



**KAJIAN PANAS BUMI DAERAH
MEDINI – GONOHARJO BERDASARKAN
DATA GEOMAGNETIK**

Skripsi

disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar

Sarjana Sains Program Studi Fisika

Oleh

Endar Widi Sugiyo

4211411040

JURUSAN FISIKA

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

2015

PERNYATAAN

Saya menyatakan bahwa skripsi ini bebas plagiat dan apabila di kemudian hari terbukti terdapat plagiat dalam skripsi ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan peraturan perundang-undangan.

Semarang, 29 April 2015



Endar Widi Sugiyo

4211411040

PERSETUJUAN PEMBIMBING

Skripsi yang berjudul

Kajian Panas Bumi Daerah Medini – Gonoharjo Berdasarkan Data
Geomagnetik

disusun oleh

Endar Widi Sugiyo

4211411040

telah disetujui untuk diajukan ke sidang Panitia Ujian Skripsi Fakultas
Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Semarang.

Semarang, April 2015

Pembimbing I



Prof. Dr. Supriyadi, M.Si.
NIP. 196505181991021001

Pembimbing II



Dr. Agus Yulianto, M.Si.
NIP. 196607051990031002

PENGESAHAN

Skripsi yang berjudul

Kajian Panas Bumi Daerah Medini – Gonoharjo Berdasarkan Data
Geomagnetik

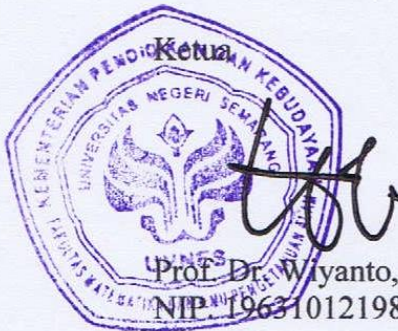
disusun oleh

Endar Widi Sugiyo

4211411040

telah dipertahankan di hadapan sidang Panitia Ujian Skripsi FMIPA UNNES pada
tanggal April 2015.

Panitia:



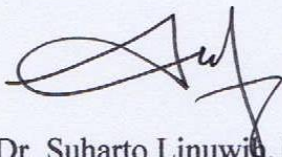
Ketua
Prof. Dr. Wiyanto, M.Si.
NIP. 196310121988031001

Sekretaris



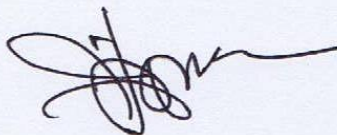
Dr. Khumaedi, M.Si.
NIP. 196306101989011002

Ketua Penguji



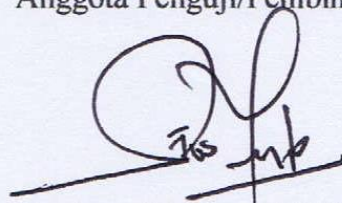
Dr. Suharto Linuwih, M.Si.
NIP. 196807141996031005

Anggota Penguji/Pembimbing I



Prof. Dr. Supriyadi, M.Si.
NIP. 196505181991021001

Anggota Penguji/Pembimbing II



Dr. Agus Yulianto, M.Si.
NIP. 196607051990031002

MOTTO

A journey of a thousand miles begins with a single and forward step.

My life... My choice... I must have responsibility.

(Penulis)

Dosa terbesar adalah ketakutan. Rekreasi terbaik adalah bekerja. Musibah terbesar adalah keputusan. Keberanian terbesar adalah kesabaran. Guru terbaik adalah pengalaman. Misteri terbesar adalah kematian. Kehormatan terbesar adalah kesetiaan. Karunia terbesar adalah anak sholih. Sumbangan terbesar adalah berpartisipasi. Dan modal terbesar adalah kemandirian.

(Ali bin Abi Tholib)

Anyone who has never made a mistake has never tried anything new.

(Albert Einstein)

PERSEMBAHAN

Spesial untuk Ibunda dan Ayahanda, Mba Ela, Agil,
segenap anggota keluarga besar Eyang Mukhayat,
sahabat & All Partisipant on This Research

PRAKATA

Bismillahirrohmanirrohim,

Semoga keselamatan, rahmat, dan barakah-Nya senantiasa dilimpahkan pada kita semua. Segala puji bagi Ar-Rahman, Ar-Rahim, Tuhan semesta alam berkat rahmat dan bimbingan-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan skripsi ini dengan tepat waktu. Skripsi ini merupakan hasil studi daerah panas bumi berdasarkan data geomagnetik. Penelitian dimaksudkan untuk menambah informasi basis data panas bumi di Indonesia.

Penyusunan skripsi ini tidak lepas dari bantuan dan motivasi dari berbagai pihak. Oleh karena itu pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada :

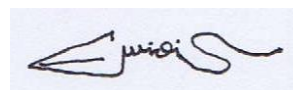
1. Rektor Universitas Negeri Semarang.
2. Prof. Dr. Wiyanto, M.Si. sebagai Dekan FMIPA Universitas Negeri Semarang.
3. Dr. Kumaedi, M.Si. selaku ketua Jurusan Fisika.
4. Prof. Dr. Supriyadi, M.Si. dan Dr. Agus Yulianto, M.Si. selaku pembimbing skripsi yang telah meluangkan waktu, nasehat, saran, dan motivasi selama penyusunan skripsi.
5. Dr. Suharto Linuwih, M.Si. selaku dosen penguji yang telah memberikan saran untuk penulis.
6. Ian Yulianti, M.Si. dan Upik Nurbaeti, M.Si. selaku dosen wali yang telah membimbing dan memberikan saran dalam perkuliahan.
7. Segenap Bapak dan Ibu Dosen, teknisi laboratorium, dan staf Jurusan Fisika Universitas Negeri Semarang.

8. Ibu, Bapak, Kakak dan Adikku yang telah memberi dukungan, doa, dan kesempatan penulis untuk belajar.
9. Segenap guru dan wali kelas penulis selama menempuh jenjang pendidikan (Pak Taryono, Pak Turyono, Pak Teguh, Pak Suyatmo, Pak Imam, Bu Nindarti, Bu Susiyati, Bu Mukti, Bu Ira, Pak Nasir, Bu Kartika, Pak Pir, dan Bu Endang).
10. Sahabat-sahabatku (Wahyu, Sidik, Yayan, Ardi, Adi, Ilham, Anna, Ema, Inayah, Dika, Bagas, Mugi, Hasvi, Iin, Dita, Mila, Alikta, Hera, Mas Tulus, Mas Pradana, Mas Syaiful, Mas Farid, Rohmad, Nina (alm), Fatya, Alif, Rundi, Muji, Retno, Nofal, dan Rifki).
11. Teman-teman jurusan Fisika 2011, KSGF Unnes, dan HMGI Regional 3 yang senantiasa menghadirkan semangat belajar bersama.
12. Teman-teman Kost Al-Munir dan semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu, terima kasih untuk bantuan yang telah diberikan.

Penulis menyadari dalam penyusunan skripsi ini masih belum sempurna dengan banyak kesalahan dan kekurangan. Oleh karena itu penulis mengharapkan saran dan kritik dari pembaca. Akhirnya penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi pembaca dan memberikan manfaat bagi kemajuan penelitian dan riset di Indonesia. Amin.

Semarang, 2015

Penulis



Endar Widi Sugiyo

NIM. 4211411040

ABSTRAK

Sugiyono, E. W. 2015. *Kajian Panas Bumi Daerah Medini – Gonoharjo Berdasarkan Data Geomagnetik*. Skripsi, Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Semarang. Pembimbing I, Prof. Dr. Supriyadi, M.Si. dan Pembimbing II, Dr. Agus Yulianto, M.Si.

Kata kunci : anomali magnetik, geomagnetik, panas bumi.

Panas bumi potensial dikembangkan di Indonesia sebagai pendukung pemenuhan kebutuhan energi sektor non-migas. Banyak ditemukan manifestasi panas bumi di sekitar Gunung Ungaran, sehingga manifestasi tersebut patut diteliti sebagai daerah prospek panas bumi. Penelitian bertujuan untuk mengetahui intensitas medan magnet total, anomali magnetik, dan distribusi panas bumi di sekitar air panas Medini dan Gonoharjo. Pengambilan data geomagnetik dilakukan pada koordinat bujur $110^{\circ}19'47.3''\text{E}$ sampai $110^{\circ}20'12.3''\text{E}$ dan koordinat lintang $7^{\circ}08'56.9''\text{S}$ sampai $7^{\circ}09'42.1''\text{E}$. Pengambilan data dilakukan menggunakan *Proton Precession Magnetometer* (PPM) model GSM-19T produk GEM System dengan sensitivitas 0,05 nT, *Global Positioning System* (GPS), dan kompas geologi. Data intensitas medan magnet total hasil pengukuran diolah dengan melakukan koreksi diurnal, koreksi IGRF, kontinuasi ke atas, pemisahan anomali lokal dan regional, dan reduksi ke kutub. Intensitas medan magnet total daerah penelitian berada pada rentang nilai 43.000 nT sampai 47.600 nT. Hasil pengolahan data diperoleh anomali magnetik di daerah penelitian dengan rentang nilai -1.800 nT sampai 2.700 nT dan didominasi oleh nilai anomali magnetik rendah. Pola anomali magnetik cenderung berarah tenggara diduga menuju sumber panas Gunung Ungaran. Distribusi prospek panas bumi daerah Medini – Gonoharjo berhubungan dengan sebaran luas nilai anomali magnetik rendah. Anomali sangat rendah didukung dengan keberadaan sumber air panas di daerah Medini dan Gonoharjo. Anomali magnetik rendah pada daerah studi merupakan respon akibat penurunan sifat kemagnetan batuan karena pengaruh panas pada alterasi hidrotermal sistem panas bumi Gunung Ungaran.

ABSTRACT

Sugiyono, E. W. 2015. *Kajian Panas Bumi Daerah Medini – Gonoharjo Berdasarkan Data Geomagnetik*. Skripsi, Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Semarang. Pembimbing I, Prof. Dr. Supriyadi, M.Si. dan Pembimbing II, Dr. Agus Yulianto, M.Si.

Key word: magnetic anomalous, geomagnetic, geothermal

Geothermal energy is potential to develop in Indonesia as support to energy necessary fulfillment in non oil and gas sector. The existence of geothermal manifestations in northern part of Ungaran Volcano indicate the potential of geothermal energy in this area. The geothermal surface manifestations are found as hot springs in Medini and Gonoharjo. This research conducted to determine the total magnetic intensity, magnetic anomalous, and the distribution of geothermal prospect area. Geomagnetic research is applied in coordinate longitude $110^{\circ}19'47.3''\text{E}$ to $110^{\circ}20'12.3''\text{E}$ and coordinate latitude $7^{\circ}08'56.9''\text{S}$ to $7^{\circ}09'42.1''\text{E}$. Data has been collected by Proton Precession Magnetometer model GSM-19T product GEM System with sensitivity 0,05 nT, Global Positioning System, and geological compass. The result of geomagnetic measurement is total magnetic field intensity that process with diurnal correction, main field correction, upward continuation, disperate between local and regional anomalous, and reduction to pole. Total magnetic field intensity in research area is spread out between 43.000 nT to 47.600 nT. After processing, magnetic anomalous in this research area is spread out between -1.800 nT to 2.700 nT and dominated by negative magnetic anomalous value. Magnetic anomalous pattern has south east direction that predict to heat source of Ungaran Volcano. Geothermal prospect distribution in this area is related to widespread and dominated of negative magnetic anomalous. Very low magnetic anomalous is supported by Medini and Gonoharjo hot springs. Low and negative magnetic anomalous in this area is indicated demagnetization zone caused by hydrothermal alteration.

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL.....	i
PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN	ii
PERSETUJUAN PEMBIMBING.....	iii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iv
MOTTO DAN PERSEMBAHAN	v
PRAKATA.....	vi
ABSTRAK	viii
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xv
BAB	
1. PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	5
1.3 Tujuan Penelitian.....	5
1.4 Sistematika Penulisan.....	5
1.5 Manfaat Penelitian.....	6
1.6 Batasan Masalah.....	6
2. TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1 Panas Bumi.....	7
2.1.1 Pembentukan Sistem Panas Bumi	8

2.1.2	Manifestasi Panas Bumi	10
2.1.3	Pemanfaatan Panas Bumi	11
2.2	Geologi Gunung Ungaran	12
2.2.1	Geologi Permukaan	14
2.2.2	Geologi Bawah Permukaan	14
2.3	Metode Geomagnetik	18
2.3.1	Gaya Magnetik	20
2.3.2	Kuat Medan Magnetik.....	20
2.3.3	Momen Dipole Magnetik	20
2.3.4	Intensitas Kemagnetan	21
2.3.5	Suseptibilitas Magnetik	21
2.3.6	Induksi Magnetik.....	24
2.3.7	Penggunaan Metode Magnetik dalam Studi Panas Bumi	25
3.	METODE PENELITIAN	28
3.1	Desain Penelitian.....	28
3.2	Lokasi Penelitian	29
3.3	Akuisisi Data	30
3.4	Pengolahan Data.....	32
3.4.1	Koreksi Diurnal	32
3.4.2	Koreksi IGRF	33
3.4.3	Kontinuasi ke Atas	33
3.4.4	Reduksi ke Kutub	33
3.5	Analisis Data Penelitian	34

4. HASIL DAN PEMBAHASAN	35
4.1 Intensitas Medan Magnet Total	35
4.2 Anomali Magnetik.....	41
4.3 Distribusi Potensial Panas Bumi	47
5. PENUTUP	60
5.1 Simpulan	60
5.2 Saran.....	61
DAFTAR PUSTAKA	62
LAMPIRAN	66

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
Tabel 3.1 Model Data Pengamatan	31
Tabel 4.1 Data Pengamatan.....	35
Tabel 4.2 Parameter Medan Magnet Bumi Daerah Penelitian.....	40

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
Gambar 2.1 Model Skematik Sistem Panas Bumi	9
Gambar 2.2 Peta Geologi Daerah Panas Bumi Ungaran	12
Gambar 2.3 Deliniasi Zona Prospek Panas Bumi.....	14
Gambar 2.4 Kurva Magnetisasi dan Suseptibilitas di Bawah dan di Atas Temperatur Curie. Sketsa Kecil di Atas Menggambarkan Distribusi Klasik Arah Spin dalam Penggunaan Medan Nol pada Domain Tunggal di Bawah T_c dan dalam Sebuah Kelompok Atom-atom di Atas T_c	23
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian	28
Gambar 3.2 Lokasi Penelitian.....	29
Gambar 3.3 <i>Proton Precession Magnetometer</i>	30
Gambar 4.1 Intensitas Medan Magnet Total.....	36
Gambar 4.2 Peta Kontur Anomali Magnetik	42
Gambar 4.3 Anomali Magnetik Hasil Kontinuasi ke Atas	44
Gambar 4.4 Anomali Magnetik Lokal atau Residual	45
Gambar 4.5 Anomali Magnetik Regional.....	46
Gambar 4.6 <i>Surface 3D</i> Anomali Magnetik Daerah Penelitian.....	50
Gambar 4.7 Anomali Magnetik Hasil Reduksi ke Kutub.....	53

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
Lampiran Data Pengamatan	66
Lampiran Dokumentasi Penelitian	80
Surat Keputusan Dosen Pembimbing	
Surat Ijin Penelitian	
Surat Tugas Panitia Ujian Sarjana	

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sumber energi konvensional yang berasal dari minyak bumi, gas alam, batubara, dan uranium tidak dapat diperbaharui dan dapat merusak lingkungan, sehingga perlu pengembangan sumber energi terbarukan. Sumber energi terbarukan meliputi energi panas bumi, energi matahari, energi angin, energi biomassa, energi air, energi pasang surut, dan energi ombak (Hasan *et al.*, 2012: 2316). Energi panas bumi merupakan sumber energi terbarukan yang ramah lingkungan dan potensial dikembangkan di Indonesia untuk mendukung pemenuhan kebutuhan energi nasional yang masih didominasi dari sektor minyak dan gas bumi.

Potensi energi panas bumi Indonesia berdasarkan survei yang dilakukan oleh kementerian ESDM, tercatat sebesar 29,038 MW dan merupakan 40% dari potensi energi panas bumi dunia sehingga Indonesia menjadi negara dengan potensi energi panas bumi terbesar dunia (Setiawan, 2013: 2). Berdasarkan survei geologis, Indonesia memiliki 299 prospek panas bumi yang tersebar di sepanjang jalur vulkanik yang dimulai dari bagian barat Sumatra, berlanjut ke Pulau Jawa, Bali, Nusa Tenggara, selanjutnya berbelok ke arah utara melalui Maluku dan Sulawesi (Royana, 2013: 18). Deretan kelurusan vulkanik Ungaran–Suropati–Telomoyo–Merbabu–Merapi di Jawa Tengah merupakan salah satu yang menarik karena terletak hampir tegak lurus dengan busur sunda (Kohno *et al.*, 2005: 222).

Gunung Ungaran merupakan salah satu daerah prospek panas bumi yang dibuktikan dengan munculnya manifestasi panas bumi permukaan di beberapa tempat berupa fumarol, mata air panas, tanah panas, dan batuan teralterasi. Gunung Ungaran merupakan gunung api kuarter dan menjadi bagian paling timur dari Pegunungan Serayu Utara. Manifestasi panas bumi berupa mata air panas muncul di daerah Medini dan Gonoharjo yang terletak pada daerah lereng utara Gunung Ungaran. Eksplorasi lanjut dan eksploitasi sumber daya panas bumi memerlukan proses karakterisasi untuk menentukan kelayakan sumber daya daerah prospek. Menurut Zarkasyi *et al.* (2011: 23), karakteristik sistem panas bumi meliputi sumber panas, reservoir, lapisan penudung, dan fluida panas.

Kegiatan untuk mengidentifikasi sistem panas bumi memerlukan informasi kegeologian dan analisis manifestasi daerah prospek panas bumi. Menurut Royana (2013: 11), sistem panas bumi merupakan sistem penghantaran panas di dalam mantel atas dan kerak bumi dimana panas dihantarkan dari suatu sumber panas atau *heat source* menuju suatu tempat penampungan panas atau disebut *heat sink*. Karakterisasi sumber daya panas bumi dapat dilakukan dengan cara mempelajari ciri-ciri fisika dan kimia dari daerah prospek panas bumi. Geofisika adalah bagian dari ilmu kebumihan yang mempelajari bumi menggunakan kaidah atau prinsip-prinsip fisika. Metode geofisika melibatkan pengukuran sifat fisika di permukaan bumi yang dapat memberikan informasi tentang struktur, komposisi, dan sifat batuan di bawah permukaan bumi. Penggunaan metode geofisika meliputi metode gaya berat, magnetik, potensial spontan, polarisasi terimbas, geolistrik resistivitas, seismik, dan elektromagnetik.

Metode geomagnetik merupakan salah satu metode geofisika yang sering digunakan untuk survei pendahuluan pada eksplorasi minyak bumi, panas bumi, batuan mineral, survei prospek benda arkeologi, dan pemantauan gunung api. Metode geomagnetik telah banyak digunakan sebagai sarana penelitian geofisik maupun geologis. Metode geomagnetik dapat digunakan untuk menentukan struktur geologi bawah permukaan seperti patahan, lipatan, intrusi batuan beku, dan reservoir panas bumi (Santosa, 2013: 328). Metode magnetik bekerja berdasarkan pengukuran variasi kecil intensitas medan magnet di permukaan bumi yang disebabkan karena perbedaan sifat magnetisasi batuan di kerak bumi (Rusli, 2009: 15). Perbedaan sifat kemagnetan meningkatkan keberadaan medan magnet bumi yang tidak homogen atau disebut anomali magnetik.

Pemanfaatan panas bumi merupakan hasil serangkaian penelitian untuk mengidentifikasi panas bumi di suatu daerah prospek, salah satu metode yang digunakan adalah metode geomagnetik. Target pengukuran metode geomagnetik adalah anomali magnetik yang dihasilkan dari respon mineral bermagnet dalam batuan di kerak bumi. Kemampuan batuan untuk mengalami magnetisasi tergantung pada susceptibilitas magnetik masing-masing batuan. Sifat magnet ini ada karena pengaruh dari medan magnet bumi pada waktu pembentukan batuan tersebut. Studi daerah prospek panas bumi menggunakan metode magnetik telah dilakukan oleh Hermawan *et al.* (2011) dengan melokalisir daerah anomali magnetik rendah. Anomali magnetik rendah berkaitan dengan munculnya manifestasi panas bumi di daerah Bora yang menjadi indikasi adanya perubahan nilai magnet akibat aktivitas fluida panas.

Daerah potensial prospek panas bumi merupakan daerah yang memiliki temperatur minimal 200°C sampai 300°C pada kedalaman 5 km di bawah permukaan bumi. Daerah prospek panas bumi diinterpretasikan berdasarkan studi geomagnetik dengan keberadaan anomali magnetik rendah akibat interaksi fluida dan batuan dalam proses hidrotermal (Yorinaldi *et al.*, 2000: 179). Sifat magnetik material berupa nilai susceptibilitas batuan dalam pengaruh temperatur telah dikaji dan dilakukan studi oleh Pierre Curie. Pierre Curie melakukan pengukuran nilai susceptibilitas bermacam-macam material dalam rentang temperatur yang panjang, sehingga dapat menjelaskan adanya pengaruh temperatur terhadap sifat kemagnetan. Lokalisasi anomali magnetik rendah terkait manifestasi panas bumi di lereng utara Gunung Ungaran merupakan target penelitian geomagnetik.

Pemanfaatan potensi panas bumi di Indonesia sebagai sumber energi bersih dan ramah lingkungan berperan penting untuk mendukung ketahanan energi nasional. Manifestasi panas bumi lereng utara Gunung Ungaran muncul di daerah Medini dan Gonoharjo berupa mata air panas atau *hot springs* yang merupakan indikator keberadaan sumber panas bumi di daerah tersebut. Potensi penggunaan dan pemanfaatan manifestasi panas bumi daerah Medini dan Gonoharjo dapat dikaji dengan melakukan serangkaian proses penelitian. Tahapan operasional penggunaan energi panas bumi terdiri dari survei pendahuluan, eksplorasi, studi kelayakan, eksploitasi, dan pemanfaatan. Berdasarkan uraian pentingnya studi daerah prospek panas bumi dan adanya keterkaitan sifat magnetik dengan temperatur, maka dilakukan pengkajian panas bumi daerah Medini - Gonoharjo berdasarkan data penelitian geomagnetik.

1.2 Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang di atas, maka permasalahan dalam penelitian ini dapat dirumuskan sebagai berikut.

1. Distribusi nilai intensitas medan magnet total dan anomali magnetik daerah penelitian berdasarkan data geomagnetik.
2. Distribusi zona prospek panas bumi daerah penelitian berdasarkan data geomagnetik.

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah di atas, maka peneliti memiliki dua tujuan penelitian, yaitu:

1. Mengetahui intensitas medan magnet total dan anomali medan magnet daerah penelitian berdasarkan data geomagnetik.
2. Mengetahui distribusi panas bumi daerah penelitian berdasarkan data geomagnetik.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diperoleh dari penelitian ini adalah menambah informasi terkait sistem panas bumi di lokasi penelitian untuk keperluan pengembangan dan pembangunan lanjutan potensi panas bumi. Kajian panas bumi daerah penelitian bermanfaat untuk menambah basis data sumber energi terbarukan berupa energi panas bumi di Indonesia. Hasil penelitian dapat digunakan sebagai acuan atau data dasar dalam eksplorasi lanjut potensi energi panas bumi yang tersedia di daerah studi penelitian.

1.5 Sistematika Penulisan

Bab I Pendahuluan berisikan latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, sistematika penulisan, dan batasan masalah.

Bab II Tinjauan Pustaka, merupakan dasar-dasar teori dari literatur ilmiah yang menjadi acuan yang digunakan di dalam penulisan penelitian meliputi panas bumi, tinjauan geologi, dan teori dasar metode geomagnetik.

Bab III Metodologi Penelitian, berisikan uraian mengenai lokasi penelitian, alat yang digunakan, akuisisi data, pengolahan data, dan interpretasi.

Bab IV Hasil Analisis dan Pembahasan, merupakan uraian yang menjelaskan analisis data pengamatan dalam pengolahan data dan pembahasan hasil penelitian.

Bab V Kesimpulan dan Saran, menjelaskan kesimpulan dari hasil pengukuran dalam penelitian dan rekomendasi terkait penelitian yang dilaksanakan.

1.6 Batasan Masalah

Analisis panas bumi daerah penelitian dilakukan berdasarkan distribusi anomali magnetik rendah yang berkaitan dengan zona prospek panas bumi. Data penelitian diperoleh dari pengukuran pada tanggal 6–8 September 2014. Koreksi yang dilakukan pada data penelitian meliputi koreksi diurnal, koreksi IGRF, kontinuitas ke atas, pemisahan anomali regional dan anomali residual, serta reduksi ke kutub. Pengolahan data geomagnetik dilakukan dengan menggunakan *software Microsoft Excel, Surfer 10, Numeri, dan Magpick*.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Panas Bumi

Panas bumi merupakan sumber energi panas yang terkandung di dalam air panas, uap air, dan batuan bersama mineral ikutan dan gas lainnya yang secara genetik tidak dapat dipisahkan dalam suatu sistem panas bumi dan untuk pemanfaatannya diperlukan proses penambangan. Indonesia memiliki potensi energi panas bumi mencapai 28.617 MW yang tersebar di 299 lokasi. Potensi panas bumi di Indonesia mencapai 40% dari total potensi panas bumi dunia, sehingga Indonesia menjadi negara dengan potensi panas bumi terbesar di dunia. Sumber panas bumi di Indonesia tersebar di Sumatera 12.760 MW, Jawa 9.717 MW, Sulawesi 3.044 MW, Nusa Tenggara 1.451 MW, Maluku 1.071 MW, Bali 354 MW serta 220 MW di daerah lain (Royana, 2013: 19).

Ada beberapa jenis reservoir panas bumi, yaitu reservoir hidrotermal (*hydrothermal reservoir*), reservoir bertekanan tinggi (*geopressured reservoir*), reservoir batuan panas kering (*hot dry rockreservoir*), dan reservoir magma (*magma reservoir*). Sistem panas bumi di Indonesia umumnya berupa sistem hidrotermal, yaitu sistem panas bumi dimana reservoirnya mengandung uap, air atau campuran keduanya. Sistem hidrotermal dikelompokkan menjadi tiga, yaitu sistem reservoir temperatur tinggi di atas 225°C, sistem reservoir temperatur sedang antara 125°C sampai 225°C, dan sistem panas bumi temperatur rendah lebih kecil dari 125°C (Saptadji, 2009: 4).

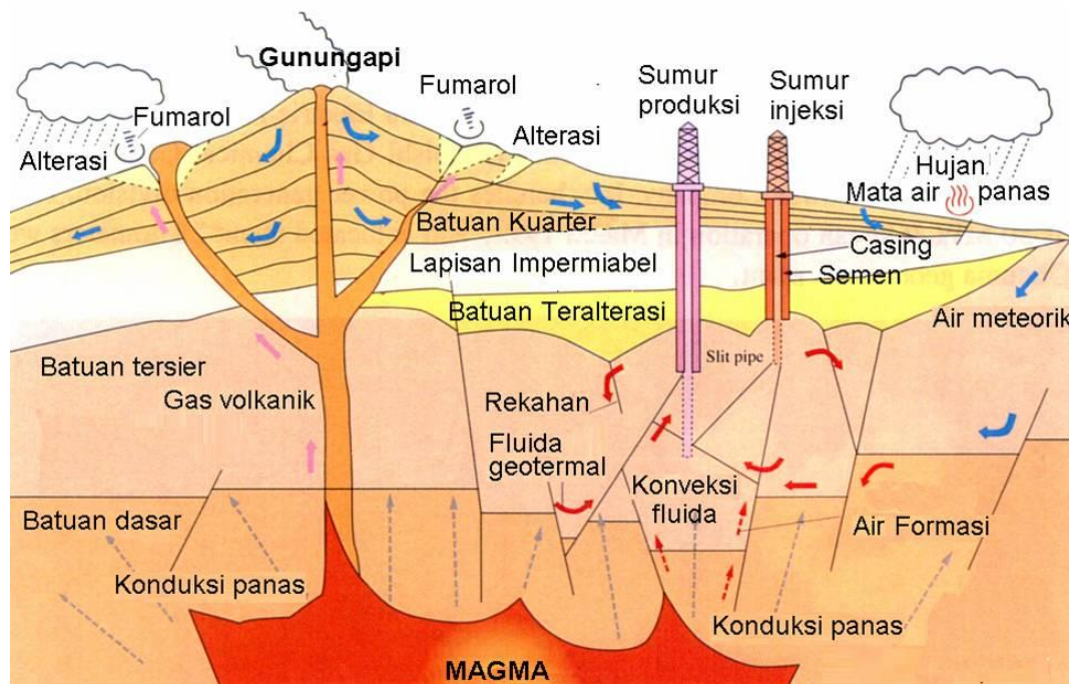
2.1.1 Pembentukan Sistem Panas Bumi

Indonesia memiliki bentangan lebih dari 7.000 km lingkaran sabuk gunung api, sehingga memiliki potensi panas bumi yang besar (Gaffar *et al.*, 2007: 98). Sistem panas bumi secara umum terbentuk karena interaksi lempeng tektonik yang terus bergerak perlahan dan menggapung di atas astenosfer. Menurut Saptadji (2009: 2), lempeng tektonik bergerak memisah di beberapa tempat, sementara di tempat lain saling mendorong dan diantaranya menunjam ke bawah lempeng lain. Ujung lempeng tektonik yang menunjam hancur dan meleleh akibat panas lapisan astenosfer dan gesekan pada proses magmatisasi. Subduksi kerak samudera (Indo-Australia) di bawah kerak benua (Eurasia) menghasilkan magma yang naik dan membentuk busur vulkanik sepanjang Pulau Jawa (Utama *et al.*, 2012).

Magma dengan densitas rendah pada proses magmatisasi mendorong batuan penutupnya. Tekanan dan suhu magma mengontrol proses pergerakan tersebut. Magma yang sampai ke permukaan membentuk kerak batuan. Bagian bawah kerak batuan tetap cair dan panas serta tidak bisa menerobos ke permukaan. Magma yang terperangkap mengalami proses pendinginan yang lambat. Proses pendinginan magma tersebut dapat mencapai ratusan bahkan ribuan tahun, sehingga panas dari magma tersebut dapat dimanfaatkan sebagai sumber panas bumi (Yunginger *et al.*, 2012: 5).

Daerah prospek panas bumi terutama daerah vulkanik gunung api era miosen-kuarter, memiliki sumber panas berupa intrusi magma pada kedalaman beberapa kilometer dari permukaan bumi. Temperatur tinggi (500°C sampai 1.000°C) pada intrusi magma menyediakan potensial sumber panas. Sistem panas

bumi yang potensial dikembangkan minimal memiliki temperatur 200°C sampai 300°C pada kedalaman 5 km di bawah permukaan bumi. Sistem panas bumi hidrotermal mempunyai beberapa komponen utama, yaitu sumber panas, daerah resapan, batuan reservoir, lapisan penudung, dan fluida panas. Model skematik sistem panas bumi disajikan dalam Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Model Skematik Sistem Panas Bumi

Daerah potensial prospek panas bumi di Gunung Ungaran dikontrol oleh sistem depresi sehingga memiliki banyak struktur geologi. Sistem panas bumi dibangun dari kemampuan daerah resapan mengalirkan air permukaan dan air meteorik ke bawah permukaan melalui rekahan. Air tanah bersentuhan dengan tubuh magma atau batuan beku panas, sehingga mendidih dan membentuk air atau uap panas. Panas merambat melalui batuan secara konduksi dan melalui fluida secara konveksi. Interaksi panas dengan batuan membentuk lapisan penudung yang menjadi jebakan panas dan merupakan batas pada batuan reservoir.

Reservoir mampu menyimpan fluida panas dan mengalirkannya karena berat jenis, temperatur, dan tekanan. Struktur geologi mendukung aliran uap dan air panas membentuk manifestasi panas bumi permukaan yang dapat diamati oleh manusia (Saptadji, 2009: 2).

2.1.2 Manifestasi Panas Bumi

Manifestasi panas bumi di permukaan menunjukkan keberadaan panas bumi di bawah permukaan. Perubahan fasa pada sistem panas bumi hidrotermal dalam perjalanan fluida ke permukaan bumi menyebabkan perbedaan jenis manifestasi panas bumi permukaan (*geothermal surface manifestation*), diantaranya *hot springs* atau mata air panas, *geyser* atau mata air panas yang menyembur ke permukaan, *mud pools* atau kolam lumpur panas, kolam air panas, serta manifestasi panas bumi lainnya (Saptadji, 2009: 2).

Daerah Gunung Ungaran memiliki beberapa manifestasi panas bumi yang tersebar di sekitar lereng timur hingga ke selatan dan di bagian barat laut sekitar Gonoharjo. Manifestasi panas bumi Gunung Ungaran terdiri atas mata air panas, fumarol, tanah panas, dan batuan ubahan. Mata air panas tersebar dalam enam kelompok, yaitu di daerah Gedongsongo, Nglimut, Karangjoho, Diwak, Kali Ulo, dan Jatikurung. Fumarol, tanah panas, dan batuan ubahan muncul di sekitar Gedongsongo yang merupakan daerah *upflow* sistem panas bumi Ungaran (Rezky *et al.*, 2012: 110). Lereng utara Gunung Ungaran khususnya lintasan Nglimut dan Gonoharjo memperlihatkan adanya kenampakan panas bumi permukaan seperti air panas (*hot springs*), fumarol, dan ubahan hidrotermal yang sering diasumsikan dengan hasil dari *outflow* sumber panas bumi Ungaran (Setyawan, 2005: 33).

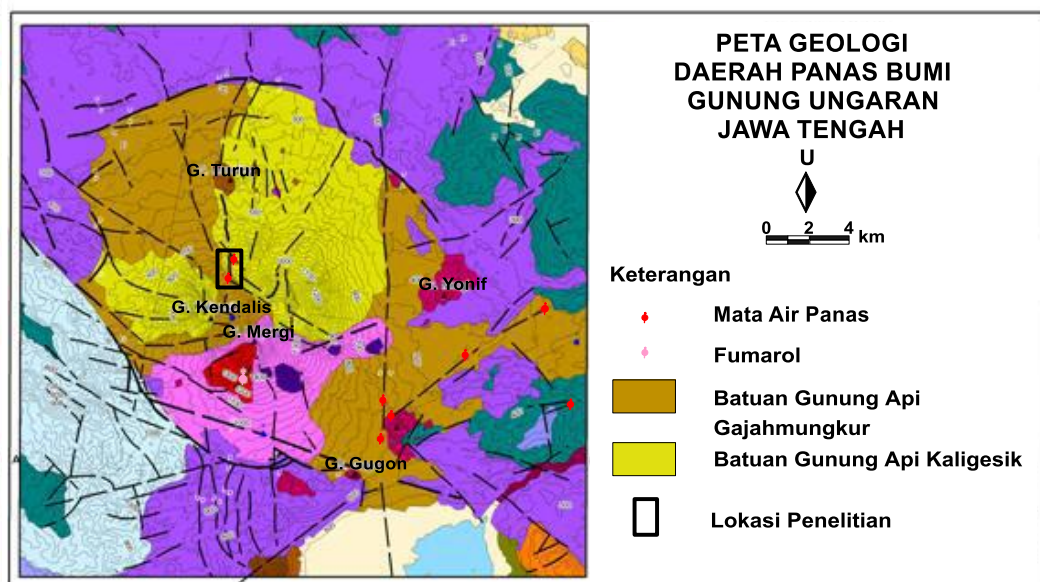
2.1.3 Pemanfaatan Panas Bumi

Pemanfaatan energi panas bumi dapat dibagi dalam dua kelompok besar. Kelompok pertama adalah untuk pembangkit listrik (*geothermal power plant*), sedangkan kelompok kedua yang sering disebut sebagai penggunaan energi panas bumi secara langsung (*geothermal direct use*), yaitu untuk geowisata, pemanasan ruangan dan penanganan proses-proses agrikultur. Sumber panas bumi yang kaya uap lebih disukai untuk dimanfaatkan sebagai pembangkit tenaga listrik dari pada sumber panas bumi yang kaya air karena energi yang dapat dikonversi dari sumber lebih besar (Gaffar *et al.*, 2007: 99). Rekomendasi pemanfaatan manifestasi mata air panas dan fumarola secara langsung di daerah Gedongsongo telah dikaji oleh Wahyudi (2005: 46), misalnya untuk pemandian air panas, pengembangan kawasan wisata, pengeringan produk pertanian, pengembangan perikanan, penghangat ruangan, penyembuhan penyakit, dan untuk kesehatan.

Karakteristik pemanfaatan sumber panas bumi baik untuk pembangkit listrik maupun secara langsung adalah bersih, terbarukan, dan berkelanjutan. Energi panasbumi bersifat *site specific* dimana sumber panas bumi tidak dapat dipindah-pindahkan namun dapat ditransmisikan dalam jarak yang relatif tidak jauh dan sumber energi dapat berada pada daerah yang sangat terpencil dan sulit dijangkau (Gaffar *et al.*, 2007: 99). Panas bumi merupakan energi alternatif yang ramah lingkungan karena sebagian besar gas buang adalah karbon dioksida (CO₂), serta air kondensat yang telah diambil dapat diinjeksikan kembali ke reservoir untuk menjaga kelangsungan reservoir (Wahyudi, 2005: 46) selama pemakaian energi tidak berlebih dan masih dalam batas tertentu.

2.2 Geologi Gunung Ungaran

Gunung Ungaran merupakan gunung api kuarter jenis *stratovolcano* yang menjadi bagian paling timur Pegunungan Serayu Utara dengan ketinggian 2.050 m dpl. Daerah Gunung Ungaran berbatasan dengan dataran aluvial Pulau Jawa di sebelah utara dan pada bagian timur berbatasan dengan Pegunungan Kendeng (Ulumiyah *et al.*, 2013: 8). Gunung Ungaran merupakan rangkaian paling utara dari jajaran gunungapi Ungaran–Telomoyo–Merbabu–Merapi (Rezky *et al.*, 2012: 109). Peta geologi daerah panas bumi Ungaran disajikan dalam Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Peta Geologi Daerah Panas Bumi Ungaran (Zarkasyi, 2011: 25)

Gunung Ungaran terbentuk lebih dari 500.000 tahun lalu aktif sampai 300.000 tahun lalu (Setyawan 2009: 107). Gunung Ungaran termasuk gunungapi yang tidak diketahui letusannya sejak tahun 1.600 hingga sekarang. Evolusi Gunung Ungaran dibagi menjadi tiga periode yaitu, Ungaran Paling Tua, Ungaran Tua dan Ungaran Muda. Masing-masing periode dibedakan oleh proses runtuhannya karena vulkano-tektonik (Gaffar *et al.*, 2007: 99).

Periode pertama, Gunung Ungaran Paling Tua terbentuk pada Plestosen Bawah yang produknya terdiri dari aliran piroklastik dan lava andesit basaltik. Produk letusan Gunung Ungaran Paling Tua ini diendapkan sebagai Formasi Damar Tengah dan Damar Atas kemudian menyusul tufa andesit augit-hornblende dan piroklastik aliran andesitik. Periode pertumbuhan Gunung Ungaran Paling Tua ini diakhiri dengan perusakan tubuhnya pada Plestosen Muda.

Periode kedua, Gunung Ungaran Tua terbentuk dan produknya terdiri dari basalt andesitik augit-olivin. Produk letusan Gunung Ungaran Tua diendapkan di atas Formasi Damar secara tidak selaras yang disebut Formasi Notopuro yang terdiri dari endapan aliran piroklastik. Periode kedua berakhir dengan keruntuhan yang bersamaan dengan terjadinya sistem sesar vulkano-tekonik sehingga Gunung Ungaran Tua hancur. Periode kedua menghasilkan tiga blok bagian yang dikelilingi oleh suatu sistem sesar cincin dimana Formasi Notopuro terlipat dan terjadi beberapa kerucut parasit seperti Gunung Turun, Gunung Mergi dan Gunung Kendalisodo.

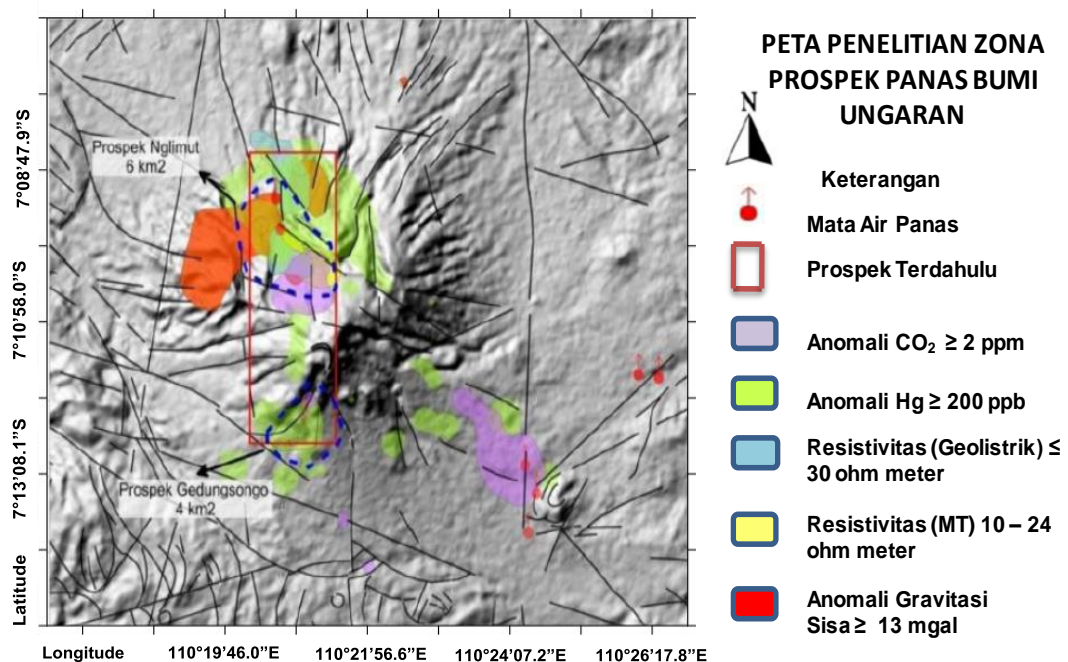
Periode ketiga, Gunung Ungaran Muda terbentuk melalui pusat letusan Gunung Ungaran Tua dan menghasilkan banyak aliran lava yang komposisinya berkisar antara basaltik sampai andesitik (Gaffar *et al.*, 2007: 100). Gunung Ungaran di bagian tengah hingga utara membentuk perbukitan bergelombang lemah, batuan tersusun oleh breksi vulkanik Ungaran Tua dan Formasi Kalibiuk yang ditutupi endapan aluvial di bagian utara. Komposisi batuan yang terdapat di Gunung Ungaran cukup bervariasi, terdiri dari basal olivin, andesit piroksen, andesit hornblende dan gabro (Rezky *et al.*, 2012: 111).

2.2.1 Geologi Permukaan

Struktur amblesan vulkanik (depresi) mengontrol sistem panas bumi Ungaran. Batuan vulkanik penyusun pra-kaldera dikontrol oleh sistem sesar yang berarah barat laut-barat daya dan tenggara-barat daya. Pada Batuan vulkanik penyusun post-kaldera hanya terdapat sedikit struktur yang dikontrol oleh sistem sesar regional (Rezky *et al.*, 2012: 111). Komplek vulkanik Ungaran dibatasi oleh struktur utama berarah barat-timur hingga baratlaut-tenggara di bagian utara.

2.2.2 Geologi Bawah Permukaan

Geologi bawah permukaan Gunung Ungaran dibangun berdasarkan studi zona prospek panas bumi Gunung Ungaran secara geologi, geofisika, dan geokimia yang disajikan secara singkat dalam Gambar 2.4. Prospek panas bumi Ungaran terdahulu seluas 20 km². Prospek daerah Gedongsongo memiliki luas 4 km² dan prospek daerah Nglimut memiliki luas 6 km².



Gambar 2.4 Deliniasi Zona Prospek Panas Bumi (Zarkasyi *et al.*, 2011: 28)

Studi geofisika, geologi, dan geokimia daerah panas bumi Ungaran menunjukkan adanya anomali CO₂, anomali Hg, anomali gravitasi sisa, dan anomali nilai resistivitas semu (Zarkasyi *et al.*, 2011). Studi panas bumi telah dilakukan di lereng utara Gunung Ungaran. Studi di daerah penelitian diantaranya adalah studi geolistrik (Prihadi, 2014), studi kelembaban udara dan temperatur permukaan dangkal (Ulumiyah *et al.*, 2013), studi geokimia (Emianto & Ariwibowo, 2011), studi struktur bawah permukaan (Nurdiyanto *et al.*, 2004), dan studi CSAMT (Setyawan, 2005).

Berdasarkan penelitian Geolistrik di sumber air panas Nglimut Gonoharjo Gunung Ungaran, terdapat kontras anomali resistivitas dimana resistivitas yang sangat kecil (< 10 ohm-meter) diduga berkaitan dengan sumber panas bumi. Daerah permukaan sampai kedalaman 12,4 m umumnya didominasi oleh hidrotermal. Potensi air panas di daerah penelitian diduga masih cukup besar berdasarkan penampang resistivitas 2-D yang menunjukkan lapisan pembawa sifat air panas cukup dalam. Sebaran air panas disekitar sumber tidak kontinu dan diduga muncul karena rekahan batuan di bawah permukaan (Prihadi *et al.*, 2013).

Penelitian oleh Ulumiyah *et al.* (2013: 7-12), dilakukan untuk mengetahui distribusi kelembaban udara dan temperatur permukaan dangkal serta untuk mengidentifikasi keberadaan sumber panas bumi daerah Gonoharjo. Nilai temperatur permukaan dangkal daerah Gonoharjo terdistribusi antara 21°C sampai 41°C, sedangkan nilai kelembaban udara terdistribusi antara 74% sampai 95%. Indikasi area panas bumi terdeteksi dengan nilai temperatur 37°C, 38°C dan 40°C yang didukung dengan kenampakan air panas permukaan atau *hot springs*.

Analisis kimia fluida air panas diketahui bahwa jenis fluida panas bumi di Gonoharjo berupa campuran air klorida dengan air bikarbonat, sedangkan air panas Medini berupa air bikarbonat. Proses yang terjadi pada zona ini adalah pemanasan air meteorik oleh sumber panas yang berada di bawahnya, air tersebut menguap dan mengalami kondensasi kemudian muncul ke permukaan dengan kandungan unsur HCO_3 yang dominan. Suhu reservoir hasil geotermometer berkisar antara $206\text{-}208^\circ\text{C}$. Hasil perhitungan geotermometer Na-K-Ca diketahui rata-rata suhu reservoir di Gonoharjo dan Medini sebesar 207.33°C . Proses yang terdapat pada daerah studi terjadi pada zona *outflow* karena konsentrasi Cl kurang dominan dan mengindikasikan lokasi penelitian berada cukup jauh dari aliran utama system panas bumi (Emianto & Ariwiwobo, 2011: 233).

Berdasarkan penelitian struktur bawah permukaan lereng utara Gunung Ungaran di daerah manifestasi air panas Nglimut dan Medini oleh Nurdiyanto *et al.* (2004: 36-45), diperoleh informasi anomali di daerah survey merupakan struktur geologi berupa sesar dan batas batuan bias diketahui dengan ditunjukkan adanya pasangan klosur positif dan negatif. Posisi horisontal anomali berada di daerah manifestasi air panas Nglimut sedangkan pola kelurusan anomaly memanjang dengan arah barat laut-tenggara. Struktur geologi bawah permukaan di daerah penelitian merupakan sesar turun pada endapan piroklastik dan batas batuan yang tersesarkan antara endapan piroklastik dan basalt. Sumber air panas yang terdapat di daerah Nglimut dan Medini berasal dari reservoir gunungapi Ungaran yang menerobos melalui zona lemah, yaitu sesar turun pada endapan piroklastik dan sesar turun pada batas antara endapan piroklastik dan basalt.

Studi CSAMT lereng utara Gunung Ungaran memperoleh penampang isoeresistivitas dan isokonduktivitas yang menunjukkan gradasi nilai ke arah tenggara menuju Gunung Ungaran sisi selatan (Gedongsongo) dengan nilai resistivitas makin rendah dan nilai konduktivitas makin tinggi. Nilai resistivitas terendah mencapai 300 ohm-meter sedang konduktivitasnya mencapai 7 siemens diduga batuan breksi. Peta isoeresistivitas antara komponen XY berbeda dengan komponen YX, hal ini dapat dijelaskan dengan adanya pengaruh struktur yang terdapat pada area survei sehingga distribusi medan magnet dan medan listrik yang melewati medium tidak berorientasi arah yang sama (Setyawan, 2005: 36).

Anomali bouger positif tubuh Gunung Ungaran memiliki keunikan terkontrol secara struktural dan terletak di dalam gunung api muda. Struktur di sekitar Gunung Ungaran telah dikarakterisasi dengan struktur melingkar yang meliputi kebanyakan letak manifestasi panas bumi. Anomali sisa (> 10 mgal) membentuk kontur tertutup memperkuat dugaan adanya tubuh batuan dengan densitas yang kontras dengan sekitarnya pada bagian utara Gunung Ungaran. Hasil analisis yang menarik adalah hampir semua manifestasi panas bumi berupa air panas terletak pada nilai gradien horisontal yang tinggi membentuk struktur melingkar. Interpretasi nilai maksimum gradien horisontal yang berkaitan dengan struktur patahan tidak didukung dengan peta patahan. Peta patahan merupakan bentuk pendekatan berdasarkan interpretasi visual pada kenampakan di permukaan bumi, sedangkan interpretasi patahan pada gradien horisontal menunjukkan struktur yang lebih dalam dari pemetaan geologi berdasarkan perbedaan kedalaman (Setyawan *et al.*, 2009: 113).

2.3 Metode Geomagnetik

Metode geofisika diterapkan untuk mengetahui sifat-sifat fisik batuan yang ada di bawah permukaan. Metode magnetik bekerja berdasarkan pengukuran variasi kecil intensitas medan magnet di permukaan bumi yang disebabkan karena perbedaan antara sifat magnetisasi batuan di kerak bumi sehingga meningkatkan munculnya medan magnet bumi yang tidak homogen atau disebut anomali magnetik (Santosa, 2013). Data geomagnetik banyak digunakan dalam bidang vulkanologi untuk mengetahui karakteristik kompleks dari gunung api berkaitan dengan sifat kemagnetan batuan magmatik (Faggioni *et al.*, 2003: 525). Asal medan magnet bumi belum dipahami dengan jelas (Nitzsche, 2007: 20), tetapi secara umum dihubungkan dengan arus listrik yang mengalir berputar di dalam inti bumi bagian luar (Sarkowi, 2007: 75). Medan magnet utama berasal dari sumber di dalam bumi karena adanya arus listrik yang mengalir secara berputar di dalam inti luar dari jari-jari 1300 km hingga 1500 km. Medan magnet utama bumi yang terukur di permukaan bumi hampir seluruhnya disebabkan oleh sumber dari dalam bumi (Sarkowi, 2007: 75).

Chen *et al.*(2013: 503) menerapkan metode magnetik untuk mengenali anomali magnetik lemah dalam keadaan geologi kompleks dan hasil model menunjukkan anomali magnetik akibat lingkungan geologi kompleks menjadi sangat lemah. Sebagian besar respon batuan vulkanik memperlihatkan sifat kemagnetan yang lebih kuat karena kandungan mineral ferromagnetik dibanding batuan lainnya. Suseptibilitas batuan vulkanik bervariasi antara 200×10^{-5} sampai 4000×10^{-5} , sementara suseptibilitas lempah sedimen bervariasi antara 0×10^{-5}

sampai 83×10^{-5} . Batuan vulkanik seringkali menghasilkan anomali magnetik yang lebih kuat dibandingkan batuan lain. Beberapa sumur bor terletak dalam daerah anomali negatif yang disebabkan oleh fakta bahwa lapisan vulkanik sangat terpengaruh alterasi hidrotermal sehingga menghasilkan suseptibilitas lemah. Penyelidikan magnetik dan geodetik digunakan untuk mengamati proses erupsi Gunung Etna. Selama proses kenaikan, magma berinteraksi dengan batuan dan fluida sekitar sehingga menghasilkan deformasi lapisan dan gangguan medan magnetik lokal yang tak bisa diacuhkan (Currenti, 2007: 21-30).

Metode magnetik dapat digunakan untuk menentukan struktur geologi bawah permukaan seperti patahan, lipatan, intrusi batuan beku atau reservoir panas bumi (Santosa, 2013). Metode magnetik telah digunakan dalam mengamati tingkat panas bawah permukaan secara kontinu dan periodik selama delapan tahun setelah erupsi Gunung Kuju, Jepang. Perubahan linier intensitas magnetik total terjadi karena kenaikan pengisian kembali air meteorik bawah permukaan pada reservoir geotermal (Ehara *et al*, 2005: 4). Adanya anomali sifat fisik batuan dapat digunakan untuk memperkirakan keberadaan panas bumi di bawah permukaan. Metode magnetik dalam eksplorasi panas bumi digunakan untuk mengetahui variasi medan magnet di daerah penelitian. Batuan di dalam panas bumi pada umumnya memiliki magnetisasi rendah dibanding batuan sekitarnya. Hal ini disebabkan adanya proses demagnetisasi oleh proses alterasi hidrotermal sehingga mengubah mineral yang ada menjadi mineral-mineral paramagnetik atau bahkan diamagnetik. Nilai magnet rendah dapat menginterpretasikan zona-zona potensial sebagai reservoir sumber panas (Indratmoko *et al.*, 2009).

2.3.1 Gaya Magnetik

Metode Geomagnetik didasarkan pada gaya Coulomb F (dyne) antara dua kutub magnetik p_1 dan p_2 (emu) yang berjarak r (cm) dan dinyatakan dalam persamaan (2.1).

$$F = \frac{p_1 p_2}{\mu_0 r^2} r_1 \quad (2.1)$$

μ_0 adalah permeabilitas medium dalam ruang hampa, tidak berdimensi, dan berharga satu serta r_1 menunjukkan vektor satuan dengan arah dari p_1 ke p_2 . Besar nilai μ_0 dalam satuan SI adalah $4\pi \times 10^{-7}$ N/A² (Telford, 1990: 63).

2.3.2 Kuat Medan Magnet

Kuat medan magnet \vec{H} atau disebut medan magnetisasi pada suatu titik yang berjarak r dari kutub magnet p_1 didefinisikan sebagai gaya F persatuan kuat kutub magnet, dapat dituliskan dalam persamaan (2.2).

$$\vec{H} = \frac{F}{p_2} = \frac{p_1}{\mu_0 r^2} r_1 \quad (2.2)$$

Satuan SI untuk kuat medan magnet \vec{H} adalah A/m atau dalam cgs oersted dan r_1 menunjukkan vektor satuan dengan arah dari p_1 ke p_2 .

2.3.3 Momen Dipole Magnetik

Dipol magnetik dapat dibayangkan sebagai dua kutub magnet dengan kuat $+p$ dan $-p$ terpisah pada jarak $2l$ (Telford, 1990: 63). Momen dipol magnetik didefinisikan sesuai persamaan (2.3).

$$m = 2l p r_1 \quad (2.3)$$

m adalah vektor dalam arah vektor satuan r_1 dari kutub negatif menuju positif.

2.3.4 Intensitas Kemagnetan

Suatu benda magnetik yang ditempatkan pada suatu medan magnet dengan kuat medan \vec{H} , maka akan mengalami magnetisasi karena induksi (Telford, 1990: 63). Magnetisasi diukur berdasarkan polarisasi magnetik \vec{M} (disebut juga intensitas magnetisasi atau momen dipol m persatuan volume V) yang dinyatakan dalam persamaan (2.4).

$$\vec{M} = m/V \quad (2.4)$$

Satuan magnetisasi dalam cgs adalah gauss dan dalam SI adalah Am^{-1} .

2.3.5 Suseptibilitas Magnetik

Derajat suatu benda magnetik untuk mampu termagnetisasi ditentukan oleh suseptibilitas magnetik benda tersebut (Telford, 1990: 64) yang dirumuskan dalam persamaan (2.5).

$$\vec{M} = \chi \vec{H} \quad (2.5)$$

Besaran suseptibilitas adalah parameter dasar yang dipergunakan dalam prospek magnetik, dimana semakin besar suseptibilitas batuan maka semakin banyak dijumpai mineral yang bersifat magnetik.

Sifat kemagnetan batuan dapat dikelompokkan menjadi tiga kelompok utama yaitu diamagnetik, paramagnetik, dan ferromagnetik. Material diamagnetik memiliki suseptibilitas rendah dan negatif serta memiliki magnetisasi yang berlawanan dengan medan yang diberikan. Material paramagnetik memiliki suseptibilitas rendah dan positif. Sifat ferromagnetik dikarakterisasi dengan sifat kemagnetan kuat, memiliki suseptibilitas tinggi, dan positif (Lowrie, 2007: 289).

Sifat magnetik material penyusun batuan, yaitu suseptibilitas dipengaruhi oleh temperatur. Pengukuran skematik pertama tentang suseptibilitas sejumlah bahan pada jangkauan temperatur yang panjang dilakukan oleh Pierre Curie dan dilaporkan pada tahun 1895. Beliau menemukan, bahwa suseptibilitas (χ_m) tidak bergantung pada temperatur untuk diamagnetik tetapi berubah secara berkebalikan dengan temperatur absolut untuk paramagnetik yang dinyatakan dalam persamaan (2.6) sebagai berikut.

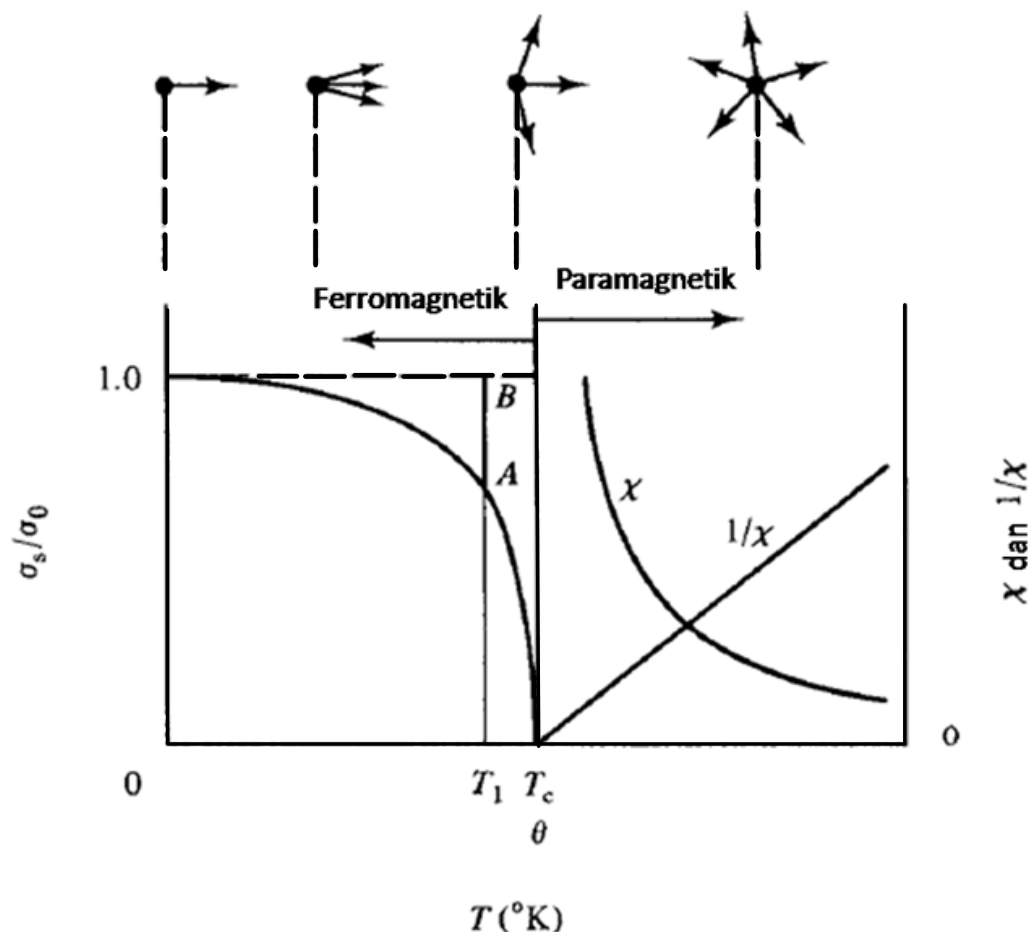
$$\chi_m = C/T \quad (2.6)$$

Persamaan (2.6) merupakan Hukum Curie dimana C adalah konstanta Curie per gram. Hukum Curie kemudian dikenal dalam bentuk yang lebih umum dalam Hukum Curie-Weiss. Hipotesis medan molekuler oleh Pierre Weiss pada tahun 1906 mendorong munculnya Hukum Curie-Weiss yang dinyatakan dalam persamaan (2.7) sebagai berikut.

$$\chi = C/(T - \theta) \quad (2.7)$$

Persamaan (2.7) merupakan Hukum Curie-Weiss yang sesuai untuk banyak material paramagnetik dimana θ adalah konstanta dalam dimensi temperatur untuk setiap satu bahan dan sama dengan nol untuk bahan-bahan yang mematuhi Hukum Curie (Cullity & Graham, 2009: 91). Nilai θ secara langsung berhubungan dengan medan molekuler H_m karena $\theta = \rho\gamma C$ dan $H_m = \gamma M$ dimana γ adalah koefisien medan molekuler. H_m dan M memiliki arah yang sama atau medan molekuler membantu medan yang diberikan dalam menghasilkan magnetisasi bahan. Namun demikian situasi di dekat titik Curie tidak sederhana berdasar pengukuran yang lebih teliti (Cullity & Graham, 2009: 116).

Ketika material ferromagnetik dipanaskan, magnetisasi spontan bahan menghilang pada temperatur Curie (T_c) dan pada temperatur yang lebih tinggi dari temperatur Curie paramagnetik (θ) suseptibilitas ferromagnetik (χ) menjadi suseptibilitas paramagnetik sehingga ($1/\chi$) sebanding dengan ($T - \theta$) sebagaimana diberikan dalam Hukum Curie-Weiss. Rangkuman hasil teori medan molekuler disajikan dalam Gambar 2.8. Perubahan magnetisasi spontan relatif (σ_s/σ_0) akibat perubahan temperatur (T_1/T_c) pada bahan Ferromagnetik disajikan di bagian kiri pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Kurva Magnetisasi dan Suseptibilitas di Bawah dan di Atas Temperatur Curie. Sketsa Kecil di Atas Menggambarkan Distribusi Klasik Arah Spin, dalam Penggunaan Medan Nol pada Domain Tunggal di bawah T_c dan dalam Sebuah Kelompok Atom-atom di atas T_c (Cullity & Graham, 2009: 126).

Gaya magnetisasi melebihi nilai magnetisasi spontan disajikan pada temperatur T_I dengan titik diantara garis AB . Kenaikan magnetisasi melebihi σ_s disebabkan karena medan yang diberikan meningkatkan besarnya kedekatan T_I pada temperatur Curie. Temperatur θ merupakan temperatur dimana suseptibilitas menjadi tak terhingga dan $1/\chi$ menjadi nol. Sehingga temperatur θ sama dengan T_c dimana muncul magnetisasi spontan (Cullity & Graham, 2009: 125).

2.3.6 Induksi Magnetik

Suatu bahan magnetik yang diletakkan dalam medan luar \vec{H} akan menghasilkan medan tersendiri \vec{M} yang meningkatkan nilai total medan magnetik induksi \vec{B} bahan tersebut. Medan magnet induksi dirumuskan sesuai persamaan (2.8).

$$\vec{B} = \vec{H} + \vec{M} = \mu_0(1 + \chi)\vec{H} \quad (2.8)$$

Satuan B dalam cgs adalah gauss sedangkan dalam geofisika eksplorasi dipakai satuan gamma dan dalam SI dalam tesla (T) atau nanotesla (nT). Medan magnetik yang terukur oleh magnetometer di permukaan bumi adalah medan magnet induksi termasuk efek magnetisasi yang diberikan oleh persamaan (2.8). Substitusi persamaan (2.5) dan (2.7) selanjutnya diperoleh persamaan (2.19) dan persamaan (2.8) menjadi persamaan (2.10) sebagai berikut.

$$\vec{M} = \frac{c}{(T-\theta)}\vec{H} \quad (2.9)$$

$$\vec{B} = \mu_0 \left(1 + \frac{c}{(T-\theta)} \right) \vec{H} \quad (2.10)$$

Persamaan (2.9) dan (2.10) menunjukkan keterkaitan sifat kemagnetan dalam metode geomagnetik dan temperatur pada sistem panas bumi.

2.3.7 Penggunaan Metode Geomagnetik dalam Studi Panas Bumi

Batuan di dalam panas bumi pada umumnya memiliki magnetisasi rendah dibanding batuan sekitarnya. Hal ini disebabkan adanya proses demagnetisasi oleh proses alterasi hidrotermal sehingga mengubah mineral yang ada menjadi mineral-mineral paramagnetik atau bahkan diamagnetik. Nilai magnet rendah dapat menginterpretasikan zona-zona potensial sebagai reservoir sumber panas. Anomali magnet total di daerah kecamatan Kretek, Sanden, Pundong dapat dikelompokkan menjadi 3 kelompok anomali, yaitu kelompok anomali magnet total positif tinggi dengan besaran $> +500$ nT, kelompok anomali magnet total positif sedang dengan besaran $+500$ nT sampai 0 (nol) nT dan kelompok anomali magnet total rendah > -500 nT sampai 0 nT (Indratmoko *et al.*, 2009: 153-160).

Metode geomagnetik ini digunakan pada studi *geothermal* karena mineral-mineral *ferromagnetic* akan kehilangan sifat kemagnetannya bila dipanasi mendekati temperatur *Curie*. Oleh karena itu digunakan untuk mempelajari daerah yang diduga mempunyai potensi *geothermal*. Anomali magnet di daerah panas bumi Jaboi, Sabang dibagi menjadi tiga, yaitu anomali sangat rendah dengan nilai anomali antara -600 s/d 200 nT sebagai batuan terubah kuat dan batuan lapuk, anomali rendah dengan nilai > -200 s/d 300 nT sebagai batuan aluvium dan piroklastik serta anomali tinggi dengan nilai antara > 300 s/d 700 nT sebagai batuan rhyolit/dasit dan vulkanik segar. Dari ketiga anomali tersebut yang merupakan daerah potensial panas bumi adalah daerah yang nilai anomali magnet rendah dengan adanya manifestasi air panas serta dikontrol oleh sesar (Broto & Putranto, 2011: 79-87).

Struktur bawah permukaan di daerah Bledug Kuwu terdiri dari batuan penyebab anomali dengan suseptibilitas 0,003 dan suseptibilitas 0,001. Batuan yang berada di bawah anomali berkurang sifat kemagnetannya yaitu dengan suseptibilitas 0,001. Batuan daerah penelitian adalah sedimen, yaitu *shale* yang telah berkurang sifat kemagnetannya dan mengandung *salt water* sebagai anomali. Daerah dekat pusat bledug menunjukkan adanya anomali yang mengakibatkan terjadinya letupan lumpur akibat adanya aktivitas panas dari dalam yang berupa gas yang mendorong keluar. Aktivitas ini menyebabkan batuan akan mengalami penurunan sifat kemagnetannya, sesuai dengan aktivitas bledug yang mengeluarkan erupsi lumpur yang mengandung garam dan gas belerang serta gas metan lainnya (Darmawan *et al.*, 2012: 7-15).

Berdasarkan hasil penelitian geomagnetik dan hasil interpretasi di daerah Songgoriti Kota Batu disimpulkan bahwa pola sebaran anomali magnetik total daerah penelitian dibagi menjadi tiga kelompok anomali. Anomali magnetik rendah < -300 nT ditafsirkan sebagai batuan vulkanik yang telah mengalami pelapukan tinggi (batuan tufa dan breksi tufaan yang telah lapuk). Anomali magnetik sedang -300 nT s/d 300 nT ditafsirkan sebagai respon batuan vulkanik yang mengalami pelapukan sedang seperti batuan batuan lava dan batuan andesit yang terlapukkan. Anomali >300 nT ditafsirkan sebagai defleksi batuan beku atau batuan vulkanik seperti batuan lava andesit. Batuan breksi vulkanik diduga sebagai batuan sarang fluida yang terpanaskan oleh batuan pemanas, sedangkan batuan batuan tufa diduga sebagai batuan penutup (*caprock*) dari manifestasi panas bumi daerah Songgoriti (Nuha & Avisena 2012: 178-187).

Temperatur tinggi pada sistem panas bumi dominasi air yang berada di batuan gunung api kuarter seringkali berasosiasi dengan anomali magnetik yang khusus. Anomali ini merepresentasikan demagnetisasi oleh batuan reservoir melalui fluida panas yang mengubah mineral ferromagnetik misalnya *magnetite* menjadi mineral non-magnetik misalnya *pyrite*. Berdasarkan penelitian magnetik diperoleh anomali magnetik negatif yang dominan di sistem panas bumi RUW (Rendingan – Ulubelu – Waypanas). Batuan terdemagnetisasi oleh hidrotermal tersebar luas di daerah studi yang menunjukkan bahwa sistem panas bumi RUW adalah satu sistem panas bumi yang besar (Suharno 2004: 26-34).

Suseptibilitas yang rendah hanya bisa terjadi jika suatu material magnetik terpanaskan hingga melebihi temperatur Currie suatu batuan sehingga material magnetik dapat mengalami demagnetisasi (penurunan nilai suseptibilitas batuan). Berdasarkan penelitian metode magnetik di sekitar Gunung Kelud diperoleh anomali magnet negatif memanjang dari Gunung Sumbing dan Gunung Lirang menuju kawah Gunung Kelud. Hasil penelitian dapat diduga bahwa anomali tersebut berupa magma gunung api. Magma kedua Gunung tersebut terkumpul dalam kawah magma Gunung Kelud (Musafak & Satosa, 2009).

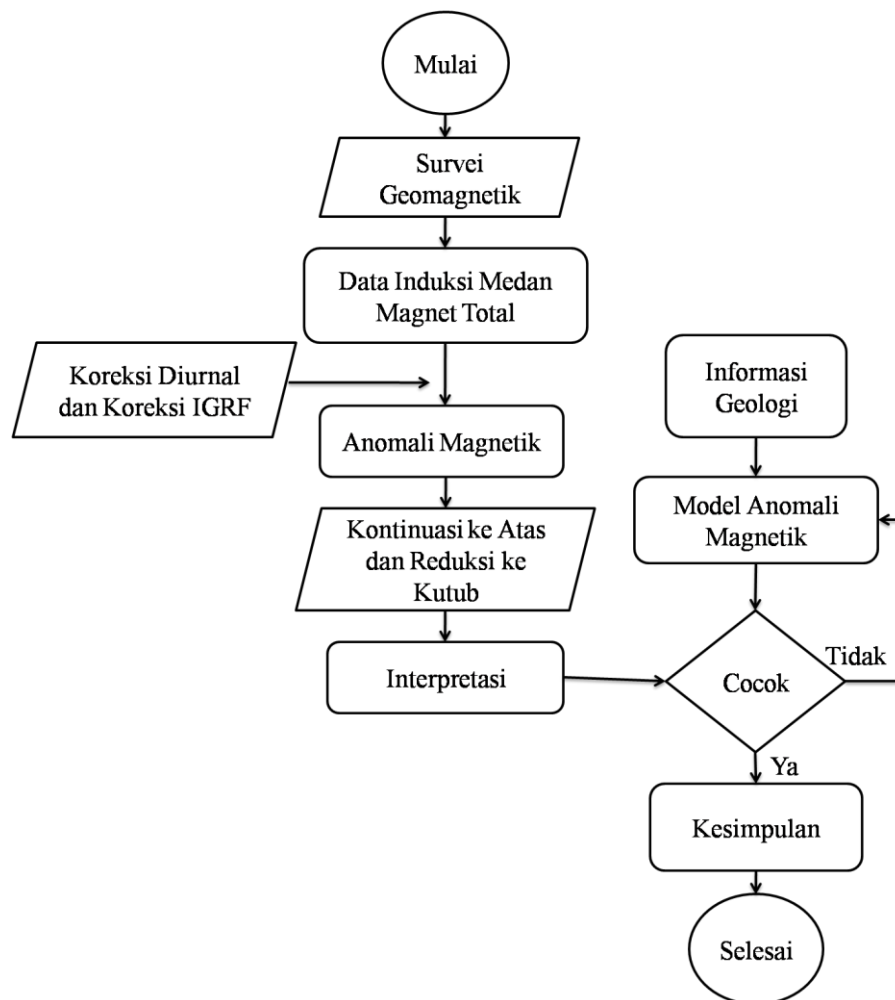
Berdasarkan penelitian magnetik di daerah Arjuna – Welirang diduga terjadi proses demagnetisasi pada batuan beku. Hal ini teridentifikasi dengan dengan turunnya nilai suseptibilitas batuan beku karena proses pemanasan yang disebabkan oleh magma (*heat source*). Karakterisasi anomali magnetik menunjukkan adanya batuan beku andesit sebagai hasil material vulkanik Gunung Arjuna – Welirang Tua (Lita, 2012: 58).

BAB 3

METODE PENELITIAN

3.1 Desain Penelitian

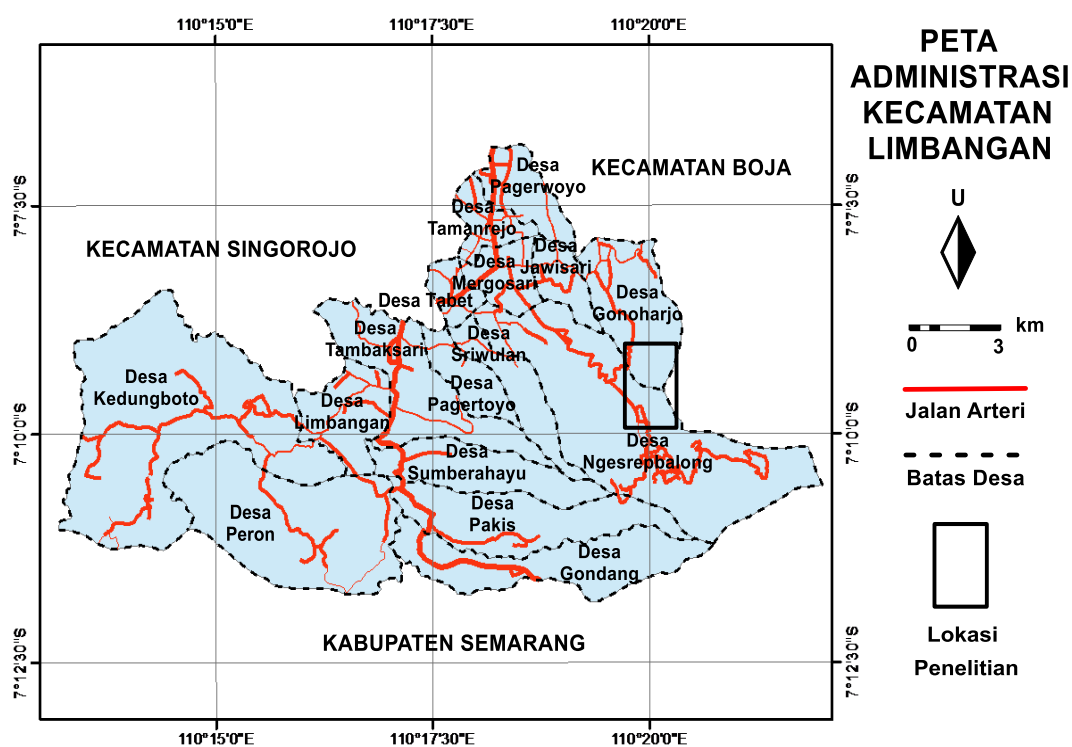
Penelitian geomagnetik ini merupakan penelitian lapangan berbasis metode geofisika. Penelitian geomagnetik dimulai dengan analisis peta geologi daerah penelitian, survei medan penelitian, persiapan alat, dan transportasi menuju daerah penelitian, pelaksanaan penelitian serta pengolahan data. Diagram alir penelitian disajikan pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.2 Lokasi Penelitian

Daerah prospek panas bumi dibuktikan dengan adanya manifestasi panas bumi permukaan. Lokasi penelitian termasuk dalam kawasan wisata alam Gunung Ungaran. Lokasi yang menjadi target penelitian geomagnetik merupakan daerah manifestasi panas bumi di lereng utara Gunung Ungaran. Keberadaan manifestasi panas bumi tersebut didukung dengan adanya sumber air panas di daerah Medini dan Gonoharjo. Secara administratif lokasi penelitian meliputi wilayah Desa Gonoharjo dan Desa Ngresepbalong, Kecamatan Limbangan, Kabupaten Kendal, Jawa Tengah. Secara geologi daerah penelitian terletak di atas satuan batuan Gunungapi Kaligesik dan satuan Gunungapi Gajahmungkur. Lokasi penelitian dalam survei geomagnetik secara umum ditunjukkan dalam Peta Administrasi Kecamatan Limbangan seperti terlihat pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Lokasi Penelitian

3.3 Akuisisi Data

Pengambilan data dilakukan dengan cara *looping*, yaitu dengan memulai pengukuran di titik base dan kemudian melakukan pengambilan data di titik-titik pengukuran serta diakhiri dengan pengambilan data di titik base. Pengambilan data geomagnet dilakukan dengan mengikuti sarana jalan setapak yang sudah ada. Alat yang digunakan dalam pengukuran metode geomagnetik adalah *Proton Precession Magnetometer* (PPM) Model GSM-19T produk GEM System dengan sensitivitas 0,05 nT, *Global Positioning Sistem* (GPS), kompas geologi, *log book*, alat tulis dan meteran. Gambar alat *Proton Precession Magnetometer* (PPM) yang digunakan dalam penelitian disajikan dalam Gambar 3.3.



Gambar 3.3 *Proton Precession Magnetometer*

Proton Precession Magnetometer (PPM) adalah suatu sensor untuk mengukur induksi medan magnet total. Sensor ini berisi zat cair yang kaya akan proton, misalnya *methanol* atau *kerosene*. Sensor ini memiliki koil atau kumparan yang melingkupi zat cair yang kaya akan proton tersebut. Koil ini dihubungkan dengan sumber arus DC dan sirkuit penghitung frekuensi. Variabel pengukuran dalam metode geomagnetik ini merupakan induksi medan magnet total dengan indikator berupa data digital yang ditunjukkan di layar pada alat PPM.

Data induksi medan magnet total yang terukur di permukaan bumi merupakan harga terbaik dalam beberapa kali pengukuran di setiap titik pengukuran. Data-data yang dicatat dalam survei geomagnetik antara lain waktu pengukuran (hari, tanggal, jam), data geomagnetik, posisi stasiun pengukuran dan kondisi cuaca dan topografi lapangan. Model data pengamatan dalam penelitian geomagnetik disajikan dalam Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Model Data Pengamatan

Titik Pengamatan	Waktu	UTM X	UTM Y	Elevasi	Intensitas Medan Magnet Total	Keterangan
Base						
1						
2						
3						
...						
Dst						
Base						

Medan magnet bumi memiliki komponen atau elemen yang meliputi inklinasi, deklinasi, intensitas horisontal dan medan magnet total. Deklinasi (D) adalah sudut antara utara geomagnetik dan utara geografis yang dihitung dari utara menuju timur. Inklinasi (I) adalah sudut antara medan magnet total dengan bidang horisontal. Intensitas horisontal (H) adalah magnitudo dari medan magnet total pada arah horisontal. Medan magnet total adalah magnitudo dari medan vektor magnet total. Induksi medan magnet total yang terukur di permukaan bumi berasal dari medan magnet utama bumi dan respon magnetik dari mineral di dalam batuan bawah permukaan bumi. Induksi medan magnet total yang terukur di permukaan bumi dipengaruhi oleh medan dari luar bumi, namun pengaruhnya kecil kecuali badai magnetik akibat aktivitas matahari.

Pengukuran induksi medan magnet total di sekitar sumber air panas daerah Medini dan Gonoharjo dilakukan di titik-titik pengukuran sebagai titik-titik sampel pengambilan data geomagnetik. Titik-titik sampel pengambilan data geomagnetik dianggap mewakili seluruh populasi yaitu batuan bawah permukaan di daerah penelitian. Data geomagnetik hasil pengukuran digunakan untuk membahas prospek panas bumi daerah penelitian yang merupakan daerah manifestasi panas bumi yang dibuktikan dengan munculnya mata air panas.

3.4 Pengolahan Data

Pengolahan data geomagnetik di daerah penelitian dilakukan dengan mengoreksi data penelitian. Koreksi dimaksudkan untuk menghilangkan pengaruh *noise* pada data penelitian. Koreksi terhadap data penelitian geomagnetik meliputi koreksi diurnal, koreksi IGRF, pengangkatan ke atas, pemisahan anomali residual dan anomali regional, serta reduksi data ke kutub (Santosa, 2013).

3.4.1 Koreksi Diurnal

Koreksi diurnal merupakan koreksi dari medan magnet luar yang berasal dari perputaran arus listrik di lapisan ionosfer dan partikel-partikel terionisasi oleh radiasi matahari sehingga menghasilkan fluktuasi arus yang dapat menjadi sumber medan magnet. Jangkauan variasi harian mencapai 30 gamma dengan perioda 24 jam dan berkisar 2 gamma dengan perioda 25 jam. Badai magnetik mencapai 1000 gamma dengan periode acak tetapi kejadian ini sering muncul dalam interval sekitar 27 hari berhubungan dengan aktivitas *sunspot* (Telford, 1990).

3.4.2 Koreksi IGRF

Koreksi IGRF digunakan untuk menghilangkan pengaruh yang berasal dari medan magnet utama bumi. Medan magnet bumi berubah terhadap waktu, untuk menyeragamkannya dibuatlah nilai *default* yang disebut IGRF (*International Geomagnetics Reference Field*). Koreksi IGRF dilakukan dengan mengurangi nilai *IGRF* pada medan magnetik total yang terkoreksi diurnal. Data *IGRF* dapat diperoleh dari *software igrf 4.0*, *Magpick* dan dari internet.

3.4.3 Kontinuasi ke Atas

Kontinuasi ke atas merupakan suatu operasi filter yang digunakan untuk menghilangkan pengaruh medan magnet lokal pada data. Proses ini dapat mengurangi anomali magnetik lokal dari objek magnetik yang tersebar di permukaan topografi (Santoso, 2013). Pemisahan anomali lokal dan regional dapat menghilangkan pengaruh anomali yang luas. Kontinuasi ke atas dapat diterapkan dengan menggunakan *software Magpick*. Pemisahan anomali lokal dan anomali regional dapat dilakukan dengan bantuan *software Numeri* dan *Surfer 10*.

3.4.4 Reduksi ke Kutub

Reduksi ke kutub dilakukan dengan mengubah arah magnetisasi dan medan utama dalam arah vertikal. Reduksi ke kutub dapat memperlihatkan klosur-klosur lokasi benda penyebab anomali. Hasil reduksi ke kutub umumnya berupa peta anomali magnetik yang berupa pasangan klosur positif dan negatif karena sifat dalam magnetik yaitu adanya dua kutub yang perpasangan. Reduksi ke kutub dapat dilakukan dengan menggunakan *software Magpick*.

3.5 Analisis Data Penelitian

Tujuan untuk mengetahui anomali magnetik di daerah penelitian dapat dilakukan melalui koreksi terhadap data penelitian. Pengukuran metode geomagnetik di permukaan bumi merupakan hasil dari tiga komponen utama, yaitu medan magnet utama, medan magnet luar dan anomali magnetik. Anomali magnetik daerah penelitian dapat diperoleh dengan menghilangkan pengaruh medan magnet luar dan pengaruh medan magnet utama bumi dari data intensitas medan magnet total. Analisis utama terhadap data penelitian adalah anomali di sekitar sumber air panas daerah Medini dan Gonoharjo. Gambaran umum pola-pola anomali magnetik dapat diamati melalui proses pengolahan data kontinuasi ke atas untuk memisahkan anomali lokal dan regional.

Tujuan untuk mengetahui distribusi panas bumi di daerah penelitian dapat dilakukan dengan melokalisasi anomali magnetik rendah yang berdasarkan studi literatur berkaitan erat dengan zona prospek pada daerah panas bumi. Distribusi panas bumi daerah penelitian dapat diperoleh melalui analisis kualitatif dan kuantitatif terhadap peta anomali magnetik, peta anomali magnetik lokal dan regional, peta anomali hasil kontinuasi ke atas, peta anomali hasil reduksi ke kutub dan profil anomali magnetik di daerah penelitian. Interpretasi hasil analisis dilakukan berdasarkan hasil pengolahan data, hasil penelitian-penelitian terdahulu dan informasi geologi serta geokronologi di daerah penelitian dimana terdapat manifestasi panas bumi. Pola umum dari anomali medan magnet diinterpretasi berdasarkan informasi geologi lokal dalam bentuk distribusi struktur geologi atau objek magnetik yang menjadi dasar prediksi kondisi geologi.

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

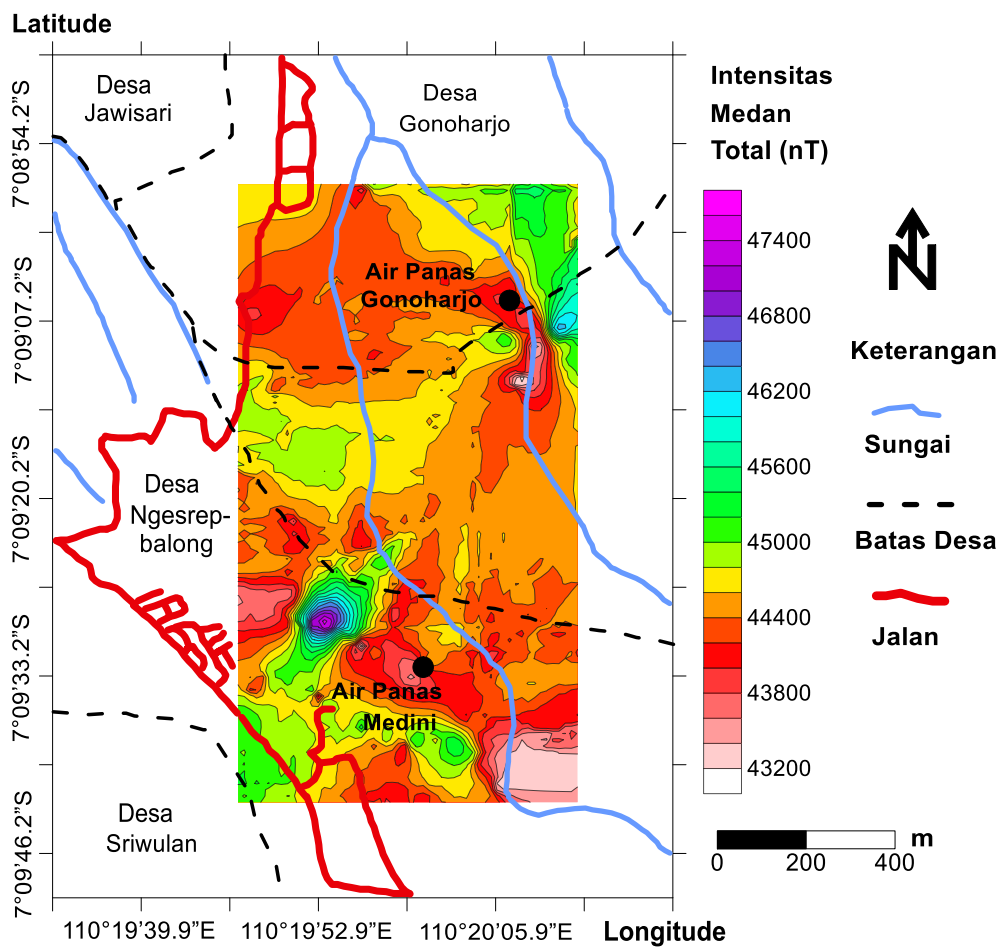
4.1 Intensitas Medan Magnet Total

Hasil pengukuran menggunakan PPM pada metode geomagnetik di daerah penelitian berupa data numerik nilai intensitas medan magnet total. Koordinat titik-titik pengambilan data diperoleh dari penggunaan GPS. Titik pengambilan data tersebar diantara koordinat bujur $110^{\circ}19'47.3''E$ sampai $110^{\circ}20'12.3''E$ dan koordinat lintang $7^{\circ}08'56.9''S$ sampai $7^{\circ}09'42.1''E$. Ketinggian lokasi penelitian berada pada rentang nilai 752 m sampai 990 m. Sebagian data numerik hasil penelitian disajikan dalam Tabel 4.1 yang meliputi titik pengambilan data, koordinat titik penelitian, ketinggian, waktu pengukuran, dan nilai intensitas medan magnet total, sedangkan data penelitian secara lengkap dilampirkan.

Tabel 4.1 Data Pengamatan

Titik Pengamatan	Bujur	Lintang	Elevasi	Intensitas
				Medan Magnet Total
Base	$110^{\circ}19'49.8''E$	$7^{\circ}09'10.3''S$	854	44.604,24
1	$110^{\circ}19'50.1''E$	$7^{\circ}09'12.0''S$	857	44.592,01
2	$110^{\circ}19'50.5''E$	$7^{\circ}09'14.0''S$	863	44.785,55
3	$110^{\circ}19'51.4''E$	$7^{\circ}09'15.7''S$	868	44.845,50
4	$110^{\circ}19'51.8''E$	$7^{\circ}09'17.7''S$	877	44.947,27
5	$110^{\circ}19'52.0''E$	$7^{\circ}09'20.0''S$	888	44.472,14
6	$110^{\circ}19'51.1''E$	$7^{\circ}09'22.3''S$	909	44.045,69
7	$110^{\circ}19'50.7''E$	$7^{\circ}09'24.5''S$	917	44.614,29
8	$110^{\circ}19'51.4''E$	$7^{\circ}09'26.1''S$	921	43.628,14
9	$110^{\circ}19'51.4''E$	$7^{\circ}09'28.6''S$	926	44.045,07

Intensitas medan magnet total yang terukur dipermukaan bumi merupakan medan magnet induksi akibat adanya medan magnet utama bumi. Medan magnet bumi yang terukur di permukaan bumi terdiri dari tiga bagian, yaitu medan magnet utama bumi, medan magnet luar, dan anomali magnetik (Santosa, 2013: 329). Medan utama bumi membangkitkan magnetisasi mineral magnet dalam batuan di lapisan kerak bumi, sehingga meningkatkan nilai induksi medan magnet yang terukur. Medan magnet luar dalam metode geomagnetik merupakan noise yang mempengaruhi hasil pengukuran. Hasil pengukuran metode geomagnetik yang merupakan nilai induksi medan magnet diplot dalam koordinat pengambilan data sehingga diperoleh tampilan seperti disajikan dalam Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Peta Kontur Intensitas Medan Magnet Total

Intensitas medan magnet total daerah penelitian berada pada rentang nilai 43.000 nT sampai 47.600 nT. Intensitas medan magnet total hasil pengukuran dapat dibagi menjadi tiga kategori, daerah dengan intensitas medan magnet rendah <44.800 nT, daerah dengan intensitas medan magnet sedang berkisar antara 44.800 nT sampai 46.200 nT, dan daerah dengan intensitas medan magnet tinggi >46.200 nT. Daerah di sekitar sumber air panas Medini dan Gonoharjo memiliki nilai intensitas medan magnet total 43.600 nT sampai 44.000 nT dan termasuk dalam kelompok daerah dengan intensitas medan magnet rendah. Secara umum nilai intensitas medan magnet <44.600 nT mendominasi daerah penelitian panas bumi lereng utara Gunung Ungaran. Dominasi nilai pengukuran tersebut ditandai dengan sebaran warna dominan jingga pada peta kontur intensitas medan magnet total. Nilai intensitas medan magnet total tersebut termasuk dalam kelompok daerah dengan intensitas medan magnet total kategori rendah.

Data medan magnet total yang diperoleh dari pengukuran di lapangan masih tercampur dengan medan magnetik utama bumi dan efek magnetik harian (Sehah *et al.*, 2014: 39). Nilai induksi tercampur dengan *noise* magnetik karena pengaruh oleh medan magnet luar dan medan utama bumi sehingga perlu dilakukan koreksi data hasil pengukuran. Target penelitian geomagnetik adalah anomali magnetik yang dapat diperoleh dengan melakukan koreksi variasi harian dan koreksi terhadap medan magnet utama (IGRF). Medan magnet luar dapat berasal dari pengaruh magnetik akibat aktivitas bintik matahari. Partikel-partikel yang terionisasi dalam lapisan ionosfer oleh radiasi matahari menghasilkan fluktuasi arus yang dapat menjadi sumber medan magnet luar.

Menurut Kahfi dan Yulianto (2008: 129), beberapa sumber medan luar antara lain perubahan konduktivitas listrik lapisan atmosfer, variasi harian atau diurnal terkait pasang surut matahari dan bulan, serta badai magnetik. Perubahan medan magnet luar akibat variasi diurnal memiliki jangkauan nilai puluhan nT, sedangkan perubahan medan magnet luar akibat badai magnetik dapat mencapai nilai 1000 nT. Koreksi medan luar dilakukan pada data hasil pengukuran dengan menghilangkan variasi harian. Perubahan konduktivitas listrik lapisan atmosfer dianggap tidak berpengaruh besar pada data dan tidak terjadi badai magnetik besar yang mempengaruhi hasil pengukuran. Koreksi diurnal merupakan langkah awal untuk memperoleh nilai anomali magnetik yang menjadi target penelitian geomagnetik.

Pengambilan data geomagnetik menggunakan teknik *looping*, yaitu mengambil data penelitian dengan memulai pengukuran menggunakan alat dari titik base dan mengakhiri pengambilan data dalam satu periode pengukuran di titik base awal. Hal ini dilakukan karena hanya menggunakan satu alat PPM. Variasi diurnal pengukuran medan magnetik (H_D) diperoleh dengan membandingkan selisih waktu pengukuran suatu titik (t_n) terhadap waktu pengukuran titik base awal (t_{bi}) dengan selisih waktu pengukuran base akhir (t_{bf}) terhadap waktu pengukuran base awal (t_{bi}). Hasil perbandingan waktu tersebut dikalikan dengan selisih pembacaan intensitas medan magnet bumi pada base akhir (B_f) dan base awal (B_i). Secara matematis nilai variasi diurnal diperoleh dari persamaan 4.1 sebagai berikut.

$$H_d = \frac{(t_n - t_{bi})}{(t_{bf} - t_{bi})} (B_f - B_i) \quad (4.1)$$

Koreksi diurnal dilakukan dengan mengurangi atau menambahkan nilai variasi diurnal terhadap nilai intensitas medan magnet total. Nilai variasi diurnal ditambahkan apabila nilai variasi diurnal bernilai negatif dan dikurangkan apabila nilai variasi diurnal bernilai positif. Variasi diurnal medan magnet pada daerah studi geomagnetik berdasarkan hasil perhitungan memiliki nilai -40 nT sampai 80 nT. Nilai variasi diurnal memiliki rentang nilai yang tidak terpaut jauh menunjukkan tidak ada pengaruh medan luar yang signifikan terhadap data penelitian, sehingga data penelitian dapat digunakan untuk membahas daerah studi panas bumi berdasarkan sifat kemagnetan batuan. Data intensitas medan magnet total hasil pengukuran setelah dikoreksi variasi diurnal, selanjutnya dikoreksi medan magnet utama berdasarkan nilai IGRF untuk memperoleh anomali magnetik di daerah penelitian.

Medan magnet utama bumi berubah terhadap waktu sehingga untuk menyeragamkan nilai-nilai medan utama magnet bumi dibuat standar nilai medan magnet utama bumi yang disebut IGRF (*International Geomagnetism Reference Field*). Nilai medan magnet utama bumi ditentukan berdasarkan kesepakatan internasional di bawah pengawasan *International Association of Geomagnetism and Aeronomy* (IAGA). IGRF diperoleh dari hasil pengukuran rata-rata pada daerah luasan sekitar satu juta km² yang dilakukan dalam waktu satu tahun. Medan magnet utama bumi berubah terhadap waktu. Referensi standar nilai medan utama magnet bumi diperbaharui setiap lima tahun sekali. Perbaharuan nilai IGRF ini disebabkan karena adanya pergerakan kutub medan magnet bumi dalam periode waktu tertentu atau disebut variasi sekuler medan magnet bumi.

Nilai IGRF dapat diperoleh dari *software IGRF 4.0* atau dari internet dengan memasukkan input parameter. Parameter yang umumnya digunakan untuk memperoleh nilai IGRF suatu daerah adalah koordinat lintang, koordinat bujur, elevasi, dan tahun pengambilan data. Nilai IGRF untuk koreksi medan magnet utama bumi pada data penelitian geomagnetik ini diperoleh dengan mengplot setiap titik pengambilan data. Berdasarkan pengukuran menggunakan GPS, ketinggian lokasi sumber air panas Medini terletak di ketinggian 870 m dan sumber air panas Gonoharjo terletak di ketinggian 803 m. Medan magnet bumi memiliki beberapa parameter medan magnet. Parameter medan magnetik bumi di daerah penelitian disajikan dalam Tabel 4.2 yang meliputi sudut inklinasi, sudut deklinasi, dan medan magnet utama bumi (IGRF).

Tabel 4.2 Parameter Medan Magnet Bumi Daerah Penelitian

No	Parameter Medan Magnetik Bumi	Nilai
1	Medan Magnet Utama Bumi (IGRF)	44.750,0 sampai 44.755,6 nT
2	Sudut Deklinasi	-39,1°
3	Sudut Inklinasi	1,1°

Kutub utara-selatan magnetik bumi di daerah penelitian membentuk sudut -39,1° terhadap kutub utara-selatan geografis. Vektor medan magnet total di daerah studi membentuk sudut 1,1° terhadap bidang horisontal. Medan magnetik diukur dalam satuan nano Tesla (nT). Intensitas medan magnetik bervariasi sekitar 30.000 nT di ekuator magnetik sampai 60.000 nT di dekat kutub magnetik (Nitzsche, 2007: 20). Nilai intensitas medan magnet total hasil pengukuran dikoreksi terhadap medan utama (IGRF) untuk kemudian diperoleh nilai anomali magnetik yang menjadi target penelitian.

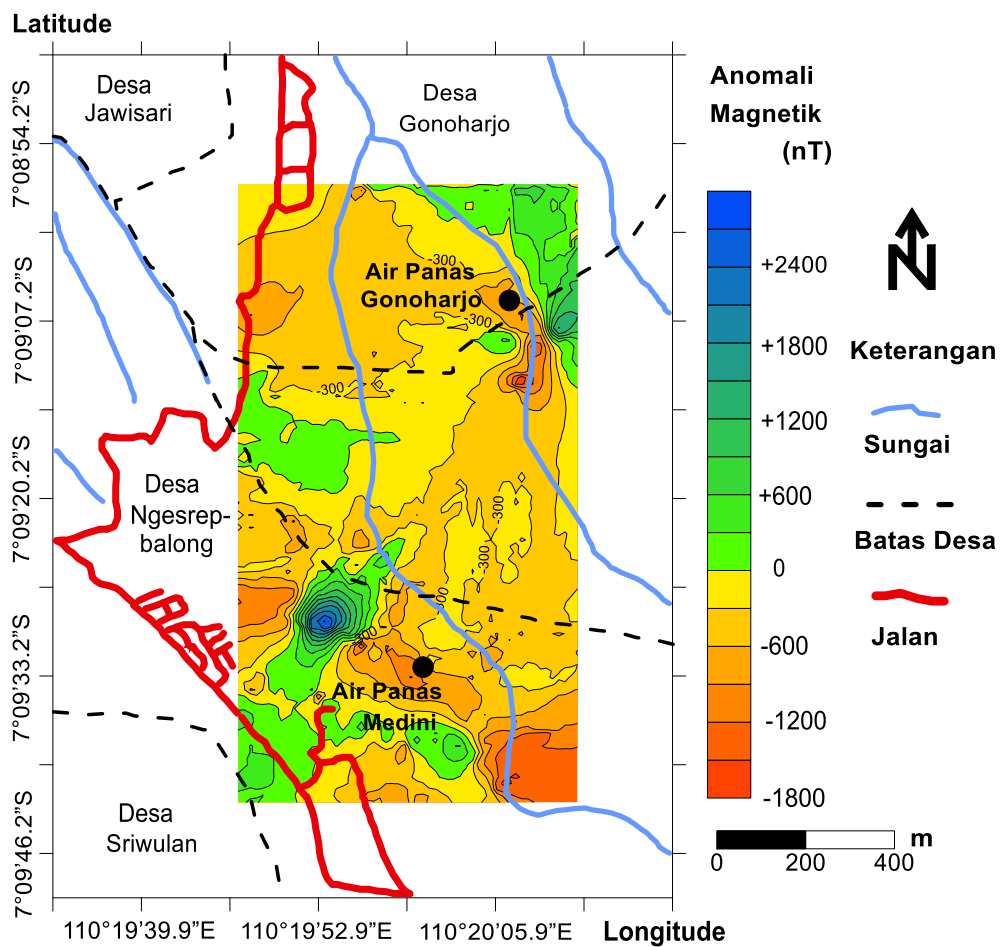
4.2 Anomali Magnetik

Anomali magnetik merupakan magnetisasi yang dibangkitkan oleh medan utama bumi dan dipengaruhi sifat kemagnetan batuan di bawah permukaan bumi. Anomali magnetik dapat bernilai tinggi atau rendah sesuai dengan keberadaan, sebaran, dan kuantitas mineral magnetik di bawah permukaan bumi. Semakin banyak keberadaan mineral yang bersifat magnetik di dalam batuan maka akan semakin tinggi respon anomali magnetik yang di dapatkan dari pengukuran, sebaliknya semakin sedikit keberadaan mineral magnetik di bawah permukaan maka respon anomali magnetiknya semakin rendah. Besarnya nilai anomali magnetik berkisar ratusan sampai dengan ribuan nano-tesla, tetapi anomali magnetik dapat bernilai lebih besar dari 100.000 nT berupa endapan magnetik (Kahfi dan Yulianto, 2008: 129).

Benda magnetik yang telah terinduksi oleh medan magnet utama bumi menghasilkan anomali magnetik sehingga benda tersebut memiliki medan magnet sendiri. Medan magnet tersebut mempengaruhi besar medan magnet total hasil pengukuran pada metode geomagnetik. Secara garis besar anomali ini disebabkan oleh medan magnetik remanen dan medan magnet induksi. Medan magnet remanen pada proses pembentukan batuan dapat diabaikan apabila nilai anomali magnetik kurang dari 25% medan utama (Santosa, 2013: 329). Anomali magnetik (ΔH) diperoleh dari koreksi diurnal (H_D) dan koreksi IGRF (H_0) terhadap nilai intensitas medan magnet total (B_T) dan secara matematis ditunjukkan dalam persamaan 4.2.

$$\Delta H = B_T \pm H_D - H_0 \quad (4.2)$$

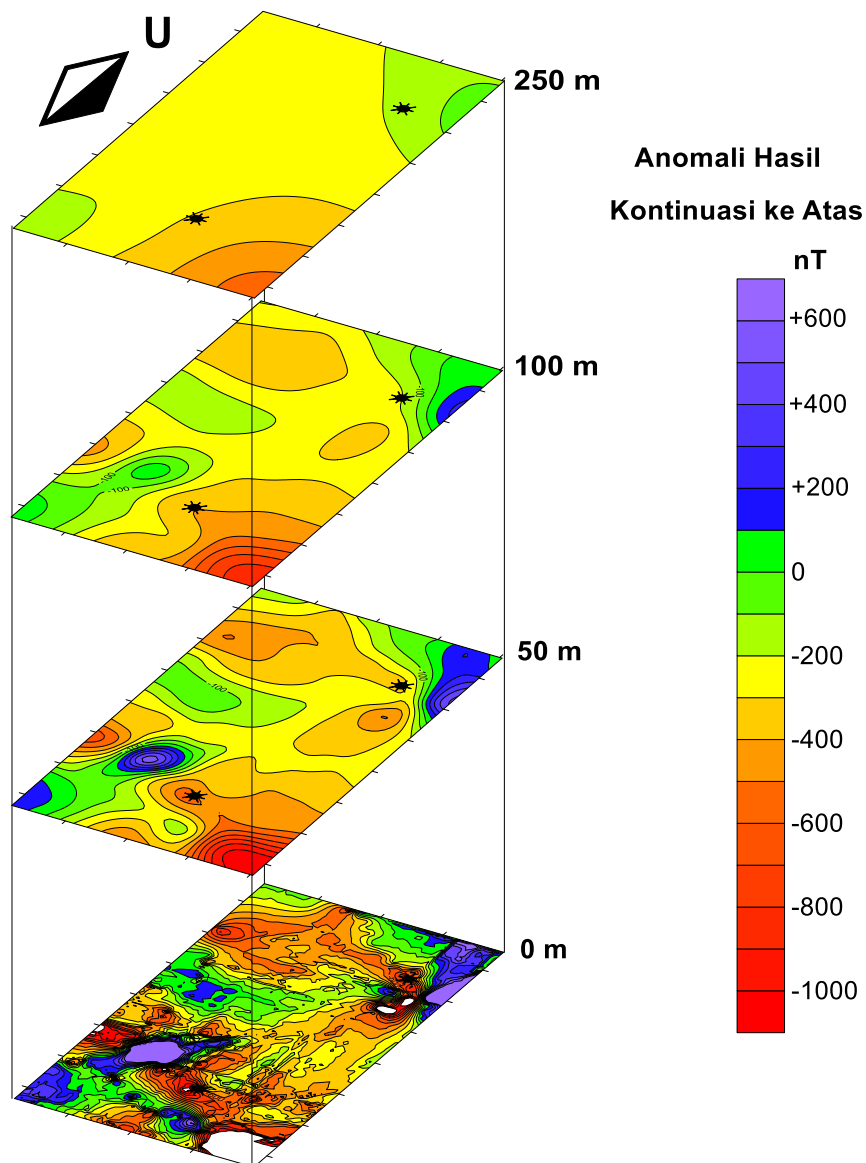
Koreksi variasi harian atau medan luar bumi dan koreksi medan utama bumi (koreksi IGRF) pada data intensitas medan magnet total hasil pengukuran menghasilkan anomali magnetik. Anomali magnetik hasil pengolahan di setiap titik pengukuran diplot dalam peta kontur menggunakan *software Surfer 10*. Berdasarkan informasi geologi terdapat struktur geologi berarah barat laut-tenggara dan kontak antar satuan batuan gunung api Kaligesik dan Gajahmungkur di daerah penelitian yang termasuk dalam daerah lereng utara Gunung Ungaran. Peta anomali magnetik sebagai respon batuan bawah permukaan di daerah penelitian yang meliputi Sumber Air Panas Medini dan Gonoharjo diplot dalam peta kontur yang disajikan pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2 Peta Kontur Anomali Magnetik

Anomali magnetik daerah penelitian dapat dibagi menjadi anomali magnetik bernilai positif dan anomali magnetik bernilai negatif. Daerah penelitian memiliki rentang nilai anomali magnetik dalam kisaran -1.800 nT sampai 2.700 nT. Anomali magnetik positif di daerah penelitian teramati keberadaannya di sebelah barat laut dari sumber air panas Medini dan di sebelah timur dari sumber air panas Gonoharjo. Anomali magnetik bernilai positif hanya diperoleh di beberapa bagian kecil dari luasan daerah survei. Anomali magnetik negatif teramati keberadaannya di peta anomali magnetik hasil survei dan melingkupi sebagian besar daerah studi geomagnetik. Keberadaan sumber air panas Medini dan Gonoharjo teridentifikasi dalam jangkauan anomali magnetik negatif dan rendah pada peta hasil survei.

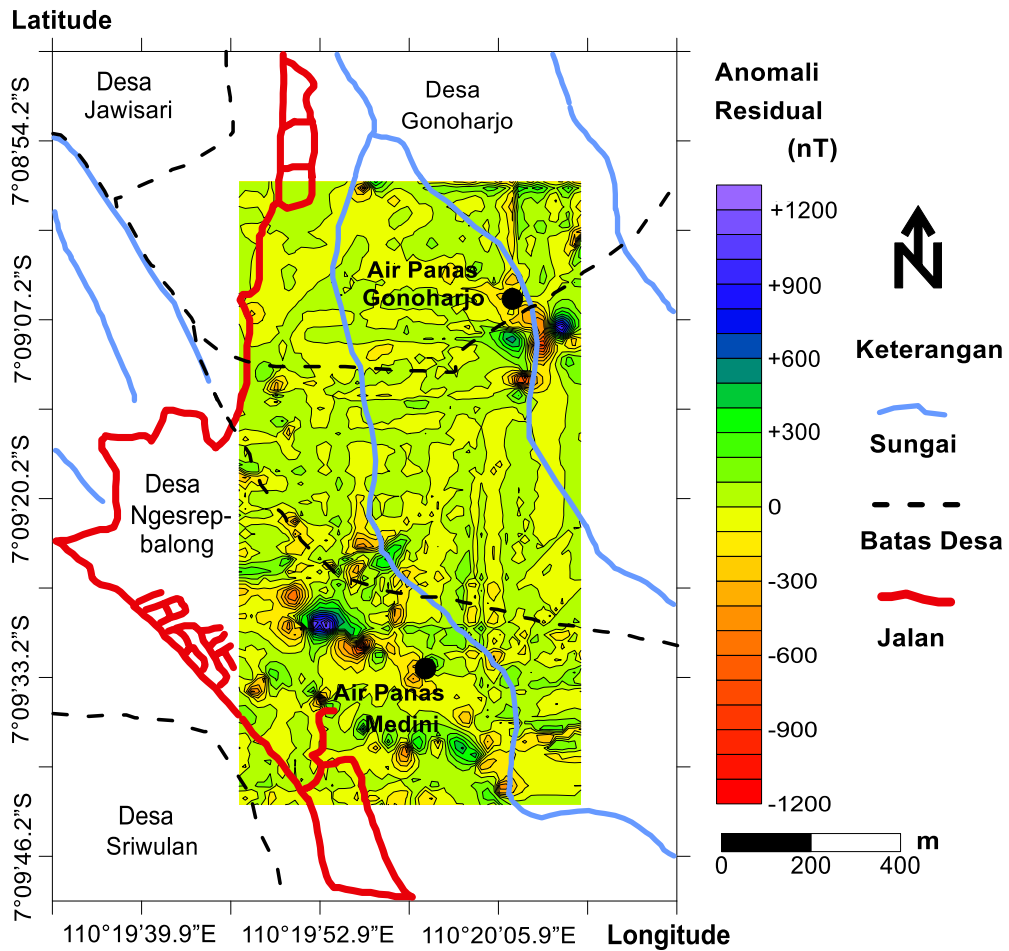
Pola kontur anomali medan magnet total terdiri dari klosur positif dan klosur negatif. Adanya klosur positif dan klosur negatif pada peta anomali magnetik menunjukkan anomali medan magnet adalah *dipole* atau dwi kutub, yaitu adanya pengaruh dua kutub berpasangan (utara dan selatan) pada magnet (Kahfi dan Yulianto, 2008: 131). Pola anomali magnetik daerah penelitian dapat diamati dengan melakukan kontinuitas ke atas. Kontinuitas ke atas adalah langkah mengubah data medan potensial yang terukur pada level permukaan menjadi data yang seolah-olah diukur pada level permukaan yang lebih atas. Hasil kontinuitas ke atas kemudian diplot dalam *Surfer 10* dan disajikan dalam Gambar 4.4. Hasil kontinuitas ke atas yang ditampilkan meliputi ketinggian 0 m, 50 m, 100 m, dan 250 m. Ketinggian kontinuitas merupakan ketinggian yang dipilih dari titik pengambilan data dari permukaan bumi sebagai kerangka referensi.



Gambar 4.4 Anomali Magnetik Hasil Kontinuasi Ke Atas

Berdasarkan hasil kontinuasi ke atas data anomali magnetik, pola kecenderungan nilai anomali magnetik rendah berarah ke tenggara sesuai dengan pola kecenderungan nilai resistivitas rendah hasil studi CSAMT oleh Setyawan *et al.* (2005). Hasil kontinuasi pada ketinggian 100 m mulai menunjukkan kerusakan data karena pasangan klosur anomali positif-negatif sudah mulai hilang. Ketinggian kontinuasi optimum pada 50 m karena terdapat pasangan klosur anomali dan efek lokal telah diminimalkan.

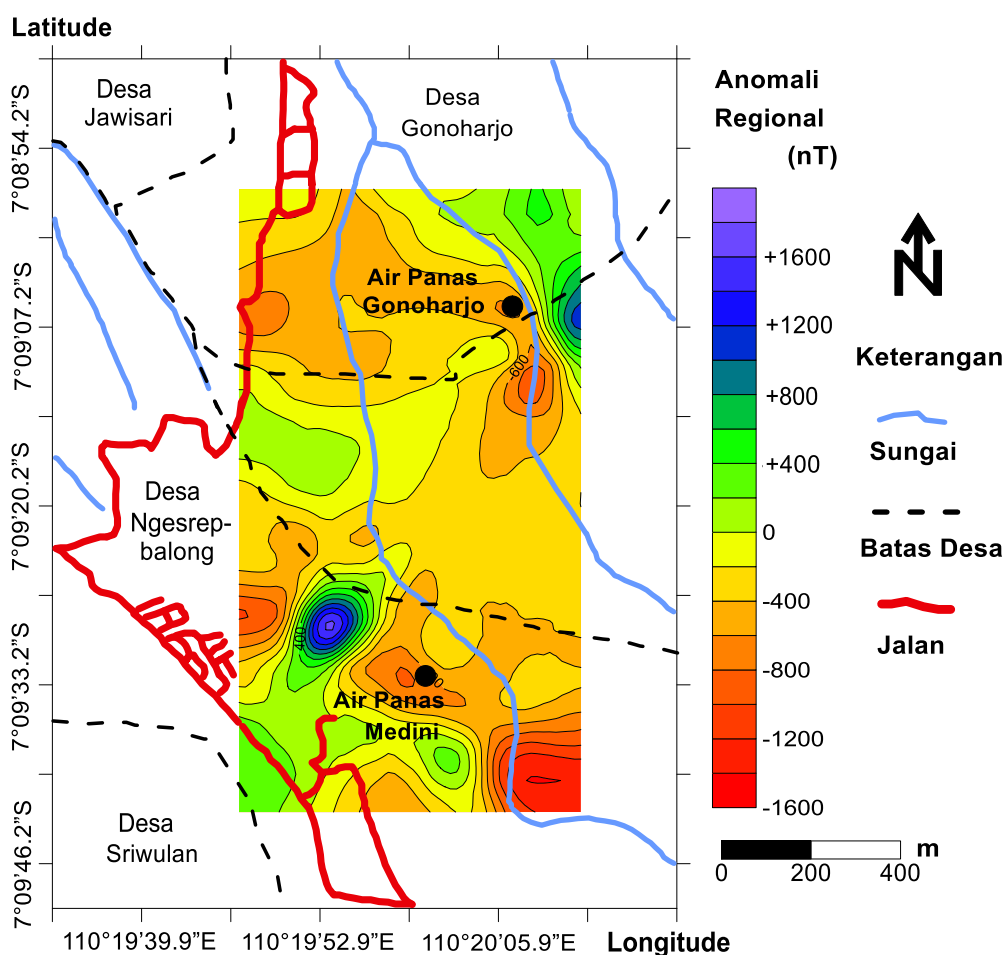
Intensitas magnetik total hasil pengukuran lapangan terdiri dari anomali regional dan anomali residual. Filtering data anomali magnetik untuk memisahkan anomali lokal dan regional dilakukan menggunakan *software Numeri*. Hasil filtering menghasilkan anomali lokal dalam tampilan pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4 Anomali Magnetik Lokal atau Residual

Pola kontur anomali lokal menunjukkan pola anomali yang tidak beraturan dan acak. Anomali lokal dipengaruhi keberadaan benda di dekat permukaan bumi yang dapat berasal dari aktivitas manusia maupun keberadaan batuan transport. Anomali regional memiliki frekuensi rendah dan memberikan informasi mengenai benda sumber anomali pada kedalaman yang besar, sementara anomali lokal memberikan informasi pada kedalaman yang dangkal (Satiawan, 2009). Hasil

anomali regional ditampilkan pada Gambar 4.5. Anomali magnetik lokal atau residual memiliki rentang nilai -1200 nT sampai 1200 nT. Anomali magnetik regional daerah penelitian memiliki rentang nilai -1600 nT sampai 1800 nT.



Gambar 4.5 Anomali Magnetik Regional

Ada beberapa hipotesis penyebab munculnya pasangan klosur anomali magnetik di daerah studi panas bumi, diantaranya berkaitan dengan struktur geologi (Nurdiyanto *et al.*, 2004), zona demagnetisasi akibat alterasi hidrotermal (Darmawan *et al.*, 2012; Broto dan Putranto, 2011), maupun karakteristik daerah panas bumi (Lita, 2012). Pasangan anomali positif dan anomali negatif yang teramati pada daerah panas bumi lereng utara Gunung Ungaran menunjukkan adanya penyebab anomali di dekat sumber air panas Medini dan Gonoharjo.

4.3 Distribusi Potensial Panas Bumi

Gunung Ungaran menunjukkan manifestasi panas bumi di beberapa tempat sesuai dengan studi geofisika terpadu oleh Gaffar (2007) dan studi geologi, geokimia, dan geofisika oleh Zarkasyi, *et al.* (2011) serta hasil studi model konseptual sistem panas bumi Gunung Ungaran yang dilakukan oleh Rezky *et al.* (2012). Manifestasi panas bumi yang muncul di lereng utara Gunung Ungaran berupa sumber mata air panas (*hot springs*) Medini dan Gonoharjo. Penelitian menggunakan metode geomagnetik memperoleh hasil adanya anomali magnetik yang bernilai rendah di sekitar sumber air panas Medini dan Gonoharjo dan mendominasi sebagian besar daerah studi. Anomali rendah tersebut menunjukkan adanya keterkaitan sistem panas bumi dengan sifat kemagnetan batuan.

Pembentukan sistem panas bumi di sekitar lereng utara Gunung Ungaran diperkirakan berkaitan erat dengan aktivitas vulkanik Gunung Ungaran yang masih menyimpan sisa panas dari dapur magma. Sebagian besar respon batuan vulkanik memperlihatkan sifat kemagnetan yang lebih kuat karena kandungan mineral ferromagnetik dibanding batuan lainnya (Chen *et al.*, 2013: 506). Studi panas bumi oleh Rezky, *et al.* (2012) memperkirakan sumber panas bumi Gunung Ungaran terutama daerah Gedongsongo dan Nglimut berasal dari sisa panas dapur magma Gunung Ungaran Muda berumur kuartar. Sumber panas memanasi air bawah permukaan yang berasal dari daerah resapan (*recharge area*) dan membentuk sistem panas bumi hidrotermal. Air yang mengalami pemanasan kemudian naik melalui celah-celah atau rekahan dan melewati batuan sampai akhirnya muncul manifestasi panas bumi permukaan.

Zona prospek panas bumi dapat diidentifikasi dengan menghubungkan manifestasi panas bumi dengan keberadaan anomali magnetik rendah pada suatu daerah penelitian. Anomali magnetik di sekitar titik sumber air panas Medini memiliki rentang nilai -1.200 nT sampai dengan -900 nT. Anomali magnetik di sekitar titik sumber air panas Gonoharjo memiliki rentang nilai -900 nT sampai -600 nT. Anomali rendah pada daerah studi panas bumi merupakan respon terhadap sifat kemagnetan batuan yang menjadi turun atau hilang akibat panas yang ditimbulkan oleh alterasi hidrotermal sesuai dengan penelitian menggunakan metode geomagnetik pada daerah panas bumi oleh Suharno (2004), Indratmoko, *et al.* (2009), Broto dan Putranto (2011), Nuha dan Avisena (2012), Lita (2012), dan Darmawan, *et al.* (2012).

Keberadaan sumber panas di dalam bumi menyebabkan keadaan batuan sekitar terpengaruhi oleh termal atau pemanasan. Pemanasan batuan dapat menyebabkan penurunan sifat kemagnetan batuan dan sehingga memberikan respon anomali magnetik yang rendah. Larutan hidrotermal pada sistem panas bumi dapat menimbulkan perubahan yang masif terhadap sifat kimia dan fisika batuan bawah permukaan termasuk sifat kemagnetan batuan akan menjadi turun atau hilang akibat panas yang ditimbulkan (Kristianto, 2011: 5). Pengaruh temperatur terhadap sifat kemagnetan material telah dijelaskan oleh Culity dan Graham (2007: 91-126) dalam bukunya yang berjudul *Introduction to Magnetic Materials*. Culity dan Graham menjelaskan pengaruh tersebut berdasarkan hasil penelitian Pierre Curie pada sifat kemagnetan bahan dalam rentang panjang temperatur.

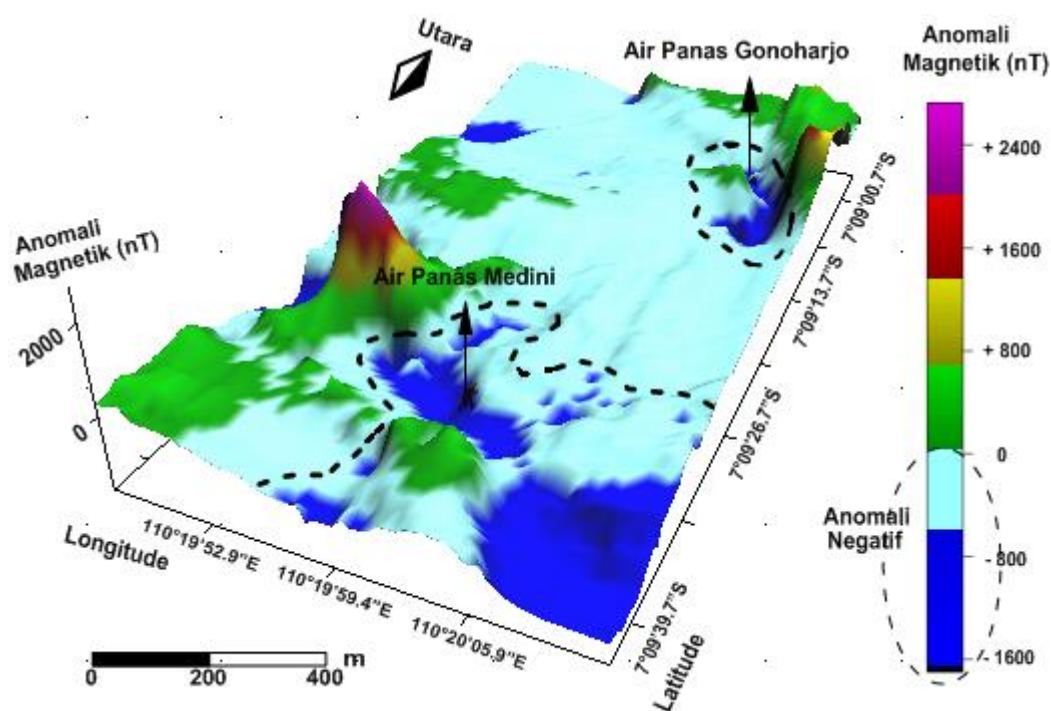
Sifat kemagnetan batuan tidak bergantung pada temperatur untuk bahan diamagnetik tetapi berubah secara berkebalikan dengan temperatur absolut untuk bahan paramagnetik (Culity dan Graham, 2007: 91-126). Perubahan temperatur dalam hal ini adalah perubahan temperatur menjadi lebih tinggi yang akan berpengaruh terhadap penurunan magnetisasi spontan relatif untuk bahan ferromagnetik. Nilai suseptibilitas material paramagnetik berbanding terbalik dengan temperatur ($T - \theta$). Pada temperatur yang tinggi melebihi temperatur Curie, sifat magnetik material ferromagnetik mengikuti sifat material paramagnetik dimana sesuai dengan persamaan Currie-Weiss sebagai berikut.

$$\chi = \frac{c}{T-\theta} \quad (4.3)$$

Nilai suseptibilitas menjadi lebih rendah pada temperatur yang lebih tinggi sehingga magnetisasi yang diberikan oleh respon material menjadi lebih rendah. Ketika material di dalam bumi berinteraksi dengan medan magnet bumi maka mineral magnetik di dalam batuan akan termagnetisasi sesuai dengan arah medan yang diberikan. Magnetisasi dalam batuan ini mengalami penurunan akibat aktivitas pemanasan oleh sumber panas bumi.

Anomali magnetik yang berkaitan dengan zona prospek panas bumi di daerah penelitian diidentifikasi dengan keberadaan anomali negatif yang tersebar secara dominan di daerah penelitian. Celah antara dua struktur bersamaan dengan waktu menunjukkan anomali magnetik negatif karena ruang patahan bawah tanah mengalami demagnetisasi oleh hidrotermal. Hidrotermal berperan sebagai saluran untuk aliran fluida dalam pembentukan manifestasi panas bumi permukaan (Bernard, 2014: 94).

Data anomali magnetik hasil penelitian dapat ditampilkan dalam bentuk *surface 3D*, sehingga mempermudah dalam membaca hasil penelitian. Anomali magnetik rendah di sebagian besar dari luasan daerah penelitian diduga berkaitan dengan keberadaan sistem panas bumi yang didukung dengan munculnya sumber mata air panas. Anomali magnetik negatif bernilai -1.800 nT sampai 0 nT mendominasi sebaran anomali magnetik di daerah penelitian yang ditandai dengan dominasi warna biru tua sampai biru muda pada Gambar 4.6.



Gambar 4.3 *Surface 3D* Anomali Magnetik Daerah Penelitian

Anomali magnetik negatif dapat diinterpretasikan sebagai anomali magnetik rendah yang menjadi target penelitian di daerah survei. Anomali magnetik rendah didukung dengan keberadaan manifestasi panas bumi lereng utara Gunung Ungaran. Luasan anomali negatif disebabkan karena demagnetisasi batuan di dalam suatu daerah manifestasi panas bumi sebagai hasil temperatur bawah permukaan yang tinggi.

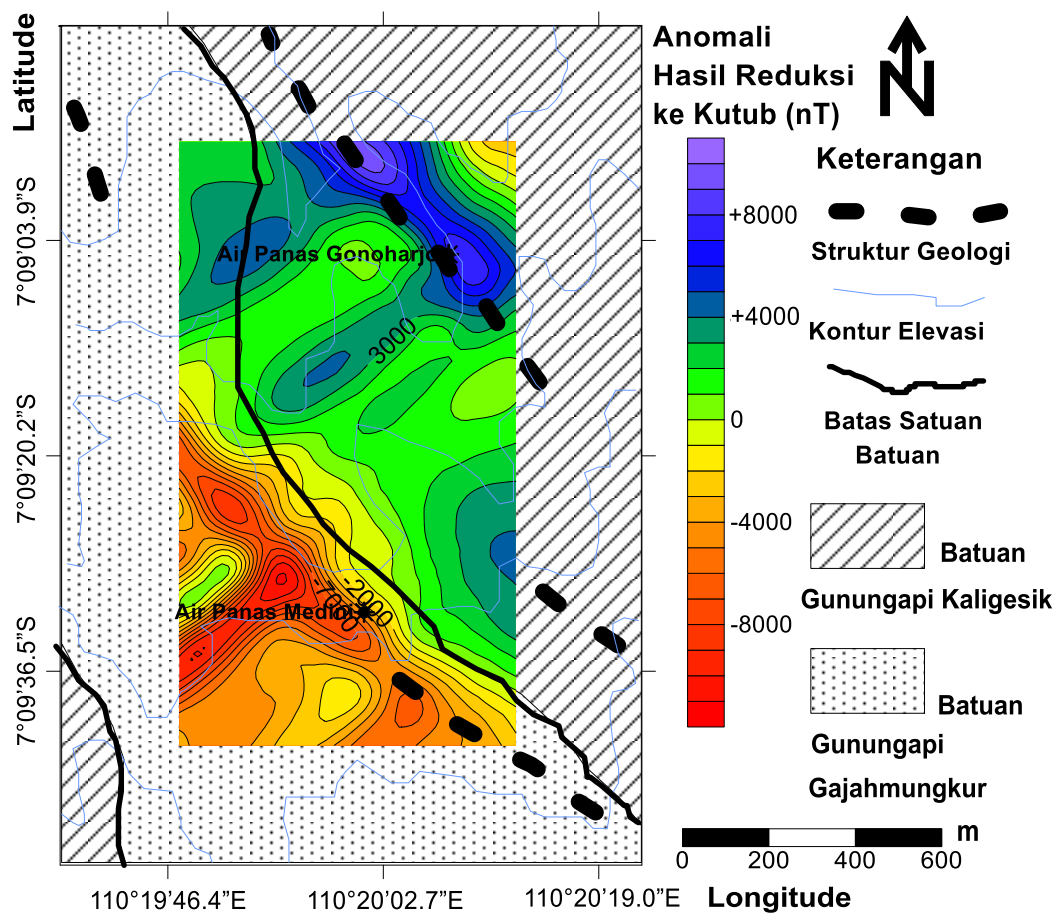
Medan magnetik bumi dikarakterisasi dengan parameter-parameter fisika atau disebut unsur-unsur medan magnet bumi. Respon kemagnetan yang diukur dalam metode geomagnetik merupakan induksi medan magnet total yang diperoleh dari medan magnet utama bumi, medan luar, dan respon magnetik batuan atau anomali magnetik. Distribusi prospek panas bumi daerah Medini – Gonoharjo dikarakterisasi dengan sebaran anomali magnetik rendah bernilai negatif yang meliputi sebagian besar daerah survei. Anomali magnetik rendah negatif ini memiliki pola yang masih terbuka dan memungkinkan meliputi daerah yang lebih luas dibandingkan daerah penelitian, sehingga distribusi prospek panas bumi lereng utara Gunung Ungaran diduga telah melingkupi daerah yang luas.

Anomali magnetik rendah yang berkaitan dengan demagnetisasi batuan akibat panas dari daerah manifestasi panas bumi telah dikarakterisasi oleh peneliti lain. Menurut Nuha & Avisena (2012), zona demagnetisasi daerah sumber air panas Songgoriti, Kota Batu memiliki anomali bernilai kurang dari 300 nT. Pengamatan visual peta magnetik, profil, dan model magnetik menunjukkan bahwa prospek perbukitan Homa secara umum dikarakterisasi oleh magnetik lemah dan luas di bagian selatan dan utara yang dikelilingi oleh sabuk magnetik tinggi (Bernard, 2014: 94-101). Anomali magnetik negatif disebabkan oleh demagnetisasi batuan akibat hidotermal biasanya lebih luas dan lebih kuat dari efek topografi. Anomali magnetik negatif berhubungan dengan manifestasi panas permukaan pada sistem panas bumi RUW. Anomali magnetik rendah dengan nilai kurang dari 300 nT didukung dengan kehadiran manifestasi air panas pada sistem panas bumi RUW dan dikontrol oleh patahan (Suharno, 2004: 30).

Studi panas bumi telah banyak dilakukan di lereng utara Gunung Ungaran. Studi di daerah penelitian diantaranya adalah studi kelembaban udara dan temperatur permukaan dangkal (Ulumiyah *et al.*, 2013), studi geolistrik (Prihadi, 2014), studi struktur geologi (Nurdiyanto *et al.*, 2004), studi geokimia (Emianto dan Ariwibowo, 2011) dan studi CSAMT (Setyawan, 2005). Studi geologi daerah panas bumi Gunung Ungaran Gaffar (2007) dan Rezky, dkk. (2012) menunjukkan bahwa batuan di sekitar Gunung Ungaran cukup bervariasi dan merupakan aliran piroklastik akibat aktivitas vulkanik. Batuan di Gunung Ungaran terdiri dari lava andesit basaltik, tufa andesit augit-hornblende, andesit, basalt andesitik augit-olivin, basalt olivin, andesit piroksen, gabro, dan endapan aluvial. Struktur geologi daerah Gunung Ungaran merupakan sistem sesar vulkano-tektonik dan mengontrol pemunculan manifestasi panas bumi di permukaan.

Anomali demagnetisasi akibat hidrotermal seringkali dikenali di daerah prospek panas bumi dan berhubungan dengan sistem panas bumi aktif. Keberadaan manifestasi panas bumi dan anomali magnetik rendah di daerah penelitian diduga disebabkan karena adanya intrusi magma yang masih menyimpan panas dan menjadi sumber panas dari air bawah permukaan sehingga muncul sumber mata air panas. Secara geologi daerah penelitian terletak di Batuan Gunung Api Kaligesik dan Batuan Gunung Api Gajahmungkur. Batuan Gunung Api Kaligesik merupakan aliran basalt olivin augit serta termasuk jenis batuan gunung api kuartar pada era plistosen. Batuan Gunung Api Gajahmungkur terdiri dari andesit hornblende augit yang umumnya merupakan aliran lava serta termasuk jenis batuan gunung api kuartar pada era holosen.

Inklinasi vektor kemagnetan karena pengaruh induksi atau medan luar dapat menghasilkan pola dipol data magnetik, sehingga perlu proses reduksi ke kutub untuk mentransformasikan vektor kemagnetan agar memiliki arah vertikal seperti ketika dilakukan pengukuran di kutub (Nuha & Avisena, 2012: 183). Secara umum interpretasi terhadap hasil penelitian difokuskan pada anomali magnetik akibat respon batuan bawah permukaan. Anomali magnetik rendah hasil pengolahan data geomagnetik pada daerah studi merupakan respon yang diduga berkaitan dengan pengaruh panas pada sistem panas bumi Gunung Ungaran. Anomali magnetik daerah penelitian telah direduksi ke kutub menggunakan *software Magpick* sehingga menghasilkan tampilan Gambar 4.7.



Gambar 4.7 Anomali Magnetik Hasil Reduksi ke Kutub

Pola kontur anomali magnetik hasil reduksi ke kutub (*reduction to pole*) menunjukkan adanya klosur positif dan negatif. Kecenderungan arah batas pola klosur adalah barat laut – tenggara yang diduga berkaitan dengan struktur geologi dan batas kontak satuan batuan. Manifestasi panas bumi di daerah Medini dan Gonoharjo diduga dikontrol oleh adanya struktur geologi berarah tenggara tersebut. Berdasarkan penelitian struktur bawah permukaan lereng utara Gunung Ungaran di daerah manifestasi air panas Nglimut dan Medini oleh Nurdianto *et al.* (2004: 36-45), diperoleh informasi struktur geologi bawah permukaan di daerah penelitian merupakan sesar turun pada endapan piroklastik dan batas batuan yang tersesarkan antara endapan piroklastik dan basalt.

Sumber air panas yang terdapat di daerah Nglimut dan Medini berasal dari reservoir gunung api Ungaran yang menerobos melalui zona lemah, yaitu sesar turun pada endapan piroklastik dan sesar turun pada batas antara endapan piroklastik dan basalt. Air bawah permukaan yang mengalami pemanasan muncul sebagai manifestasi panas bumi di daerah Medini diduga karena penerobosan pada zona lemah di antara Batuan Gunungapi Kaligesik dan Batuan Gunungapi Gajahmungkur sesuai dengan arah batas pola klosur di sekitar manifestasi sumber air panas permukaan di Medini.

Daerah anomali magnetik bernilai rendah menunjukkan harga pengukuran magnetik suatu daerah yang rendah dibandingkan dengan daerah sekitarnya. Hal ini mengindikasikan adanya proses hidrotermal akibat aktivitas fluida panas terhadap batuan. Hasil kontinuasi ke atas pada ketinggian 50 m dan 100 m menunjukkan air panas Gonoharjo terletak di dekat perbatasan klosur anomali.

Perbatasan klosur anomali magnetik berhubungan dengan letak sumber air panas Gonoharjo yang diduga muncul akibat penerobosan pada zona lemah pada rekahan batuan. Keberadaan struktur geologi rekahan batuan di bawah permukaan merupakan penyebab munculnya sumber air panas sesuai dengan penelitian metode geolistrik di sekitar sumber air panas Medini dan Gonoharjo oleh Prihadi, *et al.* (2013). Rekahan batuan bawah permukaan mengontrol pemunculan sumber air panas Medini dan Gonoharjo karena didasarkan pada distribusi resistivitas di sekitar sumber yang tidak kontinu.

Gunung Ungaran merupakan gunung api kuarter yang terdiri dari gunungapi tua dan muda. Ungaran tua terbentuk lebih dari 500.000 tahun lalu dan Ungaran muda aktif sampai 300.000 tahun lalu (Setyawan *et al.*, 2009: 107). Berdasarkan penelitian penyebaran fasies vulkanik dan analisis petrografi oleh Syabaruddin *et al.* (2003), endapan vulkanik daerah panas bumi Gunung Ungaran sebagian besar berkomposisi andesitik yang mengindikasikan bahwa sumber panas di daerah Gunung Ungaran berupa batuan beku andesitik dengan konduit utama diperkirakan berada di bawah puncak Gunung Ungaran Muda.

Keberadaan sumber air panas Medini dan Gonoharjo di lereng utara Gunung Ungaran mengindikasikan adanya sumber panas di daerah tersebut. Sumber panas telah mempengaruhi batuan sekitar sehingga memberikan respon anomali rendah bernilai negatif. Sumber panas diduga merupakan tubuh batuan dengan densitas yang kontras dengan sekitarnya pada bagian utara Gunung Ungaran sesuai dengan adanya anomali sisa (>10 mgal) yang membentuk kontur tertutup (Setyawan 2009: 107).

Intensitas medan magnet total hasil pengukuran merupakan nilai induksi medan magnet total pada daerah penelitian. Meskipun demikian bentuk atau pola umum anomali magnetik dengan pola sebaran intensitas medan magnet total tidak jauh berbeda. Hal ini dikarenakan medan magnet utama bumi yang relatif konstan dan perubahannya terhadap waktu relatif sedikit dan relatif membutuhkan waktu yang lama. Medan luar yang mempengaruhi pengukuran geomagnetik dapat memiliki rentang yang besar. Namun dalam penelitian ini tidak dijumpai nilai medan magnet luar yang signifikan sehingga bentuk umum sebaran intensitas medan magnet total dan anomali magnetik memiliki kemiripan. Keberadaan anomali magnetik negatif mendominasi di sekitar sumber air panas Medini dan Gonoharjo. Sebaran prospek panas bumi daerah penelitian diinterpretasikan dengan adanya anomali negatif tersebut.

Daerah resapan utama sistem panas bumi Gunung Ungaran merupakan zona sesar dan struktur geologi akibat terjadinya depresi pada fase vulkanik Gunung Ungaran. Keadaan struktur Gunung Ungaran dikarakterisasi berdasarkan analisis gradien horisontal anomali gravitasi oleh Setyawan *et al.* (2009: 107-116) dengan adanya struktur melingkar dimana meliputi kebanyakan manifestasi panas bumi, termasuk sumber air panas Medini dan Gonoharjo. Keistimewaan sistem panas bumi Gunung Ungaran adalah dikontrol secara struktural oleh struktur geologi. Analisis gaya berat menunjukkan Gunung Ungaran terbentuk dalam depresi kaldera tektonik. Struktur geologi menjadikan daerah panas bumi Gunung Ungaran memiliki kemampuan baik untuk meloloskan air ke bawah permukaan (Emianto dan Ariwibobo, 2011: 233).

Studi CSAMT lereng utara Gunung Ungaran memperoleh penampang iso-resistivitas dan isokonduktivitas yang menunjukkan gradasi nilai ke arah tenggara menuju Gunung Ungaran sisi selatan (Gedongsongo) dengan nilai resistivitas makin rendah dan nilai konduktivitas makin tinggi (Setyawan, 2005: 36). Hal ini bersesuaian dengan arah batas klosur anomali magnetik hasil reduksi ke kutub yang menunjukkan kecenderungan berarah tenggara. Berdasarkan analisis kimia fluida air panas oleh Emianto dan Ariwiwobo (2011), diketahui bahwa jenis fluida panas bumi di Gonoharjo berupa campuran air klorida dengan air bikarbonat, sedangkan air panas Medini berupa air bikarbonat. Proses yang terdapat pada daerah penelitian umumnya terjadi pada zona *outflow* karena konsentrasi Cl kurang dominan dan mengindikasikan lokasi penelitian berada cukup jauh dari aliran utama sistem panas bumi.

Berdasarkan survei MT di daerah Nglimut (Rezky *et al.*, 2012), terdapat lapisan batuan konduktif dengan nilai tahanan jenis <10 ohm-meter dan lapisan batuan bertahanan jenis intermedian <20 ohm-meter. Sisipan lapisan batuan ini diperkirakan sebagai zona penudung dari panas bumi Ungaran sedangkan lapisan di bawahnya diduga merupakan reservoir. Lapisan penudung berupa batuan argilik dan memiliki ketebalan sekitar 300-500 m di daerah Nglimut. Menurut Syabaruddin *et al.* (2003), endapan vulkanik umumnya memiliki permeabilitas rendah yang dapat berfungsi sebagai batuan penudung karena mengalami alterasi yang mengubah mineral primer menjadi mineral lempung. Alterasi hidrotermal ini memberikan efek penurunan sifat kemagnetan batuan sehingga diperoleh anomali magnetik rendah dan negatif di sekitar air panas Medini dan Gonoharjo.

Hasil perhitungan geotermometer Na-K-Ca diketahui bahwa suhu reservoir berkisar antara 206-208°C dengan rata-rata suhu reservoir di Gonoharjo dan Medini sebesar 207.33°C (Emianto dan Ariwiwobo, 2011: 233). Temperatur reservoir bergantung pada intensitas panas yang merambat dari batuan sumber panas, sifat termal batuan, dan kemampuan batuan mengalirkan fluida (permeabilitas batuan) sehingga turut serta mempengaruhi sifat kemagnetan batuan. Berdasarkan studi oleh Ulumiyah *et al.* (2013: 7-12), nilai temperatur permukaan dangkal daerah Gonoharjo terdistribusi antara 21°C sampai 41°C, sedangkan nilai kelembaban udara terdistribusi antara 74% sampai 95%. Indikasi area panas bumi terdeteksi dengan nilai temperatur 37°C, 38°C dan 40°C yang didukung dengan kenampakan air panas permukaan atau *hot springs*. Berdasarkan penelitian Geolistrik di daerah studi (Prihadi *et al.*, 2014), permukaan sampai kedalaman 12,4 m umumnya didominasi oleh hidrotermal.

Daerah penelitian memiliki nilai anomali magnetik negatif yang dominan dan anomali magnetik sangat rendah teridentifikasi di sekitar sumber air panas Medini dan Gonoharjo yang terletak di lereng utara Gunung Ungaran, Jawa Tengah, Indonesia. Analisis numerik telah dilakukan oleh Setyawan *et al.* (2009) untuk memprediksi potensi panas bumi Gunung Ungaran berdasarkan studi menggunakan beberapa metode geofisika. Temperatur reservoir minimum sistem panas bumi Gunung Ungaran adalah 150°C dan penggunaan reservoir diprediksi mencapai 30 tahun produksi. Kedalaman reservoir dianggap 0,5 km sampai 3 km di bawah permukaan. Hasil estimasi potensi panas bumi mencapai 2.3 MW sampai 40.4 MW (Setyawan *et al.*, 2010).

Pemunculan manifestasi panas bumi permukaan berupa mata air panas di daerah Medini dan Gonoharjo dapat dimanfaatkan dalam skala kecil, misalnya sebagai geowisata dengan pengelolaan dan pemeliharaan daerah pemunculan sumber air panas. Pengembangan geowisata berbasis wisata alam di daerah penelitian didukung dengan adanya air terjun di sekitar sumber air panas. Keberadaan air terjun menunjukkan adanya zona lemah batuan di daerah tersebut. Keberlangsungan sistem panas bumi di daerah ini perlu dijaga dengan memelihara daerah resapan sebagai penyedia sumber air ke bawah permukaan yang kemudian mengalami pemanasan.

Distribusi prospek panas bumi daerah Medini dan Gonoharjo yang luas sesuai dengan sebaran nilai anomali magnetik rendah yang dominan menunjukkan daerah ini sangat potensial dikembangkan sebagai obyek wisata. Meskipun telah diresmikan sebagai area wisata di sekitar sumber air panas Gonoharjo, namun pemeliharaan lokasi tersebut masih belum optimum. Sumber air panas Medini yang belum terawat dengan baik dapat mendukung pengembangan daerah wisata Kabupaten Kendal karena memiliki prospek panas bumi yang besar berdasarkan studi geomagnetik.

Pengembangan dan pemeliharaan potensial wisata daerah Medini dan Gonoharjo dapat didukung dengan kenampakan alam air terjun, tiga diantaranya di sekitar sumber air panas Gonoharjo dan satu air terjun di dekat sumber air panas Medini. Kenampakan alam yang terjaga membuat daerah ini menjadi habitat binatang liar, seperti monyet dan burung. Studi panas bumi daerah penelitian memberikan kontribusi dalam rekomendasi potensial daerah ini.

BAB V

PENUTUP

5.1 Simpulan

Berdasarkan penelitian geomagnetik di daerah Medini – Gonoharjo dapat disimpulkan sebagai berikut.

1. Intensitas medan magnet total daerah penelitian berada pada rentang nilai 43.000 nT sampai 47.600 nT dan didominasi oleh nilai dalam kategori relatif rendah sampai sedang, sedangkan di sekitar sumber air panas Medini dan Gonoharjo memiliki nilai intensitas medan magnet total 43.600 nT sampai 44.000 nT. Anomali magnetik di daerah penelitian memiliki kisaran nilai -1.800 nT sampai 2.700 nT. Anomali magnetik di sekitar titik sumber air panas Medini memiliki rentang nilai -1.200 nT sampai dengan -900 nT sedangkan di sekitar sumber air panas Gonoharjo memiliki rentang nilai -900 nT sampai -600 nT.
2. Distribusi daerah prospek panas bumi Medini dan Gonoharjo berhubungan dengan dominasi dan sebaran luas nilai anomali magnetik negatif. Anomali negatif rendah didukung dengan keberadaan sumber air panas atau *hot springs* di daerah Medini dan Gonoharjo. Anomali magnetik rendah dan bernilai negatif di daerah studi merupakan respon akibat penurunan sifat kemagnetan batuan karena pengaruh panas pada alterasi hidrotermal sistem panas bumi. Anomali hasil kontinuitas ke atas bernilai optimum pada ketinggian 50 m dari permukaan bumi.

5.2 Saran

Studi panas bumi daerah penelitian memberikan kontribusi dalam rekomendasi potensial pengembangan daerah prospek panas bumi Medini dan Gonoharjo. Pemunculan manifestasi panas bumi permukaan berupa mata air panas di daerah Medini dan Gonoharjo dapat dimanfaatkan dalam skala kecil, misalnya sebagai pendukung geowisata dengan pengelolaan dan pemeliharaan ekosistem alam. Keberlangsungan sistem panas bumi di daerah ini perlu dijaga dengan memelihara daerah resapan sebagai penyedia sumber air ke bawah permukaan. Sumber air panas Medini yang belum terawat dengan baik dapat dikembangkan sebagai pendukung daerah wisata Kabupaten Kendal karena memiliki prospek panas bumi yang besar berdasarkan hasil studi.

Penggunaan metode geomagnetik dalam pengukuran pada studi metode geofisika sebaiknya menggunakan dua alat magnetometer sehingga perubahan medan magnet luardapat teramati dengan lebih detail dan teliti. Hasil penelitian menunjukkan pola anomali berarah tenggara yang diduga berkaitan dengan arah aliran panas dari pusat Gunung Ungaran. Pola aliran fluida panas dapat diteliti lebih lanjut dengan metode lain untuk mengetahui arah aliran pembawa air panas dan mendukung penelitian-penelitian sebelumnya. Penelitian penurunan sifat kemagnetan batuan di daerah studi dapat diteliti lebih lanjut dalam skala laboratorium.

DAFTAR PUSTAKA

- Bernard, A., O. Antony, A. Vincent, G. John, & W. Ambusso. 2014. 2D Modeling of Ground Magnetic Data of Homa-Hills Geothermal Prospect Area, Kenya. *International Journal of Science and Research*, 3(4) 94-101.
- Broto, S. dan T.T. Putranto. 2011. Aplikasi Metode Geomagnet dalam Eksplorasi Panas Bumi. *TEKNIK*, 32(1): 79-87.
- Chen, G., Q. Cheng, T. Liu, & Y. Yang. 2013. Mapping local singularities using magnetic data to investigate the volcanic rocks of the Qikou depression, Dagang oilfield, eastern China. *Nonlinear Process in Geophysics*, 20(1): 501-511.
- Cullity, B. D. dan C. D. Graham. 2009. *Introduction To Magnetic Materials 2nd Edition*. Canada : IEEE Press.
- Currenti, G., C. D. Negro, L. Fortuna, & G. Ganci. 2007. Integrated inversion of ground deformation and magnetic data at Etna volcano using a genetic algorithm technique. *Annals of Geophysics*, 5(1): 21-30.
- Darmawan, S., H. Danusaputro dan T. Yulianto. 2012. Interpretasi Data Anomali Medan Magnetik Total Untuk Pemodelan Struktur Bawah Permukaan Daerah Mud Vulcano (Studi Kasus Bledug Kuwu Grobogan). *J.Geofisika* 13(1): 7-15.
- Ehara, S., Y. Fujimitsu, J. Nishijima, K. Fukuoka, & M. Ozawa. 2005. Change in the Thermal State in a Volcanic Geothermal Reservoir beneath an Active Fumarolic Field after the 1995 Phreatic Eruption of Kuju Volcano, Japan. *Proceedings World Geothermal Congress 2005*. Turkey: Antalya.
- Emianto, Y. B. dan Y. Ariwibowo. 2011. Studi Geokimia Fluida Panas Bumi Daerah Panas Bumi Nglimut, Gunung Ungaran Kecamatan Limbangan, Kabupaten Kendal Jawa Tengah. *TEKNIK*, 32(3): 230-233.
- Gaffar, E. Z., D. D. Wardhana dan D. S. Widarto. Studi Geofisika Terpadu di Lereng Selatan G. Ungaran, Jawa Tengah, dan Implikasinya Terhadap Struktur Panas bumi. *Jurnal Meteorologi dan Geofisika* 8(2): 101-119.
- Hasan, M. H., T. M. I. Mahlia, & H. Nur. 2012. A review on Energy scenario and sustainable energy in Indonesia. *Renewable and Sustainable Energy Review*, 16(1): 2316-2328.

- Hermawan, D., S. Widodo, S. Robertus, K. Dedi, M. Kholid, A. Zarkasyi dan J. Wiwid. 2011. Geologi, Geokimia, dan Geofisika Daerah Panas Bumi Sumani, Provinsi Sumatera Barat. *Prosiding Hasil Kegiatan Pusat Sumber Daya Geologi Tahun 2011*. Bandung : PSDG Kelompok Penyelidikan Panas bumi.
- Indratmoko, P., M. I. Nurwidyanto dan T. Yulianto. Interpretasi Bawah Permukaan Daerah Manifestasi Panas Bumi Parang Tritis Kabupaten Bantul DIY dengan Metode Magnetik. *Berkala Fisika*, 12(4): 153-160.
- Kahfi, R. A., T. Yulianto. 2008. Identifikasi Struktur Lapisan Bawah Permukaan Daerah Manifestasi Emas Dengan menggunakan Metode Magnetik Di Papandayan Garut Jawa Barat. *Berkala Fisika*, 11(4): 127-135.
- Kristianto, A., D. Surya., & W. Joni. Penyelidikan Geofisika Terpadu Gaya Berat, Geomagnetik, dan Geolistrik Daerah Panas Bumi Riso kabupaten Polewali Mandar, Provinsi Sulawesi Barat. *Prosiding Hasil Kegiatan Pusat Sumber Daya Geologi Tahun 2011*. Bandung : PSDG Kelompok Penyelidikan Panas bumi.
- Kohno, Y., L. D. Setijadji, P. Utami, A. Harijoko, Z. Pecskey, A. Imai, & K. Watanabe. 2005. Geochronology and Petrogenetic Aspects Merapi-Merbabu-Telomoyo-Ungaran Volcanoes, Central Java, Indonesia. *Proceedings Joint Convention Surabaya 2005*. Indonesia: Surabaya.
- Lita, F. 2012. Identifikasi Anomali Magnetik di Daerah Prospek Panas Bumi Arjuna – Welirang. *Skripsi*. Universitas Indonesia.
- Lowrie, W. 2007. *Fundamentals of Geophysics 2nd Edition*. New York : Cambridge University Press.
- Musafak, Z. dan B. J. Satosa. 2009. *Interpretasi Metode Magnetik Untuk Penentuan Struktur Bawah Permukaan Di Sekitar Gunung Kelud*. Surabaya: ITS.
- Nitzsche, T. 2007. Origin of magnetic anomalies in pyroclastic rocks of the Messel Volcano : insights into a maar-diatreme-structure. Thesis. Institut für Geologie der Universität Würzburg.
- Nuha, D. Y. U. dan N. Avisena. 2012. Pemodelan Struktur Bawah Permukaan Daerah Sumber Air Panas Songgoriti Kota Batu Berdasarkan Data Geomagnetik. *Jurnal Neutrino* 4(2): 178-187.
- Nurdiyanto, B., Wahyudi dan I. Suyanto. 2004. Analisis Data Magnetik untuk Mengetahui Struktur Bawah Permukaan Daerah Manifestasi Air Panas di Lereng Utara Gunungapi Ungaran. *Prosiding 29th HAGI*. Yogyakarta.

- Prihadi, T. 2014. Aplikasi Metode Geolistrik Dalam Survey Potensi Hidrothermal (Studi Kasus Sumber Air Panas Nglimut, Gonoharjo, Gunung Ungaran). *Skripsi*. Semarang: Universitas Negeri Semarang.
- Prihadi, T., Supriyadi dan Sulhadi. 2013. Aplikasi Metode Geolistrik Dalam Survey Potensi Hidrothermal (Studi Kasus Sumber Air Panas Nglimut Gonoharjo Gunung Ungaran). *Seminar Nasional Fisika Universitas Negeri Jakarta*, 116-119.
- Rezky, Y., A. Zarkasyi dan D. Risdianto. 2012. Sistem Panas Bumi dan Model Konseptual Daerah Panas Bumi Gunung Ungaran, Jawa Tengah. Makalah Ilmiah. *Buletin Sumber Daya Geologi* 7 (3): 109-117.
- Royana, R. 2013. *Panduan Kelestarian Ekosistem untuk Pemanfaatan Panas bumi*. Jakarta: WWF-Indonesia.
- Rusli, M. 2009. Penelitian Potensi Bahan Magnet Alam di Desa Uekuli Kecamatan Tojo Kabupaten Tojounauna, Provinsi Sulawesi Tenggara. *Jurnal Sains Materi Indonesia* ed. Desember: 14-19.
- Santosa, B. J. 2013. Magnetic Method Interpretation to Determine Subsurface Structure Around Kelud Volcano. *Indian Journal of Applied Research* 3(5): 328-331.
- Saptadji, N. M. 2009. *Karakterisasi Reservoir Panas Bumi*. Bandung : ITB.
- Sarkowi, M. 2010. *Pengantar Teknik Geofisika*. Lampung : UNILA.
- Satiawan, S. Aplikasi Kontinuasi ke Atas dan Filter Panjang Gelombang untuk Memisahkan Anomali Regional – Residual pada Data Geomagnetik. *Tugas Akhir*. Bandung: ITB.
- Setiawan, S. 2013. Energi Panas Bumi Dalam Kerangka MP3EI: Analisis terhadap Prospek, Kendala, dan Dukungan Kebijakan. *Jurnal Ekonomi dan Pembangunan*, 10(1) 1-30.
- Setyawan, A., S. Ehara, Y. Fujimitsu, & H. Saibi. 2009. Assessment of Geothermal Potential at Ungaran Volcano, Indonesia Deduced from Numerical Analysis. *Proceedings^{34th} Workshop on Geothermal Reservoir Engineering*. California: Stanford University.
- Setyawan, A., S. Ehara, Y. Fujimitsu, J. Nishijima, H. Saibi, & E. Aboud. 2009. The Gravity Anomaly of Ungaran Volcano, Indonesia Analysis and Interpretation. *J. Geotherm.*, 31(2): 107-116.

- Setyawan, A., S. Ehara, Y. Fujimitsu, & J. Nishijima. 2010. An Estimate of the Resources Potential of Ungaran Geothermal Prospect for Indonesia Power Generation. *Proceedings^{34th} World Geothermal Congress*. Indonesia: Bali.
- Setyawan, A., Wahyudi dan H. W. Kusumaningsih. 2005. Estimasi Pola Penyebaran Resistivitas Bawah Permukaan dengan Metode CSAMT (Studi Kasus Nglimut-Medini, Gunung Ungaran). *Berkala Fisika* 8(2): 33-36.
- Suharno. 2004. Magnetic Characteristics of The Ruw Geothermal System. *J. Sains Tek.*, 10(1): 26-34.
- Syabaruddin, S. B. Samudro, I. Nurnusanto, & P. Utami. 2003. Pemetaan Fasies Vulkanik pada Daerah Prospek Panas Bumi Gunung Ungaran, Jawa Tengah. *Proceedings of Joint Convention Jakarta*. Indonesia: Jakarta.
- Telford, W.M., L.P. Geldart, dan R.E. Sheriff,. 1990. *Applied Geophysics, second edition*. Cambridge: University Press, Londo.
- Ulumiyah, I., Supriyadi dan Yulianto, A. 2013. Analisis Kelembaban dan Temperatur Permukaan Dangkal di Daerah Gonoharjo. *Unnes Physics Journal* 2(1): 7-12.
- Utama, A. P., A. Dwinanto, J. Situmorang, M. Hikmi, & R. Irsamukhti. 2012. Green Field Geothermal Systems in Java, Indonesia. *Proceedings^{1st} Geothermal Workshop*. Bandung: ITB.
- Wahyudi. 2005. Kajian Potensi Panas Bumi dan Rekomendasi Pemanfaatannya pada Daerah Prospek Gunungapi Ungaran Jawa Tengah. *Makalah*: 41-49. Yogyakarta: UGM.
- Yorinaldi, Mulyadi, D. Wintolo dan P. Utami. 2000. Model Tentatif Daerah Prospek Panas Bumi Ulubelu Kabupaten Lampung Selatan, Propinsi Lampung Berdasarkan Data Magnetotelluric dan DC-Resistivity. *Proceedings of Indonesian Association of Geologist The 29th Annual Convention* Bandung: Indonesian Association of Geologist.
- Yunginger, R., L. O. Ngkoimani, A. Zainuri. 2012. *Kajian Prospek Energi Panas Bumi Di Propinsi Gorontalo Sebagai Sumber Energi Listrik Yang Ramah Lingkungan*. Gorontalo: Universitas Negeri Gorontalo.
- Zarkasyi, A., Y. Rezky dan M. Nurhadi. 2011. Keprospekan Panas bumi Gunung Ungaran Berdasarkan Analisis Geosain Terpadu. *Buletin Sumber Daya Geologi* 6 (3): 23-29.

Lampiran 1. Tabel Data Penelitian

Titik	UTM X	UTM Y	Elevasi	Intensitas
				Medan Magnet Total (nT)
Base	426103	9209304	854	44604.24
N1	426094	9209294	853	44809.52
N2	426094	9209285	854	44614.36
N3	426094	9209276	855	44920.66
N4	426097	9209270	856	44238.45
N5	426097	9209270	857	44965.23
N6	426100	9209264	857	44950.32
N7	426103	9209257	857	43365.36
N8	426103	9209251	857	44591.22
N9	426104	9209245	858	44773.04
N10	426113	9209236	858	45029.62
N11	426113	9209236	859	43971.27
N12	426110	9209230	860	44438.21
N13	426113	9209221	860	44700.45
N14	426113	9209214	860	44876.79
N15	426125	9209208	861	44725.38
N16	426122	9209202	862	44807.37
N17	426122	9209196	863	44829.51
N18	426125	9209190	863	44840.42
N19	426125	9209190	864	44809.18
N20	426125	9209181	864	45059.21
N21	426128	9209178	864	45146.67
N22	426134	9209168	865	44744.78
N23	426140	9209162	867	44269.55
N24	426150	9209156	866	44914.20
N25	426153	9209156	867	44876.96
N26	426147	9209150	868	44788.81
N27	426150	9209144	867	44847.89
N28	426153	9209138	868	44845.50
N29	426153	9209135	869	44737.35
N30	426156	9209129	870	44972.38
N31	426156	9209116	871	44918.54
N32	426156	9209113	872	44787.90
N33	426159	9209110	872	44777.36

Titik	UTM X	UTM Y	Elevasi	Intensitas
				Medan Magnet Total (nT)
N34	426162	9209098	873	44893.38
N35	426165	9209095	873	44890.74
N36	426168	9209092	873	44917.20
N37	426168	9209086	874	44953.94
N38	426165	9209079	876	44925.65
N39	426165	9209076	877	44966.46
N40	426171	9209064	877	44947.27
N41	426168	9209061	878	45150.07
N42	426168	9209055	879	44733.84
N43	426168	9209046	880	44651.91
N44	426168	9209036	882	44849.61
N45	426174	9209036	882	44922.64
N46	426177	9209027	883	44702.49
N47	426177	9209021	884	44660.16
N48	426177	9209015	885	44671.92
N49	426171	9209009	887	44716.71
N50	426171	9209006	888	44472.14
N51	426168	9209000	889	44492.62
N52	426168	9208993	891	44546.12
N53	426162	9208984	892	44555.84
N54	426168	9208978	893	44433.98
N55	426162	9208981	894	44457.90
N56	426159	9208966	897	44578.65
N57	426156	9208963	898	43458.60
N58	426156	9208957	900	43946.03
N59	426156	9208954	903	43787.62
N60	426153	9208950	904	44246.13
N61	426147	9208944	906	43999.66
N62	426144	9208935	909	44045.69
N63	426147	9208929	910	43800.03
N64	426144	9208926	911	44335.34
N65	426135	9208917	914	44240.97
N66	426135	9208914	915	44239.52
N67	426141	9208904	915	44143.27
N68	426141	9208895	916	43933.71
N69	426141	9208892	915	43939.46

Titik	UTM X	UTM Y	Elevasi	Intensitas
				Medan Magnet Total (nT)
N70	426138	9208886	915	44200.11
N71	426132	9208880	917	44407.76
N72	426135	9208874	917	44787.99
N73	426132	9208867	917	44579.11
N74	426132	9208867	918	44474.74
N75	426135	9208858	920	44435.18
N76	426144	9208852	920	43905.53
N77	426144	9208846	920	43968.36
N78	426147	9208843	919	44291.68
N79	426147	9208834	920	44176.60
N80	426147	9208828	920	44494.65
N81	426147	9208825	920	44519.42
N82	426153	9208818	921	44038.00
N83	426150	9208809	920	43628.14
N84	426153	9208806	921	43874.73
N85	426147	9208794	921	43757.76
N86	426147	9208788	923	43699.01
N87	426144	9208778	921	43862.18
N88	426144	9208772	923	44021.02
N89	426147	9208769	924	44190.15
N90	426144	9208766	924	44294.01
N91	426144	9208766	924	44350.36
N92	426150	9208754	925	44474.19
N93	426147	9208748	925	44835.35
N94	426153	9208742	926	44857.89
N95	426147	9208729	926	44045.07
N96	426147	9208729	925	44527.59
N97	426147	9208729	926	45828.27
N98	426147	9208729	927	45531.72
N99	426153	9208726	926	45240.03
N100	426163	9208720	923	44726.20
N101	426163	9208720	920	45254.78
N102	426169	9208739	920	45870.27
N103	426178	9208739	920	45897.87
N104	426184	9208732	918	46146.48
N105	426187	9208732	917	47041.44

Titik	UTM X	UTM Y	Elevasi	Intensitas
				Medan Magnet Total (nT)
N106	426196	9208732	915	47146.86
N107	426202	9208726	914	47771.22
N108	426205	9208726	913	46634.15
N109	426212	9208729	913	47253.06
N110	426221	9208729	914	47561.57
N111	426227	9208720	913	47445.51
N112	426233	9208720	913	47549.23
N113	426239	9208717	913	46395.79
N114	426248	9208711	912	46164.70
N115	426255	9208711	913	46149.05
N116	426255	9208708	912	45587.64
N117	426258	9208708	911	45696.85
N118	426264	9208702	911	45124.86
N119	426267	9208702	912	45322.89
N120	426273	9208699	912	45220.08
N121	426273	9208699	911	45743.79
N122	426282	9208696	910	45817.20
N123	426276	9208693	911	44707.32
N124	426298	9208687	910	43881.91
N125	426301	9208683	909	43197.57
N126	426307	9208677	908	43220.69
N127	426301	9208671	907	43342.61
N128	426301	9208668	907	43654.99
N129	426304	9208674	907	43969.47
N130	426307	9208677	908	43907.02
N131	426313	9208671	908	44063.29
N132	426322	9208668	909	44161.83
N133	426331	9208668	907	44275.75
N134	426337	9208665	906	44386.43
N135	426341	9208668	905	44595.75
N136	426350	9208671	902	44250.35
N137	426350	9208677	899	43931.15
N138	426353	9208677	897	43892.42
N139	426365	9208671	896	43774.74
N140	426362	9208668	895	43848.40
N141	426365	9208662	894	43762.11

Titik	UTM X	UTM Y	Elevasi	Intensitas
				Medan Magnet Total (nT)
N142	426368	9208662	894	43791.75
Nbase	426103	9209300	842	44578.03
N143	426377	9208659	886	43800.42
N144	426387	9208662	885	43920.28
N145	426396	9208674	885	44048.41
N146	426399	9208656	885	43834.65
N147	426402	9208641	885	43702.10
N148	426402	9208631	884	43774.58
N149	426405	9208622	883	43746.11
N150	426423	9208622	883	43633.58
N151	426430	9208625	882	43439.05
N152	426426	9208628	883	43425.96
N153	426442	9208628	882	43526.12
N154	426436	9208625	881	43428.85
N155	426426	9208625	881	43470.37
N156	426420	9208628	879	43633.03
N157	426426	9208625	877	43436.46
N158	426411	9208607	876	43521.38
N159	426420	9208619	875	43631.08
N160	426426	9208619	874	43407.85
N161	426433	9208619	873	43602.42
N162	426430	9208619	875	43781.46
N163	426430	9208619	873	44006.28
N164	426430	9208619	873	44076.92
N165	426430	9208622	874	44218.79
N166	426445	9208635	874	44262.34
N167	426445	9208644	871	44323.20
N168	426445	9208644	869	44704.71
N169	426451	9208644	868	44782.67
N170	426451	9208644	867	44629.64
N171	426451	9208647	865	44495.03
N172	426454	9208628	871	44333.99
N173	426445	9208628	871	44234.81
N174	426445	9208631	871	44053.52
N175	426448	9208616	875	44244.29
N176	426454	9208616	877	43974.71

Titik	UTM X	UTM Y	Elevasi	Intensitas
				Medan Magnet Total (nT)
N177	426454	9208619	880	43899.16
N178	426466	9208595	882	43839.44
N179	426476	9208604	883	44071.54
N180	426476	9208604	884	44238.58
N181	426476	9208601	885	44261.82
N182	426479	9208601	885	44032.31
N183	426500	9208592	886	44036.49
N184	426497	9208585	888	44057.29
N185	426497	9208582	889	44095.20
N186	426497	9208576	891	44030.98
N187	426497	9208576	892	44114.00
N188	426500	9208576	893	44107.80
N189	426528	9208567	895	44050.63
N190	426512	9208567	896	43986.05
N191	426512	9208564	898	43998.83
N192	426512	9208564	898	44051.37
N193	426519	9208555	899	44214.66
N194	426522	9208536	901	44026.94
N195	426531	9208530	902	44098.61
N196	426531	9208530	905	43894.79
N197	426531	9208530	906	43795.66
N198	426537	9208524	905	43805.26
N199	426543	9208524	906	44012.11
N200	426546	9208518	908	44088.15
N201	426552	9208515	909	44105.79
N202	426555	9208515	910	44493.99
N203	426562	9208512	911	44370.93
N204	426565	9208509	913	44178.37
N205	426568	9208503	913	44200.16
N206	426574	9208500	914	44464.53
N207	426577	9208493	916	44348.02
N208	426577	9208490	918	44336.06
N209	426577	9208487	919	44072.74
N210	426577	9208478	919	44028.64
N211	426580	9208472	920	43805.27
N212	426580	9208466	922	43994.39

Titik	UTM X	UTM Y	Elevasi	Intensitas
				Medan Magnet Total (nT)
N213	426586	9208457	925	43763.11
N214	426592	9208450	926	44022.91
N215	426595	9208451	925	44008.87
N216	426602	9208435	926	43609.33
N217	426605	9208423	927	43613.18
N218	426602	9208411	929	43730.21
N219	426595	9208398	932	43879.94
N220	426605	9208380	933	44205.12
N221	426596	9208371	935	44203.64
N222	426596	9208365	936	44125.69
N223	426599	9208349	936	44507.73
N224	426602	9208349	936	44163.60
N225	426599	9208328	937	44204.44
N226	426617	9208334	937	44315.14
N227	426629	9208328	937	43985.65
N228	426614	9208365	944	43073.71
N229	426605	9208383	944	43786.20
N230	426583	9208411	950	43896.22
N231	426571	9208420	955	43915.39
N232	426562	9208432	959	45098.74
N233	426543	9208447	962	45036.61
N234	426528	9208453	964	45411.63
N235	426506	9208469	964	45387.98
N236	426491	9208478	965	45006.76
N237	426476	9208481	965	45171.33
N238	426473	9208469	965	44692.50
N239	426467	9208466	965	44763.03
N240	426442	9208463	966	45053.65
N241	426421	9208459	967	45250.91
N242	426402	9208453	967	43983.01
N243	426396	9208438	966	43978.28
N244	426384	9208447	968	44342.96
N245	426375	9208459	969	44664.79
N246	426359	9208466	969	44948.30
N247	426353	9208450	971	44450.67
N248	426338	9208444	971	44477.27

Titik	UTM X	UTM Y	Elevasi	Intensitas
				Medan Magnet Total (nT)
N249	426335	9208453	972	44306.69
N250	426325	9208472	973	44618.78
N251	426319	9208490	975	44680.08
N252	426307	9208496	977	45368.80
N253	426289	9208499	979	44912.58
N254	426273	9208508	986	44737.71
N255	426270	9208530	981	44646.26
N256	426261	9208545	982	44808.87
N257	426243	9208554	982	44797.08
N258	426224	9208551	983	45115.10
N259	426209	9208564	985	43746.79
N260	426196	9208576	989	45178.31
N261	426184	9208588	989	45020.47
N262	426172	9208600	988	44815.98
N263	426157	9208606	990	44961.26
N264	426138	9208597	990	45118.23
N265	426120	9208585	990	44690.63
N266	426104	9208588	989	45061.56
N267	426101	9208606	988	44919.90
N268	426092	9208619	985	44961.88
N269	426077	9208606	985	44030.59
N270	426062	9208600	984	44786.08
N271	426058	9208585	986	43845.06
N272	426049	9208563	986	44899.25
N273	426049	9208548	985	44819.08
N274	426046	9208530	986	45202.97
Nbase	426097	9209310	838	44533.69
Nbase	426103	9209310	841	44569.34
N275	426299	9209663	753	44194.00
N276	426302	9209672	752	44194.09
N277	426305	9209682	753	44225.69
N278	426308	9209691	753	44143.83
N279	426311	9209703	754	43645.76
N280	426314	9209715	756	44659.04
N281	426324	9209712	759	44924.80
N282	426330	9209706	762	44928.90

Titik	UTM X	UTM Y	Elevasi	Intensitas
				Medan Magnet Total (nT)
N283	426345	9209703	763	44811.07
N284	426342	9209700	764	44656.51
N285	426348	9209691	764	44639.56
N286	426367	9209691	764	44591.13
N287	426370	9209679	765	44436.73
N288	426376	9209666	765	44368.92
N289	426376	9209657	766	44422.13
N290	426388	9209651	767	44558.88
N291	426394	9209642	768	44568.36
N292	426397	9209636	770	44631.91
N293	426407	9209623	773	44409.39
N294	426419	9209620	774	44445.70
N295	426422	9209611	776	44545.69
N296	426428	9209602	778	44603.43
N297	426434	9209593	781	44577.01
N298	426440	9209587	782	44646.54
N299	426443	9209577	782	44598.58
N300	426456	9209571	783	44759.46
N301	426462	9209568	785	44687.28
N302	426462	9209559	785	44506.37
N303	426465	9209550	786	44467.26
N304	426471	9209550	787	44468.51
N305	426496	9209547	788	44498.92
N306	426486	9209544	789	44432.75
N307	426490	9209544	791	44309.60
N308	426502	9209525	793	44220.67
N309	426514	9209525	795	44282.04
N310	426533	9209525	796	44377.51
N311	426545	9209525	798	44509.93
N312	426560	9209516	800	44710.60
N313	426566	9209513	802	44443.05
N314	426579	9209507	802	44429.90
N315	426585	9209501	803	44371.05
N316	426588	9209492	803	44162.43
N317	426597	9209488	802	44465.18
N318	426603	9209479	802	43986.64

Titik	UTM X	UTM Y	Elevasi	Intensitas
				Medan Magnet Total (nT)
N319	426612	9209473	803	44158.76
N320	426622	9209464	803	43709.71
N321	426628	9209458	803	44097.53
N322	426640	9209455	804	44180.42
N323	426634	9209439	805	43911.09
N324	426637	9209430	805	44167.46
N325	426649	9209430	804	43937.26
N326	426646	9209446	803	44131.47
N327	426646	9209449	803	44145.66
N328	426646	9209461	802	44204.28
N329	426643	9209467	799	44077.94
N330	426637	9209470	797	44264.80
N331	426634	9209479	793	44181.35
N332	426634	9209492	791	43960.28
N333	426628	9209501	793	44125.58
N334	426621	9209510	792	44423.99
N335	426643	9209495	790	44098.10
N336	426649	9209492	793	44112.24
N337	426649	9209482	792	44264.07
N338	426671	9209479	794	44617.98
N339	426655	9209473	793	44089.14
N340	426658	9209467	794	44335.26
N341	426658	9209455	798	44208.56
N342	426665	9209427	800	43801.09
N343	426646	9209430	805	44102.66
N344	426649	9209421	805	44106.75
N345	426658	9209409	806	43994.15
N346	426658	9209409	806	44049.15
N347	426668	9209396	807	43872.03
N348	426674	9209387	807	44099.68
N349	426686	9209378	808	44237.42
N350	426698	9209372	809	43880.98
N351	426705	9209360	809	43616.37
N352	426708	9209357	808	43545.96
N353	426708	9209354	811	43381.14
N354	426705	9209338	816	43472.29

Titik	UTM X	UTM Y	Elevasi	Intensitas
				Medan Magnet Total (nT)
N355	426698	9209329	815	43643.34
N356	426711	9209320	816	43725.57
N357	426695	9209354	822	43263.67
N358	426705	9209372	826	43501.59
N359	426702	9209323	831	43464.63
N360	426708	9209400	838	43987.82
N361	426729	9209387	842	45253.24
N362	426741	9209394	846	46193.25
N363	426760	9209381	851	46330.35
N364	426769	9209375	855	45531.66
N365	426769	9209363	859	44876.50
N366	426763	9209347	862	44868.59
N367	426766	9209335	865	44896.22
N368	426766	9209320	866	45025.35
N369	426769	9209311	868	45027.06
N370	426775	9209295	871	44824.77
N371	426781	9209280	874	44943.38
N372	426781	9209268	880	44798.02
N373	426788	9209249	884	44670.04
N374	426794	9209237	886	44666.65
N375	426637	9209396	830	44065.67
N376	426631	9209390	835	44395.20
N377	426628	9209381	840	45005.64
N378	426640	9209372	843	45152.91
N379	426652	9209360	846	44869.87
N380	426662	9209344	850	44660.93
N381	426668	9209326	851	44271.32
N382	426671	9209317	852	44057.02
N383	426671	9209292	856	44200.71
N384	426671	9209280	860	42892.72
N385	426656	9209267	862	43157.42
N386	426656	9209255	861	44153.68
N387	426653	9209243	862	44377.60
N388	426650	9209224	863	44264.44
N389	426643	9209215	864	44203.72
N390	426650	9209209	868	44235.25

Titik	UTM X	UTM Y	Elevasi	Intensitas
				Medan Magnet Total (nT)
N391	426186	9209675	793	44718.54
N392	426051	9209423	828	43879.58
N393	426048	9209423	829	44024.33
N394	426045	9209429	829	44027.82
N395	426036	9209435	831	43993.67
N396	426027	9209448	833	44369.99
N397	426033	9209707	807	44746.93
N398	426031	9209612	813	44579.70
N399	426027	9209518	823	44420.16
N400	426027	9209416	833	44142.39
N401	426027	9209318	848	44603.84
N402	426029	9209219	859	44831.16
N403	426029	9209121	869	44795.48
N404	426027	9209022	891	44388.17
N405	426027	9208922	909	44423.83
N406	426029	9208824	919	44025.77
N407	426029	9208725	949	43848.24
N408	426029	9208625	976	44476.65
N409	426029	9208523	985	45153.05
N410	426029	9208428	982	45036.85
N411	426031	9208332	983	45060.63
N412	426219	9209713	777	44578.31
N413	426217	9209615	785	44395.76
N414	426219	9209520	800	44243.31
N415	426219	9209418	820	44299.65
N416	426219	9209320	836	44274.07
N417	426219	9209215	855	44608.37
N418	426221	9209121	870	44827.37
N419	426219	9209022	883	44712.39
N420	426219	9208924	903	44380.49
N421	426221	9208824	915	45076.56
N422	426221	9208725	913	47351.50
N423	426219	9208625	959	44760.57
N424	426219	9208525	988	44839.26
N425	426219	9208428	981	44735.79
N426	426217	9208330	979	44554.02
N427	426410	9209711	766	44781.41
N428	426412	9209615	774	44433.72

Titik	UTM X	UTM Y	Elevasi	Intensitas
				Medan Magnet Total (nT)
N429	426410	9209518	790	44275.34
N430	426410	9209418	818	44379.77
N431	426412	9209317	835	44466.73
N432	426410	9209219	859	44761.07
N433	426412	9209119	869	44679.29
N434	426410	9209022	875	44539.02
N435	426410	9208922	884	44661.96
N436	426412	9208824	887	44171.72
N437	426414	9208726	883	44352.64
N438	426410	9208627	881	43698.89
N439	426410	9208529	935	44515.74
N440	426408	9208428	968	44253.03
N441	426412	9208332	964	44189.99
N442	426600	9209711	780	44825.07
N443	426604	9209614	785	44798.42
N444	426602	9209518	795	44478.03
N445	426602	9209420	820	44264.94
N446	426604	9209318	856	44631.93
N447	426602	9209217	866	44368.40
N448	426604	9209119	878	44295.19
N449	426598	9209022	878	44401.21
N450	426604	9208922	881	44483.30
N451	426604	9208826	880	44350.54
N452	426602	9208726	881	44253.08
N453	426600	9208627	893	44164.99
N454	426602	9208525	911	44271.85
N455	426602	9208428	928	43656.15
N456	426604	9208330	936	44239.19
N457	426793	9209715	791	44606.23
N458	426791	9209614	788	44782.95
N459	426791	9209516	820	45537.89
N460	426789	9209416	850	46008.86
N461	426793	9209318	873	45129.84
N462	426789	9209215	885	44606.39
N463	426791	9209119	885	44604.69
N464	426789	9209022	886	44603.49
N465	426793	9208920	887	44532.28
N466	426791	9208824	893	44422.54
N467	426791	9208725	897	44391.72

Titik	UTM X	UTM Y	Elevasi	Intensitas
				Medan Magnet Total (nT)
N468	426791	9208625	902	44454.88
N469	426793	9208523	915	43997.99
N470	426793	9208429	916	43357.05
N471	426793	9208330	931	43537.13
Nbase	426097	9209297	846	44650.19

Lampiran 2. Dokumentasi Penelitian



Sumber Air Panas Gonoharjo



Sumber Air Panas Medini



Akuisisi Data Geomagnetik



**KEPUTUSAN
DEKAN FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG**
Nomor: 649/P/2014
Tentang
**PENETAPAN DOSEN PEMBIMBING SKRIPSI/TUGAS AKHIR SEMESTER
GASAL/GENAP
TAHUN AKADEMIK 2014/2015**

Menimbang : Bahwa untuk memperlancar mahasiswa Jurusan/Prodi Fisika/Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam membuat Skripsi/Tugas Akhir, maka perlu menetapkan Dosen-dosen Jurusan/Prodi Fisika/Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam UNNES untuk menjadi pembimbing.

Mengingat : 1. Undang-undang No.20 Tahun 2003 tentang Sistem Pendidikan Nasional (Tambahkan Lembaran Negara RI No.4301, penjelasan atas Lembaran Negara RI Tahun 2003, Nomor 78)
2. Peraturan Rektor No. 21 Tahun 2011 tentang Sistem Informasi Skripsi UNNES
3. SK. Rektor UNNES No. 164/O/2004 tentang Pedoman penyusunan Skripsi/Tugas Akhir Mahasiswa Strata Satu (S1) UNNES;
4. SK Rektor UNNES No.162/O/2004 tentang penyelenggaraan Pendidikan UNNES;

Menimbang : Usulan Ketua Jurusan/Prodi Fisika/Fisika Tanggal 21 Oktober 2014

MEMUTUSKAN

Menetapkan :
PERTAMA :

Menunjuk dan menugaskan kepada:

1. Nama : Dr. Supriyadi, M.Si.
NIP : 196505181991021001
Pangkat/Golongan : IV/A
Jabatan Akademik : Lektor Kepala
Sebagai Pembimbing I
2. Nama : Dr. Agus Yulianto, M.Si.
NIP : 196607051990031002
Pangkat/Golongan : III/D
Jabatan Akademik : Lektor Kepala
Sebagai Pembimbing II

Untuk membimbing mahasiswa penyusun skripsi/Tugas Akhir :

Nama : ENDAR WIDI SUGIYO
NIM : 4211411040
Jurusan/Prodi : Fisika/Fisika
Topik : Potensi Panasbumi Daerah Medini-Gonoharjo Berdasarkan Data Geomagnetik

KEDUA : Keputusan ini mulai berlaku sejak tanggal ditetapkan.

Tembusan
1. Pembantu Dekan Bidang Akademik
2. Ketua Jurusan
3. Petinggal

DITETAPKAN DI : SEMARANG
PADA TANGGAL : 22 Oktober 2014

DEKAN



Dr. Agus Yulianto, M.Si.
NIP. 196607051990031002

4211411040

....: FM-03-AKD-24/Rev. 00 :....



KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

Gedung D5 Kampus Sekaran Gunungpati Semarang - 50229
Telp. +62248508112/+62248508005 Fax. +62248508005
Website: <http://mipa.unnes.ac.id> Email: mipa@unnes.ac.id

No : *4262* /UN37.1.4/LT/2015
Lamp : -
Hal : Ijin Penelitian

Kepada

Yth Kepala Pengelola Wana Wisata Air Panas Nglimit

Dengan hormat,

Bersama ini, kami mohon ijin pelaksanaan penelitian untuk penyusunan skripsi/Tugas Akhir oleh mahasiswa sebagai berikut:

Nama : Endar Widi Sugiyo
NIM : 4211411040
Prodi : Fisika
Judul : Kajian Panas Bumi Daerah Medini–Gonoharjo Berdasarkan Data Geomagnetik
Tempat : Wana Wisata Air Panas Nglimit, Gonoharjo
Waktu : 1 September – 31 Desember 2014

Atas perhatian dan kerjasamanya disampaikan terima kasih.

28 Agustus 2014

Dekan,



Wiyanto
Prof. Dr. Wiyanto, M.Si

NIP. 19631012 198803 1 001

FM-05-AKD-24



KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
Gedung D7 Lt 2, Kampus Sekaran, Gunungpati, Semarang 50229
Telepon: 0248508034
Laman: . surel:

No. : 4585/UN 37.14/01/2015
Lamp. :
Hal : Surat Tugas Panitia Ujian Sarjana

Dengan ini kami tetapkan bahwa ujian Sarjana Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam UNNES untuk jurusan Fisika adalah sebagai berikut:

I. Susunan Panitia Ujian:

- a. Ketua : Prof. Dr. Wiyanto, M.Si.
- b. Sekretaris : Dr. Khumaedi, M.Si.
- c. Pembimbing Utama : Prof. Dr. Supriyadi, M.Si.
- d. Pembimbing Pendamping : Dr. Agus Yulianto, M.Si.
- e. Penguji : Dr. Suharto Linuwih, M.Si.

II. Calon yang diuji:

- Nama : ENDAR WIDI SUGIYO
- NIM/Jurusan/Program Studi : 4211411040/Fisika /Fisika, S1
- Judul Skripsi : Kajian Panas Bumi Daerah Medirni - Gonoharjo Berdasarkan Data Geomagnetik

II. Waktu dan Tempat Ujian:

- Hari/Tanggal : Rabu / 29 April 2015
- Jam : 10:00:00
- Tempat : D 7 L. 3
- Pakaian :



27.4.2015

- Tembusan
- 1. Ketua Jurusan Fisika
 - 2. Calon yang diuji

Wiyanto, M.Si.
NIP. 196310121988031001

4211411040