,007453	1,80299	1,7955368	12,30739	-40,3074	-40,2875
R57	-7.511	112.119	623463	9169604	45	-24,6	0,0228	0,008539	1,88685	1,8783107	12,87983	-37,4798	-37,457
R58	-7.509	112.119	623463,6	9169825	48	-23,9	0,0213	0,007978	2,01264	2,0046625	13,73848	-37,6385	-37,6172
R59	-7.507	112.119	623464,1	9170046	52	-23,2	0,0229	0,008577	2,18036	2,1717832	14,88336	-38,0834	-38,0605
R60	-7.505	112.119	623464,7	9170267	54	-22,1	0,0356	0,013333	2,26422	2,2508867	15,45579	-37,5558	-37,5202
R61	-7.503	112.119	623465,3	9170488	61	-21,8	0,0347	0,012996	2,55773	2,5447337	17,45932	-39,2593	-39,2246
R62	-7.521	112.121	623680,9	9168497	40	-27,6	0,0098	0,00367	1,6772	1,6735296	11,44873	-39,0487	-39,0389
R63	-7.519	112.121	623681,4	9168718	39	-27,3	0,0115	0,004307	1,63527	1,6309629	11,16252	-38,4625	-38,451
R64	-7.517	112.121	623682	9168940	40	-26,8	0,0136	0,005094	1,6772	1,6721064	11,44873	-38,2487	-38,2351
R65	-7.515	112.121	623682,6	9169161	40	-26,1	0,0155	0,005805	1,6772	1,6713948	11,44873	-37,5487	-37,5332
R66	-7.513	112.121	623683,1	9169382	42	-25,5	0,0189	0,007079	1,76106	1,7539813	12,02117	-37,5212	-37,5023
R67	-7.511	112.121	623683,7	9169603	43	-24,9	0,0263	0,00985	1,80299	1,7931398	12,30739	-37,2074	-37,1811
R68	-7.509	112.121	623684,3	9169824	45	-24	0,0288	0,010787	1,88685	1,8760635	12,87983	-36,8798	-36,851
R69	-7.507	112.121	623684,8	9170045	48	-23,1	0,0378	0,014157	2,01264	1,9984827	13,73848	-36,8385	-36,8007
R70	-7.505	112.121	623685,4	9170266	55	-22,3	0,0318	0,01191	2,30615	2,2942399	15,74201	-38,042	-38,0102
R71	-7.503	112.121	623686	9170488	61	-21,1	0,0416	0,015581	2,55773	2,5421495	17,45932	-38,5593	-38,5177
R72	-7.521	112.123	623901,5	9168497	36	-27,6	0,0113	0,004232	1,50948	1,5052478	10,30386	-37,9039	-37,8926
R73	-7.519	112.123	623902,1	9168718	39	-27,1	0,0107	0,004007	1,63527	1,6312625	11,16252	-38,2625	-38,2518
R74	-7.517	112.123	623902,7	9168939	39	-26,8	0,0134	0,005019	1,63527	1,6302513	11,16252	-37,9625	-37,9491
R75	-7.515	112.123	623903,3	9169160	40	-26,3	0,0145	0,005431	1,6772	1,6717693	11,44873	-37,7487	-37,7342
R76	-7.513	112.123	623903,8	9169381	42	-25,4	0,029	0,010861	1,76106	1,7501986	12,02117	-37,4212	-37,3922
R77	-7.511	112.123	623904,4	9169602	47	-24,5	0,0221	0,008277	1,97071	1,9624328	13,45226	-37,9523	-37,9302
R78	-7.509	112.123	623905	9169824	50	-23,9	0,0237	0,008876	2,0965	2,0876236	14,31092	-38,2109	-38,1872
R79	-7.507	112.123	623905,5	9170045	46	-23,6	0,0379	0,014195	1,92878	1,9145852	13,16605	-36,766	-36,7281

R80	-7.505	112.123	623906,1	9170266	48	-22,6	0,0299	0,011199	2,01264	2,0014415	13,73848	-36,3385	-36,3086
R81	-7.503	112.123	623906,6	9170487	53	-21	0,0325	0,012172	2,22229	2,2101177	15,16957	-36,1696	-36,1371
R82	-7.521	112.125	624122,2	9168496	39	-27,6	0,0088	0,003296	1,63527	1,6319741	11,16252	-38,7625	-38,7537
R83	-7.519	112.125	624122,8	9168717	38	-27,1	0,0147	0,005506	1,59334	1,5878344	10,8763	-37,9763	-37,9616
R84	-7.517	112.125	624123,4	9168939	38	-26,8	0,0113	0,004232	1,59334	1,5891078	10,8763	-37,6763	-37,665
R85	-7.515	112.125	624123,9	9169160	39	-26,3	0,0144	0,005393	1,63527	1,6298767	11,16252	-37,4625	-37,4481
R86	-7.513	112.125	624124,5	9169381	40	-25,3	0,0225	0,008427	1,6772	1,668773	11,44873	-36,7487	-36,7262
R87	-7.511	112.125	624125,1	9169602	42	-24,1	0,0424	0,01588	1,76106	1,7451799	12,02117	-36,1212	-36,0788
R88	-7.509	112.125	624125,6	9169823	48	-23,6	0,0279	0,010449	2,01264	2,0021906	13,73848	-37,3385	-37,3106
R89	-7.507	112.125	624126,2	9170044	53	-23,5	0,0245	0,009176	2,22229	2,213114	15,16957	-38,6696	-38,6451
R90	-7.505	112.125	624126,8	9170265	52	-22,7	0,0274	0,010262	2,18036	2,1700978	14,88336	-37,5834	-37,556
R91	-7.503	112.125	624127,3	9170486	49	-21,7	0,0398	0,014906	2,05457	2,0396636	14,0247	-35,7247	-35,6849
R92	-7.521	112.127	624342,9	9168496	40	-27,6	0,0097	0,003633	1,6772	1,673567	11,44873	-39,0487	-39,039
R93	-7.519	112.127	624343,5	9168717	39	-27,2	0,0106	0,00397	1,63527	1,6313	11,16252	-38,3625	-38,3519
R94	-7.517	112.127	624344,1	9168938	38	-26,7	0,0104	0,003895	1,59334	1,5894449	10,8763	-37,5763	-37,5659
R95	-7.515	112.127	624344,6	9169159	39	-26,1	0,0143	0,005356	1,63527	1,6299142	11,16252	-37,2625	-37,2482
R96	-7.513	112.127	624345,2	9169380	37	-25,7	0,0168	0,006292	1,55141	1,5451179	10,59008	-36,2901	-36,2733
R97	-7.511	112.127	624345,8	9169601	39	-24,9	0,0259	0,0097	1,63527	1,6255696	11,16252	-36,0625	-36,0366
R98	-7.509	112.127	624346,3	9169822	45	-23,5	0,0311	0,011648	1,88685	1,8752021	12,87983	-36,3798	-36,3487
R99	-7.507	112.127	624346,9	9170044	54	-22,6	0,0287	0,010749	2,26422	2,2534709	15,45579	-38,0558	-38,0271
R100	-7.505	112.127	624347,5	9170265	55	-22,2	0,025	0,009363	2,30615	2,2967867	15,74201	-37,942	-37,917
R101	-7.503	112.127	624348	9170486	57	-22	0,0272	0,010187	2,39001	2,3798227	16,31445	-38,3144	-38,2872



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

JURUSAN 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

: Aisyatin Kamilah

NIM

: 18640065

Fakultas/Program Studi

: SAINTEK/FISIKA

Judul Skripsi

: IDENTIFIKASI STRUKTUR BATUAN BAWAH PERMUKAAN DI DAERAH
PEMAHOJAN AIR PANAS AIR PANAS BANTU BIRU MENGGUNAKAN METODE GRAVIT

Pembimbing 1

: Ahmad Luthfi, S.Si, M.Si

Pembimbing 2

: Ahmad Abdochi, M.Pd

• Konsultasi Fisika

No	Tanggal	Hal	Tanda Tangan
1.	Kamis, 03-02-2022	Revisi proposal	
2.	Rabu, 23-02-2022	Bab I & II &	
3.	Rabu, 6-04-2022	Hasil Olah Data	
4.	Jumat, 22-04-2022	Konsultasi hasil ABL	
5.	Selasa, 17-05-2022	Kontur RBD & Kontinuasi	
6.	Sabtu, 24-05-2022	Slice untuk pemodelan	
7.	Kamis, 02-06-2022	hasil pemodelan	
8.	Selasa, 06-06-2022	Revisi untuk hasil data	
9.	Kamis, 16-06-2022	Revisi seminar hasil	
10.	Jumat, 24-06-2022	Revisi sidang skripsi	

• Konsultasi Integrasi

No	Tanggal	Hal	Tanda Tangan
1.	Selasa, 12-04-2022	Konsultasi Bab 1, 2, 3	
2.	Selasa, 24-05-2022	Hasil revisi bab 1, 2, 3	
3.	Senin, 06-06-2022	Konsultasi pendaftaran seminar	
4.	Jumat, 24-06-2022	Revisi sidang skripsi	

Malang, 21 Juni 2022
Mengetahui,
Ketua Jurusan,

Dr. Imam Kati, M.Si