

**IDENTIFIKASI STRUKTUR BAWAH PERMUKAAN
DAERAH PROSPEK PANAS BUMI
DENGAN METODE GEOMAGNETIK
(Studi Kasus di Daerah Mata Air Panas, Desa Padusan, Kecamatan Pacet,
Kabupaten Mojokerto)**

SKRIPSI

Oleh:

BALOIS HUMAIROH SUNDUS

NIM. 14640014



**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM MALANG
2020**

**IDENTIFIKASI STRUKTUR BAWAH PERMUKAAN
DAERAH PROSPEK PANAS BUMI
DENGAN METODE GEOMAGNETIK
(Studi Kasus di Daerah Mata Air Panas, Desa Padusan, Kecamatan
Pacet, Kabupaten Mojokerto)**

SKRIPSI

Diajukan Kepada:

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

Oleh:

BALQIS HUMAIROH SUNDUS

NIM. 14640014

**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2020**

HALAMAN PERSETUJUAN

**IDENTIFIKASI STRUKTUR BAWAH PERMUKAAN
DAERAH PROSPEK PANAS BUMI
DENGAN METODE GEOMAGNETIK**
(Studi Kasus di Daerah Mata Air Panas, Desa Padusan, Kecamatan
Pacet, Kabupaten Mojokerto)

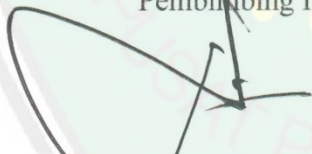
SKRIPSI

Oleh:

Balqis Humairoh Sundus
NIM. 14640014

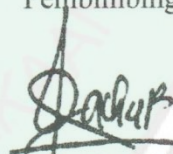
Telah diperiksa dan disetujui untuk Diuji,
Pada tanggal : 18 Juni 2020

Pembimbing I



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

Pembimbing II



Ahmad Abtokhi, M.Pd
NIP.19761003 200312 1 004

Menyetujui,
Ketua Jurusan



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

HALAMAN PENGESAHAN

IDENTIFIKASI STRUKTUR BAWAH PERMUKAAN
DAERAH PROSPEK PANAS BUMI
DENGAN METODE GEOMAGNETIK
(Studi Kasus di Daerah Mata Air Panas, Desa Padusan, Kecamatan
Pacet, Kabupaten Mojokerto)

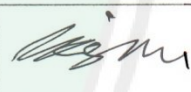
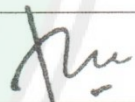

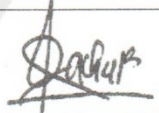
SKRIPSI

Oleh:

Balqis Humairoh Sundus

NIM. 14640014

Telah Dipertahankan di Depan Dewan Penguji Skripsi dan
Dinyatakan Diterima sebagai Salah Satu Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)
Tanggal: Juni 2020

Penguji Utama	: <u>Irfan, M.Si</u> NIP. 19691231 200604 1 003	
Ketua Penguji	: <u>Farid Samsu Hananto, M.T</u> NIP. 19740513 201312 1 001	
Sekretaris Penguji	: <u>Drs. Abdul Basid, M.Si</u> NIP. 19650504 199003 1 003	
Anggota Penguji	: <u>Ahmad Abtokhi, M.Pd</u> NIP. 19761003 200312 1 004	



Mengesahkan,
Ketua Jurusan Fisika

Drs. Abdul Basid, M.Si

NIP. 19650504 199003 1 003

PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Balqis Humairoh Sundus

NIM : 14640014

Jurusan : Fisika

Fakultas : Sains Dan Teknologi

Judul Penelitian : Identifikasi Struktur Bawah Permukaan Daerah Prospek Panas Bumi dengan Metode Geomagnetik (Studi Kasus di Daerah Mata Air Panas, Desa Padusan, Kecamatan Pacet, Kabupaten Mojokerto)

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

Malang, 19 Juni 2020
Yang Membuat Pernyataan



Balqis Humairoh S
NIM. 14640014

The logo of Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang is a shield-shaped emblem. It features a central yellow calligraphic inscription in Arabic script, which reads 'أولاد النبي' (Aulad an-Nabi). The shield is surrounded by a light green border. Text around the shield includes 'UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM' at the top and 'PUSAT PERPUSTAKAAN' at the bottom.

MOTTO

“Orang yang berilmu dan beradab, tidak akan diam di kampung halaman.
Tinggalkan negrimu, merantaulah ke negri orang.” (Imam Syafi’i)

HALAMAN PERSEMBAHAN

Dengan mengucap syukur sedalam-dalamnya kepada Allah SWT.
penulis persembahkan karya tulis ini teruntuk kedua orangtua tercinta,

“Bapak Slamet Dulhaji dan Ibu Haisyah”

Terimakasih atas do’a, restu, dan dukungan yang tiada hentinya.



KATA PENGANTAR

Bismillahirrahmanirrahim, dengan mengucapkan syukur alhamdulillah rabbil ‘alamiin penulis panjatkan kehadiran Allah SWT, atas segala limpahan rahmat, taufiq serta hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini yang berjudul “Identifikasi Struktur Bawah Permukaan Daerah Prospek Panas Bumi dengan Metode Geomagnetik (Studi Kasus di Daerah Mata Air Panas, Desa Padusan, Kecamatan Pacet, Kabupaten Mojokerto). Sholawat serta salam semoga tetap tercurahkan kepada Baginda Nabi Muhammad SAW, yang telah menuntun umatnya dari zaman jahiliyyah menuju zaman yang terang benderang dengan segala ilmu yang sangat luar biasa yang terus menerus akan selalu mengalami perkembangan.

Penulis menyadari bahwa terselesaikannya penulisan skripsi ini tak lepas dari bantuan berbagai pihak, untuk itu pada kesempatan kali ini penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih yang setulus-tulusnya kepada:

1. Prof. Dr. H. Abd. Haris, M.Ag., 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. Drs. Abdul Basid, M.Si., selaku Ketua Jurusan Fisika Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang dan selaku dosen pembimbing skripsi yang dengan sabar membimbing dengan teliti dan memberikan arahan untuk penulis sehingga mampu menyelesaikan skripsi ini dengan baik.
4. Ayah, Ibu, Adik dan keluarga besar Ghozali yang selalu mendoakan serta memberi dukungan yang berharga.
5. Teman-teman Fisika Angkatan 14 Arum, Ida, Kevin terkhusus sahabati Ainur Riza dan Uswatul Haniyah, sahabat Izdhiharrudin Maftuh dan Akbar Muzzaki.
6. Segenap keluarga besar Geofisika Universitas Maulana Malik Ibrahim Malang, Mas Asyari, Mas Rijal, Mas Fitrah, Anwar, Gugun, Dimas,

- Hamdani, Rahmat, Indana, Andin, Athiyah, Biha, Himmah, Kiki, Karimah dan terkhusus Rosyiful Aqli yang sudah banyak membantu.
7. Seluruh team penelitian lapangan yang telah membantu Mas Angga, Juned, Athoillah, Khoirudin Zein, Hatmi Asminoto.
 8. Sahabat rasa keluarga yang tidak ada henti-hentinya menyemangati, mensupport Yuni Rustining Pangestu, Aisyah Ashafira Nabila, Rebecca Amanda.
 9. Semua pihak yang membantu secara langsung maupun tidak langsung yang tidak bisa disebutkan satu persatu demi kesuksesan penyelesaian skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan skripsi ini tidak luput dari berbagai kesalahan dan kekurangan, untuk itu penulis mohon maaf yang setulus-tulusnya. Semoga Allah ridhoi langkah kita. Amin

Malang, Juni 2020

Penulis

DAFTAR ISI

COVER	i
HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PERSETUJUAN	iii
HALAMAN PENGESAHAN	iv
PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN	v
MOTTO	vi
HALAMAN PERSEMBAHAN	vii
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
ABSTRAK	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Manfaat Penelitian	4
1.5 Batasan Masalah	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Panas Bumi	5
2.1.1 Sistem Panas Bumi	6
a. Sumber Panas (Heart Source).....	7
b. Fluida Panas Bumi (Gheothermal Fluid).....	8
c. Reservoar Panas Bumi (Gheothermal Reservoar).....	8
d. Batuan Penundung (Cap Rock)	8
e. Struktur Geologi	9
2.1.2 Klasifikasi Sistem Panas Bumi	9
2.2 Metode Magnetik	11
2.2.1 Gaya Magnetik.....	12
2.2.2 Medan Magnetik.....	12
2.2.3 Momen Magnetik.....	12
2.2.4 Intensitas Magnetik.....	13
2.2.5 Suseptibilitas Magnetik	13
2.2.6 Magnet Permanen	17
2.2.7 Induksi Magnetik	18
2.2.8 Variasi Waktu	18
2.2.9 Koreksi Data Magnetik.....	20
2.3 Magnetometer (Proton Procissionn Magnetometer)	20
2.4 Geologi Daerah Penelitian	22
2.4.1 Geografis Wilayah	22
2.4.2 Morfologi.....	25
2.4.3 Statigrafi	27

2.4.4 Struktur	33
2.5 Sistem Panas Bumi Komplek Gunungapi Arjuno-Welirang	34
BAB III METODE PENELITIAN	
3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian	36
3.2 Desain Akuisisi Data	36
3.3 Data Penelitian	37
3.4 Peralatan Penelitian	37
3.5 Prosedur Pelaksanaan	38
3.5.1 Akuisisi Data	38
3.5.2 Pengolahan Data	39
3.5.3 Koreksi Harian	40
3.5.4 Koreksi IGRF	40
3.5.5 Reduksi Bidang Datar	41
3.5.6 Tahapan Interpretasi Data	42
3.6 Diagram Alir Penelitian	43
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1 Akuisisi Data	44
4.2 Pengolahan Data	45
4.2.1 Anomali Medan Magnet	45
4.3 Interpretasi Kualitatif	49
4.3.1 Reduksi Bidang Datar	50
4.3.2 Kontinuasi ke Atas	52
4.3.3 Reduksi ke Kutub	55
4.4 Interpretasi Kuantitatif	57
4.4.1 Interpretasi Kuantitatif Penampang Sayatan A-A'	60
4.4.2 Interpretasi Kuantitatif Penampang Sayatan B-B'	62
4.4.3 Interpretasi Kuantitatif Penampang Sayatan C-C'	64
4.5 Integrasi Penelitian Dalam Prespektif Al-Qur'an	67
BAB V PENUTUP	
5.1 Kesimpulan	71
5.2 Saran	71
DAFTAR PUSTAKA	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Model Zona Subduksi.....	61
Gambar 2.2	Diagram Kotak dari PPM	21
Gambar 2.3	Peta Geologi Daerah Mata Air Padusan	23
Gambar 2.4	Peta Geologi Lembar Malang, Arjuno - Welirang	24
Gambar 2.5	Statigrafi Wilayah Komplek Gunungapi Arjuno - Welirang.....	27
Gambar 2.6	Model Geohidrotermal Komplek Gunungapi Arjuno -Welirang	35
Gambar 3.1	Desain Akuisisi Data	36
Gambar 3.2	Diagram Alur Penelitian	43
Gambar 4.1	Kalkulator IGRF	47
Gambar 4.2	Tampilan Nilai IGRF.....	47
Gambar 4.3	Kontur Anomali Medan Magnet Total	48
Gambar 4.4	Kontur Topografi Beserta Persebaran Titik Pengukuran	49
Gambar 4.5	Kontur Anomali Medan Magnet Total Setelah di Reduksi Bidang Datar pada Ketinggian 750 meter	51
Gambar 4.6	Kontur Anomali Regional Hasil Kontinuasi ke Atas pada Ketinggian 1500 meter	53
Gambar 4.7	Kontur Anomali Lokal Hasil Kontinuasi ke Atas pada ketinggian 1500 meter	54
Gambar 4.8	Kontur Anomali Lokal Hasil Reduksi ke Kutub	56
Gambar 4.9	Sayatan A-A', B-B', C-C' dan D-D' pada Kontur Anomali Lokal	58
Gambar 4.10	Model 2D Bawah Permukaan pada Sayatan A-A'.....	60
Gambar 4.11	Model 2D Bawah Permukaan pada Sayatan B-B'.....	62
Gambar 4.12	Model 2D Bawah Permukaan pada Sayatan C-C'	65

DAFTAR TABEL

Gambar 2.1	Nilai Suseptibilitas Magnetik	14
------------	-------------------------------------	----



DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1 Dokumentasi Pengambilan Data
- Lampiran 2 Data Hasil Pengukuran



ABSTRAK

Sundus, Balqis Humairoh. 2020. **Identifikasi Struktur Bawah Permukaan Daerah Prospek Panas Bumi dengan Metode Geomagnetik (*Studi Kasus di Daerah Mata Air Panas, Desa Padusan, Kecamatan Pacet, Kabupaten Mojokerto*)**. Skripsi. Jurusan Fisika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Pembimbing: (1) Drs. Abdul Basid, M.Si. (II) Ahmad Abthoki, M.Pd.

Kata Kunci: Magnetik, Panas Bumi, Padusan.

Metode magnetik merupakan salah satu metode geofisika yang didasarkan pada pengukuran variasi intensitas medan magnet di permukaan bumi. Penelitian dengan metode magnetik telah dilakukan di daerah prospek panas bumi Padusan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui medan magnetik lokal dan struktur bawah permukaan berdasarkan sifat magnetis batuan. Akuisisi data dilakukan pada area seluas 1000 m² dengan jarak masing-masing titik akuisisi data sebesar 100 m membentuk grid. Setelah dilakukan pemrosesan data, diperoleh nilai medan magnetik lokal daerah penelitian sebesar -800 – 1200 nT. Anomali medan magnetik rendah bernilai -800 – -100 nT tersebar di daerah barat laut ke tenggara sedangkan anomali tinggi bernilai 600 – 1200 nT terbagi menjadi 2 area di timur laut dan barat daya ke tengah area penelitian. Litologi bawah permukaan area penelitian menjadi 4 lapisan. Lapisan pertama diidentifikasi sebagai breksi dengan nilai 0.0001 cgs emu. Lapisan kedua diidentifikasi sebagai breksi dan tuff dengan nilai 0.02000 cgs emu. Lapisan ketiga diidentifikasi sebagai lava dengan nilai 0.0780 cgs emu. Lapisan keempat diidentifikasi sebagai lava basalt dengan nilai 0.0700 cgs emu. Terdapat struktur patahan pada pemodelan sayatan A-A', B-B', C-C' dan lapisan terkikis pada sayatan C-C'.

ABSTRACT

Sundus, Balqis Humairoh. 2020. **Geomagnetic Method Identification of Sub-Surface Structure of Geothermal Prospect Areas. (Case Study in Mata Air Panas, Desa Padusan, Kecamatan Pacet, Kabupaten Mojokerto)**. Thesis. Department of Physics, Faculty of Science and Technology, Maulana Malik Ibrahim State Islamic University of Malang. Supervisors: (I) Drs. Abdul Basid, M.Si. (II) Ahmad Abthoki, M.Pd.

Key Words: *Magnetic, Geothermal, Padusan.*

The magnetic method is a geophysical method based on the measurement of variations in the intensity of the magnetic field on the earth's surface. Research by magnetic methods has been carried out in the Padusan, geothermal prospect area. This study aims to determine the local magnetic field and subsurface structure based on the magnetic properties of rocks. Data acquisition is carried out in an area of 1000 m² with a distance of each data acquisition point of 100 m forming a grid. After processing the data, the local magnetic field value of the study area is -800 - 1200 nT. Low magnetic field anomalies of -800 - -100 nT are distributed in the northwest to southeast region while high anomalies worth 600 - 1200 nT are divided into 2 areas in the northeast and southwest to the center of the study area. Sub surface lithology of the study area into 4 layers. The first layer is identified as breccias with value of 0.0001 cgs emu. The second layer was identified as breccias and tuffs with value of 0.02000 cgs emu. The third layer was identified as lava with value of 0.0780 cgs emu. The fourth layer was identified as a basalt lava with value of 0.0700 cgs emu. There is a fracture structure in modeling incisions A-A', B-B', C-C' and eroded layers on the C-C' incision.

ملخص البحث

سندوس، بليقيس حميرة. 2020. تحديد بنية تحت السطحية لمنطقة احتمال الحرارة الجوفية بطريقة المغنطيسية الأرضية (دراسة الحالة في منطقة الينابيع الحارة، حي فدوسان باسيت موجو كيرتو). رسالة الجامعي. قسم الفيزياء كلية العلوم والتكنولوجيا جامعة مولانا مالك إبراهيم الإسلامية الحكومية مالانج. المشرف: (1) الدكتور عبد البسيط، الماجستير. (2) أحمد أبطاخي، الماجستير.

فدوسان الأرض، حرارة المغنطيسية، الم ف تادية ال كلمات
 الاخذ تلافات ق ياس أساس على الجيوفيزياء الطرق إحدى المغنطيسية طريقة إن
 بالطرق البحث إجراء تم. الأرض سطح على المغنطيسي المجال شدة في
 البحث هذا من الهدف. فدوسان في الأرض حرارة اذ شمال منطقة في طيسية المغنا
 الخصائص على بناء السطحية تحت والبنية المدلي المغنطيسي مجال ل تحديد
 مع مربع متر 1000 مساحة في البيانات على الحصول تم. ل لصخور المغنطيسية
 معالجة بعد شبكة تشكيل متر 100 البيانات على الحصول نقطة كل مسافة
 ن 100 - 800 هي البحث لمنطقة المدلي المغنطيسي مجال نتيجة كانت ال بيانات،
 الشمال في ينتشرت ن 100 - 800 من المنخفض المغنطيسي المجال شذوذات
 ن 1200 - 600 بقيمة العالية الشذوذ وأما الشرقية الجنوبية المنطقة إلى الغربي
 منطقة وسط إلى الغربي والجنوب الشرقي الشمال في منطقتين إلى تقسم
 الأولى الطبقة تمت بطبقات أربع السطحية تحت الصخري البحث مجال كان. البحث
 وبريد كسي أنها على الثانية والطبقة. إمو جكس 0.0001 بنتيجة بريد كسي أنها على
 0.0780 بنتيجة ل فأنها على الثالثة والطبقة. إمو جكس 0.02000 بنتيجة توقف
 هناك. إمو جكس 0.0700 بنتيجة بسدلت ل فأنها على الرابعة والطبقة. إمو جكس
 .ج-ج الشق على الم تأكلة والطبقة 'ج-ج، 'ب-ب، 'أ-أ الشق نمذجة في الكسر اله يكل

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kebutuhan energi listrik semakin meningkat seiring dengan bertambahnya waktu. Peningkatan ini disebabkan oleh kebutuhan energi listrik tidak dapat dipenuhi dengan bahan bakar fosil, sehingga sumber energi terbarukan yang dapat memenuhi kebutuhan energi listrik diperlukan agar tidak krisis energi. Salah satu energi terbarukan yang dapat dimanfaatkan menjadi sumber energi listrik yaitu energi panas bumi (Daud, 2015).

Panas bumi merupakan energi panas yang ada di bawah permukaan. Energi panas bumi dapat dianggap sebagai energi alternatif pengganti energi fosil. Tingkat emisi CO_2 yang rendah juga dapat menjadi salah satu alasan energi panas bumi menjadi solusi untuk mengatasi keterbatasan energi yang bersifat ramah lingkungan. Keberadaan Indonesia di zona tektonik aktif menyebabkan Indonesia berpotensi untuk memiliki banyak daerah prospek panas bumi.

Secara geologis, Indonesia terletak pada pertemuan tiga lempeng tektonik utama yaitu lempeng Eurasia, Indo-Australia dan Pasifik hal ini menyebabkan Indonesia memiliki banyak gunung api. Keadaan geologis Indonesia yang di lalui banyak gunung api membuat potensi panas bumi Indonesia cukup besar yaitu 40% potensi panas bumi dunia (Meilani, 2010). Di Jawa itu sendiri memiliki 11 prospek panas bumi yaitu hampir 5% dari total potensi di Indonesia. Salah satu area prospek panas bumi yaitu di Provinsi Jawa Timur yaitu Arjuno-Welirang (Wahyuningsih, 2005).

Arjuno Welirang adalah salah satu kompleks gunung api kembar jenis *stratovolcano* dengan ketinggian yaitu 3.339 m untuk Arjuno dan 3.156 m untuk Welirang. Keberadaan daerah panas bumi beberapa lokasi, di jumpai endapan sinter di sekitar mata air panas serta *furmarole* pada puncak Gunung Welirang. daerah ini secara umum berlingkungan lava dan aliran piroklastik.

Berdasarkan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Lita (2012), secara garis besar Komplek Gunung api Arjuno-Welirang terbagi menjadi bagian, yaitu alas, produk erupsi Arjuno-Welirang Tua dan produk erupsi Arjuno-Welirang Muda. Berdasarkan data regional dan tatanan tektonik Jawa Timur, daerah penyelidikan berada pada Zona Kendeng yang merupakan suatu *anticlinorium* dengan batuan dasar berupa batuan beku dan sedimen.

Menurut Wambra (2011), Pemodelan dengan MT zona reservoir berada di antara zona *high resistivity* (± 1000 ohm-m) dengan zona alterasi mineral dengan nilai resistivitas yang rendah (< 15 ohm-m), dengan nilai resistivitas 30 ohm-m pada suhu sekitar $310-314^{\circ}\text{C}$ yang dihitung berdasarkan geothermometer Na-K. Ketebalannya berkisar antara 1-1,5 km.

Metode geomagnet merupakan metode geofisika non-seismik yang dapat digunakan untuk menginterpretasikan lapisan bawah permukaan beserta jenis batuan berdasarkan intensitas medan magnet yang terstruktur di permukaan. Variasi intensitas medan magnet di permukaan yang berada ini menunjukkan adanya anomali magnetik, dimana anomali magnetik umumnya disebabkan karena adanya perbedaan nilai suseptibilitas pada batuan penyusun daerah tersebut. Nilai suseptibilitas merupakan nilai yang menyatakan kemampuan suatu benda atau batuan untuk dapat termagnetisasi.

Terbentuknya sistem panas bumi merupakan salah satu bentuk kekuasaan Allah SWT yang bisa di manfaatkan oleh manusia dalam kehidupan sehari-hari. Firman Allah SWT dalam Surah Al-Baqarah ayat [1]:29 sebagai berikut:

هُوَ الَّذِي خَلَقَ لَكُمْ مَّا فِي الْأَرْضِ جَمِيعًا ثُمَّ أَسْتَوَىٰ إِلَى السَّمَاءِ فَسَوَّاهُنَّ سَبْعَ سَمَوَاتٍ وَهُوَ بِكُلِّ شَيْءٍ عَلِيمٌ ۚ ٢٩

“Dialah Allah, yang menjadikan segala yang ada di bumi untuk kalian dan berkehendak (menciptakan) langit, lalu di jadikan-Nya tujuh langit. Dan Dia yang Maha Mengetahui segala sesuatu”. (Q.S Al-Baqarah [2]: 29)

Ayat tersebut menjelaskan bahwasannya, Dia menciptakan segala sesuatu di muka bumi ini segala sesuatu kebaikan dan kasih sayang untukmu agar di ambil manfaatnya, dinikmati, dan dijadikan pelajaran.

Berdasarkan paparan diatas, metode magnetik dapat digunakan untuk mengetahui litologi bawah permukaan daerah penelitian. Dengan memanfaatkan sifat fisis batuan suseptibilitas, maka akan diketahui lokasi dan keadaan bawah permukaan yang menjadi pendukung ekstrusi fluida panas bumi di Padusan. Oleh karenanya, pada penelitian skripsi ini dilakukan identifikasi struktur bawah permukaan di daerah Padusan dengan metode magnetik.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana pola anomali medan magnetik total area penelitian di daerah prospek panas bumi Padusan?
2. Bagaimana litologi bawah permukaan area penelitian di daerah prospek panas bumi Padusan ?

1.3 Tujuan Penelitian

1. Untuk mengetahui pola anomali medan magnetik total area penelitian di daerah prospek panas bumi Padusan.
2. Untuk mengetahui litologi bawah permukaan area penelitian di daerah prospek panas bumi Padusan.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah memberikan informasi mengenai pola anomali magnetik total sistem panas bumi Padusan serta memberikan informasi tentang litologi bawah permukaan sistem panas bumi di Padusan Pacet Mojokerto.

1.5 Batasan Masalah

1. Penelitian dilakukan di daerah mata air panas Padusan I dan mata air panas Padusan II.
2. Pengambilan data dilakukan dengan menggunakan Proton Precession Magnetometer (PPM)
3. Area penelitian berada pada koordinat $7^{\circ}40'53.75''$ LS - $7^{\circ}41'36.47''$ LS dan $112^{\circ}32'38.16''$ T - $112^{\circ}33'25.01''$ BT, dengan luas daerah penelitian sebesar 1km^2 dan jarak spasi antara titiknya sebesar 100 m.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Panas Bumi

Panas bumi (*Geothermal*) adalah sumber daya alam berupa air panas atau uap yang terbentuk di dalam reservoir bumi melalui pemanasan air bawah permukaan oleh batuan panas. Sistem panas bumi merupakan salah satu sistem yang terjadi dalam proses geologi yang berjalan dalam orde ratusan bahkan jutaan tahun yang membawa manfaat bagi manusia, baik dimanfaatkan dengan menjadikan manifestasi untuk pariwisata maupun pemanfaatan untuk pertanian dan peternakan bahkan pengganti sumber energi terbarukan (Winarsih, 2014). Panas bumi sendiri juga dapat diartikan sebagai jumlah kandungan panas yang tersimpan dalam bumi dan membentuk sistem panas bumi yang telah ada sejak bumi terbentuk (Alzwar, 1988).

Panas bumi terletak pada lapisan kerak bumi. Lapisan ini terletak di lapisan luar bumi. Allah SWT menerangkan bahwasanya bumi itu sama dengan langit. Bumi ataupun langit terdapat tujuh lapisan, bahwa jarak di antaranya berbeda-beda, setiap permukaan ada yang berbentuk benjolan yang disebut gunung dan lembah pada daratan. Hal ini terdapat dalam al-Qur'an surat at-thalaq [65]:12.

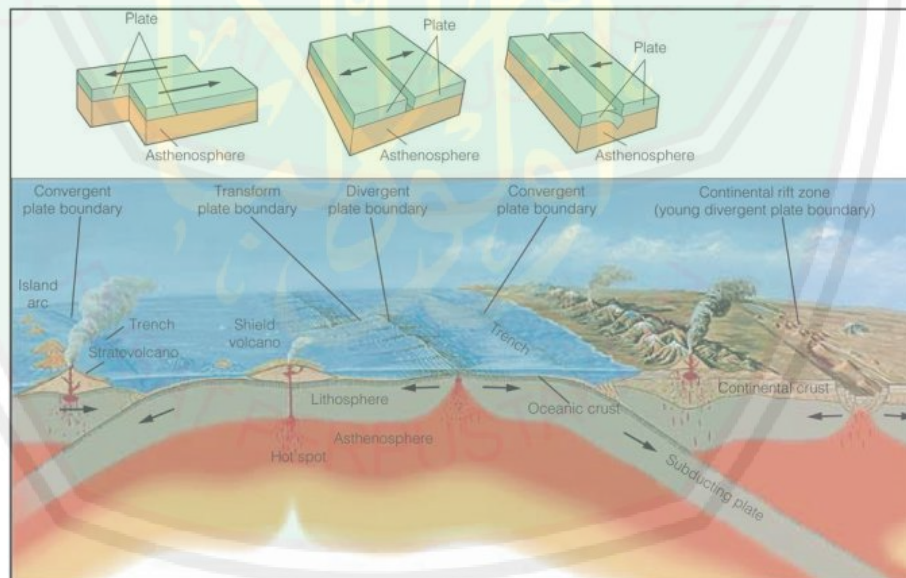
اللَّهُ الَّذِي خَلَقَ سَبْعَ سَمَاوَاتٍ وَمِنَ الْأَرْضِ مِثْلَهُنَّ يَتَنَزَّلُ الْأَمْرُ بَيْنَهُنَّ لِتَعْلَمُوا أَنَّ اللَّهَ عَلَىٰ كُلِّ شَيْءٍ قَدِيرٌ وَأَنَّ اللَّهَ قَدْ أَحَاطَ بِكُلِّ شَيْءٍ عِلْمًا ۝ ١٢

“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).

Indonesia sendiri memiliki potensi panas bumi yang besar karena di lewati oleh cincin api (*ring of fire*). Sekitar 40% atau 29.000 MW total panas bumi di dunia berada di Indonesia karena Indonesia adalah negara yang memiliki potensi gunung api yang tinggi (Wahyuni, 2012).

2.1.1 Sistem Panas Bumi

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



Gambar 2.1 Model Zona Subduksi (<http://2.bp.blogspot.com> plat boundary)

Secara garis besar panas bumi di kontrol oleh adanya sumber panas (*heat source*), batuan reservoir, lapisan penutup, keberadaan struktur geologi dan resapan air (Goff dan Janik, 2000). Masing-masing memiliki peranan sendiri

dalam membentuk sistem panas bumi yang membedakan dengan sistem panas bumi yang lainnya.

a. Sumber Panas (*Heat Source*) geser lurus

Sumber panas pada sistem panas bumi dapat terdiri dari intrusi batuan, dapur magma (*magma chambers*) atau gradien temperature dimana semakin ke dalam temperatur semakin meningkat. Sistem panas bumi dengan sumber panas yang berasal dari intrusi batuan atau magma biasa di temukan pada daerah gunung api (*volcanic*). Sementara sistem panas bumi dengan sumber panas yang berasal dari gradien temperature biasa di temukan pada daerah lempeng tektonik aktif dan cekungan sedimen (*sedimentary basins*). Magma sebagai sumber panas yang umum pada sistem panas bumi terjadi karena proses pelelehan pada mantel atau penurunan temperature sebagai akibat masuknya air dari permukaan bumi selama proses subduksi (Sigurdsson, 2000).

Sumber panas mengalirkan panas melalui tiga proses yaitu : konduksi, konveksi, dan radiasi (Gupta dan Roy, 2007). Pada sistem panas bumi, perpindahan panas biasa terjadi melalui proses konduksi dan konveksi. Konduksi merupakan proses transfer energi kinetik dari molekul atau atom suatu benda yang panas kepada benda yang lebih dingin. Proses perpindahan panas secara konduksi terjadi pada bagian bumi yang padat yaitu litosfer. Sementara konveksi merupakan proses transfer panas dengan melibatkan perpindahan massa molekul-molekul dari satu tempat ke tempat lainnya. Transfer panas secara konveksi terjadi pada bagian bumi yang cair (*viscous*) yaitu astenosfer.

b. Fluida Panas Bumi (*Geothermal Fluid*)

Tipe-tipe Fluida panas bumi (Moehadi, 2010), yaitu :

1. *Juvenile water*, merupakan air baru yang berasal dari magma primer yang kemudian menjadi bagian dari hidrosfera.
2. *Magmatic waater*, merupakan air yang berasal dari magma yang bersatu dengan air meteorik atau air dari material sedimen.
3. *Meteoric water*, merupakan air yang berada di lingkungan atmosfera.
4. *Connate water*, merupakan fosil air yang berhubungan dengan atmosfer selama periode geologi yang panjang. Air ini tertutup oleh formasi batuan yang tebal dimana di dalam cekungan sedimentasi. *Connate water* merupakan air yang umumnya dihasilkan dari laut, tetapi telah mengalami perubahan oleh proses fisika dan kimia.

c. Reservoir Panas Bumi (*Geothermal Reservoir*)

Reservoir panas bumi merupakan batuan yang memiliki porositas dan permeabilitas yang baik sehingga fluida dapat terakumulasi untuk dipanaskan oleh sumber panas. Selain memiliki porositas dan permeabilitas yang baik, reservoir panasbumi dikatakan produktif dengan syarat memiliki volume yang besar, suhu yang tinggi dan jumlah fluida yang banyak. Panas dari fluida pada batuan reservoir akan diekstrak untuk digunakan sebagai sumber energi panas bumi (Torkis, 2012).

d. Batuan Penudung (*Cap Rock*)

Batuan Penudung atau *cap rock* pada sistem panasbumi berguna untuk menjaga agar panas yang berasal dari reservoir tidak keluar ke permukaan. Batuan penudung memiliki karakteristik yaitu permeabilitas

yang rendah, tebal, dan berada di atas reservoir. Pada batuan penutup sering terjadi proses alterasi yang disebabkan oleh interaksi fluida saat melewati batuan sehingga dapat menjadi indikator adanya sistem panas bumi pada suatu daerah (Torkis, 2012).

e. Struktur Geologi

Struktur geologi bawah permukaan bumi merupakan salah satu komponen utama suatu sistem panas bumi, seperti adanya patahan dan sesar yang merupakan tempat munculnya manifestasi panas bumi (Suharno, 2011).

2.1.2 Klasifikasi Sistem Panas Bumi

Hochstein dan Browne (2000), mengategorikan sistem panas bumi menjadi tiga sistem, yaitu :

- a. Sistem hidrotermal, merupakan proses transfer panas dari sumber panas ke permukaan secara konveksi, yang melibatkan fluida meteorik dengan atau tanpa jejak fluida dari magmatik. Daerah rembesan berfasa cair dilengkapi air meteorik yang berasal dari daerah resapan. Sistem ini terdiri atas: sumber panas, reservoir dengan fluida panas, daerah resapan dan daerah rembesan panas berupa manifestasi.
- b. Sistem vulkanik, merupakan proses transfer panas dari dapur magma ke permukaan melibatkan konveksi fluida magma. Pada sistem ini jarang ditemukan adanya fluida meteorik.
- c. Sistem vulkanik-hidrotermal, merupakan kombinasi dua sistem di atas, yang diwakili dengan air magmatik yang naik kemudian bercampur dengan air meteorik.

Hochstein dan Soengkono (1997), mengklasifikasikan temperature suatu sistem panasbumi menjadi tiga berdasarkan tempratur reservoir:

1. Tinggi (temperatur reservoir lebih besar dari 225°C)
2. Sedang/*intermediate* (temperatur reservoir 125°C hingga 225°C)
3. Rendah (tempratur reservoir lebih kecil dari 125°C).

Sedangkan berdasarkan fase fluida di dalam reservoir, sistem panas bumi terbagi menjadi 2 (Simmons, 1998), yaitu :

a. *Single phase system*

Reservoir mengandung air panas dengan temperatur sekitar 90°C hingga 180°C dan tidak ada pendidihan yang terjadi di reservoir.

Reservoir pada sistem ini termasuk sistem panasbumi bertemperatur rendah. Jika reservoir ini dibor, maka yang keluar berupa air karena rekahannya masih sangat tinggi.

b. *Two phase system*

Two phase system terbagi menjadi 2, yaitu :

1. *Vapour dominated system*

Merupakan sistem tertutup dimana sangat sedikit *rechargeable water*, air bisa meresap namun sangat lama akibat berputar-putar

di reservoir dan tidak ada *outflow* sehingga mengakibatkan

adanya arus konveksi. Hal ini lama-kelamaan akan

mengakibatkan batuan reservoir menjadi homogen dan

temperatur maupun tekanan fluida menjadi relatif konstan.

Fluida di reservoir yang didominasi oleh uap akibat temperatur

dan tekanan yang sangat tinggi, menghasilkan manifestasi berupa *fumarol* dan *acid hot spring*.

2. *Water dominated system*

Merupakan sistem terbuka yang mana terdapat *rechargeable water*. Reservoir mengandung air dan uap namun lebih didominasi oleh air. Pada sistem ini terdapat *outflow* sehingga jenis manifestasinya lebih beragam. Adanya *outflow* dan *rechargeable water* membuat energi terlepas sehingga temperature dan tekanan di reservoir berubah seiring dengan kedalamannya. Semakin dalam kedalamannya maka semakin tinggi tekanannya. Sedangkan temperatur di reservoir memiliki gradien panas bumi yang sangat kecil. Di atas reservoir terjadi arus konduksi sama seperti sistem *vapour dominated*.

a. **Metode Magnetik**

Teori magnetik adalah salah satu metode geofisika untuk mengukur variasi medan magnetik di permukaan bumi yang disebabkan oleh adanya variasi distribusi benda termagnetisasi di bawah permukaan bumi. Variasi intensitas medan magnetik yang terukur kemudian ditafsirkan dalam bentuk distribusi bahan magnetik di bawah permukaan, yang kemudian di jadikan dasar bagi pendugaan keadaan geologi yang mungkin dalam aplikasinya, metode magnetik mempertimbangkan variasi arah dan besar vector magnetisasi. Pengukuran intensitas medan magnetik bisa dilakukan melalui darat, laut dan udara. Metode magnetik sering digunakan dalam eksplorasi pendahuluan minyak bumi, panas

bumi, dan batuan mineral serta diterapkan pada pencarian propeksi benda-benda arkeolog.

2.2.1 Gaya Magnetik

Apabila terdapat dua buah kutub magnetik m_1 dan m_2 yang berjarak r (cm), maka akan terjadi gaya Coulumb sebesar.

$$\vec{F} = \frac{m_1 m_2}{\mu_0 r^2} \quad (2.1)$$

Dengan μ_0 adalah permeabilitas medium dalam ruang hampa, tidak berdimensi dan berharga satu (Thelford, 1976).

2.2.2 Medan Magnetik

Kuat medan (\vec{H}) adalah gaya pada suatu kutub magnetik (m') jika diletakkan pada titik dalam medan magnetik yang merupakan hasil dari kuat kutub m (Telford, 1976)

$$\vec{H} = \frac{\vec{F}}{m'} = \frac{m}{\mu r^2} \hat{r} \quad (2.2)$$

Dimana r adalah jarak titik pengukuran dari m . Diasumsikan m' jauh lebih besar dari m sehingga m' tidak menimbulkan gangguan terhadap medan \vec{H} pada titik pengukuran. Satuan medan magnetik dalam SI adalah *Ampere*/meter (A/m), sedangkan dalam cgs adalah oersted, dimana oersted adalah 1 (satu) dyne/unit kutub.

2.2.3 Momen Magnetik

Di alam, kutub magnet selalu berpasangan atau disebut dipole (kutub positif dan kutub negatif), yang dipisahkan oleh jarak l . Momen magnetik (\vec{M}) didefinisikan sebagai:

$$\vec{M} = ml\hat{r} \quad (2.3)$$

\vec{M} merupakan sebuah vektor pada arah vektor unit \hat{r} berarah dari kutub negatif menuju kutub positif. Arah momen magnetik dari atom material non-magnetik adalah tidak beraturan sehingga momen magnetik resultannya menjadi nol. Sebaliknya, di dalam material-material yang bersifat magnet atom-atom material tersebut teratur sehingga momen magnetik resultannya tidak sama dengan nol.

2.2.4 Intensitas Magnetik

Intensitas magnetisasi adalah besaran yang menyatakan seberapa intensitas keteraturan atau kesearahan arah momen-momen magnetik dalam suatu material sebagai akibat dari pengaruh medan magnet luar yang melingkupinya. Intensitas magnetisasi (\vec{l}) didefinisikan sebagai momen magnetik \vec{M} per unit volume.

$$\vec{l} = \frac{\vec{M}}{\text{volume}} = \frac{ml}{\text{vol}} = \frac{m}{\text{area}} \quad (2.4)$$

2.2.5 Suseptibilitas Magnetik

Metode magnetik dalam aplikasi Geofisika akan tergantung pada pengukuran yang akurat dari anomali medan geomagnet lokal yang dihasilkan oleh variasi intensitas magnetisasi dlm formasi batuan. Intensitas Magnetik pada batuan sebagian disebabkan oleh induksi dari magnet bumi dan yang lain oleh adanya magnetisasi permanen. Intensitas dari induksi geomagnet akan bergantung pada suseptibilitas magnetik batumannya dan gaya magnetnya, serta intensitas permanennya pada sejarah geologi batu tersebut.

Intensitas magnetik dalam suatu material tergantung pada medan eksternal (\vec{H}) dan suseptibilitas magnetik (k) batuan atau mineral tersebut.

$$\vec{I} = k\vec{H} \quad (2.5)$$

Nilai suseptibilitas magnetik dalam ruang hampa sama dengan nol karena hanya benda yang berwujud saja yang dapat termagnetisasi. Suseptibilitas magnetik bisa diartikan sebagai derajat kemagnetan suatu material (Telford , 1976)

Nilai suseptibilitas batuan dapat dilihat pada Tabel 2.1 nilai suseptibilitas batuan dan mineral dibawah ini :

Tabel 2.1 Nilai Suseptibilitas Magnetik

Batuan	Susceptibility (10^6 cgs)
Lava Andesit	0.02 – 0.04
Breksi	0.01 – 0.03
Alterasi Lempung	0.01 – 0.03
Bongkah Silisifikasi	0.0 – 0.02
Aliran Piroklastik	0.03 – 0.11
Lava Dasitik	0.00 – 0.02
Andesit Piroksen	1.00 – 1.20
Andesit Terubah	0.07 – 0.11
Lempung Kaolin	0.00 – 0.02

Berdasarkan nilai suseptibilitas magnetik, material dibedakan menjadi :

a. Ferromagnetik

Suseptibilitas magnetik material ferromagnetik sebesar $\{10^2 < k < (1.6 \times 10^6)\} \times 10^{-6}$ emu dan tidak bergantung pada temperatur curie karena material-

material atom mempunyai momen magnet dan interaksi antara atom terdekatnya sangat kuat, kombinasi orbit elektron dan gerak spinnya menghasilkan magnet yang kuat. Material feromagnetik dibagi lagi menjadi beberapa macam yaitu ferromagnetik, antiferromagnetik dan ferrimagnetik. Nilai k nya positif dan tidak tergantung pada temperatur Curie, karena material² atom mempunyai momen magnet dan interaksi antara atom terdekatnya sangat kuat. Kombinasi orbit elektron dan gerak spin-nya menghasilkan magnet yang kuat. Tipe ini dibagi lagi menjadi 3 jenis, yaitu :

1. Ferromagnetik (besi, nikel, kobalt) Æ jarang dalam bentuk murni.
2. Antiferromagnetik (*hematite*). Ini merupakan material yang tidak umum. Misal superkonduktor, logam Chromium Cr, Alloys FeMn, dan NiO.
3. Ferrimagnetik (*magnetite, x ilmenite*). Material ini muncul dalam bentuk garnet ferrit dan magnetik. Material magnetik paling tua yang ditemukan adalah magnetite (iron (II, III) oxide).

Contoh lainnya: Aluminium, Cobalt, Nikel, Mangan dan Seng.

b. Paramagnetik

Material paramagnetik mempunyai harga suseptibilitas magnetik ($4 < k < 36000$) $\times 10^{-6}$ emu dan berbanding terbalik dengan temperature curie. Medan magnet pada material ini hanya ada jika ia dimagnetisasi oleh medan magnet dari luar saja. Jika pengaruhnya dihilangkan maka hilang pula magnetnya. Karena adanya pengaruh thermal maka gerakannya menjadi acak kembali. Jumlah elektronnya ganjil. Momen magnet atomnya searah dengan medan polarisasi dan induksi magnetiknya bernilai kecil karena sebagian kecil spin saja yang teralienasi.

Nilai k nya positif dan berbanding terbalik dengan temperatur absolut (hk. Curie – Weiss). Jumlah elektronnya ganjil. Momen magnet atom nya searah dengan medan polarisasi dan induksi magnetiknya bernilai kecil karena hanya sebagian kecil spin saja yang teralienasi. Temperatur *Curie* \pm kedalaman 20 km. Berperan sebagai silicate: *olivine, pyroxene, amphibole, & biotite*.

c. Diamagnetik

Sedangkan material diamagnetik mempunyai harga suseptibilitas magnetik sebesar $(-8 < k < 310) \times 10^{-6}$ emu. Karena harga suseptibilitasnya negatif maka intensitas induksi akan berlawanan arah dengan gaya magnetnya. Semua material menunjukkan respon sebagai diamagnetik ketika ia berada dalam medan magnet.

Nilai dari k negatif, maka intensitas induksinya akan berlawanan arah dengan gaya magnetnya/ medan polarisasi. Semua material menunjukkan respon sebagai diamagnetik ketika ia berada dalam medan magnet. Contoh batuanya: kuarsa, marmer, grafit, garam, air, kayu dan beberapa bahan organik seperti minyak dan plastik dan beberapa logam diantaranya tembaga. Jumlah elektron dalam atom nya genap dan semuanya sudah saling berpasangan, sehingga efek magnetisasinya paling kuat dalam medan polarisasi. Magnet permanen adalah sifat magnetik yang tidak hilang setelah medan eksternal dihilangkan. Batuan beku dan batuan sedimen memiliki magnet permanen dalam tingkatan yang berbeda dan fenomena ini berlaku secara umum.

2.2.6 Magnet Permanen

Magnet permanen secara umum dibagi menjadi 5 jenis, diantaranya :

a. *Thermo Remanent* (TRM)

Dalam pendinginan dari temperature tinggi. Orientasinya merefleksikan orientasi magnet bumi pada waktu dan tempat formasi itu terbentuk. TRM akan hilang jika dipanaskan $> 600^{\circ}\text{C}$ (temperatur Curie).

b. *Detritical Remanent* (DRM)

Diperoleh dengan sedimen sebagai tempat atau pilihan untuk pembentukan butir – butir magnetik di dalam air dalam pengaruh medan bumi. Clay adalah bentuk sedimen utama yang menunjukkan jenis remanen ini.

c. *Chemical Remanent* (CRM)

Selama pertumbuhan atau rekris talisasi butir – butir magnetik pada temperatur moderate di bawah temperatur curie. Proses ini cukup signifikan dalam batuan sedimen dan metamorf.

d. *Isothermal Magnetization* (IRM)

Pada temperatur konstan, gaya magnetisasi bekerja dalam waktu yang singkat.

e. *Viscous Remanent* (VRM)

Sebagai efek kumulatif setelah terbebas lama dalam sebuah medan. Pembentukan magnet remanentnya merupakan fungsi logaritmik terhadap waktu, jadi prosesnya butuh waktu lama. Proses ini lebih merupakan sifat dari batuan berbutir halus dari pada berbutir kasar. Magnet remanent ini cukup stabil.

2.2.7 Induksi Magnetik

Suatu bahan magnetik yang diletakkan dalam medan luar akan menghasilkan medan tersendiri yang meningkatkan nilai total medan magnetik bahan tersebut. Induksi magnetik yang didefinisikan sebagai medan total bahan ditulis sebagai berikut :

$$\vec{B} = \vec{H} + \vec{H}' \quad (2.6)$$

Hubungan medan sekunder dengan intensitas magnetisasi adalah :

$$\vec{H}' = 4\mu\vec{I} \quad (2.7)$$

Kedua persamaan diatas jika digabungkan akan menjadi :

$$\vec{B} = (1 + 4\mu k)\vec{H} \quad (2.8)$$

Konstanta $(1 + 4\mu k)$ sama dengan permeabilitas magnetik (μ) yang juga merupakan perbandingan antara \vec{B} dan \vec{H} , atau ditulis sebagai berikut :

$$\vec{B} = \mu\vec{H} \quad (2.9)$$

2.2.8 Variasi Waktu

Intensitas medan magnetik yang terukur di atas permukaan bumi selalu mengalami perubahan setiap waktu. Peristiwa ini terjadi pada waktu yang relatif singkat ataupun lama. Faktor penyebab perubahan medan magnetik bumi antara lain:

- a. Variasi harian

Merupakan perubahan medan magnetik bumi yang sebagian besar bersumber dari medan magnetik luar. Medan magnetik luar dapat berasal dari perputaran arus listrik di dalam lapisan *ionosfer* yang bersumber dari

partikel-partikel terionisasi oleh radiasi matahari sehingga menghasilkan fluktuasi arus yang dapat menjadi sumber medan magnetik.

b. Badai magnetik

Merupakan gangguan medan magnetik yang bersifat sementara. Faktor penyebabnya hampir sama dengan variasi harian, hanya saja diasosiasikan dengan aurora. Menurut Telford, *et al.* (1976) periode terjadinya badai magnetik berhubungan dengan aktivitas bintik hitam matahari (*sunspot*). Badai magnetik dapat terjadi beberapa hari sehingga pengambilan data magnetik tidak dapat dilakukan selama badai magnetik berlangsung karena akan mengacaukan data pengamatan.

c. Variasi sekuler

Merupakan variasi medan magnetik bumi yang bersumber dari medan magnetik utama bumi, sebagai akibat dari perubahan posisi kutub magnetik bumi. Kutub magnetik selalu mengalami perubahan secara periodik meskipun dalam waktu yang relatif lama. Perubahan posisi kutub ini diperkirakan berasal dari proses di dalam bumi yang berhubungan dengan perubahan arus konveksi di dalam inti, perubahan *coupling intimantel*, perubahan laju perputaran bumi dan sebagainya. Pengaruh variasi sekuler telah diantisipasi dengan cara memperbaharui dan menetapkan nilai intensitas medan magnetik utama bumi setiap lima tahun sekali. Nilai ketetapan ini dikenal dengan nama *International Geomagnetic Reference Field (IGRF)*.

2.2.9 Koreksi Data Magnetik

Untuk mendapatkan anomali medan magnetik yang menjadi target survei, maka data magnetik yang telah diperoleh harus dibersihkan atau dikoreksi dari pengaruh beberapa medan magnet yang lain. Secara umum beberapa koreksi yang dilakukan dalam survei magnetik meliputi :

a. Koreksi Harian

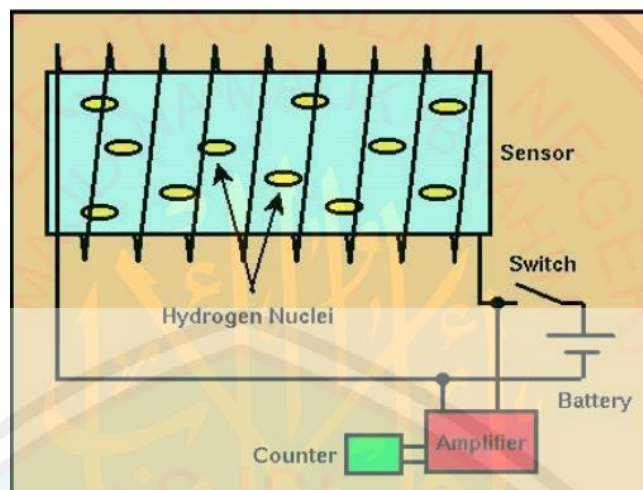
Merupakan koreksi yang dilakukan terhadap data magnetik terstruktur untuk menghilangkan pengaruh medan magnet luar atau variasi harian.

b. Koreksi IGRF

Merupakan koreksi yang dilakukan terhadap data medan magnet terukur untuk menghilangkan pengaruh medan magnet utama bumi, dimana medan magnet IGRF adalah referensi medan magnet disuatu tempat.

2.3 Magnetometer (*Proton Precision Magnetometer*)

Proton Precision Magnetometer (PPM) memanfaatkan momen magnetik dari inti *hydrogen* (proton). Elemen pengindraannya terdiri dari botol yang berisi cairan hidrokarbon dengan titik beku rendah yang mengenai gulungan kawat tembaga. Arus polarisasi dari urutan amp atau lebih dilewatkan melalui kumparan, menciptakan medan magnet yang kuat (Milsom, 2003).



Gambar 2.2 Diagram kotak dari PPM (www.mines.edu)

Cara kerja dari *Proton Precision Magnetometer* dapat di jelaskan pada gambar di atas. Di dalam botol yang dililitkan kumparan dimasuki cairan yang mengandung banyak proton. Proton-proton ini mempunyai 2 macam gerakan yang tidak beraturan. Gerakan tersebut adalah gerakan spin (berputar pada porosnya) dan gerak prosesi (gerak gasing yang oleng). Apabila tegangan polarisasi diaktifkan maka timbul medan magnet H_1 yang kuat disekeliling botol. Hal ini mengakibatkan gerak proton-proton tadi menjadi lebih teratur. Gerak prosesi proton pada keadaan ini mengikuti aturan sedemikian rupa sehingga dipenuhi hubungan (Munadi, 2001) :

$$\omega_1 = \gamma H_1 \quad (2.10)$$

Dimana :

ω_1 = kecepatan sudut gerak prosesi proton

γ = rasio giromagnetik dari proton yang besarnya adalah $2,6752 \times 10^8$

H_1 = kuat medan magnet yang di bangkitkan oleh tegangan polarisasi

Beberapa saat kemudian tegangan polarisasi diputus, sehingga di sekitar botol tak ada lagi medan magnet polarisasi sehingga hal ini akan mempengaruhi gerak prosesi proton-proton tadi. Akibat tidak adanya medan magnet polarisasi

tadi proton-proton berpresesi di bawah pengaruh medan magnet lain yakni medan magnet bumi. Dalam keadaan ini di penuhi hubungan :

$$\omega_2 = \gamma H_2 \quad (2.11)$$

Dimana :

ω_2 = kecepatan sudut gerak presesi proton-proton akibat pengaruh medan magnet bumi.

γ = rasio giromagnetik dari proton

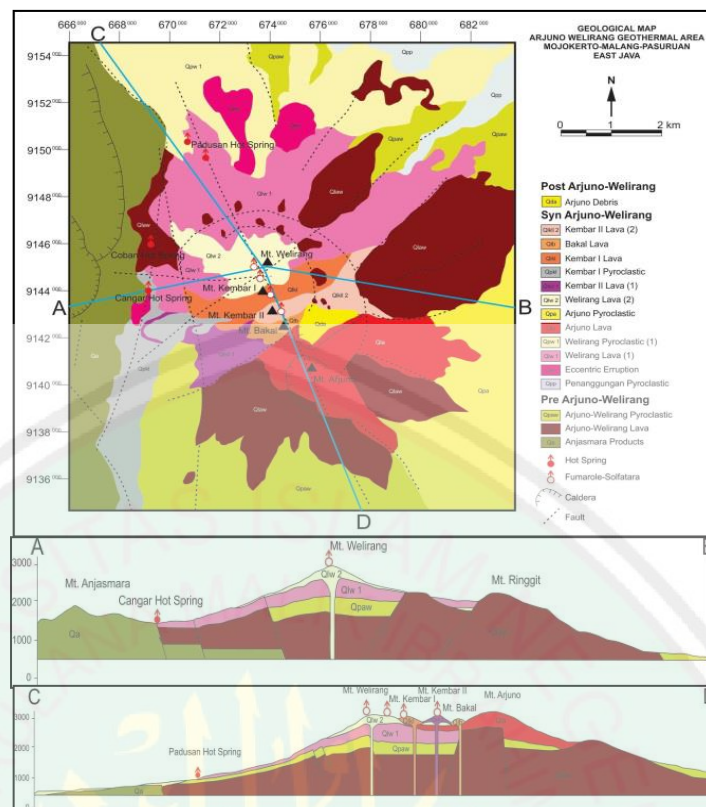
H_2 = kuat medan magnet bumi yang mempengaruhinya

Jadi dengan mengukur ω_2 , maka kuat medan magnet bumi (H_2) dapat diketahui (Munadi, 2001).

2.4 Geologi Daerah Penelitian

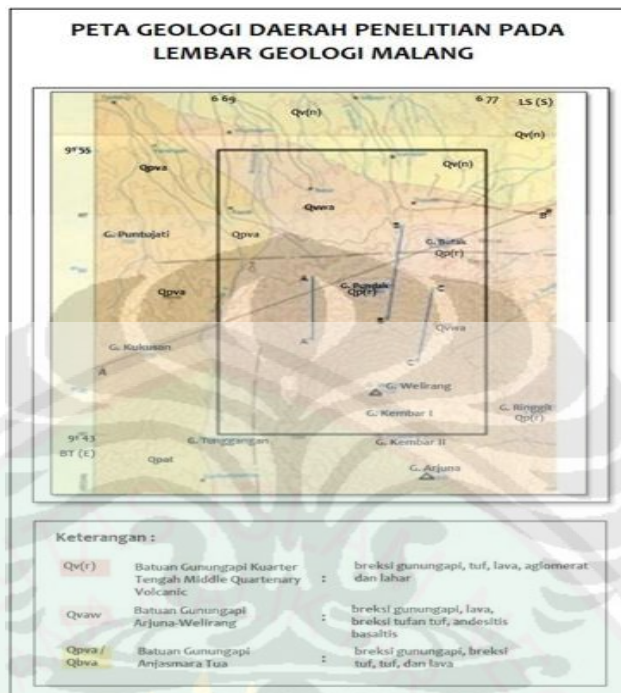
2.4.1 Geografis Wilayah

Arjuno Welirang merupakan salah satu prospek panasbumi di Provinsi Jawa Timur, yang terletak di wilayah Kabupaten Malang, Kabupaten Mojokerto. Daerah prospek ini berada di lingkungan geologi yang di dominasi oleh batuan vulkanik berumur kuartar. Secara geografis Gunung Arjuno-Welirang berada pada koordinat $112^{\circ}29'12''$ - $112^{\circ}37'39''$ BT sampai $7^{\circ}37'56''$ - $7^{\circ}49'51''$ LS atau terletak pada koordinat UTM antara 665500 – 679250 mT dan 9139000 – 9158200 mU pada proyeksi peta *Universa Transverse Mercator* (UMT) Datum WGS 1984 zona 47S. Peta geologi Kompleks Gunung api Arjuno-Welirang ditunjukkan gambar 2.3



Gambar 2.3 Peta geologi daerah mata air Padusan (Hadid dkk, 2010).

Survei geologi adalah survei yang bertujuan untuk meneliti manifestasi yang muncul ke permukaan seperti singkapan batuan ataupun struktur patahan yang terlihat jelas di daerah penelitian. Pada dasarnya survei geologi merupakan penelitian awal dari rangkaian eksplorasi yaitu untuk mendapatkan data geologi di sekitar daerah penelitian yang berfungsi untuk proses interpretasi pada tahap lebih lanjut. Hasil survei geologi akan di gabungkan dengan data geofisika agar dapat melakukan proses interpretasi karena data geofisika hanya memberikan informasi berdasarkan parameter-parameter secara fisik tergantung dari metode apa yang di gunakan.



Gambar 2.4. Peta Geologi Lembar Malang, Arjuno – Welirang (Santosa dan Suwarti, 1992).

Berdasarkan gambar Peta Geologi Daerah Penelitian Pada Lembar Malng daerah pengukuran Arjuno -Welirang berada pada sekitar latitude 66800 s.d 67700 (E) dan longitude 9143000 s.d 9155000 (S). Berdasarkan koordinat tersebut terdapat beberapa lapisan batuan yang di lewati pada daerah pengukuran yaitu :

- a. Batuan Vulkanik Gunung Anjasmara Muda (Qpva) yang secara umum jenis batuan yang terdapat di bawahnya sama dengan dan Batuan Vulkanik Gunung Anjasmara Tua (Qpat) hanya dibedakan dari segi umur terbentuknya saja, dimana Qpva terbentuk pada umur Plistosen Tengah. Contoh batuan pada jenis ini antara lain endapan piroklastik, andesit, piroksen, basalt dan olivin. (Santosa dan Suwarti, 1992)
- b. Batuan Vulkanik Ringgit (Qp(r)) yang merupakan endapan hasil erupsi Gunung Arjuna – Welirang Tua dan tebalnya diduga beberapa ratus meter.

Nama lain untuk Batuan Vulkanik Ringgit adalah “*Old Arjuna Volcanic*”. Lapisan batuan ini terbentuk pada sekitar plistosen tengah menuju akhir. Contoh batumannya antara lain adalah breksi, tuf, aglomerat, lava dan lahar. (Santosa dan Suwarti, 1992)

- c. Batuan Vulkanik Gunung Penanggungan (Qv(n)) yang merupakan endapan piroklastika parasit besar pada kaki/lereng timur laut dari Gunung Arjuna – Welirang. Termasuk batuan vulkanik kuartar atas karena terbentuk sekitar *plistosen holosen*. Contoh batumannya yaitu breksi gunung api, tuff, lava, breksi tufan, aglomerat dan lahar. (Santosa dan Suwarti, 1992)
- d. Batuan Vulkanik Gunung Arjuna – Welirang (Qvwa) merupakan batuan hasil erupsi besar dari Gunung Arjuna – Welirang tua juga produk baru dari Gunung Arjuna – Welirang. Termasuk batuan kuartar akhir (*late*). Contoh batumannya antara lain breksi gunung api, tufan, andesit, basal, mafik, piroksen, dan gamping.

2.4.2 Morfologi

Satuan morfologi di komplek Arjuno-Welirang dapat dibedakan menjadi tujuh satuan geomorfologi (Soetoyo, 2010) yaitu:

- a. Satuan geomorfologi tubuh Gunung Anjasmoro

Kondisi daerah terjal dan curam, sungai-sungai membentuk pola sub paralel dengan lembah sempit berbentuk V. Litologi penyusun berupa lava dan aliran piroklastik produk Gunung Anjasmoro. Satuan morfologi tersusun oleh batuan lava andesitik produk Gunung Arjuno-Welirang tua.

- b. Satuan geomorfologi tubuh tua komplek Arjuno-Welirang

Kondisi daerah terjal dengan sungai-sungai membentuk pola sub-dendritik dan bentuk lembah yang sempit.

c. Satuan geomorfologi erupsi samping Gunung Bulak dan Pundak

Puncak ketinggian berada di Gunung Pundak dan Gunung Bulak yang tersusun oleh lava andesit. Kemiringan lereng terjal dengan sungai membentuk pola aliran radial.

d. Satuan geomorfologi tubuh muda Gunung Arjuno-Welirang

Tersusun oleh batuan lava andesit, aliran piroklastik produk gunungapi Sin-Arjuno Welirang seperti Gunung Arjuno, Gunung Welirang, Gunung Bakal serta Gunung Kembar I dan II. Kemiringan lereng antara bergelombang hingga terjal dengan sungai-sungai yang membentuk pola pengaliran radial dan sub-dendritik serta lembah V yang dalam.

e. Satuan puncak Gunung Arjuno-Welirang

Satuan ini menempati bagian tengah dari kompleks Gunung Arjuno-Welirang pada masing-masing puncak Gunung Arjuno, Gunung Welirang, Gunung Bakal serta Gunung Kembar I dan II. Tersusun oleh batuan lava andesit dan aliran piroklastik.

f. Satuan kaki Gunung Arjuno-Welirang

Tersusun oleh batuan lava andesit aliran piroklastik, longsoran vulkanik dan lahar. Kemiringan lereng bergelombang dengan pola pengaliran sungai sub-radial dengan sungai yang cukup lebar (>5 m) dan membentuk lembah U. Berfungsi sebagai daerah limpasan (*discharge*), tempat munculnya air panas Cangar, Padusan dan Coban. Disamping itu banyak pula muncul mata air dingin dengan debit yang besar.

g. Satuan kaki Gunung Penanggungan

Tersusun oleh aliran piroklastik produk Gunung Penanggungan. Kemiringan lereng landai.

2.4.3 Statigrafi

Hampir seluruh daerah panasbumi Gunung Arjuno-Welirang merupakan batuan produk vulkanik Kuartar yang dapat dipisahkan berdasarkan pusat erupsinya. Beberapa produk gunungapi di daerah ini terdiri dari aliran lava dan piroklastik. Pada gambar 2.1 ditunjukkan stratigrafi yang melewati mata air padusan pada irisan C-D. Secara umum, stratigrafi wilayah kompleks gunungapi Arjuno-Welirang dapat dibagi menjadi berikut (Soetoyo, 2010):

AGE	ERUPTION CENTER										SIDE ERUPTION			
	ANJASMORO	PENANGGUNGAN	OLD		ARIJUNO - WELIRANG							SECONDARY DEPOSIT		
			Lava	Pyroclastic Flow	WELIRANG	ARIJUNO	KEMBAR I		KEMBAR II				BAKAL	
TOP	Lava	Pyroclastic Flow	Lava	Pyroclastic Flow	Lava	Pyroclastic Flow	Lava	Pyroclastic Flow	Lava	Pyroclastic Flow	Lava	Pyroclastic Flow	SECONDARY DEPOSIT	
QUARTER														
BOTTOM														

Gambar 2.5 Stratigrafi wilayah kompleks gunungapi Arjuno-Welirang (Sumotarto, 2018).

a. Satuan Lava Anjasmara (Q1a)

Satuan ini tersebar di bagian barat, tersusun oleh lava andesit basaltis dan breksi vulkanik. Lava andesit berwarna abu-abu gelap afanitik porfiritik, keras dan masif. Di beberapa daerah terlihat jelas struktur vesikular yang mencerminkan lava pada bagian atas, terdapat kekar berlembar (*sheeting joint*), tebal satuan ini lebih dari 1000 m dengan ciri topografi curam dengan

bentuk dinding sesar yang cukup luas dengan bentuk radial seperti *rim* kaldera. Batuan tersusun oleh plagioklas dan mineral mafik (olivin, piroksen) yang cukup banyak.

a. Lava Tua Arjuno-Welirang (Qltaw)

Satuan ini tersebar di bagian barat hingga ke selatan terutama di sekitar Gunung Ringgit, Gunung Lincing, di bagian utara sekitar Prigen dan juga tersingkap sedikit di bagian barat daerah Air Panas Coban. Karakteristik batuan berupa lava andesit–basaltis dengan tekstur porfiritik, keras dan tebalnya yaitu >1000 m. Mineral penyusun didominasi oleh mineral mafik (*piroksen*) dan *plagioklas*. Beberapa tempat berstruktur kekar berlembar. Satuan ini diduga sebagai tubuh tua dari kompleks Arjuno–Welirang yang masih tersingkap di permukaan.

b. Aliran Piroklastik Tua Arjuno–Welirang (Qaptaw)

Satuan ini terhampar di bagian selatan daerah survei, berupa aliran piroklastik berwarna abu-abu kecoklatan, terdiri dari komponen lava, *scorea* dan *pumice* berukuran lapili sampai bom, menyudut sampai menyudut tanggung, vesikular tertanam dalam matrik tufa pasiran berwarna kecoklatan. Satuan ini diperkirakan merupakan produk eksplosif dari tubuh lava tua kompleks Arjuno-Welirang yang berumur Kwartir awal, hal tersebut berkaitan dengan munculnya *pumice* dan *scorea* yang merupakan material hasil eksplosif besar.

c. Aliran Piroklastik Penanggungan (Qapp)

Satuan ini tersebar di bagian timur laut daerah survei, tersusun oleh aliran piroklastik berwarna abu-abu kecoklatan dengan komponen lava

andesit produk Gunung Penanggungan, angular. Matrik batuan berupa tuf berwarna kecoklatan.

d. Erupsi Samping (Qes)

Satuan ini tersebar di tiga lokasi, masing-masing adalah lava produk Gunung Bulak, lava produk Gunung Pundak di bagian utara dan lava produk Gunung Tanggungan di bagian barat kompleks Arjuno–Welirang. Lava berkomposisi andesit – basaltik berwarna abu-abu tua – kehitaman, afanitik – porfiritik dengan mineral penyusun berupa plagioklas, piroksen dan sedikit olivin. Produk samping ini terbentuk setelah pembentukan lava Arjuno-Welirang tua yang muncul melalui zona struktur di bagian samping kompleks Arjuno–Welirang, memiliki ketinggian sampai 300 m dari lereng sampingnya.

e. Lava Welirang 1 (Qlw1)

Satuan ini tersebar di bagian tengah ke arah utara daerah survei. Lava basalt berwarna abu-abu kehitaman, porfiritik, masif, terdiri dari mineral plagioklas, piroksen, olivin dan mineral sekunder berupa mineral lempung dan oksida besi. Satuan ini diduga merupakan produk Sin-Arjuno Welirang yang terbentuk setelah terjadinya kolaps/subsiden pada batuan pra-Arjuno Welirang.

f. Aliran Piroklastik Welirang I (Qapw1)

Satuan ini tersebar di bagian utara daerah survei, di sekitar Padusan, Pacet hingga Kenang di kaki Gunung Penanggungan. Satuan ini memiliki hubungan yang selaras dengan Lava Welirang I. Diperkirakan terbentuk sebagai akibat adanya letusan eksplosif yang juga membentuk *ring*

fracture yang menghasilkan produk aliran piroklastik yang tersebar luas dengan jatuhan piroklastik tipis. Aliran piroklastik berwarna abu-abu tua kecoklatan, keras, menyudut dengan komponen lava andesit – basal berukuran bongkah – lapili yang tertanam pada matrik tuf berukuran sedang berwarna kecoklatan. Jatuhan piroklastik tipis berwarna abu-abu tua, berukuran sedang tersingkap di daerah Claket menindih aliran piroklastik Welirang 1 dengan ketebalan <30 cm.

g. Lava Arjuno (Qlar)

Satuan ini menempati bagian tengah kompleks Arjuno–Welirang dengan penyebaran ke arah tenggara. Produk Arjuno terbentuk setelah terjadinya subsiden yang merupakan Sin-Arjuno Welirang. Batuan berkomposisi lava basalt, berwarna abu-abu kehitaman, afanitik – porfiritik, setempat terdapat struktur kekar berlembar. Mineral penyusun berupa plagioklas, piroksen dan olivin serta mineral lempung sedikit oksida besi. Satuan ini mengalami aktifitas struktur yang lebih kuat dibanding satuan lainnya dengan ditunjukkan dengan terbentuknya longoran berarah tenggara dan timur laut.

h. Aliran Piroklastik Arjuno (Qapa)

Satuan tersebar di bagian tenggara daerah survei disekitar Tambaksari. Tersusun oleh aliran piroklastik produk Arjuno yang berwarna abu-abu kecoklatan, dengan komponen lava basalt berukuran lapili – bom dan matrik tuf kecoklatan berukuran sedang. Satuan ini menindih secara selaras satuan lava Arjuno.

i. Lava Welirang II (Qlw2)

Satuan ini menindih satuan lava Welirang I dengan pusat erupsi sama. Pada bagian puncak terbentuk kawah yang masih aktif dan terbagi menjadi dua lokasi. Kawah Jero berada di bagian puncak dan kawah Pluluh berada di tepian, hanya berjarak <500 m antara keduanya. Batuan berupa lava basalt dan aliran piroklastik. Pada masing-masing kawah terbentuk pengendapan belerang dalam jumlah yang banyak. Alterasi, solfatara dan fumarol ditemukan pada satuan ini.

j. Lava Kembar II (1) (Qlk2)

Satuan ini berada diantara puncak Arjuno dan Welirang, terbentuk setelah terjadinya proses amblesan yang kemudian membentuk pola kesejajaran pusat erupsinya, salah satunya adalah Gunung Kembar II. Aliran lava mengalir ke bagian barat hingga daerah Cangar. Komposisi batuan berupa lava basalt berwarna abu-abu, porfiritik dengan mineral penyusun berupa *plagioklas*, *piroksen* dan sedikit olivin.

k. Aliran Piroklastik Kembar II (1) (Qapk1)

Satuan ini penyebarannya ke arah timur dari pusat erupsi Gunung kembar II. Mengisi bagian depresi pada elevasi yang lebih rendah akibat struktur Arjuno dan membentuk pada puncak Gunung Ringgit yang memiliki elevasi lebih tinggi.

l. Lava Kembar I (Qlk1)

Penyebaran dari lava Kembar ke arah barat dan timur dari puncak erupsinya. Karakteristik batuan berupa lava andesit hornblen dengan presentasi mineral *hornblen* yang lebih banyak dari *piroksen*. *Porfiritik*

dan terdiri dari mineral lava *plagioklas*, *hornblen*, *piroksen* yang tertanam dalam massa dasar gelas vulkanik. Vesikular akibat pelepasan gas di permukaan.

m. Aliran Piroklastik Kembar I (Qapk2)

Satuan ini berada di bagian barat daya daerah survei dengan penyebaran di sekitar Sumber brantas ke arah Kota Batu dan muncul sedikit di bagian timur pusat erupsinya. Aliran piroklastik berwarna coklat dengan komponen lava berukuran lapili – bom, matrik berupa abu vulkanik berwarna kehitaman. Air panas Cangar muncul melalui rongga dan rekahan dari satuan ini, menindih satuan aliran piroklastik pra-arjuno welirang dan lava Kembar II (1).

n. Lava Bakal (Qlb)

Satuan ini penyebarannya hanya sedikit. Volume lava yang dikeluarkan tidak menyebar luas hingga ke lereng bawah kompleks Arjuno–Welirang. Disamping itu aliran lavanya dibatasi oleh morfologi yang dibentuk oleh aliran piroklastik Kembar II. Satuan ini menindih lava Kembar II dan lava Arjuno.

o. Lava Kembar II (2) (QlkII 2)

Satuan ini diperkirakan merupakan produk terakhir dari pembentukan kompleks Arjuno–Welirang yang didasarkan pada rekontruksi pola kemenerusan dan bentuk pola kontur. Satuan ini dibatasi oleh lava Bakal dan lava Kembar I.

2.4.4 Struktur

Berdasarkan gambar 2.1, struktur kompleks gunungapi Arjuno-Welirang dibagi menjadi (Soetoyo 2010):

a. Sesar berarah Utara–Selatan

Beberapa sesar pada arah ini diwakili oleh Sesar Cangar, Sesar Puncung dan Sesar Claket, berupa kelurusan manifestasi, munculnya gawir sesar dan air terjun serta perbedaan ketinggian pada topografi yang cukup terjal.

b. Sesar berarah Baratlaut–Tenggara.

Sesar ini diperkirakan sebagai pola struktur yang muncul berupa antitetik dari sesar utama dengan arah baratdaya–timurlaut sejajar pola Meratus. Sesar ini diwakili oleh Sesar Padusan, Sesar Kemiri, dan Sesar Bakal. Sesar Kemiri dan Sesar Claket diperkirakan membentuk suatu daerah graben yang bagian turunnya diisi oleh aliran piroklastik Welirang. Kenampakan di lapangan dicirikan oleh kelurusan air panas dan topografi yang terjal. Sesar-sesar ini kemungkinan mengontrol munculnya air panas di sekitar Padusan dan berpengaruh dalam pembentukan daerah *impermeabel* dalam sistem panas bumi Arjuno-Welirang.

c. Sesar berarah Baratdaya–Timurlaut.

Sesar ini diperkirakan sebagai sesar utama yang mempengaruhi munculnya kompleks gunungapi Arjuno-Welirang. Sejajar dengan arah sesar basement yang berpola Meratus. Memiliki kecenderungan berasosiasi terhadap munculnya Gunung Penanggungan yang menerus ke arah lumpur Sidoarjo. Sesar ini diwakili oleh Sesar Welirang, Sesar Kembar dan Sesar Bulak. Kenampakan di lapangan berupa gawir yang membentuk air terjun.

d. Sesar berarah Barat–Timur.

Sesar ini diwakili oleh Sesar Ledug dan Sesar Ringit. Penarikan sesar didasarkan pada kelurusan topografi dan citra *landsat*.

e. Rim Kaldera Anjasmoro.

Sesar ini berjenis sesar normal yang membentuk gawir curam dan melingkar. Kenampakan di lapangan dapat dilihat jelas dari arah jalan menuju Cangar. Diperkirakan merupakan bentukan dari sisa kaldera tua yang terbentuk akibat aktivitas vulkano tektonik di kompleks Anjasmoro.

2.5 Sistem Panas Bumi Komplek Gunungapi Arjuno-Welirang

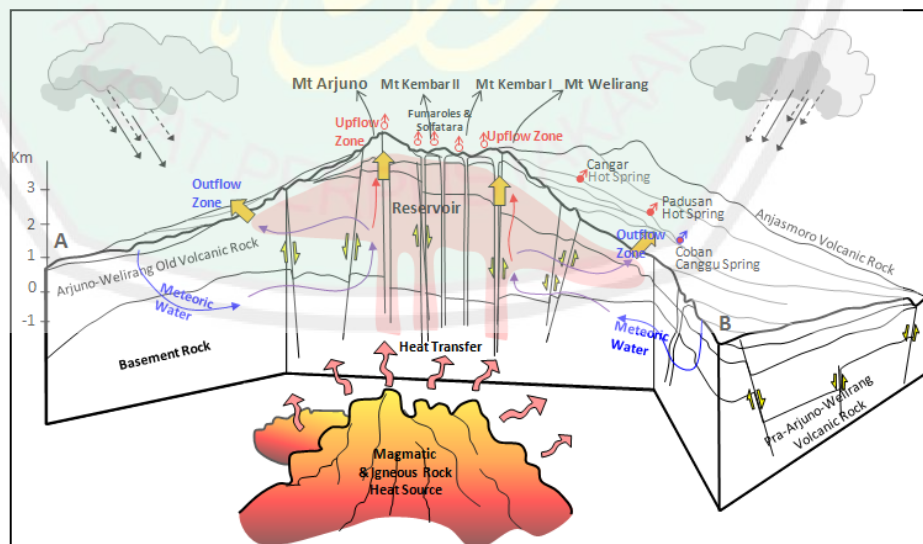
Manifestasi panas bumi permukaan di daerah ini dijumpai berupa mata air panas, fumarol, solfatara, dan batuan alterasi. Mata air panas di daerah ini ditemukan pada tiga lokasi yaitu mata air panas Cangar dengan temperatur antara 48°C - 54°C, mata air panas Coban dengan temperatur sekitar 39°C, dan mata air panas Padusan dengan temperatur antara 50°C hingga 55°C. Fumarol dan solfatara berada di sekitar puncak Gunung Welirang dengan temperatur antara 94°C - 137°C, sedangkan batuan alterasi ditemukan di sekitar Kawah Plupuh dan Gunung Pundak (Tim Survei Terpadu, 2010). Mata air panas Padusan berada pada elevasi 887 m sedangkan mata air panas Cangar pada elevasi 1568 m (Sumotarto, 2017).

Bakruddin (2017), mengatakan bahwa proses terjadinya alterasi pada batuan Padusan dipengaruhi oleh adanya temperatur bawah permukaan dengan tipe zona alterasi Argilik, dan terbentuk pada temperatur bawah permukaan yang diperkirakan sekitar 150-300°C dengan *power of hydrogen* (pH) fluida mendekati netral. Sedangkan pada sampel batuan Cangar berupa fasa mineral *Silicon Oxide*

yang diasumsikan terbentuk pada temperatur bawah permukaan antara 100-300°C. Perbedaan fasa mineral yang hadir pada sampel batuan dikarenakan adanya beda temperatur di bawah permukaan.

Hidrogeothermal mata air panas Cangar dan Padusan didominasi oleh air meteorik yang berasal dari hujan sebagai air fluvial yang melingkupi area Arjuno-Welirang-Penanggunan. Hal ini mengindikasikan bahwa hidrogeothermal lokal di area ini berasal dari air meteorik yang terendapkan dibawah permukaan tanah dengan cepat terpanaskan akibat terkena batuan yang terbentuk oleh magma kemudian mengalir keatas permukaan menjadi mata air panas disekitar gunungapi Welirang (Sumotarto, 2017).

Aliran air bawah permukaan yang tidak terpanaskan mengalir melewati batuan berpori dan batuan vulkanik permeabel hingga menjadi mata air dingin jauh dari sumber panas dibawah gunungapi Arjuno-Welirang. Dengan menggunakan data dan informasi yang ada, potensi area panasbumi Arjuno-Welirang diperkirakan sebesar 200 MWe (Sumotarto, 2018).



Gambar 2.6 Model Geohidrotermal Komplek Gunungapi Ajuno-Welirang (Sumotarto, 2018)

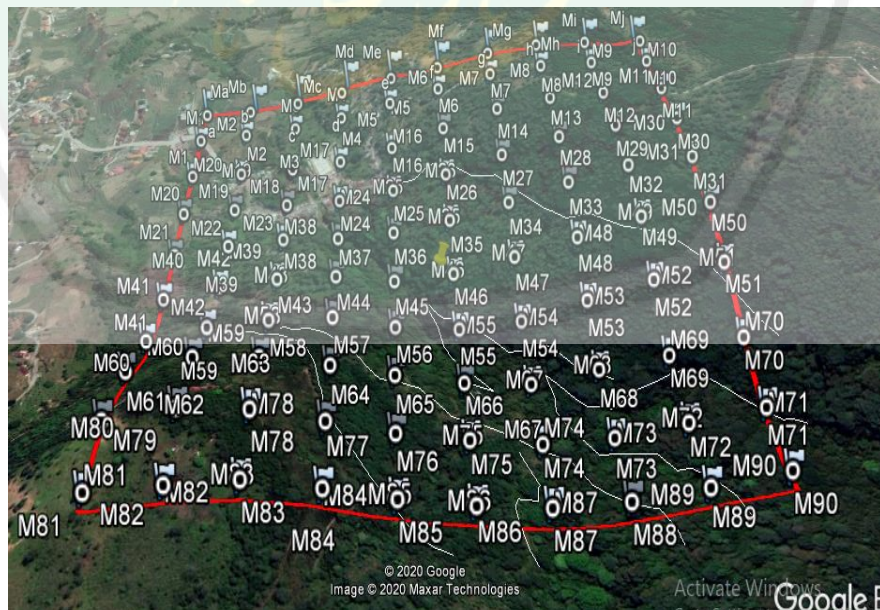
BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian di lakukan di sekitar mata air panas Padusan yang terletak di Desa Padusan Kecamatan Pacet Mojokerto. Dua lokasi Manifestasi mata air panas terletak dalam Kawasan wisata Padusan tidak jauh dari pemukiman warga. Penelitian ini akan di lakukan pada tanggal 9-10 Oktober 2018.

3.2 Desain Akuisisi Data

Desain akuisisi data dibuat menggunakan Google Earth pro yang meliputi koordinat $7^{\circ}41'0.91''$ LS - $7^{\circ}41'29.27''$ LS sampai $112^{\circ}32'47.50''$ BT - $112^{\circ}33'17.73''$ BT dengan luasan 1000 m^2 . Luasan masing-masing titik data ber jarak 100m membentuk Grid persegi. Jumlah titik data akuisisi yang di ambil adalah 100 titik. Desain Akuisisi data tersebut ditunjukkan oleh gambar berikut :



Gambar 3.1 Desain Akuisisi Data

3.3 Data Penelitian

Data yang di ambil dalam penelitian ini adalah :

1. Koordinat Lintang dan Bujur
2. Waktu pengambilan data (hari, jam, tanggal)
3. Ketinggian titik ukur
4. Data geomagnetik, meliputi :
 - a. Medan total
 - b. Variasi harian
 - c. Medan utama bumi (IGRF)

Data koordinat lintang bujur, waktu pengambilan data, ketinggian titik ukur di baca melalui GPS yang digunakan pada waktu di lapangan dan juga benda-benda di sekitar titik pengukuran.

3.4 Peralatan Penelitian

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

1. Magnetometer, jenis magnetometer yang digunakan adalah jenis Proton Procession Magnetometer (PPM) ENVI SCIENTREX 851.
2. GPS, untuk penentuan posisi stasiun pengukuran secara presisi.
3. Kompas, alat penentu arah mata angin.
4. Alat pengukur waktu.
5. Buku manual alat.
6. Peralatan pendukung : Peta geologi, alat tulis, penggaris, perangkat komputer untuk pengolahan data, dan Software (Ms. Excel, Sufer 10, Oasis dsb).

3.5 Prosedur Pelaksanaan

Penelitian ini meliputi tahap pengambilan data (akuisi data), pengolahan data dan interpretasi terhadap hasil pengolahan data. Pada penelitian ini yang dianalisa adalah berupa data anomali magnetik, geologi daerah penelitian, dan kontras suseptibilitasnya. Berikut akan di jelaskan tahap-tahap prosedur pelaksanaan penelitian dalam metode geomagnetik.

3.5.1 Akuisi Data

Pegambilan data dilakukan di daerah sumber air panas desa Padusan. Luas daerah pengambilan data adalah 1000 m^2 dan jarak spasi antar titiknya 100m. yang terletak pada koordinat $7^{\circ}41'0.91'' \text{ LS} - 7^{\circ}41'29.27'' \text{ LS}$, $112^{\circ}32'47.50'' \text{ BT} - 112^{\circ}33'17.73'' \text{ BT}$. Sebelum dilakukannya penelitian penulis melakukan survey lapangan hal ini perlu di lakukan untuk menentukan titik-titik pengukuran yang di butuhkan. Pengukuran menggunakan metode ini memiliki kesensitifan yang cukup tinggi terhadap sumber medan listrik maupun medan magnet yang berda di sekitar titik pengukuran, sehingga akan lebih baik dalam pengambilan data pada setiap titik pengukuran untuk menghindari sumber yang menimbulkan medan tersebut.

Proses pengukuran dilakukan dengan metode loop tertutup. Maksud dari loop tetutup adalah setiap siklus pengukuran, posisi dari titik awal pengukuran dan titik akhirnya adalah sama yang di tentukan sebagai acuan (*base station*). Tujuan dari di gunakan metode *loop* ini yaitu agar koreksi harian (dijurnal) merupakan penyimpanan intensitas medan magnet bumi di sebabkan oleh adanya perbedaan waktu pengukuran dalam satu hari, sedangkan proses pengukuran menggunakan metode magnetik ini tidak selesai dalam satu waktu atau satu hari.

3.5.2 Pengolahan Data

Pengolahan Data atau bisa disebut juga dengan reduksi data adalah segala suatu proses yang dilakukan terhadap data lapangan meliputi koreksi-koreksi, konturing dan Analisa. Dalam pengukuran magnetik di lapangan akan tertangkap medan magnet total bumi. Medan magnet total bumi yang dihasilkan oleh sifat-sifat bumi yang secara keseluruhan (medan utama), medan magnet yang dihasilkan oleh sumber di atas permukaan bumi (medan magnet eksternal) dan medan magnet yang dihasilkan oleh ketidakhomogenan kerak bumi (anomali).

Data magnetik total hasil pengukuran masih berbaur antara efek dari luar dan dari dalam. Efek medan magnetik dari luar bumi di hilangkan dari data pengukuran dengan melakukan koreksi harian (diurnal). Koreksi harian (diurnal) terhadap data menghasilkan medan magnetik yang hanya berasal dari dalam bumi. Sebagian besar efek medan magnetik dari dalam bumi berasal dari medan utama, sedangkan target survei adalah medan magnetik yang berasal dari kerak bumi.

Efek medan magnet utama dari data pengukuran di hilangkan dengan koreksi IGRF. Hasil koreksi IGRF berupa data anomali medan magnetik total pada topografi. Anomali medan magnetik total pada/topografi. Anomali medan magnetik total pada/topografi kemudian di angkat (*upward continuation*) pada ketinggian tertentu untuk memisahkan antara efek lokal dengan efek regional dan selanjutnya anomali magnet lokal direduksi ke kutub untuk memudahkan proses penginterpretasian. Data Lapangan yang sudah terkoreksi akan di buat peta kontur daerah penelitian. Pembuatan peta kontur daerah penelitian. Pembuatan peta kontur di lakukan dengan batuan software.

3.5.3 Koreksi Harian

Koreksi Harian (diurnal) adalah merupakan penyimpanan intensitas medan magnet yang disebabkan oleh perbedaan waktu pengukuran dan efek sinar matahari dalam satu hari. Koreksi harian dapat diperoleh dengan mengurangi nilai intensitas magnet pada titik pengukuran dengan nilai intensitas magnet pada titik pengukuran dengan nilai intensitas magnet pada base station (interpolasi linier terhadap waktu), dengan rumusan sebagai berikut :

$$\Delta H_{\text{harian}} = \left(\frac{t_n - t_{aw}}{t_{ak} - t_{aw}} \right) (H_{ak} - H_{aw}) \quad (3.1)$$

Dimana H menyatakan intensitas medan magnet total, menyatakan waktu, indeks n menyatakan nomor data, indeks aw menyatakan data awal (data pertama di *base station*), dan indeks ak menyatakan data akhir (data akhir di *base station*).

3.5.4 Koreksi IGRF

Data hasil pengukuran medan magnetik pada dasarnya adalah kontribusi dari tiga komponen dasar, yaitu medan magnetik utama bumi, medan magnetik luar dan medan anomali. Nilai medan magnetik utama tidak lain adalah nilai IGRF. Jika nilai medan magnet luar di hilangkan dengan koreksi IGRF. Koreksi IGRF dapat dilakukan dengan cara mengurangi nilai IGRF terhadap nilai medan magnetik total yang telah terkoreksi harian pada setiap titik pengukuran pada posisi geografis yang sesuai. Persamaan koreksinya (setelah di koreksi harian) dapat di tuliskan sebagai berikut (Kurniati, 2008) :

$$\Delta H = H_D - H_0 \quad (3.2)$$

$$H_D = H \pm V_D \quad (3.3)$$

Keterangan :

ΔH = Anomali Medan Magnet Total

H_D = Intensitas Medan Magnet pengaruh luar (Diurnal)

H = Intensitas Medan Magnet terukur

H_0 = Medan Magnet Utama Bumi (IGRF)

V_D = Variasi Diurnal

3.5.5 Reduksi Bidang Datar

Anomali medan magnet ini masih berada pada topografi yang tidak rata, sehingga data anomali tersebut perlu diproyeksikan ke bidang datar dengan ketinggian yang sama. Kesalahan yang mungkin timbul jika dilakukan interpretasi/pemodelan pada bidang yang tidak rata (*uneven surface*), disebabkan oleh ketidak-teraturan ketinggian data pengukuran. Suatu metode yang dapat dipergunakan untuk membawa data medan potensial hasil observasi yang masih terdistribusi di bidang yang tidak horizontal (misalnya bidang topografi) ke bidang horizontal adalah melalui pendekatan deret Taylor (*Taylor series approximation*).

Sebuah deret Taylor menggunakan turunan fungsi yang dihitung pada satu titik untuk mengkestrapolasi fungsi terhadap titik yang berdekatan. Deret Taylor diterapkan sebagai suatu Teknik untuk memodifikasi bentuk benda penyebab anomali agar bias memecahkan problem invers nonlinier. Deret Taylor juga dapat digunakan untuk memprediksi harga suatu medan potensial pada titik-titik yang jauh dari emukan observasi.

3.5.6. Tahapan Interpretasi Data

Interpretasi Data dapat dilakukan dengan dua cara yaitu interpretasi secara kuantitatif dan interpretasi secara kualitatif. Interpretasi kualitatif didasarkan pada analisis peta kontur anomali lokal sedangkan interpretasi kuantitatif dilakukan dengan bantuan program Oasis.

Interpretasi kualitatif bertujuan untuk menduga ada tidaknya benda penyebab anomali dan untuk melokalisasi daerah yang mempunyai anomali. Interpretasi kuantitatif bertujuan untuk menentukan bentuk atau model dan kedalaman benda anomali atau struktur geologi melalui pemodelan matematis. Interpretasi kuantitatif dilakukan dengan menggunakan software.

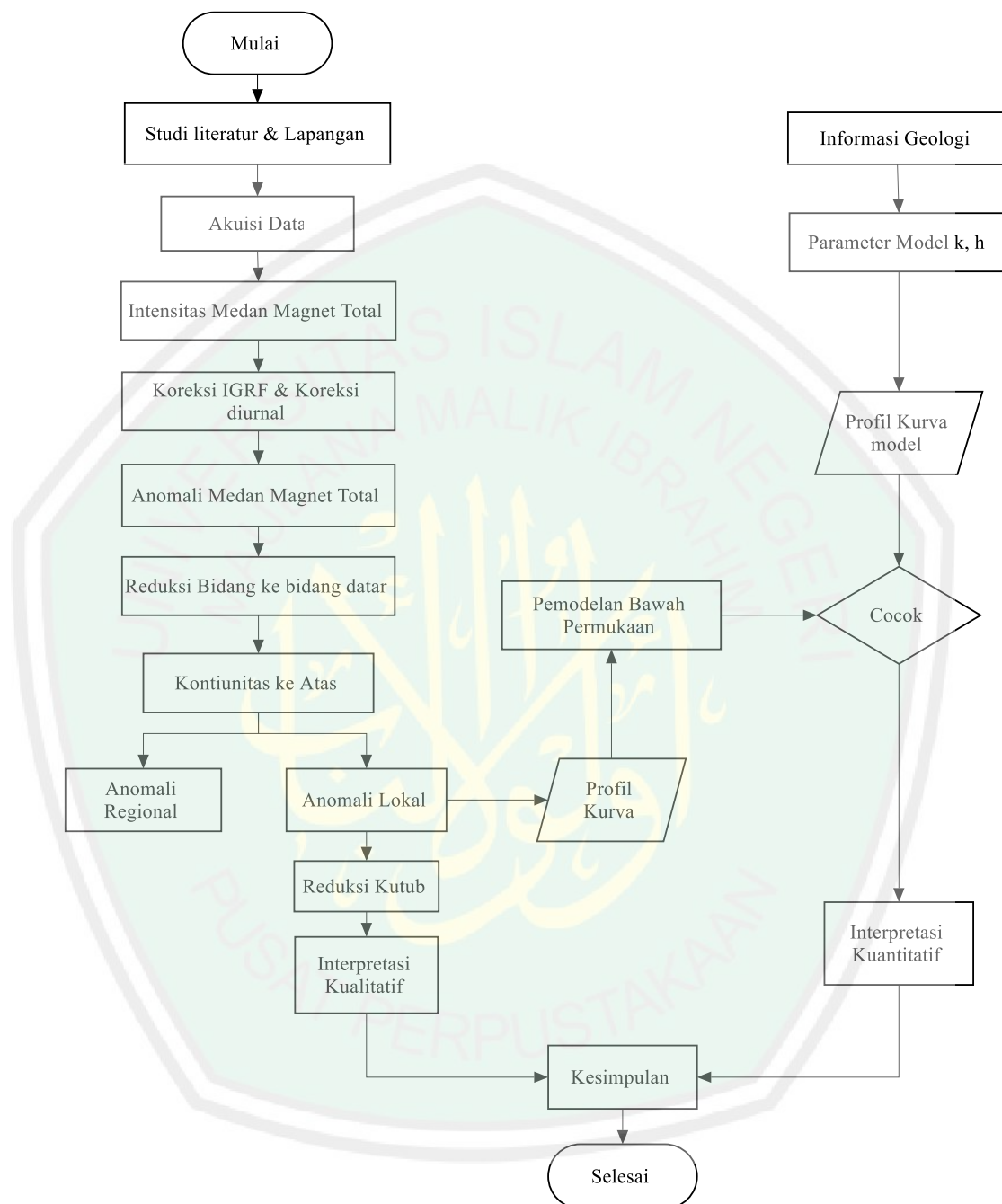
Program ini terdiri dari dua parameter. Parameter pertama merupakan parameter tetap dan parameter dua merupakan parameter variable. Parameter tetap terdiri dari nilai intensitas magnetik daerah pengukuran sesuai IGRF, sudut inklinasi, sudut deklinasi dan profil bearing.

Parameter kedua terdiri dari kedalaman, bentuk polygon dan nilai susceptibilitas. Parameter ini merupakan parameter yang akan dicari nilainya. Perubahan nilai pada parameter ini akan didapatkan model lapisan bawah permukaan.

Data anomali medan magnet pada peta kontur di buat garis yang melalui anomali rendah dan anomali tinggi (*line section*). Data line section selanjutnya akan digunakan sebagai masukan dalam pembuatan model struktur bawah permukaan.

3.6 Diagram Alir Penelitian

Diagram alur penelitian di tunjukkan oleh gambar 3.2



Gambar 3.2 Diagram alur penelitian

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Metode Geomagnetik adalah salah satu metode geofisika yang sering digunakan untuk survei eksplorasi minyak bumi, panas bumi, dan batuan mineral. Geomagnetik didasarkan pada sifat kemagnetan (kerentanan magnet) batuan, yaitu kandungan magnetiknya sehingga efektifitas metode ini bergantung kepada kontras magnetik di bawah permukaan. Di daerah panas bumi, larutan hidrotermal dapat menimbulkan perubahan sifat kemagnetan batuan, dengan kata lain kemagnetan batuan akan menjadi turun atau hilang akibat panas yang ditimbulkan, karena panas terlibat dalam alterasi hidrotermal.

Hasil pengolahan data pada penelitian ini akan dianalisis pada sub bab ini. Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui pola sebaran anomali medan magnetik dan mengetahui litologi bawah permukaan di daerah studi kasus sumber air panas Padusan Pacet Mojokerto. Analisis dilakukan untuk mengetahui pola sebaran kondisi bawah permukaan secara geometri berdasarkan data yang di dapat di lapangan. Geomagnetik akan menunjukkan penyebaran batuan suseptibilitas dan yang di buat dengan data geologi yang diperoleh. Dalam penelitian ini dilakukan interpretasi secara kualitatif dan kuantitatif.

4.1 Akuisi Data

Metode pada penelitian ini menggunakan metode geomagnetik, alat yang digunakan adalah *Praton Processing Magnetometer* (PPM) Geotron Model G5 sebagai *rover* dan Geomatik Magnetometer digunakan sebagai *base station*

secara *looping*, setiap titik pengukuran di ambil 5 kali dalam pengambilan dan di ambil nilai yang sering muncul.

4.2 Pengolahan Data

Data yang telah diperoleh dilapangan kemudian diolah dengan menggunakan beberapa koreksi data yaitu koreksi IGRF (*IGRF correction*) dan koreksi harian (*diurnal correction*) untuk mengetahui anomali medan magnet total daerah penelitian. Selain itu juga dilakukan beberapa transformasi pada anomali medan magnet total yang meliputi reduksi bidang datar, kontinuitas ke atas (*upward continuation*), dan reduksi ke kutub (*reduction to pole*).

Proses pengolahan data dimulai dari merubah atau mengkonversi data koordinat yang didapatkan pada saat akuisi data di lapangan yang masih berupa koordinat Geografis (dd, mm, ss) menjadi bentuk *decimal degre* dengan bantuan Microsoft Excel, kemudian dikonversi ke bentuk *Universal Transverse Mercator* (UTM) dengan menggunakan *Surfer13*. Tujuan menggunakan aplikasi *Surfer13* adalah untuk mempermudah dalam pembacaan serta untuk pengolahan data selanjutnya. Proses selanjutnya yaitu membuat peta kontur dengan menggunakan *Surfer13*.

4.2.1 Anomali Medan Magnet

Anomali medan magnet adalah nilai dari medan magnet pada suatu titik pengukuran yang dihasilkan oleh batuan atau benda bersifat magnetik yang terdapat di bawah permukaan bumi sebagai target dari pengukuran. Untuk mendapatkan nilai anomali medan magnet total yang di peroleh dari pengukuran

dilapangan. Karena masih terpengaruh oleh medan magnet utama bumi dan medan magnet luar bumi.

Koreksi yang pertama adalah koreksi harian yang merupakan penyimpanan nilai medan magnetik bumi yang disebabkan oleh adanya perbedaan waktu pengukuran dan adanya efek radiasi sinar matahari yang di terima oleh bumi selama satu hari. Caranya dengan mengurangi nilai intensitas medan magnet pada titik pengukuran dengan nilai intensitas medan magnet yang terinterpolasi linier terhadap waktu *base station*. Sehingga akan diperoleh nilai medan magnet yang hanya berasal dari dalam bumi.

Koreksi yang kedua adalah koreksi IGRF (*IGRF correction*) yang didasarkan pada nilai IGRF pada setiap daerah yang memiliki nilai yang berbeda-beda. Nilai IGRF adalah nilai medan magnet bumi yang ikut terukur saat melakukan pengukuran dengan menggunakan metode magnetik. Koreksi ini berfungsi untuk menghilangkan efek nilai medan magnet utama yang bersumber dari dalam bumi, sehingga didapatkan nilai anomali medan magnetik total yang bersumber dari batuan atau benda magnetik yang terdapat di bawah permukaan bumi yang menjadi target pengukuran.

Nilai IGRF diperbarui selama lima tahun sekali. Nilai ini dapat diperoleh dengan cara *online* melalui *website* <http://www.ngdc.noaa.gov/geomag-web/#igrfwmm>, maka akan muncul tampilan kalkulator IGRF seperti pada gambar berikut :

Calculate Magnetic Field

Latitude: S N
Longitude: W E
Elevation: GPS Mean sea level

Model: WMM (2014-2019) IGRF (1590-2019)
 EMM (2000-2019)

Start Date: Year Month Day
End Date: Year Month Day
Step size:

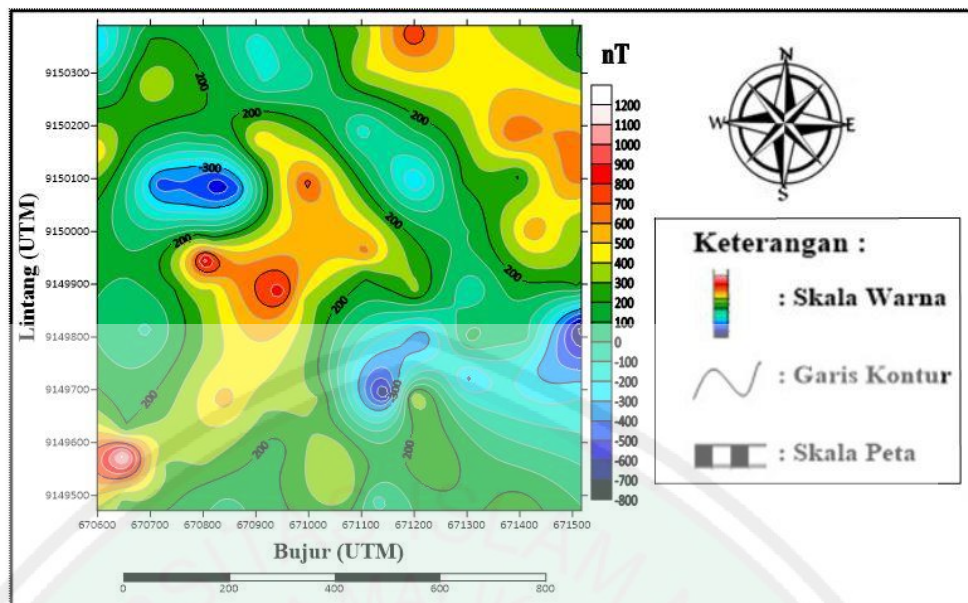
Result format: HTML XML CSV

Gambar 4.1 Kalkulator IGRF

Nilai IGRF yang diperoleh pada penelitian ini adalah 44709,3 nT, yang di dapatkan dengan memasukkan koordinat geografis $7^{\circ}41'0.91''$ LS dan $112^{\circ}32'47.50''$ BT dengan nilai ketinggian (elevasi) 848 sampai dengan 1078 mdpl, dan waktu penelitian yang meliputi tanggal, bulan, tahun penelitian yang dilakukan. Tampilan nilai IGRF dapat dilihat pada gambar 4.2 seperti berikut:

Magnetic Field							
Model Used:	IGRF12						
Latitude:	7.68672° S						
Longitude:	112.5465167° E						
Elevation:	0.0 km Mean Sea Level						
Date	Declination (+ E - W)	Inclination (+ D - U)	Horizontal Intensity	North Comp (+ N - S)	East Comp (+ E - W)	Vertical Comp (+ D - U)	Total Field
2018-10-08	0.9193°	-31.7188°	38,031.4 nT	38,026.5 nT	610.2 nT	-23,506.0 nT	44,709.3 nT
Change/year	-0.0552°/yr	0.1438°/yr	35.6 nT/yr	36.2 nT/yr	-36.0 nT/yr	109.9 nT/yr	-27.5 nT/yr

Gambar 4.2 Tampilan Nilai IGRF

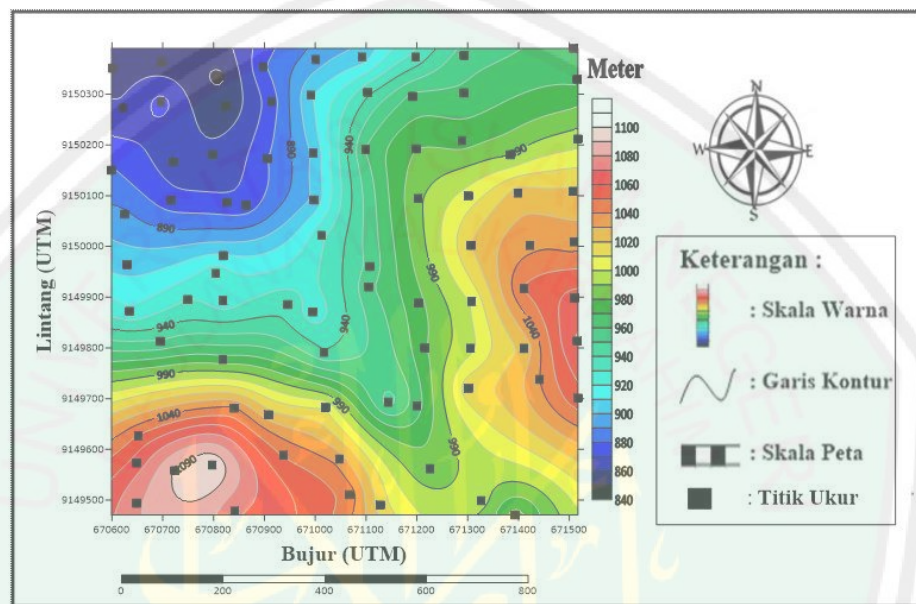


Gambar 4.3 Kontur Anomali Medan Magnet Total

Gambar (4.3) di atas merupakan anomali medan magnet total hasil koreksi harian dan koreksi IGRF. Berdasarkan hasil tersebut dapat diketahui nilai anomali medan magnet total pada daerah penelitian, yaitu berkisar dari -800 nT hingga 1200 Nt. Anomali rendah ditunjukkan oleh warna hitam sampai warna hijau dengan nilai anomali antara -800 nT sampai 300 nT, anomali sedang di tunjukkan oleh warna kuning sampai warna jingga dengan nilai anomali antara 400 nT sampai 600 nT, untuk anomali tingginya ditunjukkan oleh warna merah sampai warna putih dengan nilai anomaly antara 700 Nt sampai dengan 1200 Nt.

Nilai anomali medan magnet total tersebut bersumber dari batuan atau benda magnetik yang terdapat di bawah permukaan pada daerah penelitian, yang berada di Desa Trawas Pacet Mojokerto. Dimana di daerah dataran tinggi dengan ketinggian (elevasi) 848 sampai 1078 mdpl. Elevasi itu sendiri merupakan posisi ketinggian suatu objek dari titik tertentu, yang biasanya dapat dinyatakan sebagai ketinggian yang diukur dalam satuan meter dari permukaan laut (mdpl). Sehingga

dengan adanya data nilai ketinggian (elevasi) yang telah didapatkan ketika pengukuran di lapangan, dapat dibuat peta kontur topografi yang menggambarkan permukaan topografi di daerah penelitian yang mewakili sebuah lereng, bukit, dan lembah, atau bentuk lainnya. Peta kontur topografi beserta persebaran titik ukur di area penelitian dapat dilihat pada gambar gambar 4.4 :



Gambar 4.4 Kontur Topografi beserta Persebaran titik Pengukuran.

4.3 Interpretasi Kualitatif

Secara umum interpretasi dapat di bedakan menjadi dua macam, yaitu interpretasi kualitatif dan interpretasi kuantitatif. Interpretasi kualitatif merupakan proses yang didasarkan pada analisa terhadap penampang atau pola kontur anomali medan magnet total yang muncul akibat adanya *body* berupa benda atau batuan yang menjadi target penelitian. Interpretasi kualitatif dilakukan pada peta kontur nilai anomali medan magnet total yang telah dilakukan proses transformasi reduksi bidang datar, kontinuasi ke atas dan reduksi ke kutub.

4.3.1 Reduksi Bidang Datar

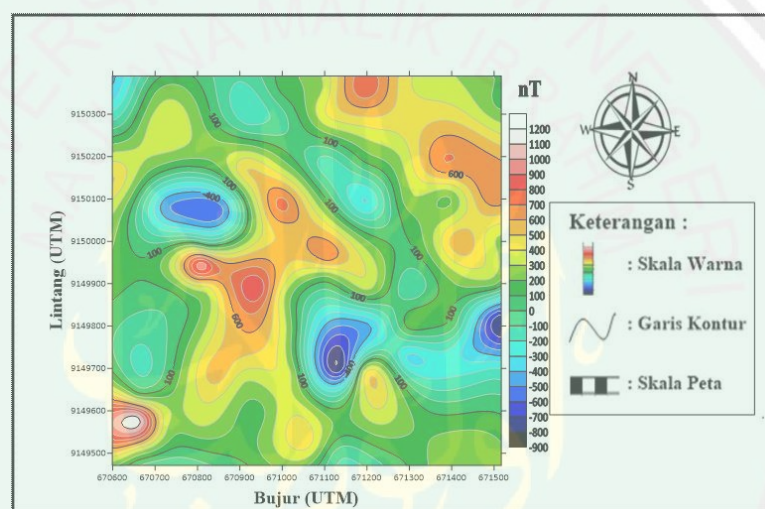
Reduksi bidang datar dalam proses pengolahan data pada survei magnetik dapat dilakukan maupun diabaikan. Hal tersebut didasarkan pada beberapa alasan yang melatar belakangnya, dimana proses reduksi bidang datar dapat dilakukan apabila data anomali medan magnet total dari pengukuran dilapangan berada pada ketinggian topografi yang tidak rata atau ketinggian yang ekstrim, sehingga terjadi undulasi data akibat adanya distorsi pada medan magnet total (Blakely, 1995). Sedangkan, proses reduksi bidang datar dapat diabaikan apabila data anomali medan magnet total dari pengukuran dilapangan berada pada ketinggian topografi yang hampir sama atau ketinggian yang rata, sehingga pengaruh nilai ketinggian pada nilai anomali medan magnet total hanya sebesar 0,0003 – 0,003 nT dan terabaikan arena pengaruh noise dari benda atau batuan yang berada didekat topografi (Burger,1992).

Pada penelitian ini, data anomali medan magnet total diperoleh dan dilakukan koreksi harian dan koreksi IGRF masih terpengaruh oleh efek variasi ketinggian yang ekstrim. Akibatnya, terjadi undulasi data karena adanya distorsi data pada nilai anomali medan magnet total. Hal ini dikarenakan nilai anomaly medan magnet total masih terdistribusi pada permukaan topografi yang tidak rata. Untuk mengatasi masalah ini, perlu dilakukan sebuah proyeksi atau reduksi ke bidang datar pada ketinggian rata-rata topografi.

Proses transformasi reduksi bidang datar ini dilakukan dengan tujuan untuk mereduksi efek distosti data akibat variasi ketinggian pada nilai anomali medan magnet total, dengan cara seolah-olah membawa data ke suatu bidang permukaan denga ketinggian yang sama (bidang datar), melalui pendekatan metode deret

Taylor (*Taylor Series Approximation*) dengan bantuan *software Matlab*. Fungsi reduksi bidang datar juga digunakan sebagai penguat dan mempermudah dalam proses pengolahan serta interpretasi data magnetik.

Dari proses ini didapatkan hasil anomali medan magnet total yang telah di reduksi ke bidang datar dengan model kontur yang lebih halus (*smooth*), yang kemudian akan dikonturkan menggunakan *software surfer 13*. Hasil kontur anomali medan magnet total setelah di reduksi bidang datar dapat dilihat pada gambar 4.5 :



Gambar 4.5 Kontur anomali medan magnet total setelah di reduksi bidang datar pada ketinggian 750 meter.

Pada reduksi bidang datar dilakukan pengangkatan sebesar 750 meter. Besar nilai anomali medan magnet total setelah di reduksi ke bidang datar berkisar dari -900 nT sampai 1200 nT, hal tersebut dapat dilihat pada gambar 4.5. Berdasarkan hasil tersebut dapat dikelompokkan menjadi tiga, yaitu anomali rendah, anomali sedang, dan anomali tinggi. Untuk nilai anomali rendah ditunjukkan oleh warna hitam sampai warna hijau dengan nilai anomali yang berkisar dari -900 nT sampai -200 nT, untuk anomali sedang di tunjukkan oleh warna kuning sampai warna jingga dengan nilai anomali antara 300 nT sampai

500 Nt, untuk yang tinggi ditunjukkan oleh warna merah sampai warna putih dengan nilai anomali antara 700 nT sampai 1200 nT.

Berdasarkan data nilai medan magnet total hasil reduksi bidang datar sudah dapat mempresentasikan distribusi dari nilai suseptibilitas batuan yang terdapat di bawah permukaan. Namun, data ini masih gabungan dari nilai anomali regional dengan nilai anomali lokal, sehingga perlu dilakukan proses pemisahan anomali, yaitu antara anomali lokal dengan regional. Hal ini dikarenakan dalam proses interpretasi dan pemodelan yang diperlukan adalah nilai anomali lokal.

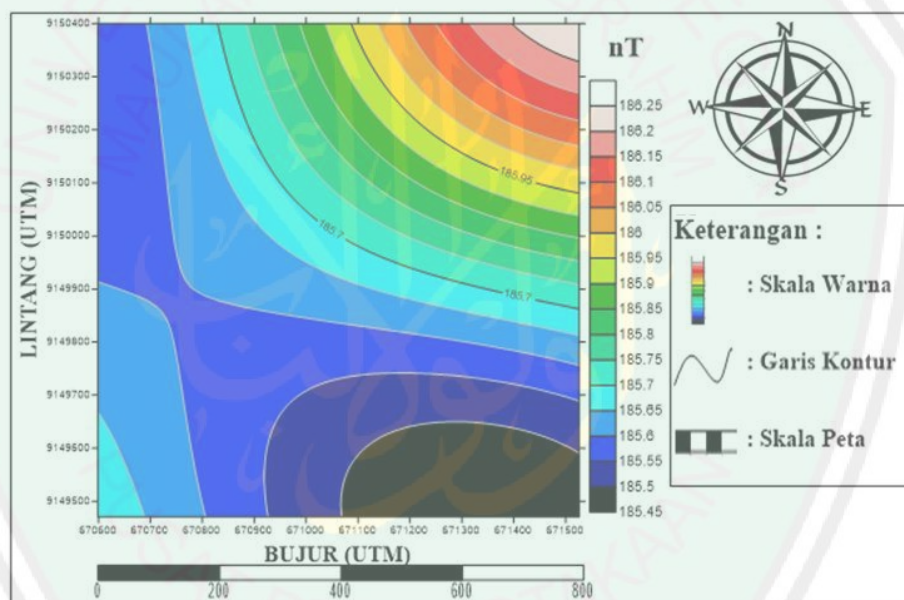
4.3.2 Kontinuasi ke Atas

Kontinuasi ke atas (Upward Continuation) merupakan sebuah proses untuk merubah data yang diukur pada suatu level permukaan menjadi data yang seolah-olah terukur pada level permukaan yang lebih tinggi. Proses kontinuasi ke atas ini digunakan sebagai filter untuk mereduksi gangguan atau bising (noise) di bawah permukaan, yang disebabkan oleh benda-benda yang terdapat di dekat permukaan topografi. Disamping itu, proses ini juga dapat mengurangi efek dari sumber anomali dangkal (efek regional), sehingga didapatkan hasil berupa nilai anomali regional yang lebih representatif ini, akan menghasilkan nilai anomali lokal (residual) yang lebih jelas, sehingga dapat memudahkan dalam proses interpretasi.

Proses kontinuasi ke atas ini dilakukan dengan cara seolah-olah menghitung data pada suatu ketinggian tertentu, dengan menggunakan bantuan *software* magpick. Dalam melakukan proses kontinuasi (pengangkatan) penentuan nilai ketinggian dapat disesuaikan tergantung efek yang ingin ditampilkan atau dihilangkan, sehingga tidak boleh terlalu tinggi, karena hal ini dapat mereduksi

anomali medan magnet lokal yang bersumber dari batuan atau benda magnetik dan struktur geologi yang menjadi target dari pengukuran ini.

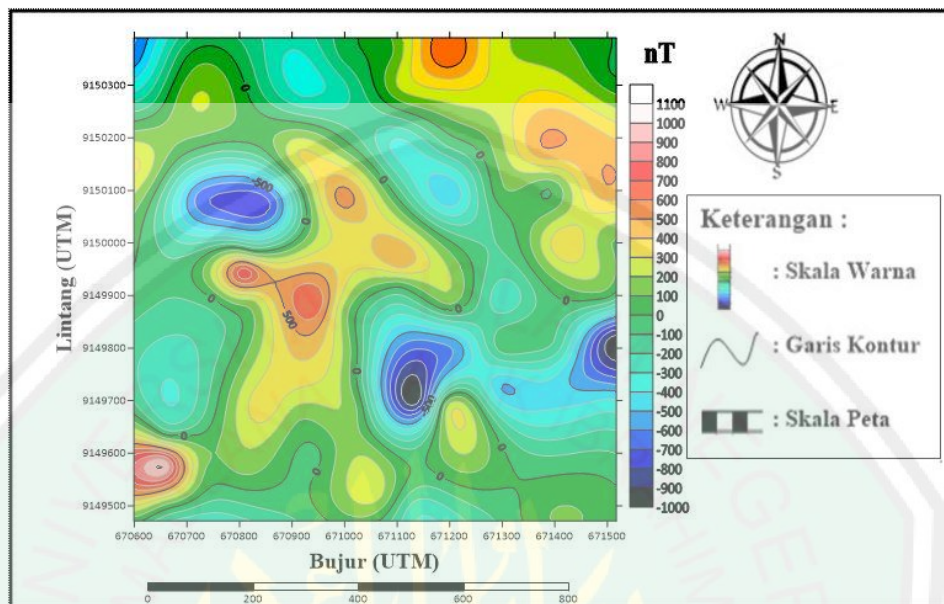
Pada proses kontinuasi ke atas juga merupakan suatu tahapan untuk pemisahan anomali, antara regional dan anomali lokal. Sehingga memudahkan dalam proses interpretasi dan dalam proses pemodelan, yang didasarkan pada nilai anomali lokal. Dalam penelitian ini, proses kontinuasi ke atas dilakukan dengan pengangkatan 1500 meter pada data anomali medan magnet total yang telah di reduksi bidang datar untuk mendapatkan nilai anomali regional. Kontur anomali regional hasil kontinuas ke atas dapat dilihat pada gambar 4.6 :



Gambar 4.6 Kontur Anomali Regional hasil Kontinuasi ke Atas pada Ketinggian 1500 meter

Berdasarkan gambar 4.6 dapat diketahui besar nilai anomali regional berkisar dari 185,45 nT sampai dengan 186,25 nT. Hal ini menunjukkan besar nilai anomali regional yang relatif stabil dan menandakan sudah tidak ada pengaruh dari nilai anomali medan magnetik lokal pada pengangkatan 1500 meter. Untuk memperoleh nilai anomali dapat dilakukan dengan cara mencari

selisih antara anomali medan magnet total hasil reduksi bidang datar dikurangi dengan nilai anomali regional yang telah diperoleh melalui proses kontiunasi ke atas. Hasil kontur dapat dilihat pada gambar 4.7 :



Gambar 4.7 Kontur Anomali Lokal hasil Kontiunasi Ke Atas pada Ketinggian 1500 meter

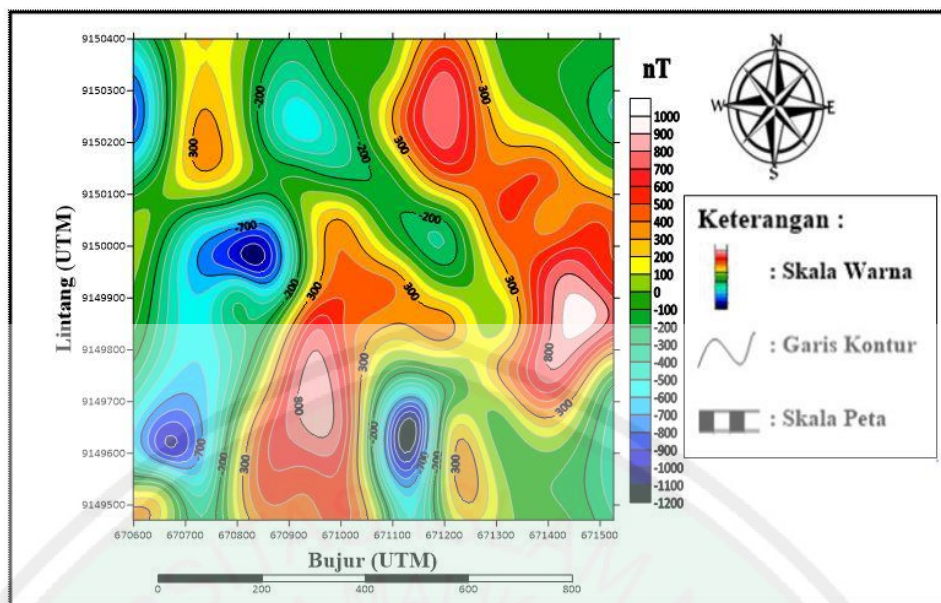
Berdasarkan pada gambar 4.7 dapat diketahui besar nilai anomali lokal berkisar dari -1000 nT sampai dengan 1100 nT. Secara kualitatif pola kontur anomali lokal di area penelitian terbagi menjadi tiga yaitu anomali rendah, anomali sedang dan anomali tinggi. Untuk pola anomali rendah di tunjukkan oleh warna hitam sampai warna hijau dengan nilai anomali -1000 nT Sampai 100 nT untuk pola anomali sedang ditunjukkan oleh warna kuning sampai warna jingga dengan nilai anomali antara 200 nT sampai 600 nT, dan untuk pola anomali tinggi di tunjukkan oleh warna merah sampai warna putih dengan nilai anomali antara 700 nT sampai dengan 1100 nT. Dari pola anomali medan magnet lokal tersebut dapat diketahui bahwa, batuan atau litologi yang terdapat pada daerah penelitian memiliki ketidak seragaman (sangat bervariasi). Hal ini tersebut didasarkan pada

tinggi atau rendahnya nilai anomali, yang dapat di pengaruhi oleh jenis batuan, posisi atau kedalaman batuan, dan volume batuan.

4.3.3 Reduksi ke Kutub

Reduksi ke kutub (*Reduction to pole*) merupakan sebuah proses transformasi untuk merubah nilai anomali yang dalam bentuk *dipole* (bermuatan positif dan negative) menjadi seolah-olah *monopole* (bermuatan positif). Proses transformasi reduksi ke kutub ini dilakukan dengan cara merubah arah medan magnet di tempat pengukuran menjadi medan magnet di kutub utara medan magnet, dimana sudut deklinasi yang bernilai $0,9193^\circ$ dirubah menjadi 0° dan sudut inklinasi yang bernilai $-31,7188^\circ$ dirubah menjadi 90° sehingga seolah-olah pengukuran dilakukakn di kutub utara medan magnet.

Tujuan dilakukannya reduksi ke kutub ini adalah untuk memposisikan nilai anomali medan magnet, tepat berada di atas objek (bantuan atau benda magnetik) penyebab anomali magnetik sebagai target dari penelitian ini, sehingga memudahkan dalam proses interpretasinya. Proses ini dilakukan menggunakan bantuan software Magpick. Kontur anomali lokal setelah di reduksi ke kutub dapat dilihat pada gambar 4.8 :



Gambar 4.8 Kontur Anomali Lokal hasil Reduksi Ke Kutub

Berdasarkan pada gambar dapat diketahui perbedaan nilai anomali yang sangat signifikan jika dibandingkan dengan nilai anomali magnetik lokal sebelum di reduksi ke kutub, dimana setelah dilakukan reduksi ke kutub nilai kegamnetannya menjadi lebih tinggi. Hal ini dikarenakan setelah dilakukan reduksi ke kutub pada anomali lokal nilai medan magnetnya mengalami penguatan, yang di tunjukkan oleh adanya pola klosur anomali tinggi dan anomali rendah yang bernilai dari -1200 nT sampai dengan -1000 nT, sehingga dapat di artikan bahwa batuan penyebab anomali berada di bawah pola klosur tersebut. Untuk klosur anomali tinggi, secara massif mengarah dari utara menuju ke selatan dan terbagi menjadi 2 wilayah yaitu di sekitar singkapan 1 yang terletak pada peta kontur, yang di duga hal tersebut akibat adanya dominasi pasir vulkanik (berupa material piroklastik) dan batuan beku yang memiliki nilai suseptibilitas atau nilai kemagnetan yang lebih tinggi dibandingkan batuan di sekitarnya.

Adapun hal tersebut juga di dasarkan pada informasi keberadaan singkapan pasir vulkanik dan informasi geologi lembar Malang, dimana pada lokasi penelitian berada di formasi satuan batuan Gunung Api Gunung Arjuno Welirang (Qvaw) yang tersusun atas batuan gunung api, breksi gunung api, lava, aglomerat, tuf, breksi tufan, butiran pasir vulkanik (piroklastik), batuan andesit-basaltrik, dan batuan basalt. Formasi ini berumur Plistosen akhir dengan ketebalan kurang lebih puluhan meter hingga ratuasan meter.

Secara kualitatif dapat diinterpretasikan pasir vulkanik yang menjadi target dari penelitian ini berada pada pola klosur anomali tinggi yang di tunjukkan pada peta kontur anomali lokal setelah di reduksi ke kutub (pada gambar 4.8) Pola anomali tersebut diperkirakan sebagai pola yang terbentuk akibat keberadaan pasir vulkanik di bawah permukaan yang memiliki nilai suseptibilitas yang lebih tinggi dari pada batuan yang terdapat di sekitarnya.

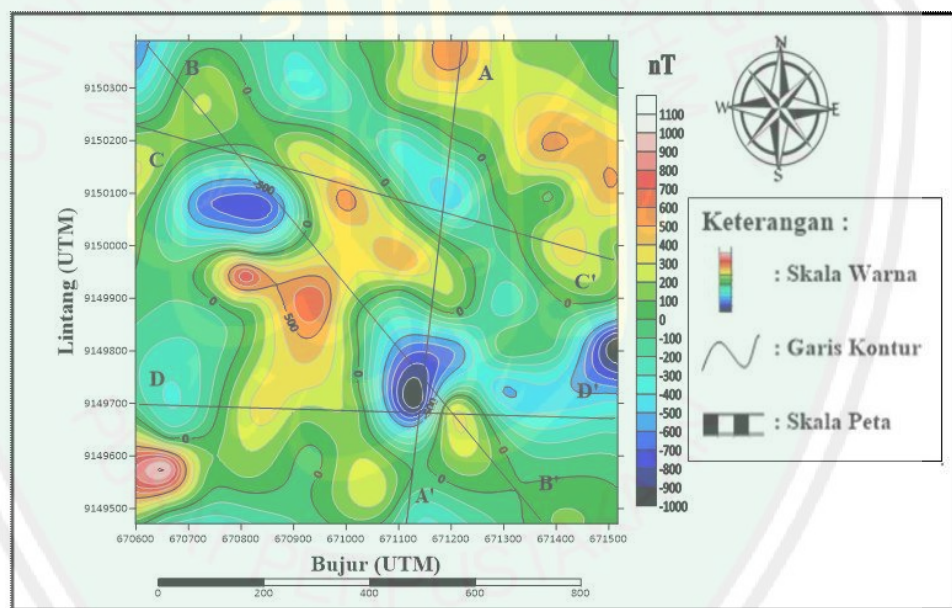
4.4 Interpretasi Kuantitatif

Interpretasi kuantitatif merupakan suatu proses interpretasi yang didasarkan pada penafsiran kualitatif dengan menganalisa penampang anomali lokal sepanjang profil sayatan (*slice*), yang bertujuan untuk mengetahui model bawah permukaan yang menunjukkan posisi atau kedalaman target (objek yang di teliti) dan struktur geologi bawah permukaan hasil pengukuran.

Target dari penelitian ini adalah mineral pasir vulkanik yang terendapkan di sekitar lokasi penelitian. Dimana berdasarkan informasi geologi lembar Malang, , pasir vulkanik di lokasi penelitian merupakan formasi satuan batuan Gunung api Arjuno-Welirang (Qvaw). Dari informasi tersebut, dapat diketahui bahwa batuan penyusun formasi ini merupakan batuan vulkanik hasil aktivitas Gunung api

Arjuno-Welirang, yang meliputi batuan gunung api, breksi gunung api, lava aglomerat, tuf, breksi tuf, butiran pasir vulkanik, (piroklastik), batuan andesit. Sehingga dimungkinkan tidak terdapat perbedaan nilai suseptibilitas yang signifikan dari formasi batuanya.

Untuk memperjelas formasi batuan yang terdapat di bawah permukaan pada sekitar daerah penelitian, maka di buat empat sayatan anomali. Dimana profil sayatan tersebut memotong anomali magnetik dengan kontur positif dan klosur negative pada penampang anomali lokal. Profil sayatan tersebut yaitu, sayatan A-A', B-B', C-C' dan D-D' yang dapat dilihat pada gambar 4.9:



Gambar 4.9 Sayatan A-A' B-B' C-C' dan D-D' pada Kontur Anomali Lokal

Data hasil sayatan tersebut kemudian digunakan sebagai inputan ketika melakukan pemodelan, yang berupa data topografi dan nilai anomalnya. Pemodelan dilakukan menggunakan *software Oasis Montaj*, dimana prinsip kerja dari proses pemodelannya menggunakan konsep Forward Modelling dengan menyamakan bentuk dari anomali pengamatan (*Observed*) berupa garis putus-

putus pada penampang sayatan anomali lokal dengan anomali perhitungan (*Calculated*) berupa garis tegas pada penampang anomali model. Secara tidak langsung proses penyamaan tersebut menghasilkan gambaran model dari struktur geologi bawah permukaan dan keberadaan dari benda atau batuan penyebab anomali. Proses penyamaan tersebut menggunakan metode *trial and error* sehingga dalam pengerjaannya di perlukan ketelitian dan diliterasi sampai didapatkan hasil *error* terkecil, karena semakin kecil error perhitungan terhadap *error* referensi akan menunjukkan kevalidan data pada pemodelan yang dilakukan. Dalam proses pembuatan model ini, juga memasukkan nilai IGRF (44709,3 nT) nilai inklinasi (-31,7188°) dan nilai Deklinasi (0,9193°) daerah penelitian yang di peroleh melalui Kalkulator IGRF sebagai parameternya.

Pada *software* Oasis Montaj tampilan lapisan di bawah permukaan dapat ditampilkan dalam satuan meter atau kilometer. Dimana kedalaman atau depth (h) selalu bernilai positif, karena posisinya di bawah garis permukaan laut (*sea levels*). Dan ketinggian atau elevasi (z) selalu bernilai negatif, karena posisinya berada di atas garis permukaan laut (*sea levels*).

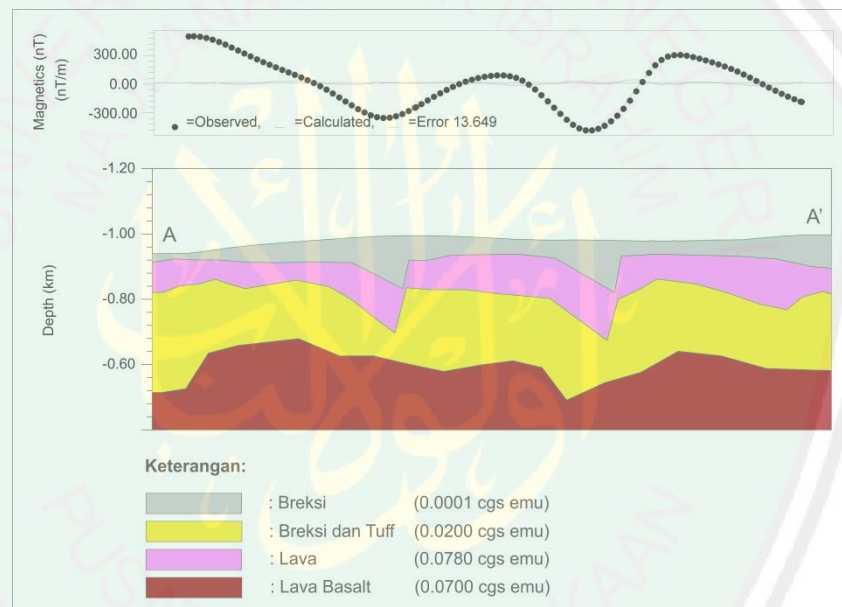
Dalam interpretasi kuantitatif ini masih terdapat kekurangan karena bisa didapatkan beragam model yang berbeda. Untuk menghindari hal tersebut, maka diperlukan data pendukung berupa informasi geologi daerah penelitian, data sayatan dari objek, nilai susceptibilitas batuan dan data pendukung lainnya

Pada penelitian ini kedalaman maksimum yang digunakan untuk seluruh model bawah permukaan dari sayatan adalah 1000 m³. Penentuan kedalaman maksimum model ini dilakukan dengan berdasarkan pada informasi geologi

setempat dan data sayatan dari objek, sehingga diketahui kedalaman model geologi dari batuan atau benda yang menjadi target dari penelitian.

4.4.1 Interpretasi Kuantitatif Penampang Sayatan A-A'

Penampang anomali pada sayatan A-A' (gambar 4.9) memotong pola kontur negatif yang terletak di sebelah utara menuju ke pola kontur positif yang terletak di sebelah selatan dengan melewati pola klosur positif dibagian tengah yang merupakan sayatan 1, dengan panjang lintasan 1040 m. Dimana model 2D (2 Dimensi) pada sayatan A-A' diperoleh seperti gambar 4.10 :



Gambar 4.10 Model 2D Bawah Permukaan pada Sayatan A-A'

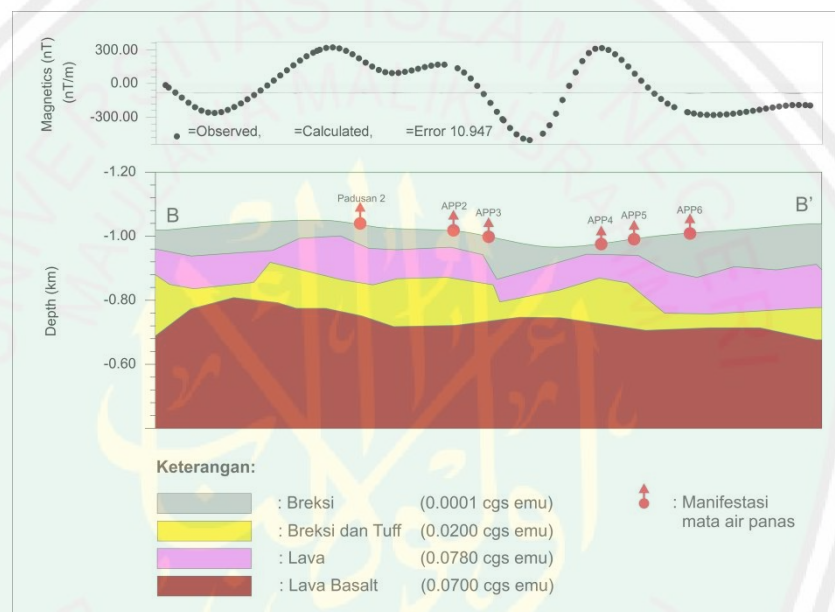
Berdasarkan gambar 4.10 tersebut, dapat dilihat bahwa model bawah permukaan pada penampang sayatan A-A' terdiri dari 4 jenis body atau lapisan dengan nilai *error* 13,649. Pada body atau lapisan yang pertama (warna abu-abu) memiliki nilai suseptibilitas 0.0001 cgs emu pada kedalaman $\pm 996 - 835$ m dan ketebalan lapisan yang bervariasi dengan ketebalan maksimal ± 161 meter. Diinterpretasikan sebagai lapisan Breksi gunung api. Pada body atau lapisan yang

kedua (warna ungu) memiliki nilai suseptibilitas 0.0200 cgs emu pada kedalaman $\pm 918 - 673$ m dan ketebalan lapisan yang bervariasi dengan ketebalan maksimal ± 245 m. Diinterpretasikan sebagai Breksi dan Tuff. Pada body atau lapisan yang ketiga (warna kuning) memiliki nilai suseptibilitas 0.0780 cgs emu pada kedalaman $\pm 835 - 558$ m dan ketebalan lapisan yang bervariasi dengan ketebalan maksimal ± 277 m. Diinterpretasikan sebagai Lava yang berkomponen breksi andesit, feldspar, piroksen, porfiri, silika, dan kuarsa serta mineral halus lainnya. Pada body atau lapisan yang keempat (warna maron) memiliki nilai suseptibilitas 0.0700 cgs emu pada kedalaman $\pm 1052 - 877$ m dan ketebalan lapisan ± 175 meter. Diinterpretasikan sebagai lava basalt yang berkomponen dari lava yang bersifat basa dan telah mengalami pendinginan, sehingga menjadi batuan beku basalt.

Pada pemodelan sayatan AA' ditemukan dua struktur patahan. Kedua struktur patahan berada pada formasi batuan lapisan kedua dan ketiga, yaitu lapisan yang diidentifikasi sebagai breksi tuff dan lava. Dalam penelitian Soetoyo (2010), salah satu struktur yang mempengaruhi factor panas bumi di Padusan adalah sesar Padusan, sesar Padusan bearah Barat Laut – Tenggara. Sesar ini diperkirakan membentuk daerah graben yaitu, daerah yang mengalami penurunan akibat tarikan tenaga endogen bawah permukaan. Daerah graben yang turun kemudian diisi oleh piroklastik Welirang (lapisan paling atas atau pertama). Penampakan di lapangan dicirikan oleh kelurusan air panas dan topografi yang terjal di daerah sekitar. Berdasarkan model yang diperoleh, sesar Padusan berada disebelah kiri, sedangkan sesar sebelah kanan merupakan sesar sekunder pendukung sesar Padusan.

4.4.2 Interpretasi Kuantitatif Penampang Sayatan B-B'

Penampang anomali pada sayatan B-B' (gambar 4.9) memotong pola kontur positif yang terletak di setiap ujung yang berarah dari barat laut menuju ke tenggara dengan melewati pola kontur positif dibagian tengah yang merupakan sayatan 1, dengan panjang lintasan 1266 m. Dimana model 2D (2 Dimensi) pada sayatan B-B' diperoleh seperti gambar 4.11 :



Gambar 4.11 Model 2D Bawah Permukaan pada Sayatan B-B'

Berdasarkan gambar 4.11 tersebut, dapat dilihat bahwa model bawah permukaan pada penampang sayatan B-B' terdiri dari 4 jenis body atau lapisan dengan nilai *error* 10,947. Pada body atau lapisan yang pertama (warna abu-abu) memiliki nilai suseptibilitas 0.0001 cgs emu pada kedalaman $\pm 1050 - 805$ m dan ketebalan lapisan yang bervariasi dengan ketebalan maksimal ± 245 m. Diinterpretasikan sebagai lapisan Breksi. Pada body atau lapisan yang kedua (warna ungu) memiliki nilai suseptibilitas 0.0200 cgs emu pada kedalaman ± 1000

– 761 m dan ketebalan lapisan yang bervariasi dengan ketebalan maksimal ± 239 meter. Diinterpretasikan sebagai Brekasi dan Tuff. Pada body atau lapisan yang ketiga (warna kuning) memiliki nilai suseptibilitas 0.0780 cgs emu pada kedalaman $\pm 919 - 694$ m dan ketebalan lapisan yang bervariasi dengan ketebalan maksimal ± 225 m. Diinterpretasikan sebagai lava yang berkomponen breksi andesit, feldspar, piroksen, porfiri, silika, dan kuarsa serta mineral halus lainnya. Pada body atau lapisan yang keempat (warna maron) memiliki nilai suseptibilitas 0.0700 cgs emu pada kedalaman $\pm 70 - 150$ meter dan ketebalan lapisan ± 80 meter. Diinterpretasikan sebagai lava basalt yang berkomponen dari lava yang bersifat basa dan telah mengalami pendinginan, sehingga menjadi batuan beku basal.

Manifestasi sumber mata air panas dipengaruhi oleh beberapa factor, diantaranya adalah struktur geologi bawah permukaan formasi batuan reservoir, fluida panas bumi, batuan penudung dan sumber panas. Dalam penelitian Sumotarto (2018) disebutkan bahwa reservoir berada pada perkiraan kedalaman 1-1,5 km dibawah permukaan sebelah Utara Padusan, pada perkiraan kedalaman $\pm 1,5$ km. Pada penelitian ini tidak terlihat sumber panas maupun reservoir karena jangkauan kedalaman yang terlalu besar.

Pada profil pemodelan sayatan B-B' terdapat satu struktur sesar yang dimungkinkan sangat terpengaruh terhadap kemunculan fluida panas bumi hingga permukaan. Sesar ini berada pada lapisan kedua dan ketiga.

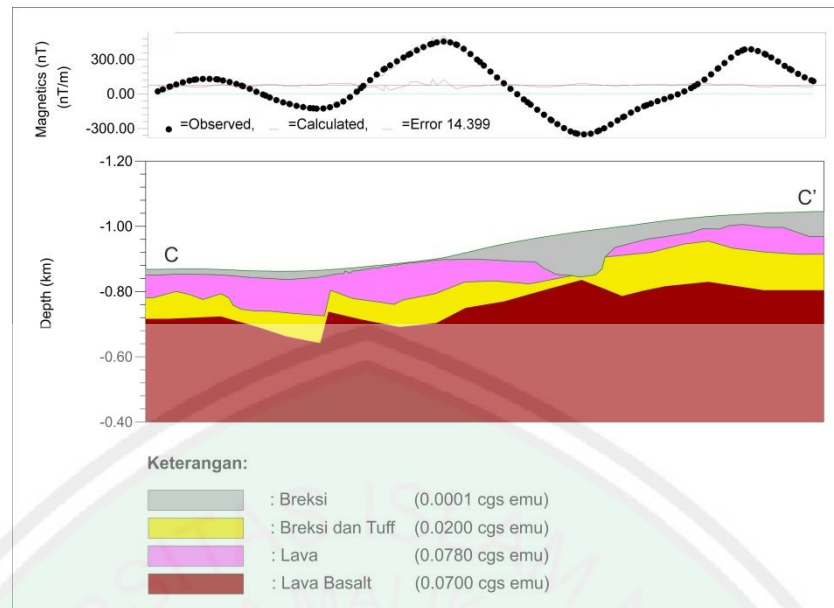
Struktur sesar cenderung membentuk rekahan yang menjadi jalur keluar fluida akibat tekanan endogen. Hanya saja, bukan hanya satu manifestasi sumber mata air panas yang ditemukan dilapangan. Hal ini dapat terjadi akibat

permeabilitas batuan pada lapisan batuan di atasnya yang tidak memungkinkan untuk dilewati fluida dengan tekanannya yang terbatas. Sehingga fluida cenderung bergerak horizontal dan mencari celah lain hingga terbentuk sumber mata air panas baru.

Menurut Bakruddin (2017), temperatur bawah permukaan dengan tipe zona alterasi Argilik mempengaruhi proses terjadinya alterasi pada batuan. Temperatur bawah permukaan diperkirakan sekitar 150-300°C dengan power of hydrogen (pH) fluida mendekati netral. Perbedaan fasa mineral yang hadir pada sampel batuan dikarenakan adanya beda temperatur di bawah permukaan. Sumotarto (2017), menambahkan hidrogeothermal mata air panas Padusan didominasi oleh air meteorik yang berasal dari hujan sebagai air fluvial yang melingkupi area Arjuno-Welirang-Penanggunan. Hidrogeothermal lokal di area ini berasal dari air meteorik yang terendapkan di bawah permukaan tanah dengan cepat terpanaskan oleh batuan yang terbentuk dari magma kemudian mengalir ke atas permukaan menjadi mata air panas disekitar gunungapi Welirang. Aliran air bawah permukaan yang tidak terpanaskan mengalir melewati batuan berpori dan batuan vulkanik permeabel hingga menjadi mata air dingin jauh dari sumber panas di bawah gunungapi Arjuno-Welirang.

4.4.3 Interpretasi Kuantitatif Penampang Sayatan C-C'

Penampang anomali pada sayatan C-C' (gambar 4.9) memotong pola kontur positif yang berarah dari barat laut menuju ke timur dan memotong kontur negatif dibagian tengah dengan melewati sayatan 2, dengan panjang lintasan 1091 m. Dimana model 2D (2 Dimensi) pada sayatan C-C' diperoleh seperti gambar 4.12 :



Gambar 4.12 Model 2D Bawah Permukaan pada Sayatan C-C'

Berdasarkan gambar 4.12 tersebut, dapat dilihat bahwa model bawah permukaan pada penampang sayatan C-C' terdiri dari 4 jenis body atau lapisan dengan nilai *error* 14,399. Pada body atau lapisan yang pertama (warna abu-abu) memiliki nilai suseptibilitas 0.0001 cgs emu pada kedalaman $\pm 0 - 65$ meter dan ketebalan lapisan yang bervariasi dengan ketebalan maksimal ± 65 meter. Diinterpretasikan sebagai lapisan sedimen tanah hasil rombakan alam. Pada body atau lapisan yang kedua (warna ungu) memiliki nilai suseptibilitas 0.0095 cgs emu pada kedalaman $\pm 20 - 115$ meter dan ketebalan lapisan yang bervariasi dengan ketebalan maksimal ± 95 meter. Diinterpretasikan sebagai pasir vulkanik yang berkomponen batuan pasir, pasir tufa dan mineral pasir besi yang berasosiasi dengan breksi vulkanik. Pada body atau lapisan yang ketiga (warna kuning) memiliki nilai suseptibilitas 0.0160 cgs emu pada kedalaman $\pm 70 - 130$ meter dan ketebalan lapisan yang bervariasi dengan ketebalan maksimal ± 60 meter. Diinterpretasikan sebagai batuan andesit yang berkomponen breksi andesit,

feldspar, piroksen, porfiri, silika, dan kuarsa serta mineral halus lainnya. Pada body atau lapisan yang keempat (warna maroon) memiliki nilai suseptibilitas 0.0140 cgs emu pada kedalaman $\pm 80 - 130$ meter dan ketebalan lapisan ± 50 meter. Diinterpretasikan sebagai batuan basalt yang berkomponen dari lava yang bersifat basa dan telah mengalami pendinginan, sehingga menjadi batuan beku basalt.

Pada profil pemodelan sayatan C-C' diketahui terdapat satu struktur patahan dan formasi terkikis. Sama halnya struktur patahan pada pemodelan sayatan A-A', dimungkinkan sesar atau patahan ini merupakan sesar sekunder. sesar sekunder merupakan sesar yang terbentuk akibat proses pembentukan sesar primer. Sesar sekunder cenderung membentuk ranting berarah tegak lurus dengan sesar prime, terkadang sejajar. Sesar ini bisa saja menjadi faktor pendukung ekstrusi fluida panas bumi ke permukaan. Sedangkan formasi batuan pada lapisan kedua terkikis yang kemudian oleh piroklastik lapisan pertama. Formasi yang terkikis dimungkinkan terbentuk akibat pola topografi yang berbukit, lapisan yang terendap terbawa oleh angin dan air sebelum tersedimentasi secara sempurna atau tertumpuk lapisan di atasnya.

Vulkanisme Kompleks Gunung Api Arjuno Welirang (KGAW) diindikasikan dengan kehadiran batuan beku, batuan piroklastik, dan batuan vulkanik klastik yang berumur Kuartar. Kompleks Gunung Api Arjuno Welirang berada pada tatanan tektonik jalur magmatik Jawa Bagian Selatan dengan susunan berupa batuan vulkanik Kuartar. Pembentukan erupsi samping yang diiringi dengan erupsi besar mengeluarkan material vulkanik Arjuno-Welirang tua sehingga membentuk kekosongan pada produk Arjuno-Welirang Tua, hal tersebut

terlihat dengan nampaknya bentukan ring fracture berupa zona amblesan Hadi dkk., (2010).

4.5 Integrasi Penelitian Dalam Prespektif Al-Qur'an

Setiap Lapisan Bumi mempunyai sifat atau kandungan mineral yang berbeda-beda, sesuai dengan keadaan kedalaman lapisan atau sesuai dengan keadaan geologi lapisan tersebut.

Panas Bumi adalah produk dari aktivitas pergerakan lempeng yang saling bertubrukan yang kemudian membentuk gunung, jalur gunung api. Al-Qur'an memberikan gambaran tentang sistem panas bumi vulkanik dalam Q.S an-Nahl [16] : 15 bahwasannya hubungan antara gunung yang menancap kokoh terhadap sungai-sungai dan jalan-jalan. Gunung-gunung memiliki peran penting dalam berjalannya membentuk jalannya air dari tempat yang lebih tinggi ketempat yang lebih rendah. Dalam Q.S an-Naml [27] 61, Allah menjelaskan :

أَمْنَ جَعَلَ الْأَرْضَ قَرَارًا وَجَعَلَ خُلُوفًا أَنْهْرًا وَجَعَلَ لَهَا رُوسِيَّ وَجَعَلَ بَيْنَ الْبَحْرَيْنِ حَاجِزًا أَءِئَلَّةَ
مَعَ اللَّهِ بَلْ أَكْثَرُهُمْ لَا يَعْلَمُونَ ٦١

“ Atau siapakah yang telah menjadikan bumi sebagai tempat berdiam dan yang menjadikan sungai-sungai di celah-celahnya dan yang menjadikan gunung-gunung untuk (mengokohkan)nya dan menjadikan suatu pemisah antara dua laut? Apakah di samping Allah ada tuhan (yang lain)? Bahkan (sebenarnya) kebanyakan dari mereka tidak mengetahui.” (Q.S an-Naml [27] : 61)

Kata *خُلُوفًا* dalam tafsir Jalalain diartikan dengan celah-celahnya (bumi), yang diteruskan oleh kata setelahnya yaitu “yang mengalir sungai-sungai”. Dalam tafsir Ibnu Katsir kata tersebut diartikan sebagai sela-selanya, dengan dhomir “haa” merujuk pada gunung-gunung. Najjar (2006) menjelaskan bahwa jalannya air dari tempat tinggi ke tempat rendah dapat berkurang karena penguapan atau

perembesan menjadi air bawah tanah. Air tanah ini yang akan menjadi sumber mata air di sumur- sumur atau mata air panas permukaan. Alterasi panas bumi berupa mata air panas dipermukaan bergerak karena adanya jalan keluar dari dalam bumi. Jalan keluar ini dijelaskan oleh Q.S at-Thariq [86] : 12 sebagai berikut :

وَالْأَرْضِ ذَاتِ الصَّدَعِ ۙ ١٢

“Dan demi bumi yang memiliki celah-celah”. (Q.S at-Thariq [86]: 12)

Dalam tafsir Jalalain, الصَّدَعِ diartikan sebagai tumbuh-tumbuhan yang bermaksud celah kelarnya tumbuh-tumbuhan. Sedangkan dalam tafsir Ibnu Katsir, Ibnu Abbas mengatakan bahwa makna yang dimaksud ialah terbelahnya bumi mengeluarkan tumbuh-tumbuhan. Menurut Najjar (2006), sumpah al-Quran dalam menurut ulama klasik adalah tanah bercelah (membelah) agar tumbuh-tumbuhan bias tumbuh dengan baik, namun tatkala makna kata الْأَرْضِ di dalam al-Quran mencakup tanah yang menutupi bebatuan daratan, massa daratan yang kita huni dan planet bumi sebagai unit astronomi tertentu, maka sumpah ini berkaitan dengan ayat ini pasti memiliki seluruh makna terbelahnya tanah untuk tumbuh-tumbuhan, celah-celah batu karang daratan, dan sebagai rengkahan bumi melalui lembah dasar laut.

Dalam arti yang pertama, terbelahnya tanah untuk tumbuh-tumbuhan, kata shad secara leksikal dapat diartikan pecah di dalam tanah, yaitu bui bergerak di dua sisi levelnya, lalu berbentuk kurva atau vertikal miring. Terbelahnya tanah untuk tumbuh-tumbuhan tidak lepas dari unsur tanah itu sendiri, yang biasanya terdiri dari mineral lempung yang bercampur atau tidak bercampur dengan pasir

dan mineral berbutir halus. Tanah memiliki daya serap air dan dapat melekat pada ion-ion unsur. Oleh karenanya, ketika air mengairinya, maka tanah menjadi gembur dan mekar sehingga terbuka regangan dan celah-celah bagi bibit kecambah untuk keluar hingga menembus tanah sampai muncul kepermukaan dan tumbuh besar (Najjar, 2006).

Kedua, sebagai celah-celah batu daratan. Akibat pengaruh tarikan atau tekanan yang berat, membentuk fragmentasi batuan melalui patahan yang seimbang dan menyilang berbentuk rengkahan pada kerak bumi. Rengkahan atau pecahan dapat berupa gerakan horizontal ataupun vertikal dan diagonal secara signifikan. Dimensi rengkahan dapat memanjang hingga puluhan kilometer. Rengkahan bumi memiliki peranan penting sebagai celah alami jalur uap dan gas pembawa kekayaan mineral, gerak aliran magma dan luapan vulkanik, pembentukan sedimen tanah dan mineral penting seperti minyak dan gas bumi, maupun emas, perak, tembaga, timah, dan lain sebagainya. Rengkahan ini juga berperan dalam pembentukan saluran dan aliran air, pembentukan lembah dan jalur air (Najjar, 2006).

Ketiga, rengkahan bumi sebagai planet melalui lembah dasar laut. Rengkahan raksasa yang memanjang hingga ribuan kilometer diseluruh arah dengan kedalaman 65 hingga 70 km dibawah dasar laut dan samudera dan diantara 100 hingga 150 km di bawah benua yang memecah litosfer secara total menjadi sejumlah lempengan litosfer yang terapung diatas zona astenosfir (zona lemah bumi), yaitu kawasan lentur semi meleleh berdensitas tinggi dan kohesi. Gerak lempengan litosfer tersebut menjadi sebab merayap, menyatu dan pecahnya benua secara periodik (Najjar, 2006). Dari ketiga keterangan tersebut, rengkahan

dapat diartikan patahan yang memiliki peran penting dalam terbentuknya sistem panas bumi disuatu wilayah. Patahan ataupun rengkahan menjadi laur intrusi hidrotermal yang telah terpanaskan di bawah permukaan muncul hingga ke permukaan. Patahan ataupun rengkahan menjadi ciri khusus daerah prospek panas bumi untuk dikembangkan lebih lanjut, baik menjadi produk yang dapat langsung digunakan (*direct use*) ataupun penggunaan yang masih memerlukan pengolahan (*undirect use*).



BAB V PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa :

1. Nilai anomali medan magnetik total pada daerah penelitian antara -800 nT – 1200 nT. Anomali rendah bernilai -800 – -100 nT tersebar di daerah Barat ke Tenggara sedangkan anomali tinggi bernilai 600 nT – 1200 nT terbagi menjadi 2 area timur laut dan barat daya ke tengah area penelitian.
2. Litologi bawah permukaan penelitian terbagi menjadi 4 lapisan. Lapisan pertama diidentifikasi sebagai breksi dengan nilai 0.0001 cgs emu. Lapisan kedua diidentifikasi sebagai breksi dan tuff dengan nilai 0.02000 cgs emu. Lapisan ketiga diidentifikasi sebagai lava dengan nilai 0.0780 cgs emu. Lapisan keempat diidentifikasi sebagai lava basalt dengan nilai 0.0700 cgs emu. Terdapat struktur patahan pada pemodelan sayatan A-A', B-B', C-C' dan lapisan terkikis pada sayatan C-C'.

5.2. Saran

Penelitian ini dilakukan dengan keterbatasan penulis. Oleh karena itu, di perlukan penelitian lebih lanjut dengan metode dan target yang lain sehingga dapat memberikan informasi lebih luas. Diharapkan dengan tambahan informasi tersebut dapat memberikan pilihan alternatif panas bumi Padusan.

DAFTAR PUSTAKA

- Al-Quran dan Terjemahannya. 2008. *Departemen Agama Republik Indonesia*. Bandung: Diponegoro.
- Alzwar, M., dkk, 1988. *Pengantar dasar Ilmu Gunungapi*, Bandung : Nova
- Bakruddin, Widya Utama, dan Dwa Desa Warnana. 2017. Analisa Batuan Alterasi Panas Bumi Arjuno-Welirang Berdasarkan Sifat Mineraloginya. *Jurnal Inotera*. Vol.2, No.2.
- Blakely, Richad J. 1995. *Potential Theory in Gravity and Magnetic Application*. New York : Cambridge University Press.
- Burger, Henry Robert. 1992. *Exploration Geophysic of the Shallow Subsurface*. New Jersey : Prentice Hall.
- Daud, Yunus., F. Fahmi, W. A., Nuqramadha, D. M., Heditama, S. A., Pratama, and E. Suhanto. 2015. *3-Dimensional Inversion of MT Data over the Arjuno-Welirang Volcanic Geothermal System, East Java (Indonesia)*, pada World Geothermal Congress. Melbourne.
- Departemen Agama RI. 2010. *Al-Quran dan Tafsirnya: Edisi yang Disempurnakan*. Jakarta: Penerbit Lentera Abadi.
- Goff, Fraser and Cathy J. Janik (2000). *Encyclopedia of Vulcanoos – Gheothermal system*. Academic Press.
- Gupta, Harsh dan Sukanta Roy. (2007). *Geothermal Energy An Alternative Resorce For The 21st Century*. Elseiver Publications. Amsterdam.
- Hadid, M. N., Kusnadi, D., dan Rezky, Y. 2010. Buku 1: *Bidang Energi, Penyelidikan Terpadu Geologi dan Geokimia Daerah Panas Bumi ArjunoWelirang, Kabupaten Mojokerto dan Malang, Provinsi Jawa Timur*. Prosiding Hasil Kegiatan Pusat Sumber Daya Geologi.
- Hochstein, M.P dan Browne, P.R.L. 2000. *Surface Manifestation of Geothermal Systems with Volcanic Heat Sources*. In *Encyclopedia of Vulcanoos*. H.Sigurdsson, B.F. Houghton, S.R. McNutt, H. Rymer dan J. Stix (eds.): Academic Press.
- Hochstein, M.P dan Soengkono, S. 1997. *Geothermal Exploration for Earth Scientist*. New Zealand: University of Auckland.

[Http://www.mines.edu](http://www.mines.edu). Diakses pada tanggal 21 Agustus 2018.

[Http://2.bp.blogspot.com](http://2.bp.blogspot.com) plat boundary

Kurniati, Asih, Kharisma N., Aulia. 2008. *Buku Panduan Workshop Geofisika*. Malang: Laboratorium Geofisika Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Brawijaya.

Lita, Fristy. (2012). Identifikasi Anomali Magnetik Di Daerah Prospek Panasbumi Arjuna-Welirang. Skripsi. Universitas Indonesia.

Meilani, Hilma. 2010. Potensi Panas Bumi Sebagai Energi Alternatif Pengganti Bahan Bakar Fosil Untuk Pembangkit Tenaga Listrik Di Indonesia. *Jurnal Ekonomi & Kebijakan Publik*, Vol. 1 No. 1, Juni 2010 47 – 74.

Milsom, John. 2003. *Field Geophysics, 3rd Edition, England* : John Willey & Sons Ltd.

Moehadi, M., 2010. *Fundamental of Petroleum Geology and Exploration*. Depok: Universitas Indonesia.

Munadi, Suprajitno. 2001. *Instrumentasi Geofisika*. Depok: Program Studi Geofisika Jurusan Fisika FMIPA Universitas Indonesia.

Najjar, Z. R. 2003. *The Geological Concept of Mountain in The Qur'an*. Kairo: AlFalah Foundation for Translation, Publication and Distribution.

Najjar, Zahlul. 2006. *Pembuktian Sains dalam Sunah*. Jakarta: Amzah.

Santosa, S., dan Suwarti, T., 1992. *Geologi Lembar Malang, Jawa, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung*.

Sigurdsson, H. 2000. *Encyclopedia of Volcanoes*. A Harcourt Science and Technology Company. USA: Academic Press.

Simmons, S.F. 1998. *Geochemistry Lecture Notes*. Geothermal Institute. University of Auckland.

Soetoyo. 2010. *Penyelidikan Terpadu Geologi dan Geokimia*. Pusat Sumberdaya Geologi. Bandung: PSDG.

Suharno, 2010. *Pengembangan Prospek Panas Bumi Untuk Mahasiswa, Ahli Teknis, Profesional dan Birokrat*, Univesitas Lampung, Bandar Lampung.

- Sumotarto, U., Hendrasto, F., dan Wibagiyo. 2017. Geothermal Model of Arjuno, Weirang and Penanggungan Volcanoes East Java, Indonesia. *Jurnal Penelitian dan Karya Ilmiah Lemlit, Vol 2, No. 1.*
- Sumotarto, Untung. 2018. Geothermal Energy Potential of Arjuno and Welirang Volcanoes Area, East Java, Indonesia. *International Journal of Renewable Energy Research. Vol.8, No.1.*
- Thelford ,Geldart dan Sheriff. 1976. *Applied Geophysics 2nd edition.* Cambridge University Press. New York. Thelford ,Geldart dan Sheriff. 1976. *Applied Geophysics 2nd edition.* Cambridge University Press. New York.
- Tim Survei Terpadu, 2010, Laporan Akhir Survei Terpadu Geologi dan Geokimia Daerah Panas Bumi Gunung Arjuno – Welirang, Kabupaten Mojokerto, Malang dan Pasuruan, Provinsi Jawa Timur.
- Torkis, R. 2012. *Analisa Dan Pemodelan Struktur Bawah Permukaan Berdasarkan Metode Gaya Berat Di Daerah Prospek Panas Bumi Gunung Lawu.* Depok: Universitas Indonesia.
- Wahyuni. N. 2012. Indonesia Bakal Jadi Penghasil Listrik Panasbumi Terbesar di Dunia.<http://bisnis.liputan6.com/read/461333/Indonesia-bakal-jadi-penghasil-listrikpanas-bumi-terbesar-di-dunia>. Diakses pada tanggal 20 Agustus 2018
- Wahyuningsih, Rina. 2005. Potensi dan Wilayah Kerja Pertambangan Panas Bumi di Indonesia. Kolokium Hasil Lapangan.
- Wambra Aswo, Nuqramadha. 2011. *Pemodelan Sistem Panasbumi dengan Metode Magnetotelurik di Daerah Arjuno-Welirang Jawa Timur*, Skripsi S1 Universitas Indonesia. Depok.
- Winarsih, Fiqih Puji. (2014). Identifikasi Litologi Daerah Manifestasi Panas Bumi Parangwedang Kabupaten Bantul DIY dengan Metode Magnetik. Skripsi. UIN Sunan Kalijaga.

LAMPIRAN



Lampiran 1 Dokumentasi Pengambilan Data



Lampiran 2 Data Hasil Pengukuran

Pengukuran Hari ke-1

Hari tanggal : Selasa, 9 Oktober 2018

Jam	Waktu		Lintang (derajat)	Bujur (Derajat)	Ketinggian (m)	Intensitas Medan Magnet Total (Nt)				
	Menit	Detik								
7	40	0	7.68672	112.5465167	894	44951.0	44947.8	44966.0	44972.0	44979.8
8	12	20	7.68643	112.5467333	892	44851.4	44854.0	44840.6	44826.6	44835.4
8	30	22	7.68717	112.5485	911	44974.0	45000.2	44980.4	44964.0	44953.6
8	35	29	7.68797	112.5485	923	44525.3	45246.0	45253.2	45263.6	45251.0
8	40	21	7.68748	112.5483667	927	45679.6	45681.4	45670.6	45668.8	45667.2
8	44	2	7.68803	112.54965	938	45568.4	45569.6	45571.0	45566.6	45569.8
8	50	56	7.68888	112.5503	941	44959.8	44962.0	44933.8	44937.4	44938.8
8	54	31	7.68977	112.55145	946	43977.0	43989.0	43963.6	44000.8	43970.8
8	59	50	7.68983	112.5519667	966	45103.0	45124.2	45111.0	45145.0	45123.4
9	12	4	7.69095	112.5522	982	44997.8	45022.6	45005.0	45015.8	44997.0
9	33	10	7.69152	112.5531167	995	44881.4	44870.4	44879.6	44865.4	44871.2
9	42	4	7.69160	112.5513167	1015	44656.0	44669.0	44665.8	44662.4	44664.8
10	20	17	7.69142	112.5507667	1046	45111.4	45115.6	45119.8	45098.0	45092.0
11	44	50	7.69078	112.5505833	1036	45103.6	45102.6	45089.0	45096.6	45082.4
11	55	1	7.69072	112.5495833	1049	44841.4	44853.0	44860.6	44836.4	44846.4
12	22	10	7.69172	112.5487167	1071	44700.2	44695.8	44696.2	44704.6	45020.6
12	31	8	7.69000	112.5493167	1024	45008.2	45021.8	45007.8	45006.4	45020.6
12	36	30	7.68988	112.5487	1042	45237.8	45252.8	45244.2	45273.2	45236.0
13	45	10	7.69038	112.547	1051	44866.8	44906.0	44927.2	44894.8	44914.4
13	52	3	7.69087	112.5469667	1064	45851.4	45869.8	45886.4	45862.8	45867.0
13	56	9	7.69158	112.5469667	1078	44981.0	44995.2	44989.8	44985.2	44977.4
14	0	1	7.69100	112.54765	1091	44984.2	45002.8	44979.0	45013.2	44988.4
14	4	40	7.69090	112.5483167	1101	44996.0	45011.4	44977.6	45062.8	45082.4
14	45	17	7.68987	112.5503333	1009	44997.4	44980.0	44992.2	44984.0	45001.4
14	55	10	7.68902	112.5485	974	45044.6	45014.6	45032.8	45062.8	45044.6
15	0	0	7.68870	112.5473833	951	44646.0	44666.0	44691.4	44678.6	44683.4
15	15	30	7.68795	112.5478667	930	44888.4	44971.2	44910.8	44881.2	44888.8
15	25	17	7.68672	112.5465167	894	44992.2	44932.0	44432.2	44929.4	44940.2

Pengukuran Hari ke-2

Hari, tanggal : 10 Oktober 2018

7	10	35	7.68672	112.5465167	894	44914.0	44919.0	44915.4	44921.4	44934.2
7	25	13	7.68733	112.53345	906	44824.0	44830.4	44836.8	44831.4	44835.4
7	33	26	7.68817	112.5468333	922	44790.4	44780.8	44781.0	44780.0	44775.0
7	42	7	7.68565	112.5465	881	45199.8	45202.8	45201.8	45207.2	45211.4
7	52	18	7.68537	112.5483	862	44871.2	44819.6	44803.4	44784.6	44789.6
7	56	37	7.68550	112.5476	865	44762.0	44772.0	44761.8	44771.2	44774.4
7	58	51	7.68618	112.5475667	874	44291.8	44247.4	44240.0	44242.2	44235.4
8	2	30	7.69788	112.5485667	873	44131.2	44131.8	44135.0	44129.6	44126.8
8	8	38	7.68627	112.5372333	874	44291.8	44247.4	44240.0	44242.2	44235.4
8	19	19	7.68617	112.5501167	902	45473.8	45446.4	45473.6	45432.2	45407.8
8	25	7	7.68680	112.55025	928	45978.6	45048.2	45046.8	45087.6	45041.8
8	36	8	7.68772	112.5511	958	44910.6	44925.4	44970.0	44907.8	44912.8
8	44	19	7.68735	112.5511167	953	45251.4	45241.2	45424.2	45425.2	45427.0
9	4	49	7.68800	112.5519833	977	45047.4	45013.2	45034.6	45045.0	45029.2
9	11	54	7.68880	112.5521	979	44356.6	44348.4	44325.2	44302.4	44294.2
9	16	20	7.68880	112.5529167	997	44864.2	44846.6	44863.2	44830.8	44868.4
9	26	16	7.68952	112.5528833	1018	44444.6	44393.2	44382.6	44358.6	44344.4
9	40	10	7.68797	112.5529333	1001	44625.4	44628.2	44633.8	44580.0	44603.2
9	48	23	7.68880	112.5538667	1022	44746.2	44742.0	44743.0	44743.0	44744.2
10	16	7	7.68935	112.55415	1040	44347.6	44370.4	44380.2	44377.0	44377.8
10	22	48	7.68968	112.5548333	1057	44488.0	44465.4	44471.2	44492.6	44491.6
10	39	39	7.68867	112.5548167	1072	43951.2	43957.8	43946.4	43945.4	43954.4
10	46	54	7.68790	112.5547667	1064	44912.4	44916.8	44913.8	44911.4	44914.4
10	51	35	7.68773	112.5538667	1051	44954.6	44943.8	44944.6	44955.0	44947.8
11	11	35	7.68697	112.5539667	1037	45281.8	45289.2	45271.2	45281.8	45294.0
11	15	36	7.68690	112.55475	1034	45009.2	45005.2	45016.2	45000.0	45033.2
11	21	24	7.68600	112.5547333	1022	45376.2	45383.0	45383.2	45387.6	45382.0
11	27	57	7.68603	112.55375	1025	44880.0	44895.6	44892.2	44882.0	44886.2

11	33	11	7.68608	112.5528667	1004	44987.2	44992.4	44978.6	44902.0	44958.8
11	37	27	7.68697	112.5529167	1020	44803.2	44799.0	44820.8	44818.6	44805.0
11	45	36	7.68613	112.5519667	988	44381.6	44398.4	44415.8	44395.6	44398.6
11	52	24	7.68525	112.5519333	980	44811.0	44813.2	44807.6	44814.8	44815.8
11	59	54	7.68527	112.5510333	961	44513.2	44542.6	44589.0	44554.2	44599.2
12	9	12	7.68432	112.5518667	963	45175.8	45180.0	45163.6	45175.4	45169.8
12	16	0	7.68425	112.5510667	938	45018.4	45163.6	45115.0	45091.8	45097.8
12	22	34	7.68430	112.55005	909	44679.0	44639.4	44660.0	44586.4	44659.6
13	2	28	7.68533	112.5501	902	44974.2	44985.6	44985.8	44981.6	44969.6
13	10	35	7.68543	112.5492833	880	45195.6	45191.4	45193.8	45192.6	45183.0
14	1	39	7.68817	112.5501	924	45094.8	45081.2	45086.0	45025.2	45062.4
15	23	20	7.68510	112.55275	975	45036.6	45034.2	45034.6	45021.8	45013.2
15	30	13	7.68535	112.5536167	989	45381.6	45378.8	45381.8	45366.0	45365.0
15	40	33	7.68507	112.5548167	995	45287.6	45265.0	45253.6	45295.4	45278.4
15	48	41	7.69177	112.5537167	965	45002.2	45012.4	44968.2	44961.6	44977.0
15	58	39	7.68400	112.5548	968	44888.2	44890.6	44894.8	44892.6	44886.8
16	4	33	7.68345	112.5547333	969	44899.0	44904.0	44909.0	44902.2	44915.8
16	16	21	7.68425	112.5527833	962	45172.2	45140.4	45139.0	45134.0	45178.8
16	23	45	7.68358	112.5527833	955	45121.4	45130.8	45139.4	45153.2	45150.4
16	29	51	7.68362	112.5519167	933	45486.6	45483.0	45492.2	45504.2	45446.0
16	35	13	7.68362	112.5509667	904	45005.4	44977.4	45019.6	44974.6	44926.0
16	39	12	7.68367	112.5501333	895	44864.0	44844.8	44828.2	44824.8	44829.6
16	45	16	7.68380	112.5492	879	44562.6	44554.6	44552.0	44562.0	44549.0
16	50	2	7.68442	112.54935	875	44593.6	44592.0	44607.2	44596.6	44563.6
17	23	9	7.68453	112.5467	861	44761.0	44765.4	44769.0	44768.2	44760.2
17	28	31	7.68383	112.5465167	854	44399.4	44396.2	44392.8	44398.2	44406.6
17	30	44	7.68372	112.5473833	855	44898.0	44909.8	44907.6	44896.6	44899.4
17	39	54	7.68443	112.5473833	874	45075.6	45071.6	45068.4	45077.6	45076.2
17	59	1	7.68450	112.5485333	853	44474.6	44969.4	44978.0	44979.2	44924.4
18	6	33	7.68397	112.5484333	848	44819.6	44821.6	44821.0	44823.8	44836.6
18	29	40	7.68672	112.5465167	894	44921.4	44957.6	44874.6	44878.8	44928.0

Tabel Data Perhitungan
 Pengukuran Hari ke 1
 Hari, tanggal : 9 Oktober 2018

Waktu (s)	Lintang		Lintang (UTM)	Bujur		Bujur (UTM)	Rata-rata (nT)	Koreksi Harian (nT)	IGRF (nT)	H Anomali (nT)
27600	7	41.203	10849972.12	112	32.791	670572.5577	44963.32	0	44709.3	254.02
29540	7	41.186	10849940.87	112	32.804	670596.5737	44841.6	-379.5161484	44709.3	511.8161484
30622	7	41.230	10850022.68	112	32.910	670791.1806	44974.44	-591.1844333	44709.3	856.3244333
30929	7	41.278	10850111.15	112	32.910	670790.8606	45107.82	-651.2418857	44709.3	1049.761886
31221	7	41.249	10850057.64	112	32.902	670776.3445	45673.52	-708.3649348	44709.3	1672.584935
31442	7	41.282	10850118.98	112	32.979	670917.7025	45569.08	-751.5984754	44709.3	1611.378475
31856	7	41.333	10850213.24	112	33.018	670989.0705	44946.36	-832.588004	44709.3	1069.648004
32071	7	41.386	10850311.39	112	33.087	671115.5849	43980.24	-874.6477834	44709.3	145.5877834
32390	7	41.390	10850318.97	112	33.118	671172.5569	45121.32	-937.0527583	44709.3	1349.072758
33124	7	41.457	10850442.55	112	33.132	671197.8505	45007.64	-1080.642889	44709.3	1378.982889
34390	7	41.491	10850505.58	112	33.187	671298.7496	44873.6	-1328.30652	44709.3	1492.60652
34924	7	41.496	10850514.08	112	33.079	671100.1407	44663.6	-1432.771274	44709.3	1387.071274
37217	7	41.485	10850493.59	112	33.046	671039.5384	45107.36	-1881.343711	44709.3	2279.403711
42290	7	41.447	10850423.47	112	33.035	671019.5668	45094.84	-2873.758877	44709.3	3259.298877
42901	7	41.443	10850415.7	112	32.975	670909.2737	44847.56	-2993.286901	44709.3	3131.546901
44530	7	41.503	10850525.94	112	32.923	670813.2631	44763.48	-3311.963089	44709.3	3366.143089
45068	7	41.400	10850336.34	112	32.959	670880.142	45012.96	-3417.210351	44709.3	3720.870351
45390	7	41.393	10850323.19	112	32.922	670812.158	45248.8	-3480.202207	44709.3	4019.702207
49510	7	41.423	10850377.81	112	32.820	670624.4143	44901.84	-4286.184955	44709.3	4478.724955
49923	7	41.452	10850431.24	112	32.818	670620.5438	45867.48	-4366.978857	44709.3	5525.158857
50169	7	41.495	10850510.5	112	32.818	670620.2573	44985.72	-4415.103069	44709.3	4691.523069
50401	7	41.460	10850446.26	112	32.859	670695.8755	44993.52	-4460.488506	44709.3	4744.708506
50680	7	41.454	10850435.47	112	32.899	670769.462	45026.04	-4515.068405	44709.3	4831.808405
53117	7	41.392	10850322	112	33.020	670992.354	44991	-4991.811113	44709.3	5273.511113
53710	7	41.341	10850227.27	112	32.910	670790.4407	45039.88	-5107.817854	44709.3	5438.397854

54000	7	41.322	10850191.8	112	32.843	670667.3764	44673.08	-5164.549649	44709.3	5128.329649
54930	7	41.277	10850109.05	112	32.872	670720.9977	44908.08	-5346.482648	44709.3	5545.262648
55517	7	41.203	10849972.12	112	32.791	670572.5577	44845.2	-5461.315627	44709.3	5597.215627

Tabel Data Perhitungan

Pengukuran Hari ke 2

Hari, tanggal : 10 Oktober 2018

25835	7	41.203	10849972.12	112	32.791	670572.5577	44920.8	0	44709.3	211.5
26713	7	41.240	10850035.13	112	32.007	669130.7942	44831.6	-3108.114736	44709.3	3230.414736
27206	7	41.290	10850132.6	112	32.810	670606.9134	44781.44	-2348.798301	44709.3	2420.938301
27727	7	41.139	10849854.15	112	32.790	670571.145	45204.6	-1546.35639	44709.3	12041.65639
28338	7	41.122	10849823.54	112	32.898	670769.8361	44813.68	-605.2968738	44709.3	709.6768738
28597	7	41.130	10849838	112	32.856	670692.558	44768.28	-206.3862114	44709.3	265.3662114
28731	7	41.171	10849913.56	112	32.854	670688.6076	44251.36	0	44709.3	-457.94
28950	7	41.873	10851207.85	112	32.914	670794.2466	44130.88	337.302838	44709.3	-915.722838
29318	7	41.176	10849918.67	112	32.234	669548.5948	44251.36	904.0948216	44709.3	-1362.034822
29959	7	41.170	10849912.73	112	33.007	670969.9327	45446.76	1891.360206	44709.3	-1153.900206
30307	7	41.208	10849982.83	112	33.015	670984.3886	45240.6	2427.348277	44709.3	-1896.048277
30968	7	41.263	10850084.54	112	33.066	671077.7942	44925.32	3445.417574	44709.3	-3229.397574
31459	7	41.241	10850044	112	33.067	671079.7797	45353.8	4201.653617	44709.3	-3557.153617
32689	7	41.280	10850116.23	112	33.119	671175.1305	45033.88	6096.094215	44709.3	-5771.514215
33114	7	41.328	10850204.74	112	33.126	671187.6806	44325.36	6750.677348	44709.3	-7134.617348
33380	7	41.328	10850205.07	112	33.175	671277.7756	44854.64	7160.369379	44709.3	-7015.029379
33976	7	41.371	10850284.31	112	33.173	671273.8108	44384.68	8078.325962	44709.3	-8402.945962
34810	7	41.278	10850112.92	112	33.176	671279.9485	44614.12	9362.849098	44709.3	-9458.029098
35303	7	41.328	10850205.45	112	33.232	671382.5801	44743.68	10122.16553	44709.3	-10087.78553
36967	7	41.361	10850266.39	112	33.249	671413.6167	44370.6	12685.05102	44709.3	-13023.75102
37368	7	41.381	10850303.52	112	33.290	671488.8685	44481.76	13302.66946	44709.3	-13530.20946
38379	7	41.320	10850191.09	112	33.289	671487.4381	43951.04	14859.80722	44709.3	-15618.06722
38814	7	41.274	10850106.28	112	33.286	671482.23	44913.76	15529.79231	44709.3	-15325.33231

39095	7	41.264	10850087.49	112	33.232	671383.0082	44949.16	15962.58728	44709.3	-15722.72728
40295	7	41.218	10850002.74	112	33.238	671394.3479	45283.6	17810.82201	44709.3	-17236.52201
40536	7	41.214	10849995.68	112	33.285	671480.7928	45012.76	18182.00915	44709.3	-17878.54915
40884	7	41.160	10849896.15	112	33.284	671479.3155	45382.4	18717.99722	44709.3	-18044.89722
41277	7	41.162	10849899.44	112	33.225	671370.8195	44887.2	19323.29409	44709.3	-19145.39409
41591	7	41.165	10849904.62	112	33.172	671273.3491	44963.8	19806.91551	44709.3	-19552.41551
41847	7	41.218	10850002.32	112	33.175	671278.5109	44809.32	20201.20559	44709.3	-20101.18559
42336	7	41.168	10849909.79	112	33.118	671174.04	44398	20954.36124	44709.3	-21265.66124
42744	7	41.115	10849812.08	112	33.116	671170.7166	44812.48	21582.76105	44709.3	-21479.58105
43194	7	41.116	10849813.57	112	33.062	671071.4207	44559.64	22275.84907	44709.3	-22425.50907
43752	7	41.059	10849708.84	112	33.112	671163.7358	45172.92	23135.27822	44709.3	-22671.65822
44160	7	41.055	10849701.15	112	33.064	671075.5052	45097.32	23763.67803	44709.3	-23375.65803
44554	7	41.058	10849706.27	112	33.003	670963.325	44644.88	24370.5151	44709.3	-24434.9351
46948	7	41.120	10849820.57	112	33.006	670968.4275	44979.36	28057.74338	44709.3	-27787.68338
47435	7	41.126	10849831.3	112	32.957	670878.2919	45191.28	28807.81864	44709.3	-28325.83864
50499	7	41.290	10850133.9	112	33.006	670967.2934	45069.92	33526.97798	44709.3	-33166.35798
55400	7	41.106	10849795.82	112	33.165	671260.8725	45028.08	41075.47666	44709.3	-40756.69666
55813	7	41.121	10849823.82	112	33.217	671356.3841	45374.64	41711.57744	44709.3	-41046.23744
56433	7	41.104	10849792.96	112	33.289	671488.8836	45276	42666.49872	44709.3	-42099.79872
56921	7	41.506	10850533.47	112	33.223	671364.8411	44984.28	43418.11418	44709.3	-43143.13418
57519	7	41.040	10849674.99	112	33.288	671487.473	44890.6	44339.15115	44709.3	-44157.85115
57873	7	41.007	10849614.14	112	33.284	671480.339	44906	44884.38039	44709.3	-44687.68039
58581	7	41.055	10849701.84	112	33.167	671264.8906	45152.88	45974.83888	44709.3	-45531.25888
59025	7	41.015	10849628.11	112	33.167	671265.1578	45139.04	46658.68573	44709.3	-46228.94573
59391	7	41.017	10849631.45	112	33.115	671169.5323	45482.4	47222.39733	44709.3	-46449.29733
59713	7	41.017	10849631.07	112	33.058	671064.7266	44980.6	47718.34031	44709.3	-47447.04031
59952	7	41.020	10849636.27	112	33.008	670972.7719	44838.28	48086.44706	44709.3	-47957.46706
60316	7	41.028	10849650.64	112	32.952	670869.7517	44556.04	48647.07826	44709.3	-48800.33826
60602	7	41.065	10849718.9	112	32.961	670886.0533	44590.6	49087.57421	44709.3	-49206.27421
62589	7	41.072	10849730.74	112	32.802	670593.6551	44764.76	52147.94288	44709.3	-52092.48288

62911	7	41.030	10849653.26	112	32.791	670573.709	44398.64	52643.88587	44709.3	-52954.54587
63044	7	41.023	10849640.7	112	32.843	670669.3675	44902.28	52848.73188	44709.3	-52655.75188
63594	7	41.066	10849719.95	112	32.843	670669.0813	45073.88	53695.83947	44709.3	-53331.25947
64741	7	41.070	10849727.79	112	32.912	670795.9242	44865.12	55462.44383	44709.3	-55306.62383
65193	7	41.038	10849668.76	112	32.906	670785.1052	44824.52	56158.61224	44709.3	-56043.39224
66580	7	41.203	10849972.12	112	32.791	670572.5577	44912.08	58294.86355	44709.3	-58092.08355





**KEMENTERIAN AGAMA RI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI (UIN)
MAULANA MALIK IBRAHIM MALANG
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI**

Jl. Gajayana No. 50 Dinoyo Malang (0341) 551345 Fax. (0341) 572533

BUKTI KONSULTASI SKRIPSI

Nama : Balqis Humairoh Sundus
NIM : 14640014
Fakultas/ Jurusan : Sains dan Teknologi/ Fisika
Judul Skripsi : Identifikasi Struktur Bawah Permukaan Daerah Prospek Panas Bumi dengan Metode Geomagnetik (Studi Kasus di Daerah Mata Air Panas, Desa Padusan, Kecamatan Pacet, Kabupaten Mojokerto)
Pembimbing I : Drs. Abdul Basid, M.Si
Pembimbing II : Ahmad Abtokhi, M.Pd

NO	TANGGAL	MATERI	TANDA TANGAN
1	09 Agustus 2018	Konsultasi Bab I	
2	30 Agustus 2018	Konsultasi Bab II dan III	
3	05 September 2018	Konsultasi Bab I, II, III dan Acc	
4	19 Mei 2019	Konsultasi Data Hasil Bab IV	
5	26 Juni 2019	Konsultasi Pembahasan Bab IV	
6	04 Februari 2020	Konsultasi Bab IV dan V	
7	12 Maret 2020	Konsultasi Kajian agama dan Acc	
8	07 Mei 2020	Konsultasi semua Bab, Abstrak dan Acc	

Malang, 20 Juni 2020

Mengetahui,
Ketua Jurusan Fisika,

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