



**IDENTIFIKASI PANAS BUMI DI GEDONGSONGO
MENGUNAKAN METODE MAGNETIK**

Skripsi

disusun sebagai salah satu syarat

untuk memperoleh gelar Sarjana Sains

Program Studi Fisika

oleh
UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG
Bra Wandita Murbanendra
4211411052

**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG
2016**

PERNYATAAN

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

Semarang, 2016



Bra Wandita Murbanendra

4211411052

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

PERSETUJUAN PEMBIMBING

Skripsi yang berjudul

Identifikasi Panas Bumi Di Gedongsongo Menggunakan Metode Magnetik

disusun oleh

Bra Wandita Murbanendra

4211411052

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

Semarang, 12 April 2016

Pembimbing I

Pembimbing II



Dr. Khumaedi, M.Si.

NIP. 196306101989011002



UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG



Dr. Sulhadi, M.Si.

NIP. 197108161998021001

PENGESAHAN

Skripsi yang berjudul

Identifikasi Panas Bumi Di Gedongsongo Menggunakan Metode Magnetik.

disusun oleh

Bra Wandita Murbanendra

4211411052

telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian Skripsi FMIPA UNNES pada tanggal 19 April 2016.

Panitia:

Ketua



Prof. Dr. Zaenuri, S.E, M.Si, Akt.
NIP. 196412231988031001

Sekretaris

Dr. Suharto Linuwih, M.Si.
NIP 196807141996031005

Ketua Penguji

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

Anggota Penguji/
Pembimbing I

Dr. Khumaedi, M.Si.
NIP. 196306101989011002

Anggota Penguji/
Pembimbing II

Dr. Sulhadi, M.Si.
NIP. 197108161998021001

MOTTO

Seorang pemimpin tidak akan memberi ratapan tetapi memberi harapan, jangan pernah nyaman di atas ketidaknyamanan orang lain. Seperti sebuah orkestra, semua harus menampilkan yang terbaik untuk mendapatkan hasil yang terbaik.

(penulis)

Apanya yang susah? Semua akan mudah jika kita terus berlatih.

(Dr. Khumaedi, M.Si)

Ada cost yang di bayarkan dalam kehidupan ini, teruslah berbuat baik dan berpikirlah dahulu sebelum berbuat jahat

(Dr. Sulhadi, M.Si)

Bahagia adalah ketika kita tidak pernah menyesali apa yang sudah kita pilih

(Dr. Agus Yulianto M.Si)

Hadapi hari-harimu seperti itu hari terakhirmu

(Wijayanto)

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

PERSEMBAHAN

Spesial untuk keluarga tercinta dan keponakan Gheavinca

keluarga besar Mbah S. Parwi dan S. Soemowito

sahabat dan teman pendukung penelitian ini

PRAKATA

Salam bahagia,

Puji syukur kami panjatkan ke hadirat Tuhan YME karena dari berkah, rahmat, hidayah dan bimbinganya penulis dapat menyelesaikan penyusunan skripsi ini. Skripsi ini merupakan hasil penelitian panas bumi yang dimaksudkan untuk menambah informasi panas bumi di Indonesia.

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

1. Rektor Universitas Negeri Semarang.
2. Prof. Dr. Zaenuri, S.E, M.Si, Akt sebagai Dekan FMIPA UNNES.
3. Dr. Suharto Linuwih, M.Si. selaku Ketua Jurusan Fisika.
4. Dr. Khumaedi, M.Si. dan Dr. Sulhadi, M.Si. selaku pembimbing skripsi yang telah meluangkan waktu, nasehat, saran dan dukungan selama penyusunan skripsi.
5. Prof. Dr. Supriyadi, M.Si. selaku dosen penguji yang telah memberikan saran untuk penulis.
6. Isa Akhlis, S.Si, M.Si. selaku dosen wali yang telah membimbing dan memberikan saran dalam perkuliahan.
7. Segenap Bapak dan Ibu dosen, teknisi laboratorium, dan staff jurusan Fisika Universitas Negeri Semarang.
8. Bapak, Ibu, Kakak dan Keponakanku yang telah memberi dukungan, doa, dan kesempatan penulis untuk belajar.

9. Segenap Guru dan Wali Kelas selama menempuh pendidikan dari TK, SD, SMP dan SMA
10. Teman-teman yang terlibat dalam penelitian ini (Azizah, Naufal, John, Ada, Koen Dian).
11. Teman-teman jurusan Fisika 2011 dan KSGF UNNES yang selalu memberikan semangat belajar dan bertukar pikiran serta semua teman-teman yang tidak bisa saya sebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan skripsi ini masih belum sempurna dan banyak 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, 2016

Penulis

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

Bra Wandita Murbanendra

4211411052

ABSTRAK

Murbanendra, B. W. 2015. *Identifikasi Panas Bumi Di Gedongsongo Menggunakan Metode Magnetik*. Skripsi, Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Semarang. Pembimbing I, Dr. Khumaedi, M.SI. dan Pembimbing II, Dr. Sulhadi, M.Si.

Kata Kunci : panas bumi, metode magnetik, anomali magnetik.

Panas bumi di Indonesia sangat berpotensi untuk dimanfaatkan dalam banyak hal, salah satunya yang muncul di Gunung Ungaran. Oleh sebab itu dilakukan penelitian menggunakan metode magnetik di daerah panas bumi Gunung Ungaran. Penelitian ini bertujuan untuk memperoleh wilayah potensi wisata baru di sekitar area panas bumi Candi Gedongsongo, Gunung Ungaran. Pengambilan data dilakukan dengan menggunakan *Proton Precession Magnetometer (PPM)* model GSM-19T, (GPS) Garmin, dan kompas geologi. Data yang didapatkan diolah dengan melakukan koreksi diurnal, koreksi IGRF, kontinuitas ke atas, reduksi ke kutub dan pemodelan bawah permukaan menggunakan *software Surfer11, MagPick dan Mag2DC*. Didapatkan nilai anomali magnetik tinggi dan rendah di daerah studi, dimana nilai anomali magnetik rendah berhubungan dengan daerah potensi panas bumi. Pemodelan bawah permukaan diduga menunjukkan bahwa panas bumi Candi Gedongsongo terdiri dari empat lapisan yaitu, endapan laharik sebagai lapisan paling atas, lapisan kedua merupakan endapan sedimen piroklastik sebagai reservoir, lapisan ketiga merupakan basalt sebagai batuan teralterasi dan lapisan keempat merupakan andesit sebagai batuan penyebab panas. Berdasarkan hasil pemodelan, menunjukkan bahwa potensi panas bumi lebih dominan untuk dikembangkan ke arah selatan daerah penelitian. Pemodelan tersebut dapat digunakan untuk menggali potensi wisata baru di daerah tersebut yaitu dengan membuat taman pendidikan berupa demo PLTP skala kecil dan untuk taman relaksasi dengan memanfaatkan endapan belerang yang ada. Dengan demikian wilayah tersebut cocok untuk dibuat skenario perjalanan wisata panas bumi dengan membuat taman pendidikan dan taman relaksasi baru.

UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

ABSTRACT

Murbanendra, B. W. 2015. *Identifikasi Panas Bumi Di Gedongsongo Menggunakan Metode Magnetik*. Skripsi, Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Semarang. Pembimbing I, Dr. Khumaedi, M.SI. dan Pembimbing II, Dr. Sulhadi, M.Si.

Key word: geothermal, magnetic method, magnetic anomaly.

Geothermal in Indonesia is very potential to be used in many things, one of which appeared on Ungaran Mount. Therefore, the research done using magnetic methods in the area of geothermal Ungaran Mount. This study aimed to obtain new tourist potential areas around the geothermal area Gedongsongo Temple Mount Ungaran. Data were collected using a proton precession magnetometer (PPM) model of GSM-19T, (GPS) Garmin, and geological compass. The data obtained is processed in a diurnal correction, IGRF correction, upward continuation, reduction to the poles and subsurface modeling using software Surfer11, MagPick and Mag2DC. In get the value of high and low magnetic anomalies in the study area, where the value of low magnetic anomaly associated with geothermal potential of the area. Subsurface modeling allegedly shows that geothermal Gedongsongo temple consists of four layers, namely, the precipitate laharik as the uppermost layer, the second layer is a pyroclastic sediments as a reservoir, the third layer is a basalt rock teralterasi and fourth layers of rock is andesite as a cause of heat. Based on modeling results, show that the more dominant geothermal potential to be developed to the south of the study area. From the modeling can be used to explore the potential of new tours in the area of education is to create a garden in the form of geothermal power plants and small-scale PLTP demo to park relaxation by utilizing the existing sulfur deposits. Thus the region is suitable for scenarios created geothermal travel journey with a garden of education and the new relaxation park.



DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL.....	i
PERNYATAAN.....	ii
PERSETUJUAN PEMBIMBING.....	iii
PENGESAHAN	iv
MOTTO	v
PRAKATA.....	vi
ABSTRAK.....	viii
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xvi
BAB	1
1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Batasan Masalah.....	4
1.4 Tujuan Penelitian.....	4
1.5 Manfaat Penelitian.....	5
1.6 Sistematika Penulisan.....	5
2. TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 Geologi Daerah Sekitar	6
2.1.1 Geologi Permukaan.....	7
2.1.2 Geologi Bawah Permukaan.....	9
2.2 Panas Bumi.....	11
2.3 Sistem Panas Bumi.....	12
2.4 Manifestasi Panas Bumi	15

2.5	Pemanfaatan Energi Panas Bumi	16
2.6	Metode Magnetik	18
2.7	Gaya Magnetik	19
2.8	Kuat Medan Magnetik.....	20
2.9	Momen Dipole Magnetik	20
2.10	Intensitas Magnetik	21
2.11	Suseptibilitas Magnetik	21
2.12	Kemagnetan Sisa	24
2.13	Induksi Magnetik.....	25
3.	METODE PENELITIAN.....	27
3.1	Desain Penelitian	27
3.2	Studi Literatur.....	28
3.3	Lokasi Penelitian	28
3.4	Pengumpulan Data	29
3.5	Pengolahan Data.....	32
3.5.1	Koreksi Diurnal.....	33
3.5.2	Koreksi IGRF.....	33
3.5.3	Kontinuasi Ke Atas	34
3.5.4	Reduksi Ke Kutub.....	35
3.6	Analisis Data Penelitian	35
4.	HASIL DAN PEMBAHASAN.....	37
4.1	Intensitas Medan Magnet Total	37
4.2	Anomali Magnetik.....	44
4.3	Kontinuasi Ke Atas	47
4.4	Reduksi Ke Kutub	53
4.5	Pemodelan Bawah Permukaan	55
4.6	Distribusi Panas Bumi	58
4.7	Pemanfaatan Potensi Panas Bumi	62
4.8	Pembahasan	64
5.	PENUTUP.....	70
5.1	Simpulan.....	70

5.2	Saran.....	70
	DAFTAR PUSTAKA	71
	LAMPIRAN.....	74



DAFTAR TABEL

Tabel		Halaman
Tabel 2.1	Suseptibilitas Magnetik Berbagai Batuan dan Mineral (Telford <i>et al.</i> ,1990)	23
Tabel 3.1	Data Pengamatan	31
Tabel 4.1	Data Hasil Pengamatan	38
Tabel 4.2	Parameter Medan Magnet Utama Bumi Daerah Penelitian...	43



DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
Gambar 1.1 Rangkaian Gunungapi Merapi-Merbabu-Telomoyo-Ungaran...	1
Gambar 2.1 Peta geologi Gunung Ungaran, Kab. Semarang, Jawa Tengah (Thanden <i>et al.</i> , 1996). Tanda segi empat adalah daerah panas bumi Gedongsongo.....	8
Gambar 2.2 Skema Sistem Panas Bumi.....	13
Gambar 3.1 Diagram Alur Penelitian.....	27
Gambar 3.2 Lokasi Penelitian.....	28
Gambar 3.3 Daerah Pengambilan Data Magnetik.....	29
Gambar 3.4 <i>Proton Precession Magnetometer</i> GSM-19T.....	30
Gambar 3.5 Tampilan Website NGDC Untuk Mendapatkan Nilai IGRF....	34
Gambar 4.1 Peta Kontur Intensitas Medan Magnet Total.....	39
Gambar 4.2 Peta Kontur Anomali Medan Magnetik.....	46
Gambar 4.3 (a) Peta Kontur Kontinuasi Ke Atas 0 m.....	49
Gambar 4.3 (b) Peta Kontur Kontinuasi Ke Atas 25 m.....	49
Gambar 4.3 (c) Peta Kontur Kontinuasi Ke Atas 50 m.....	50
Gambar 4.3 (d)Peta Kontur Kontinuasi Ke Atas 100 m.....	50
Gambar 4.4 Penggabungan Peta Kontur Hasil Kontinuasi.....	51
Gambar 4.5 Anomali Magnetik dan Anomali Magnetik Hasil Reduksi Ke Kutub (Blakely, 1995).....	53
Gambar 4.6 Kontur Reduksi Ke Kutub Terhadap Hasil Kontinuasi 50 m....	54
Gambar 4.7 Sayatan AA' dan BB' Pada Data Kontinuasi dan Reduksi	

ke Kutub 50 meter.....	56
Gambar 4.8 Model Bawah Permukaan Hasil Penyayatan AA'.....	56
Gambar 4.9 Model Bawah Permukaan Hasil Penyayatan BB'.....	57
Gambar 4.10 Anomali Magnetik Daerah Penelitian Dari <i>Surface3D</i>	59



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
Lampiran Data Pengamatan.....	74
Lampiran Dokumentasi Penelitian.....	76



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Berdasarkan survei geologis, Indonesia memiliki 299 prospek panas bumi yang tersebar di sepanjang jalur vulkanik yang dimulai dari bagian barat Sumatera, berlanjut ke Pulau Jawa, Bali, Nusa Tenggara, selanjutnya berbelok ke arah utara melalui Maluku dan Sulawesi (Royana, 2013: 18). Rangkaian jalur vulkanik itu disebut lingkaran sabuk gunung api dimana hal ini mengakibatkan Indonesia memiliki potensi panas bumi yang besar.

Sumber panas bumi itu sendiri bisa ditemukan pada daerah gunungapi karena sumber panasnya adalah magma yang berada di dalam kantong magma. Untuk memanfaatkan potensi panas bumi suatu area dibutuhkan suatu proses penelitian yang bertujuan untuk mengidentifikasi sistem panas buminya.

Deretan gunungapi yang ada di Indonesia salah satunya ada di sekitar Pulau Jawa, yaitu deretan gunungapi Merapi-Merbabu-Telomoyo-Ungaran seperti yang diperlihatkan pada Gambar 1.1. Panjang deretan gunungapi ini adalah 40 km dengan Merapi-Merbabu 10 km dan Merbabu-Ungaran 30 km (Wulandari, 2014).



Gambar 1.1 Rangkaian Gunungapi Merapi-Merbabu-Telomoyo-Ungaran

Salah satu daerah dengan prospek panas bumi adalah Gunung Ungaran yang terletak dalam kabupaten Semarang, Jawa Tengah. Hal ini dapat dibuktikan dengan munculnya manifestasi panas bumi di beberapa tempat seperti yang ada di wilayah Gunung Ungaran yaitu Gedongsongo. Manifestasi yang dapat dijumpai berupa fumarol, mata air panas, tanah panas dan batuan teralterasi. Gunung Ungaran merupakan salah satu daerah prospek panas bumi yang belum dikembangkan dengan potensi 50 MWe (Tarmidzi, 2013).

Keprospekan panas bumi yang ada di Indonesia kebanyakan belum dimanfaatkan dengan baik pada daerah tertentu. Seperti yang ada di lapangan panas bumi Candi Gedongsongo, Gunung Ungaran. Pemanfaatan panas bumi di daerah tersebut masih sebatas wisata kecil seperti pemandian air panas, padahal daerah tersebut bisa digunakan sebagai daerah dengan potensi wisata yang sangat tinggi dengan cara menggali potensi yang belum dimanfaatkan di daerah tersebut.

Pemanfaatan panas bumi merupakan hasil serangkaian penelitian untuk mengidentifikasi panas bumi di suatu 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 dengan prospek panas bumi. Geofisika bagian dari ilmu kebumihan yang mempelajari sesuatu yang ada di 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. Penerapan metode geofisika meliputi metode gaya berat, magnetik, potensial, polarisasi, geolistrik, seismik, dan elektromagnetik. Salah satu metode yang digunakan adalah metode geomagnetik. Metode geomagnetik dapat digunakan untuk menentukan struktur geologi bawah permukaan seperti patahan, lipatan, intrusi batuan beku, dan reservoir panas bumi (Santosa, 2013: 328). Target pengukuran metode geomagnetik adalah anomali magnetik yang dihasilkan dari respon mineral bermagnet dalam batuan di kerak bumi. Kemampuan batuan untuk termagnetisasi tergantung pada susceptibilitas magnetik dari batuan tersebut. Sifat magnet ini ada karena pengaruh dari medan magnet bumi pada waktu pembentukan batuan tersebut. Perbedaan sifat kemagnetan meningkatkan keberadaan medan magnet bumi yang tidak homogen atau disebut anomali magnetik. Metode magnetik bekerja berdasarkan pengukuran variasi intensitas medan magnet di permukaan bumi yang disebabkan karena perbedaan sifat magnetisasi batuan di kerak bumi (Rusli, 2009: 15).

Pada survey geothermal atau panas bumi metode magnetik digunakan untuk mengidentifikasi tipe batuan beku atau *hot rock* yang berperan sebagai sumber panas. Secara garis besar terdapat dua sistem sumber panas yaitu sistem vulkanis aktif dan sistem selain vulkanis. Daerah panas bumi dengan tipe vulkanik aktif memiliki temperatur tinggi lebih dari 180°C. Temperatur tinggi akan mengakibatkan demagnetisasi pada batuan yang mengakibatkan nilai anomali magnetik menjadi rendah. Tipe vulkanik tidak aktif akan memungkinkan nilai anomali magnetik bernilai tinggi karena tidak terdapat proses demagnetisasi yang

menghilangkan sifat kemagnetan batuan. Oleh karenanya tipe batuan sumber panas akan lebih mudah terdeteksi melalui metode magnetik (Rosid, 2008).

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang, maka permasalahan pada penelitian ini dapat dirumuskan sebagai berikut:

- a. Distribusi nilai medan magnet total daerah Candi Gedongsongo.
- b. Persebaran anomali magnetik daerah Candi Gedongsongo berdasarkan data geomagnetik.
- c. Distribusi panas bumi daerah penelitian berdasarkan data geomagnetik.

1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam penelitian ini, yaitu:

- a. Lokasi dalam penelitian ini berada pada lintang $7^{\circ}12'4.60''S$ sampai $7^{\circ}12'4.60''S$ dan bujur $110^{\circ}20'16.10''E$ sampai $110^{\circ}20'24.15''E$
- b. Mengkaji sebaran panas bumi daerah penelitian.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah untuk:

- a. Mengetahui distribusi panas bumi daerah penelitian berdasarkan data geomagnetik.
- b. Mendapatkan daerah yang berpotensi untuk dibuat wisata baru di sekitar lapangan panas bumi Candi Gedongsongo melalui pemetaan data magnetik.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini antara lain :

- a. Menambah informasi terkait sistem panas bumi di lokasi penelitian untuk keperluan pengembangan dan pembangunan lanjutan potensi panas bumi.
- b. Untuk menambah basis data sumber energi terbarukan berupa energi panas bumi di Indonesia.
- c. Sebagai kajian riset perkembangan ilmu pengetahuan khususnya di bidang geofisika eksplorasi.

1.6 Sistematika Penulisan

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

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, berisi 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.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Geologi Daerah Sekitar

Lokasi penelitian terletak di wilayah candi Gedongsongo Gunung Ungaran yang berada di Kabupaten Semarang Jawa Tengah. Gunung Ungaran merupakan suatu komplek gunungapi yang terbentuk akibat depresi tektonik-gunungapi (*volcano-tectonic depression*). Depresi tersebut berupa suatu lekukan besar dan memanjang yang pembentukannya sangat dipengaruhi oleh proses tektonik dan vulkanik pada daerah dataran tinggi dengan material berupa produk gunungapi (Bemmelen, 1970). Gunung Ungaran terletak di bagian paling timur Pegunungan Serayu Utara dengan ketinggian 2.050 mdpl. Gunung Ungaran dibagian tengah hingga utara membentuk perbukitan bergelombang lemah, batuanannya 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 atas basal olivin, andesit piroksen, andesit hornblende dan gabro (Rezky *et al.*, 2012).

Pada dasarnya 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. 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 dan piroklastik 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. Produk letusan Gunung Ungaran Tua ini kemudian diendapkan diatas Formasi Damar secara tidak selaras yang disebut Formasi Notopuro. Pada periode kedua ini berakhir bersamaan dengan terjadinya sistem sesar volkano-tekonik sehingga Gunung Ungaran tua hancur. Pada periode kedua ini menghasilkan tiga blok bagian yang dikelilingi oleh suatu sistem sesar cincin, dimana pada Formasi Notopuro terlipat dan terjadi beberapa kerucut parasit seperti Gunung Turun, Gunung Kendalisodo dan Gunung Mergi. Periode ketiga, Gunung Ungaran Muda terbentuk melalui pusat letusan Gunung Ungaran Tua yang menghasilkan banyak aliran lava yang berkomposisi antara basaltik dan andesitik (Gaffar *et al.*, 2007: 99).

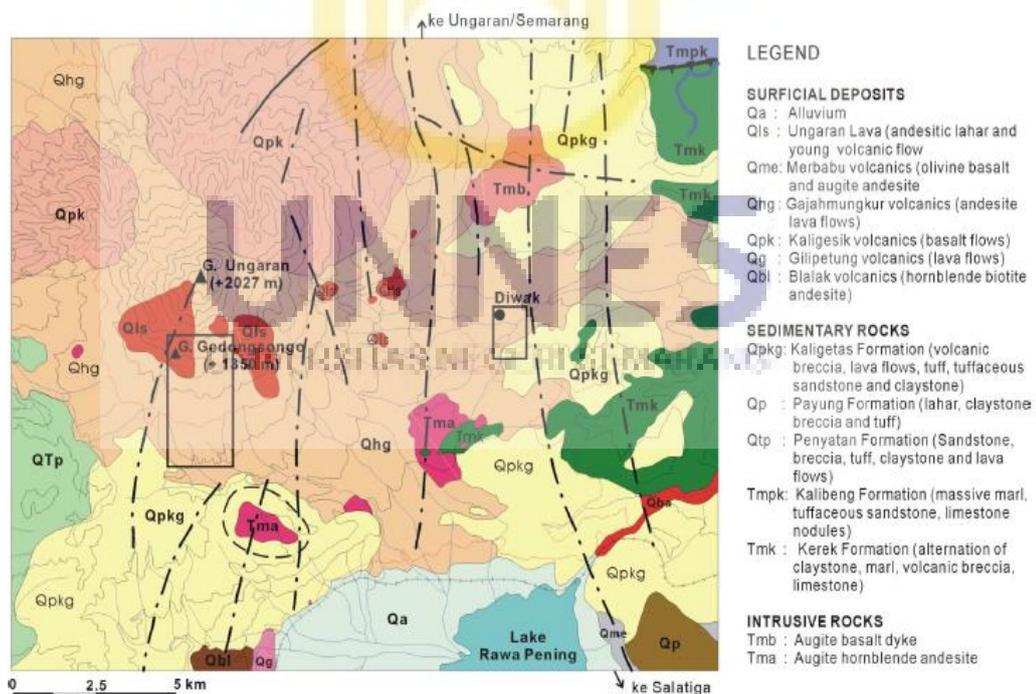
2.1.1 Geologi Permukaan

Geologi permukaan Gunung Ungaran didominasi oleh batuan vulkanik berumur kuartar. Sistem panas bumi yang berkembang di Gunung Ungaran berada pada zona depresi dimana muncul kerucut-kerucut muda di dalam depresi tersebut, seperti Gunung Gugon dan Gunung Mergi. Menurut Budiarjo *et al.* (1997), stratigrafi Gunung Ungaran dan sekitarnya dari yang tertua hingga termuda adalah batu gamping vulkanik, breksi vulkanik I (termasuk Formasi Penyayatan), batu pasir vulkanik (termasuk Formasi Kaligetas), batu lempung vulkanik (termasuk Formasi Kerek), lava andesit I (batuan Gunungapi Gajahmungkur), andesit porfiritik I (termasuk Formasi Penyayatan), breksi

vulkanik II (batuan Gunungapi Kaligesik) , breksi vulkanik III, andesit porifiritik II, lava andesit II, alluvium.

Morfologi Gunung Ungaran di bagian Selatan tersusun oleh batupasir vulkanik dan breksi berumur kuartar. Di bagian tengah hingga utara tersusun oleh breksi vulkanik Ungaran Tua dan formasi Kalibiuk yang ditutupi endapan alluvial di bagian utara. Komposisi batuan yang terdapat di Gunung Ungaran cukup bervariasi, terdiri atas basal olivin, andesit piroksen, andesit hornblende dan gabro. Batuan ubahan dijumpai di sekitar Gedongsongo yang ditunjukkan oleh munculnya mineral-mineral halosit, kaolinit, silika amorf, kristobalit, ilit, markasit, dan pirit (Rezky *et al.*, 2012).

Penyebaran satuan batuan geologi permukaan Gunung Ungaran dapat dilihat pada peta geologi yang ditunjukkan pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Peta geologi Gunung Ungaran, Kab. Semarang, Jawa Tengah (Thanden *et al.*, 1996). Tanda segi empat adalah daerah panas bumi Gedongsongo

2.1.2 Geologi Bawah Permukaan

Geologi bawah permukaan Gunung Ungaran didapatkan berdasarkan studi yang telah banyak dilakukan pada prospek panas bumi Gunung Ungaran secara geologi, geokimia dan geofisika.

Pada penelitian geokimia, manifestasi panas bumi Gedongsongo terdiri dari fumarol yang memiliki suhu paling tinggi bertemperatur 86°C, mata air panas bertemperatur 50°C dan pH asam (1,5-5.5), tanah panas dan batuan ubahan. Estimasi temperatur reservoir berdasarkan geotermometer kimia air panas berkisar $\pm 189^{\circ}$ -236°C. Komposisi gas dari fumarol Gedongsongo mencirikan gas yang sangat dipengaruhi unsur magmatis dengan temperatur lebih dari 300°C (Zarkasyi *et al.*, 2011).

Pada studi geofisika seperti yang dijelaskan oleh Gaffar *et al.* (2007), dibawah lapisan permukaan dijumpai zona sangat konduktif dengan tahanan jenis lebih kecil dari 10 ohm-m. Dari model dapat ditentukan ketebalan zona konduktif adalah tidak kurang dari 1000 m. Lapisan tersebut diduga merupakan breksi yang banyak mengalami rekahan dan bercampur dengan bahan piroklastik produk gunung api Ungaran. Selain itu, nilai tahanan jenis yang sangat rendah ini diduga merupakan pencerminan dari hadirnya cairan hidrotermal yang banyak mengandung larutan elektrolit hasil pelarutan dengan batuan dimana ia berada. Pada model tahanan jenis hasil inversi 2-D data magnetotelurik untuk lintasan barat-timur memberikan gambaran distribusi nilai tahanan jenis yang agak berbeda dengan lintasan utara selatan. Berdasarkan nilai tahanan jenis, secara umum model menunjukkan adanya tiga lapisan utama yakni lapisan atas, lapisan

tengah dan lapisan bawah. Lapisan atas atau permukaan ini memiliki ketebalan antara beberapa puluh meter sampai sekitar 200 meter menebal dari arah barat ke timur. Lapisan ini dicirikan oleh nilai tahanan jenis antara 300-3000 ohm-m.

Dalam penelitian geofisika lain yang dilakukan oleh Wulandari (2014) dengan melakukan pemodelan bawah permukaan pada area manifestasi Gedongsongo menunjukkan bahwa: “sistem pengontrol dari manifestasi panas bumi Gedongsongo yaitu andesit sebagai batuan sumber panas yang memiliki nilai suseptibilitas sebesar 0,00014 emu, basalt sebagai batuan alterasi dengan 0,0036 emu, sedimen klastik sebagai reservoir 0,0026 emu, dan endapan laharik sebagai lapisan paling atas 0,0016 emu.”

Dalam penelitian yang juga dilakukan di daerah panas bumi Gedongsongo oleh Indarto *et al.* (2006) bahwa: “batuan yang terdapat di daerah lapangan panas bumi Gedongsongo adalah breksi laharik berselang-seling dengan batuan aliran lava basaltik, intrusi andesit piroksen dekat permukaan, batuan alterasi dan bom yang berkomposisi andesit basaltik. Kemudian breksi laharik dengan fragmen andesit basaltik diasumsikan sebagai batuan reservoir, dan aliran lava basaltik sebagai batuan penutup (*cap rocks*).”

Kemudian menurut Rezky *et al.* (2012), mengatakan bahwa: “adanya tubuh vulkanik dengan densitas 2,7-2,9 gr/cm³ terindikasi di bawah Gunung Ungaran berada pada kedalaman 25-400 meter. Hal ini dapat diperkuat oleh kehadiran mineral apatit dan biotit sekunder pada kedalaman 10-400,35 meter yang mengindikasikan proses alterasi yang berkaitan dengan intrusi. Lapisan konduktif di daerah Gedongsongo disisipi oleh lapisan batuan dengan ketahanan

jenis 11-15 ohmmeter sedangkan untuk tahanan jenis <10 ohmmeter memiliki ketebalan sekitar 1.400 meter.”

2.2 Panas Bumi

Panas bumi adalah sebuah sumber panas yang terdapat dan terbentuk di dalam kerak 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 semuanya tidak dapat dipisahkan dalam suatu sistem panas bumi dan untuk pemanfaatannya diperlukan proses penambangan (Broto *et al.*, 2011: 80). Ada beberapa jenis panas bumi, yaitu reservoir hidrotermal (*hydrothermal reservoir*), reservoir bertekanan tinggi (*geopressed reservoir*), reservoir batuan panas kering (*hot dry rock reservoir*), dan reservoir magma (*magma reservoir*).

Daerah panas bumi bertemperatur tinggi (lebih dari 180°C) yang bisa dimanfaatkan sebagai pembangkit listrik, sebagian besar terdapat pada sistem magmatik vulkanik aktif. Sementara, pemanfaatan energi panas bumi untuk pemanfaatan langsung (*direct use*) bisa diperoleh menggunakan sistem magmatik vulkanik aktif dan sistem selain magmatik vulkanik aktif. Sistem magmatik vulkanik aktif yang memiliki temperatur tinggi umumnya terdapat di sekitar pertemuan antar lempeng samudra dan lempeng benua.

Sistem panas bumi di Indonesia umumnya berupa sistem hidrotermal, yaitu sistem panas bumi dimana reservoirnya mengandung uap, air atau campuran keduanya. Menurut Saptadji (2009), Sistem hidrotermal dikelompokan menjadi tiga, yaitu:

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

2.3 Sistem Panas Bumi

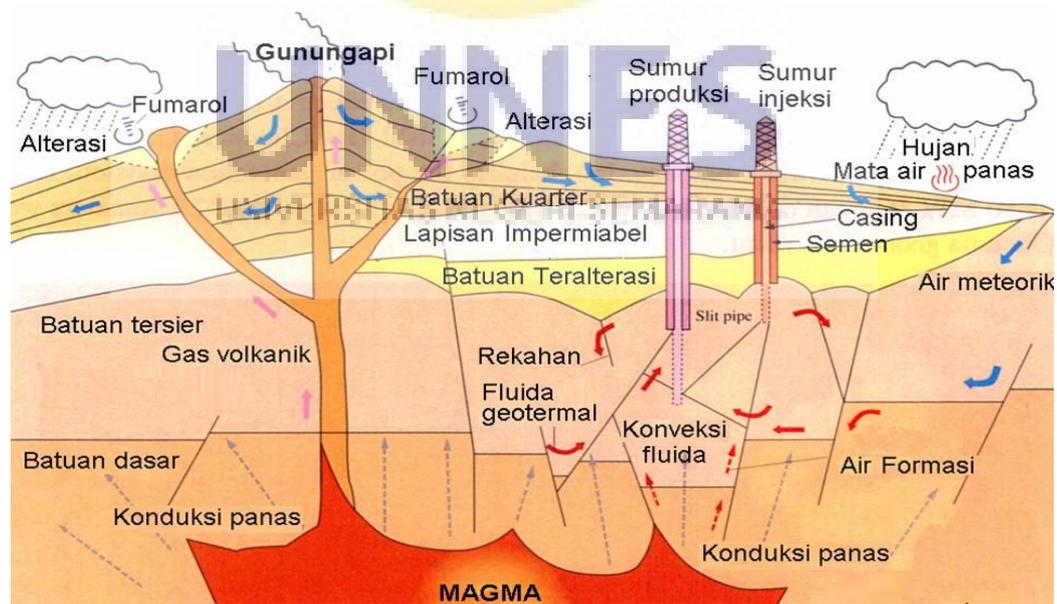
Sistem panas bumi merupakan energi yang tersimpan dalam bentuk air panas atau uap panas pada kondisi geologi tertentu pada kedalaman beberapa kilometer didalam kerak bumi. Sistem panas bumi meliputi panas dan fluida memindahkan panas ke arah permukaan. Adanya konsentrasi energi panas pada sistem panas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

Indonesia terletak di jalur gunung api oleh sebab itu umumnya mempunyai temperatur yang cukup tinggi yang ada kaitannya dengan kegiatan pada gunung api muda, oleh sebab itu pada daerah ini sistem panas bumi dapat diklasifikasikan pada 2 kategori, yaitu :

- a. Sistem panas bumi yang terkait dengan gunung api aktif (resen) saat sekarang mempunyai temperatur tinggi dan juga mempunyai kandungan gas magmatik yang tinggi serta mempunyai permeabilitas bawah permukaan yang relatif kecil. Dilihat dari kebanyakan tempat yang ada sistem panas bumi ini tidak tersebar luas dan hanya terbatas di cerobong gunung apinya.
- b. Sistem panas bumi yang berkaitan dengan gunung api kuarter yang sudah tidak aktif dan berumur lebih tua.

Sistem panas bumi terdiri atas 4 hal yang utama yaitu, batuan reservoir permeable, sistem hidrologi yang membawa air dari reservoir ke permukaan, sumber panas (*heat source*), serta *cap rock* atau *clay cap*. Dari sudut pandang geologi sumber energi panas bumi berasal dari magma yang berada di dalam bumi. 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 dapat menerobos ke permukaan seperti yang diperlihatkan pada Gambar 2.2.

Sistem panas bumi mencakup sistem hidrotermal, yang merupakan sistem tata air, proses pemanasan dan kondisi sistem dimana air yang terpanasi terkumpul. Sehingga sistem panas bumi mempunyai syarat harus tersedianya air, batuan pemanas, batuan sarang dan batuan penutup. Air disini umumnya berasal dari air meteorik yang berasal dari atmosfer.



Gambar 2.2 Skema Sistem Panas Bumi

Magma tersebut menghantarkan panas secara konduktif pada batuan disekitarnya. Panas tersebut juga mengakibatkan aliran konveksi fluida hidrotermal di dalam pori-pori batuan. Kemudian fluida hidrotermal ini akan bergerak ke atas namun tidak sampai ke permukaan karena tertahan oleh lapisan batuan yang bersifat impermeable. Lokasi tempat terakumulasinya fluida hidrotermal tersebut adalah reservoir panas bumi. Dengan adanya lapisan impermeable tadi, maka hidrotermal yang terdapat pada reservoir panas bumi terpisah dengan *groundwater* yang lebih dangkal. Dengan ini jelas bahwa sumber energi yang berpotensi dan bernilai ekonomis dapat dijumpai di daerah tertentu dengan lokasi yang khas.

Sistem panas bumi berasal 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 tersebut merambat melalui batuan secara konduksi dan melalui fluida secara konveksi. Interaksi panas dengan batuan membentuk lapisan penudung sebagai tempat terakumulasinya fluida yang terjebak dan merupakan batas pada batuan reservoir. Reservoir tersebut dapat menyimpan fluida panas dan mengalirkan karena tekanan, temperatur dan berat jenis.

Pengamatan panas bumi dapat dengan mudah dijumpai keberadaanya dengan cara mencari keberadaan manifestasi panas bumi. Jika di suatu tempat dijumpai atau ditemukan fumarol dan mata air panas, maka dapat dipastikan bahwa dibawahnya terdapat sumber panas bumi yang membuat temperatur air

tanah meningkat dan membuat air tersebut keluar ke permukaan tanah sebagai mata air panas.

2.4 Manifestasi Panas Bumi

Manifestasi merupakan gejala di permukaan yang merupakan ciri terdapatnya potensi energi panas bumi. Adanya kegiatan panas bumi dinyatakan oleh munculnya manifestasi di permukaan yang menandakan bahwa fluida hidrotermal yang berasal dari reservoir telah keluar melalui rekahan batuan.

Manifestasi panas bumi dapat dijumpai di sekitar wilayah yang terdapat sumber panas di permukaannya. Menurut *Broto et al.* (2011), pada daerah panas bumi, manifestasi yang dapat dijumpai sangat beragam, diantaranya tanah panas, tanah beruap, kolam air panas, kolam lumpur panas, air panas, fumarol, dan *geyser*.

Salah satu wilayah yang dapat dijumpai manifestasi panas buminya adalah di lereng selatan Gunung Ungaran tepatnya di daerah Gedongsongo dimana menunjukkan bahwa adanya keberadaan panas dipermukaannya. Manifestasi ini terdiri atas fumarol, mata air panas, tanah panas, dan batuan ubahan.

Fumarol merupakan uap panas (*vapour*) yang mengandung butiran-butiran air yang keluar melalui celah-celah dalam batuan yang mengandung SO_2 dan CO_2 . Mata air panas adalah mata air yang dihasilkan akibat keluarnya air tanah dari kerak bumi setelah dipanaskan secara geothermal. Air yang merembes di dalam kerak bumi, dipanaskan oleh permukaan batuan yang panas dan air yang telah terpanaskan keluar di mata air panas. Tanah panas menandakan adanya sumber panas bumi di bawah permukaan dapat ditunjukkan dengan adanya tanah yang

memiliki temperatur yang lebih tinggi dari temperatur tanah disekitarnya. Hal ini terjadi karena adanya perpindahan panas secara konduksi dari batuan bawah permukaan ke batuan permukaan. Sedangkan untuk batuan alterasi merupakan batuan yang mengalami ubahan karena alterasi berarti mengubah mineral batuan. Mineral lama yang terbentuk berubah menjadi mineral baru karena telah terjadi perubahan kondisi. Perubahan ini dapat disebabkan oleh perubahan suhu, tekanan, kondisi kimia atau kombinasinya. Alterasi hidrotermal merupakan perubahan mineralogi sebagai hasil interaksi batuan dengan fluida panas, yang di sebut hidrotermal.

Manifestasi panas bumi ini terbentuk karena aktifitas uap yaitu fumarol dan beberapa *steaming ground*. Manifestasi panas bumi daerah Gedongsongo berada pada dua jalur lembah yang saling berdekatan, dengan ditemukannya jalur lembah tersebut maka diduga merupakan jalur patahan sehingga fluida hidrotermal lebih mudah untuk naik ke permukaan.

2.5 Pemanfaatan Energi Panas Bumi

Energi panas bumi merupakan energi panas yang tersimpan didalam batuan di bawah permukaan bumi dan fluida yang terkandung didalamnya. Pemanfaatan energi panas bumi ini dikelompokkan menjadi 2, yaitu pemanfaatan untuk pembangkit listrik (*geothermal power plant*) dan pemanfaatan panas bumi untuk sektor non listrik (*geothermal direct use*) atau pemanfaatan secara langsung. Karakteristik pemanfaatan sumber panas bumi baik untuk pembangkit listrik maupun pemanfaatan secara langsung adalah bersih, berkelanjutan dan terbarukan.

Sejak jaman dahulu manusia sudah memanfaatkan energi panas bumi untuk berbagai kebutuhan. Meningkatnya kebutuhan akan energi serta meningkatnya harga minyak telah memicu banyak negara untuk mengurangi ketergantungan terhadap minyak dengan cara memanfaatkan energi panas bumi. Saat ini energi panas bumi telah dimanfaatkan banyak negara untuk pembangkit listrik termasuk di Indonesia. Sedangkan untuk pemanfaatan sektor non listrik juga telah banyak dilakukan.

Pemanfaatan air panas atau uap panas yang dihasilkan dari manifestasi fumarol serta mata air panas yang terdapat di daerah panas bumi Gedongsongo dapat dimanfaatkan secara langsung seperti yang dijelaskan oleh Wahyudi (2006), misalnya untuk pemandian air panas, kolam renang, pengeringan produk pertanian, budidaya perikanan, dan pemanasan ruangan.

Potensi energi di wilayah Candi Gedongsongo sangat besar. Seperti penelitian yang dilakukan oleh Nugroho (2013) bahwa potensi yang dihasilkan dari panas bumi Gedongsongo dihasilkan sebesar 197 Mwe. Potensi sebesar itu baru dimanfaatkan sebagai pemandian air panas. Melihat dari potensi panas bumi Candi Gedongsongo yang sangat besar, sebetulnya daerah tersebut dapat dimanfaatkan untuk hal lain seperti taman pendidikan dengan cara memaksimalkan potensi daerah tersebut.

Pemanfaatan panas bumi hanya dapat dilakukan di daerah dengan ciri khas tertentu seperti daerah yang muncul manifestasi panas bumi di permukaannya.

2.6 Metode Magnetik

Metode magnetik merupakan salah satu metode geofisika yang dapat digunakan untuk mengetahui sifat-sifat magnetik batuan dibawah permukaan bumi akibat pengaruh dari batuan yang termagnetisasi. Salah satu pengukuran yang dapat dilakukan pada metode magnetik adalah untuk mengukur variasi medan magnetik di permukaan bumi. Metode magnetik bekerja berdasarkan pengukuran variasi kecil intensitas medan magnet dipermukaan bumi yang disebabkan karena perbedaan antar sifat magnetisasi batuan di kerak bumi sehingga meningkatkan munculnya medan magnet bumi yang tidak homogen atau disebut anomali magnetik (Santosa, 2013). Variasi intensitas medan magnetik yang terukur dapat dijadikan sebagai penafsiran dari distribusi magnetik setiap batuan yang ada di bawah permukaan dan kemudian dapat menjadi dasar pendugaan kondisi geologi daerah tersebut. Dalam metode magnetik ini sangat dipengaruhi oleh variasi arah dan besar vektor magnetisasi.

Asal medan magnet bumi belum di pahami dengan jelas (Nitzsche, 2007), tetapi secara umum dihubungkan dengan arus listrik yang mengalir berputar di dalam inti bumi bagian luar. Medan magnet utama yang terukur di permukaan bumi hampir seluruhnya disebabkan oleh sumber dari dalam bumi (Sarkowi, 2010).

Berbagai penelitian menggunakan metode magnetik telah banyak dilakukan. Seperti yang dijelaskan oleh (Santosa, 2013) bahwa metode magnetik dapat digunakan untuk menentukan struktur geologi bawah permukaan seperti patahan, lipatan, intrusi batuan beku atau reservoir panas bumi. Penerapan metode ini

sering dilakukan sebagai langkah awal dalam kegiatan eksplorasi minyak bumi, panas bumi, serta dapat di terapkan pada pencarian benda arkeologi. Adanya anomali dari fisik batuan dapat dijadikan langkah awal untuk penggunaan metode geomagnetik. Penelitian menggunakan metode magnetik ini bisa dilakukan melalui darat, laut dan udara.

Variasi medan magnet di suatu daerah dapat digunakan sebagai studi awal untuk kegiatan eksplorasi panas bumi. Umumnya batuan panas bumi memiliki nilai kerentanan magnetik yang rendah dibandingkan dengan batuan lain disekitarnya, hal ini dikarenakan perekaman magnetisasi oleh alterasi hidrotermal sehingga mengubah mineral yang ada menjadi mineral yang memiliki kerentanan magnetik yang kecil.

2.7 Gaya Magnetik

Dasar dari metode magnetik adalah gaya Coulomb F (dyne) dimana apabila terdapat dua kutub magnetik p_1 dan p_2 (emu) yang berjarak r (cm), maka akan terjadi gaya Coulomb yang dinyatakan pada persamaan (2.1)

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

Dengan μ_0 adalah permeabilitas medium dalam ruang hampa, tidak berdimensi, dan berharga satu. Kemudian r_1 menunjukkan vektor satuan dengan arah dari p_1 ke p_2 . Besar dari nilai μ_0 dalam satuan SI adalah $4\pi \times 10^{-7} \text{ N/A}^2$ (Telford *et al.*, 1990).

2.8 Kuat Medan Magnetik

Kuat medan magnet \vec{H} pada suatu titik yang berjarak r dari kutub magnet p_1 didefinisikan sebagai gaya F persatuan kuat kutub magnet seperti yang dinyatakan dalam persamaan (2.2)

$$\vec{H} = \frac{F}{p_2} = \frac{p_1}{\mu_0 r^2} \vec{r}_1 \quad (2.2)$$

Satuan kuat medan magnetik \vec{H} dalam SI adalah Ampere/meter (A/m), sedangkan dalam satuan cgs adalah oersted, dimana oersted adalah 1 dyne/unit kutub dan \vec{r}_1 menunjukkan vektor satuan dengan arah dari p_1 ke p_2 .

2.9 Momen Dipole Magnetik

Di alam ini, kutub magnet selalu berpasangan atau disebut dipole. Dipole magnet sendiri dapat diandaikan sebagai dua kutub magnet dengan kuat $+p$ dan $-p$ dan terpisah pada jarak $2l$. Momen dipole magnetik dinyatakan sesuai persamaan (2.3)

$$m = 2lp \vec{r}_1 \quad (2.3)$$

m merupakan sebuah vektor dengan arah satuan \vec{r}_1 dari kutub negatif menuju kutub positif (Telford *et al.*, 1990). Arah momen magnetik dari atom material non-magnetik adalah tidak beraturan, sehingga momen magnetik resultannya menjadi nol. Sebaliknya, di dalam material bermagnet atom-atom material tersebut teratur sehingga momen magnetik resultannya tidak nol.

2.10 Intensitas Magnetik

Intensitas magnetisasi adalah besaran yang menyatakan seberapa besar intensitas kesearahan arah momen magnetik dalam suatu material yang diakibatkan dari medan magnet luar bumi yang mempengaruhi. Menurut Telford *et al.* (1990), material bermagnet yang ditempatkan pada suatu medan magnet dengan kuat medan \vec{H} , maka akan termagnetisasi karena induksi. Kemagnetan sendiri diukur berdasarkan polarisasi \vec{M} (juga disebut intensitas magnetik atau momen dipole m persatuan volume V dan dinyatakan pada persamaan (2.4)

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

Satuan magnetik dalam SI adalah Am^{-1} sedangkan dalam cgs adalah gauss.

2.11 Suseptibilitas Magnetik

Suseptibilitas magnetik digunakan untuk menentukan derajat suatu material magnetik untuk mampu termagnetisasi (Telford *et al.*, 1990). Pada penerapan aplikasi geofisika, metode magnetik ini akan tergantung pada pengukuran langsung yang didapatkan dari anomali medan magnet lokal yang dihasilkan dari variasi intensitas magnetisasi dalam formasi batuan di wilayah tersebut. Sebagian intensitas magnetik pada material batuan disebabkan magnetisasi permanen yang dihasilkan dari induksi magnet bumi dan yang lainnya. Intensitas induksi magnet sendiri bergantung pada suseptibilitas suatu batuan serta gaya magnetnya. Suseptibilitas magnetik dirumuskan seperti persamaan (2.5)

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

Suseptibilitas merupakan parameter dasar untuk pemanfaatan penggunaan metode magnetik. Dimana semakin besar nilai suseptibilitas batuan maka akan semakin banyak mineral yang bersifat magnetik didalamnya. Sifat magnetik dari material penyusun batuan (suseptibilitas) dipengaruhi oleh temperatur. Pada tahun 1895, Pierre Curie melaporkan pengukuran skematik pertama tentang suseptibilitas berbagai bahan pada jangkauan temperatur yang panjang. Pierre Curie menemukan, bahwa suseptibilitas (χ_m) tidak bergantung pada temperatur untuk material diamagnetik tetapi berubah secara berkebalikan dengan temperatur absolut untuk paramagnetik yang dinyatakan dalam persamaan (2.6).

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

Persamaan (2.6) adalah Hukum Currie, dimana C adalah konstanta Currie per gram. Munculnya Hukum Currie-Weiss didorong oleh hipotesis medan molekuler oleh Pierre Weiss tahun 1906. Hukum Currie-Weiss dinyatakan dalam persamaan (2.7)

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

Hukum Currie-Weiss sesuai dengan macam-macam material paramagnetik. θ merupakan konstanta dalam dimensi temperatur untuk setiap satu bahan dan sama dengan nol untuk bahan yang mematuhi Hukum Currie. Nilai θ berhubungan dengan medan molekuler H_m dimana $\theta = \rho\gamma C$ dan $H_m = \gamma M$

(γ adalah koefisien medan molekuler). Nilai suseptibilitas magnetik suatu batuan dan mineral dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Suseptibilitas Magnetik berbagai batuan dan mineral (Telford *et al.*,1990).

Jenis	Suseptibilitas X 10 ³ (SI)	
	Rentang	Rata-rata
Sedimen		
Dolomit	0 – 0,9	0,1
Limestone	0 – 3	0,3
Sandstone	0 – 20	0,4
Shale	0,01 – 15	0,6
Rata-rata 48 batuan sedimen	0 - 18	0,9
Metamorf		0,7
Amphibolite	0,3 – 3	1,4
Sekis		1,5
Filit	0,1 – 25	
Gneiss		4
Kuarsa	3 – 17	
Serpentinit	0 – 35	6
Slate	0 – 70	
Rata-rata 61 batuan metamorf		4,2
Batuan Beku		
Granit	0 – 50	2,5
Rhiolit	0,2 – 35	
Dolorit	0 - 35	17
Augite-syenite	30 – 40	
Olivin-diabas		25
Diabas	1 - 160	55
Prophiri	0,3 – 200	60
Gabbro	1 - 90	70
Basalt	0,2 – 175	70
Diorit	0,6 – 120	85
Pyroxenite		125
Peridotite	90 – 200	150
Andesit		160

Rata-rata batuan beku asam	0 – 80	8
Rata-rata batuan beku basa	0,5 - 97	25
Mineral		
Graphite		0,1
Kuarsa		-0,01
Batu garam		-0,01
Anhydrite, gypsum		-0,01
Kalsit	(-0,001) – (-0,01)	
Coal		0,02
Lempung		0,2
Chalcopyrite		0,4
Sphalerite		0,7
Cassiterite		0,9
Siderite	1 - 4	
Pyrite	0,05 – 5	1,5
Liamonite		2,5
Arsenopyrite		3
Hematite	0,5 – 35	6,5
Chromite	3 - 110	7
Franklinite		430
Pyrrhotite	1 - 6000	1500
Ilmenite	300 - 3500	1800
Magnetite	1200 - 19200	6000

2.12 Kemagnetan Sisa

Kemagnetan batuan bergantung pada medan magnet yang dimiliki di bumi dan kemagnetan batuan atau material itu sendiri. Kemagnetan sisa yang terjadi saat pembentukan batuan disebut kemagnetan sisa alami (*Natural Remanent Magnetism /NRM*) dan secara umum dibagi menjadi 6 (enam) komponen utama, yaitu:

a. Kemagnetan Sisa Kimia (*Chemical Remanent Magnetism*)

Kemagnetan sisa kimia terbentuk ketika ukuran butiran batuan magnetik mengalami perubahan (rekristalisasi), sebagai akibat

proses kimia pada temperatur jauh di bawah titik Curie (400° - 700° C) dari suatu bentuk ke bentuk lainnya.

b. Kemagnetan Sisa Panas (*Thermoremanent Magnetism*)

Kemagnetan sisa panas terbentuknya ketika batuan beku mengalami pendinginan dari proses pemanasan.

c. Kemagnetan Sisa Detrial (*Detrial Remanent Magnetism*)

Kemagnetan sisa detrial terjadi pada saat pembentukan batuan sedimen yang mengandung mineral ferromagnetik.

d. Kemagnetan Sisa Viskos (*Viscous Remanent Magnetism*)

Dihasilkan dari imbasan medan magnet luar secara terus-menerus dengan temperatur yang berubah-ubah.

e. Kemagnetan Sisa Panas Tetap (*Isothermal Remanent Magnetism*)

Kemagnetan sisa panas tetap ini berasal dari suhu tetap yang mendapat imbasan medan magnet dari luar secara sesaat.

f. Kemagnetan Sisa Depositional (*Depositional Remanent Magnetism*)

Kemagnetan sisa deposisional terjadi selamapengendapan butiran batuan dalam suatu lembah atau cekungan yang mendapat imbasan medan magnet bumi.

2.13 Induksi Magnetik

Induksi magnetik adalah kuat medan magnet akibat adanya arus listrik yang mengalir dalam konduktor.

Apabila suatu bahan magnetik yang diletakkan dalam medan luar \vec{H} maka benda tersebut akan termagnetisasi dan menghasilkan medan tersendiri \vec{M} yang

meningkatkan nilai total medan magnetik induksi \vec{B} bahan tersebut. Dimana nilai induksi medan magnet total \vec{B} tersebut dapat terukur oleh magnetometer sebagai jumlah dari medan magnet pada benda dengan medan magnet utama. Medan magnet induksi dapat dinyatakan dalam persamaan (2.8)

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

Satuan B dalam cgs adalah gauss dan dalam SI adalah tesla (T) dan nanotesla (nT). Medan magnet terukur di permukaan bumi oleh magnetometer adalah medan magnet induksi.

Keterkaitan antara sifat kemagnetan dalam metode geomagnetik dan temperatur pada sistem panas bumi dapat ditunjukkan pada persamaan (2.9) dan (2.10) yang didapatkan dari substitusi dari persamaan (2.5) dan (2.7) sebagai berikut

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

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

BAB 5

PENUTUP

5.1 Simpulan

1. Distribusi nilai medan magnet daerah panas bumi Candi Gedongsongo berhubungan dengan dominasi dan sebaran luas nilai anomali magnetik negatif yang disebabkan oleh penurunan sifat kemagnetan batuan karena pengaruh panas pada alterasi hidrotermal sistem panas bumi dan ditandai dengan munculnya beberapa manifestasi di permukaan.
2. Adanya sebaran nilai anomali magnetik rendah menunjukkan bahwa daerah tersebut sangat prospek sehingga dapat dikembangkan lebih banyak potensi terutama pada bidang pariwisata.
3. Daerah panas bumi Candi Gedongsongo dapat dieksplor untuk taman pendidikan dengan skenario perjalanan panas bumi dengan memanfaatkan potensi dan melakukan kajian di daerah tersebut.

5.2 Saran

1. Pada pengukuran geomagnetik sebaiknya menggunakan dua alat magnetometer agar perubahan medan magnet luar dapat teramati lebih detail dan teliti.
2. Melakukan pengukuran magnetik dengan memperluas area survei agar mendapatkan kelanjutan dari anomali magnetik rendah dalam menentukan sistem panas bumi yang ada di Candi Gedongsongo.

DAFTAR PUSTAKA

- Bemmelen, R. W. V. 1970. *The Geology of Indonesia*. Vol. IA General Geology of Indonesia and Adjacent Archipelagoes. Second Edition. Martinus Nijhoff The Hague, Netherlands.
- Blakely, R. J. 1995. *Potential Theory in Gravity & Magnetic Applications*. Xix + 441 pp. Cambridge, New York, Port Chester, Melbourne, Sydney: Cambridge University Press.
- Broto, S. dan T. T. Putranto. 2011. Aplikasi Metode Geomagnet Dalam Eksplorasi Panas bumi. *TEKNIK*, 32(1): 79-87.
- Budiardjo, B., Nugroho dan M. Budihardi. 1997. Resource Characteristics of the Ungaran Field. Central Java. Indonesia. *Proceeding of National Seminar of Human Resources Indonesian Geologist*. Fakultas Teknologi Mineral. Universitas Pembangunan Nasional "Veteran": Yogyakarta.
- Cullity, B. D. dan C. D. Graham. 2009. *Introduction To Magnetic Materials 2nd Edition*. Canada : IEEE Press.
- Gaffar, E. Z., D. D. Wardhana dan D. S. Widarto. 2007. Studi Geofisika Terpadu di Lereng Selatan G. Ungaran, Jawa Tengah, dan Implikasinya Terhadap Struktur Panas bumi. *Jurnal Meteorologi dan Geofisika*.
- Indarto, S., D. S. Widarto., E. G. Zulkarnaen, dan I. Setiawan. 2006. Studi Batuan Vulkanik dan Batuan Ubahan Pada Lapangan Panas bumi Gedongsongo Kompleks Gunungapi Ungaran Jawa Tengah. *RISSET*. Geologi dan Pertambangan Jilid 16 (1).
- Indratmoko, D., M. I. Nurwidyanto dan T. Yulianto. 2009. Interpretasi Bawah Permukaan Daerah Manifestasi Emas Dengan Menggunakan Metode Magnetik di Papandayan Garut Jawa Barat. *Berkala Fisika*, 12 (4).
- Kahfi, R. A. dan 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.
- Nitzsche, T. 2007. Origin of magnetic anomalies in pyroclastic rocks of the Messel Volcano : insights into a maar-diatreme-structure. *Thesis*. Institut fur Geologie der Universitat Wurzburg.
- Nugroho, B. S. 2013. Potensi dan Keekonomian Lapangan Panas bumi Daerah Gedongsongo Kompleks Gunungapi Ungaran Kabupaten Semarang Propinsi Jawa Tengah. *Thesis*. Yogyakarta : UPN Veteran Yogyakarta.

- 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.
- Rosid & Syamsu. (2008). *Geomagnetic Method Lecture Note*. Physics Departement, FMIPA UI. Depok.
- 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. 2002, "Teknik Panas bumi". Bandung: Institut Teknologi Bandung
- Saptadji, N. M. 2009. *Karakterisasi Reservoir Panas Bumi*. Bandung : ITB.
- Sarkowi, M. 2010. *Pengantar Teknik Geofisika*. Lampung : UNILA.
- Sugiyono, E. W. 2015. *Kajian Panas Bumi Daerah Medini – Gonoharjo Berdasarkan Data Geomagnetik*. Skripsi. Semarang: Universitas Negeri Semarang.
- Suyanto, I. 2012. *Pemodelan Bawah Permukaan Gunung Merapi Dari Analisis Data Magnetik Dengan Menggunakan Software Geosoft*. Laporan Penelitian. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.
- Syabarudin., S.B. Samudro., I. Nursanto dan P. Utami. 2003. Pemetaan Fasies Vulkanik Pada Daerah Prospek Panas bumi Gunung Ungaran, Jawa Tengah (laporan kemajuan). *Proceedings*. IAGI dan HAGI, Jakarta.
- Tarmidzi. 2013. *Kajian Aliran Fluida di Manifestasi Geothermal Candi Gedongsongo Berdasarkan Data Geofisika*. Universitas Diponegoro, Semarang.
- Telford, W.M., L.P. Geldart, dan R.E. Sheriff. 1990. *Applied Geophysics, second edition*. Cambridge: University Press, London.

- Thanden, R.E., Sumadirdja, H, Richards, P.W, Sutisna, K. & T.C. Amin. 1996. *Peta Geologi Lembar Magelang dan Semarang, Jawa*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.
- Wahyudi. 2006. Kajian Potensi Panas Bumi dan Rekomendasi Pemanfaatannya pada Daerah Prospek Gunungapi Ungaran Jawa Tengah. *Makalah*: 41-49. Yogyakarta: UGM.
- Wulandari, I. 2014. Analisis Sistem Panas bumi Pada Area Manifestasi Gedongsongo Dengan Menggunakan Metode Geomagnetik. *Skripsi*. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada
- 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.

