

## ANALIS POTENSI PANAS BUMI DENGAN METODE GEOMAGNETIK DI DAERAH GEDONG SONGO UNGERAN JAWA TENGAH

Fatimah<sup>1a)</sup>, Audi Tri Lavanto<sup>2)</sup>, Bekti Gunawan<sup>1)</sup>, Odhi Febriarto<sup>1)</sup>

<sup>1</sup> Jurusan Teknik Geologi Sekolah Tinggi Teknologi Nasional Yogyakarta

<sup>2</sup> Jurusan Teknik Geofisika, Fakultas Teknologi Mineral, University Pembangunan Nasional "VETERAN"  
Yogyakarta

<sup>a)</sup>fatimah@sttnas.ac.id

### Abstrak

Panas bumi adalah energi terbarukan dan berkelanjutan bisa menggantikan energi fosil di masa depan. Indikasi sistem panas bumi biasanya ditandai dengan munculnya manifestasi permukaan, bisa termasuk sumber air panas, fumarol, kolam lumpur. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui energi panas bumi di bawah permukaan dan membuat model sistem panas bumi berdasarkan analisis survei geologi, geokimia dan geomagnetik. Geologi Ungaran itu sendiri disusun oleh batuan vulkanik Tersier dari Miosen sampai Pleistosen. Struktur di Ungaran dikontrol oleh patahan yang mengarah ke barat daya - timur laut, yang merupakan bagian dari struktur keruntuhan, sehingga mata air panas dan uap dari reservoir keluar melalui zona lemah dan muncul di permukaan. Analisis geokimia dengan pengambilan sampel fluida di Klepu dan Gedongsongo menunjukkan perbedaan, Gedongsongo menunjukkan kadar belerang (alkali) lebih tinggi. Dari peta Geomagnetik yang menunjukkan tingkat magnetik rendah berkisar antara -185 sampai -3,3 nT yang ditafsirkan sebagai sumber panas di Ungaran meluas ke utara Gedongsongo.

**Kata kunci:** Gedong Songo, Panas Bumi, Magnetik

### Abstract

*Geothermal is a renewable and sustainable energy that can replace fossil energy in the future. Indications of geothermal systems are usually characterized by the emergence of surface manifestations, may include hot springs, fumaroles, mud pools. This research was conducted to determine geothermal energy below surface and to model geothermal system based on geological, geochemical and geomagnetic survey. Ungaran geology itself is composed by Tertiary volcanic rock from the Miocene to the Pleistocene. The structure at Ungaran is controlled by a fault that leads to the southwest - northeast, which is part of the collapse structure, so that the hot springs and steam from the reservoir exit through the weak zone and appear on the surface. Geochemical analysis with fluid sampling in Klepu and Gedongsongo showed differences, Gedongsongo showed higher levels of sulfur (alkali). From Geomagnetic maps showing low magnetic levels ranging from -185 to -3.3 nT interpreted as a source of heat in Ungaran extends north of Gedongsongo.*

**Keyword:** Gedong Songo, Geothermal, Magnetic

### Pendahuluan

Panas bumi merupakan salah satu energi terbarukan yang diharapkan mampu mengurangi pemakaian dan ketergantungan terhadap energi fosil. Indonesia memiliki potensi besar akan keberadaan energi panasbumi, karena sesuai demgam letaknya yang berada pada gugusan gunung api dan zona lempeng aktif dunia atau yang dikenal sebagai Ring of Fire. Oleh karena itu, di Indonesia banyak terdapat jajaran pegunungan yang menyimpan potensi panasbumi, salah satunya adalah Gunung Ungaran yang terletak di Provinsi Jawa Tengah, tepatnya berada di kabupaten Semarang dan kabupaten Kendal. Salah satu manifestasi panasbumi yang terdapat di Gunung Ungaran berada di daerah Gedong Songo yang terletak di lereng selatan Gunung Ungaran.

Berbagai metode geofisika sudah pernah dilakukan untuk memastikan dan memperkirakan potensi panasbumi di lereng Gunung Ungaran. Beberapa penelitian tersebut dilakukan di lereng utara dan lereng selatan Gunung Ungaran. Penelitian yang pernah dilakukan di lereng utara salah satunya menggunakan metode geomagnet [3], yang menyimpulkan struktur geologi bawah permukaan lereng utara merupakan sesar turun, pada batas antara endapan piroklastik dengan nilai suseptibilitas 0,0269 emu

dan basalt dengan nilai suseptibilitas 0,0014 emu. Sesar ini menjadi zona lemah yang diterobos oleh fluida panas yang muncul ke permukaan pada daerah Ngelimut dan Medini. Pada lereng selatan pernah dilakukan di Gedong Songo menggunakan metode geofisika seperti metode *Spontaneous-Potential (SP)* dan suhu oleh [5] yang menyimpulkan bahwa suhu di daerah fumarol meningkat pada tahun 2010 dengan aliran fluida di Gedong Songo mengarah ke tenggara, metode geolistrik konfigurasi *Schlumberger* oleh [6] menyimpulkan bahwa manifestasi panasbumi yang muncul ke permukaan berasal dari patahan atau sesar turun dan daerah sekitar manifestasi panasbumi Gedong Songo sebagian besar merupakan lapisan lempung, metode gaya berat oleh [8] menunjukkan lapisan utama penyusun Gunung Ungaran adalah batuan andesit formasi Gajah Mungkur dengan massa jenis 2,49 gr/cm<sup>3</sup>, batuan lava andesit dari formasi lava sumbing dengan massa jenis 2,48 gr/cm<sup>3</sup> dan batuan basalt dari formasi Kaligesik dengan massa jenis 2,60 gr/cm<sup>3</sup>, kemudian metode numerik yang dilakukan oleh [7] memperkirakan potensi panasbumi Gunung Ungaran sebesar 40,2 Mwe.

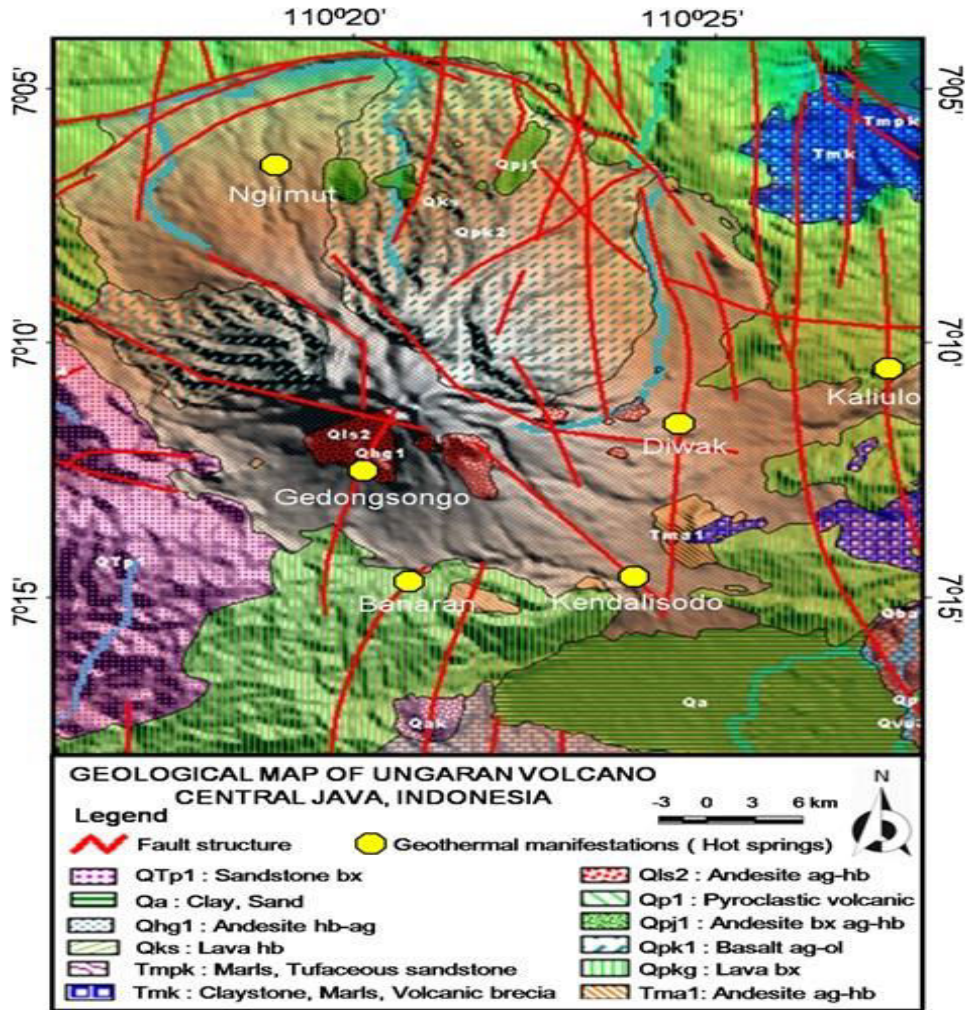
Metode geofisika yang dilakukan pada penelitian ini adalah metode geomagnet. Metode geomagnet, merupakan metode geofisika *non-seismik* yang dapat digunakan untuk menginterpretasikan lapisan bawah permukaan beserta jenis batuan berdasarkan intensitas medan magnet yang terukur di permukaan. Variasi intensitas medan magnet di permukaan yang berbeda ini menunjukkan adanya anomali magnetik, dimana anomali magnetik umumnya disebabkan karena adanya perbedaan nilai suseptibilitas pada batuan penyusun daerah tersebut. Nilai suseptibilitas merupakan nilai yang menyatakan kemampuan suatu benda atau batuan untuk dapat termagnetisasi. Pendugaan jenis batuan didasarkan pada nilai suseptibilitas magnetik yang berbeda yang dimiliki setiap batuan. Pada daerah manifestasi panas bumi umumnya ditunjukkan dengan anomali negatif dan batuan pada daerah tersebut memiliki nilai suseptibilitas yang rendah karena mengalami proses alterasi. Namun karena hasil pengukuran intensitas medan magnet di permukaan masih dipengaruhi oleh medan magnet luar dan bersifat *dipole* (dwi kutub), maka perlu dilakukan koreksi pada data tersebut dengan melakukan koreksi variasi harian, koreksi (*International Geomagnetic Reference Field*) IGRF dan untuk memudahkan proses interpretasi, maka sifat *dipole* nya harus dihilangkan dengan melakukan reduksi ke kutub sehingga diperoleh anomali medan magnet yang bersifat *monopole*. Selanjutnya dilakukan kontinuitas keatas (*Upward Continuation*) guna memisahkan anomali lokal dan regional. Tahapan terakhir adalah melakukan interpretasi baik secara kualitatif maupun kuantitatif [2].

### **Tinjauan Pustaka**

#### **Geologi Gunung Ungaran**

Gunung Ungaran merupakan gunung dengan tipe strato vulkanik yang terdiri dari batuan andesit dan basalt. Produk dari bentuk strato vulkanik bersinggungan dengan formasi tersier [4]. Menurut [1] Gunung Ungaran selama perkembangannya mengalami ambrolan tektonik yang diakibatkan oleh pergeseran gaya berat karena dasarnya yang lemah. Gunung Ungaran tersebut memperlihatkan dua angkatan pertumbuhan yang dipisahkan oleh dua kali robohan. Ungaran pertama menghasilkan batuan andesit di Kala Pliosen Bawah, di Pliosen Tengah hasilnya lebih bersifat andesit dan berakhir dengan robohan. Daur kedua mulai di Kala Pliosen Atas dan Holosen. Kegiatan tersebut menghasilkan daur Ungaran kedua dan ketiga. [10] menjelaskan stratigafi dari Gunung Ungaran yang terdiri dari batuan lava andesit, lava perlitik dan breksia vulkanik selama daur Ungaran kedua dan ketiga, seperti ditunjukkan pada Gambar 1. Komposisi batuan yang terdapat di Gunung Ungaran cukup bervariasi, terdiri dari 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. Batuan ubahan tersebut terdapat dekat fumarol dan mata air panas di sepanjang aliran Sungai Item. Asosiasi kelompok mineral ubahan yang terbentuk menunjukkan temperatur bawah permukaan lapangan panasbumi Gedongsongo berkisar antara 70° - 200°C dan bersifat asam.

Sistem panasbumi yang berkembang di Gunung Ungaran secara geologi berada di zona depresi dengan litologi permukaan didominasi oleh batuan vulkanik berumur Kuartar berupa kerucut-kerucut muda. Struktur amblesan vulkanik (depresi) yang memanjang dari barat hingga tenggara mengontrol sistem panasbumi 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 [1].



Gambar 1. Peta Geologi Ungaran modifikasi berdasarkan citra landsat TM satelit tahun 1995

**Metode Geomagnetik**

Metode geomagnetik merupakan salah satu metode geofisika yang sering digunakan untuk survei pendahuluan pada eksplorasi minyak bumi, panas bumi, batuan mineral, maupun untuk keperluan pemantauan (monitoring) gunung api. Metode ini mempunyai akurasi pengukuran yang relatif tinggi, instrument dan pengoperasian di lapangan relatif sederhana, mudah dan cepat jika dibandingkan dengan metode geofisika lainnya. Koreksi pembacaan praktis tidak perlu dilakukan.

Pada umumnya peta anomali medan magnetik (untuk geofisika terapan biasanya digunakan medan total atau medan vertikal) bersifat agak kompleks. Variasi medan lebih tak menentu dan terlokalisir sebagai akibat dari medan magnetik *dipole* yang merupakan besaran vektor. Peta anomali magnetik menunjukkan sejumlah besar anomali residu (sisa) yang merupakan hasil variasi yang besar bagian mineral magnetik yang terkandung dalam batuan dekat permukaan. Sebagai akibat dari hal-hal tersebut di atas, maka interpretasi yang tepat dalam metode geomagnetik relatif lebih sulit.

**Gaya Magnetik**

Dasar dari metode magnetik adalah gaya Coulomb antara dua kutub magnetik  $m_1$  dan  $m_2$  (e.m.u) yang berjarak  $r$  (cm) dalam bentuk:

$$\vec{F} = \frac{m_1 m_2}{\mu_0 r^2} \vec{r} \quad (\text{dyne}) \quad (1)$$

dengan  $\mu_0$  adalah permeabilitas medium dalam ruang hampa, tidak berdimensi dan berharga satu [9]

### Kuat Medan Magnet

Kuat medan magnet ( $\vec{H}$ ) pada suatu titik yang berjarak  $r$  dari  $m_1$  didefinisikan sebagai gaya per satuan kuat kutub magnet, dapat dituliskan sebagai:

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

### Metode Penelitian

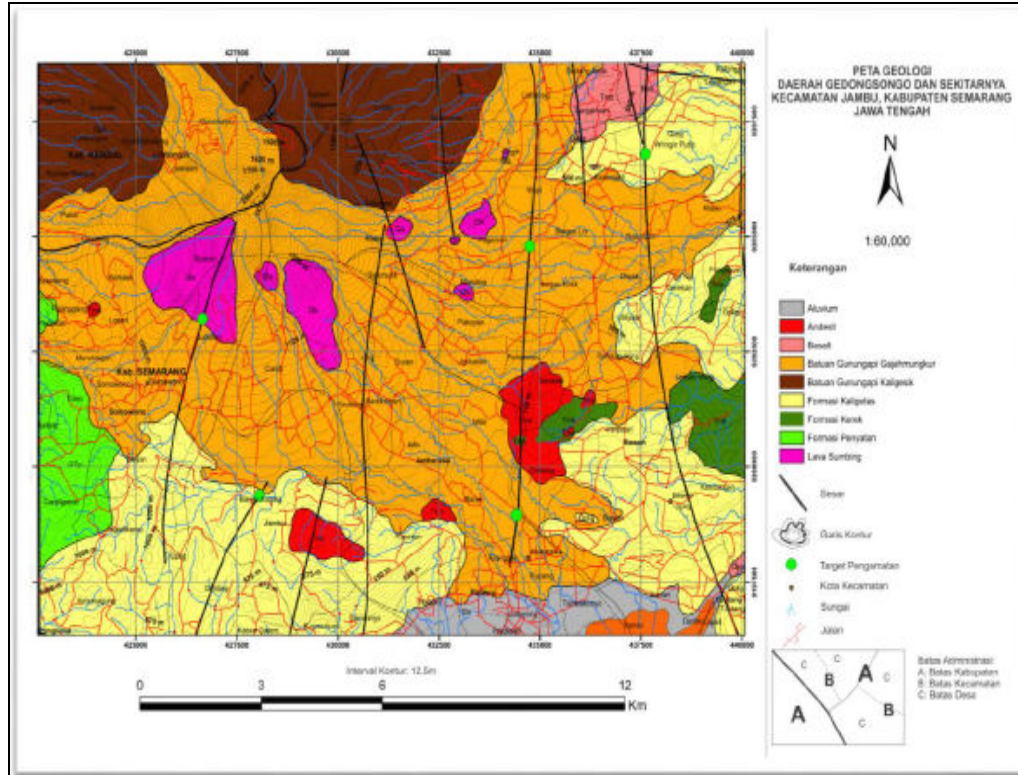
Data magnetik yang digunakan adalah data primer yang telah dilakukan koreksi variasi harian, dan koreksi IGRF diperoleh dari hasil pengukuran pada lereng selatan sekitar manifestasi panas bumi Gedong Songo Gunung Ungaran. Pada lereng selatan jumlah data yang terukur dan digunakan sebanyak 40 titik pada kordinat 9200714°LS – 9203973°LS dan 425896°BT - 428469°BT, dielevasi 965.5 meter hingga 1552.3 meter. Kemudian data anomali yang telah dikoreksi tersebut dijadikan masukan pembuatan kontur anomali medan magnet total. Tahap-tahap yang dilakukan pada penelitian ini :

1. Membuat peta kontur anomali medan magnet total berdasarkan data daerah penelitian yang telah dilakukan koreksi IGRF dan koreksi variasi harian.
2. Melakukan reduksi ke kutub terhadap peta kontur anomali medan magnet total, untuk merubah sifatnya yang *dipole* menjadi *monopole*.
3. Melakukan transformasi kontinuasi ke atas sebesar 2000 meter untuk memisahkan anomali medan magnet regional dan anomali medan magnet residual.
4. Melakukan filter *horizontal gradient* dan *vertical gradient* pada anomali medan magnet total yang masih bersifat *dipole* untuk menganalisa keberadaan sesar atau batas kontak antar batuan.
5. Menginterpretasikan peta kontur anomali medan magnet residual secara kualitatif dengan menganalisa respon dari klosur-klosur anomali yang muncul.

Melakukan interpretasi secara kuantitatif dengan melakukan sayatan AA' dan BB' pada peta anomali medan magnet total untuk memodelkan struktur lapisan batuan dalam 2 dimensi untuk dianalisa dalam pembahasan.

### Hasil dan Pembahasan

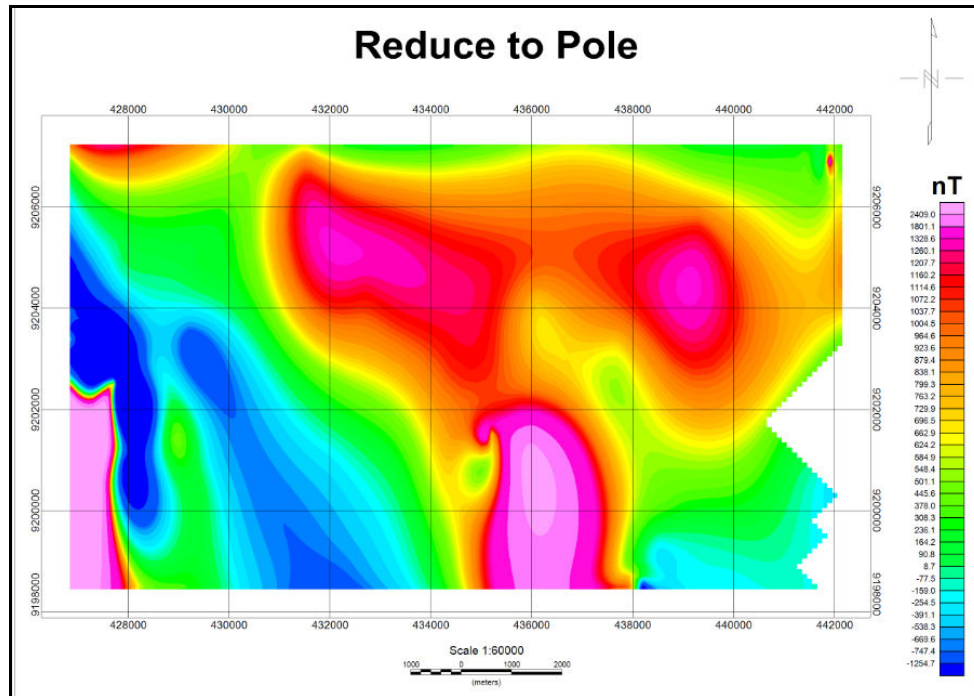
Daerah penelitian berada di daerah gunung Ungaran dan sekitarnya. Morfologi Gunung Ungaran dapat dibagi menjadi beberapa morfologi utama yaitu morfologi Gunung Ungaran Tua, morfologi Gunung Ungaran Muda (daerah puncak, lereng dan loki) kerucut gunung api dan data alluvial[7]. Strukhr geologi yang berkembang di daerah Gunung Ungaran dan sekitarnya sebagian besar berupa sesar turun dan kekar. Sesar turun Ringin terbentuk akibat runtuhannya tubuh Gunung Ungaran Tua yang terjadi karena proses volcano tectonic depression.



**Gambar 6. Peta Geologi Regional Daerah Ungaran dan sekitarnya**

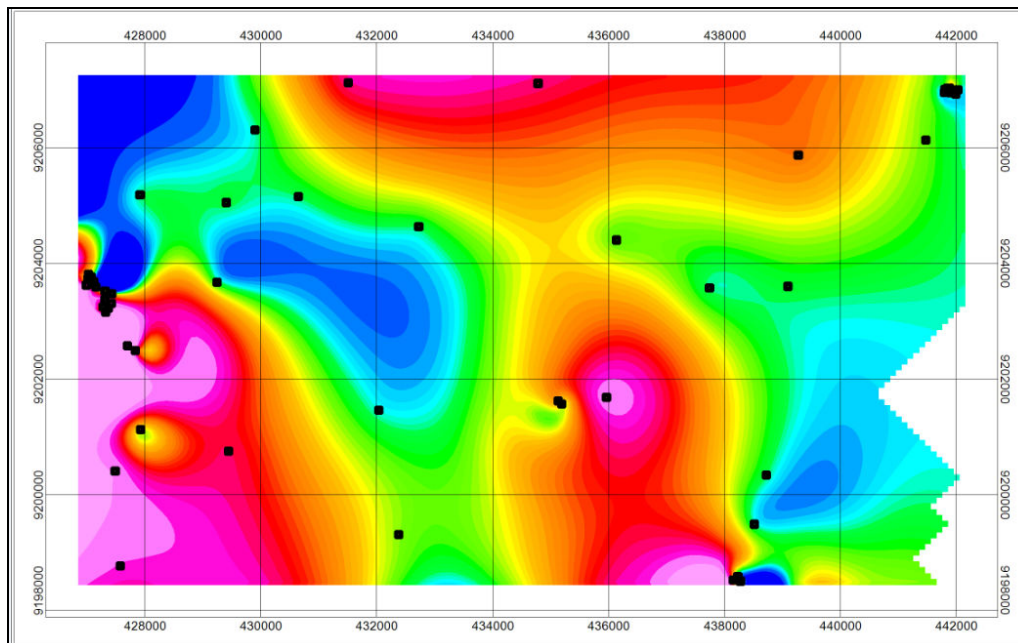
Sesar yang lain adalah: Sesar Gintungan, Sesar turun ini berarah baratlaut-tenggara yang memisahkan Gunung Gendol dengan Gunung Lapak. Sesar Gongso, Sesar turun ini terbentuk akibat proses longsoran tubuh gunungapi kearah baratdaya yang memotong sesar Gintungan. Sesar Tarukan, Sesar ini dihasilkan dari proses longsoran kearah selatan yang memotong sesar Gongso. Di lapangan dapat diamati berupa kenampakan adanya brmk morfologi yang tajam antara bagian footwall dengan hanging wall. Pada rekahan akibat longsoran menghasilkan alur sungai yang dalam dan terjal. Sesar Panjang, Sesar ini juga terbentuk akibat proses longsoran yang memotong sesar Tarukan. Terdapat gawir sesar yang terjal dan bukit yang ada dibawah gawir tersebut terlihat memanjang kearah selatan. Pada bidang sesar tersebut dijumpai adanya pemunculan manifestasi panasbumi yang berupa mataak pffiff, fumarol, mud pot steaming ground, kolam air hangat, mata air biasa dan batuan yang mengalami alterasi (altered rock).

Peta kontur anomali medan magnet total adalah peta nilai intensitas medan magnet terukur disuatu titik yang dihasilkan oleh batuan dibawah permukaan yang menjadi target pengukuran magnetik. Peta kontur anomali medan magnet total diperoleh setelah melakukan koreksi variasi harian dan koreksi IGRF pada data pengukuran intensitas medan magnet di lapangan. Peta kontur anomali medan magnet total untuk lereng selatan Gunung Ungaran ditampilkan pada gambar 7.

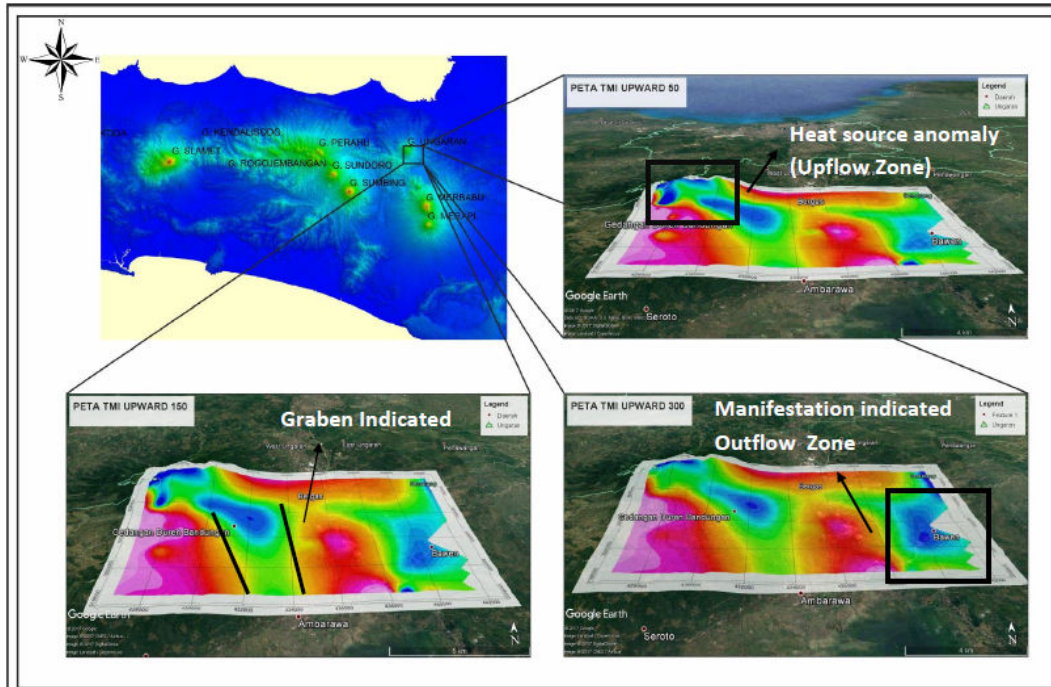


Gambar 7 Peta Reduce To Pole gunung Ungaran dan sekitarnya

Dari peta anomaly magnetic reduce to pole (gambar 7) menunjukkan bentuk reservoir dari geothermal gunung Ungaran. Kemudian dilakukan pembuatan Total Magnetic Intensity (gambar 8).



Gambar 8. Peta Total Magnetic Intensity gunung Ungaran dan sekitarnya



Gambar 9. Zona Manifestasi Panas Bumi Ungaran dan Sekitarnya Berdasarkan Data Geomagnetik

Pada indeks warna merah menyebar ke arah utara peta dengan nilai mulai dari 388,3 sampai 1535,8 nT dapat diartikan sebagai batuan vulkanik kaligesik, ini juga mengacu pada geologi daerah penelitian, formasi batuan ditemukan adanya batuan vulkanik yang memiliki banyak Kandungan mineral Parmagnetics seperti pyroxene, amphibole, biotite sehingga memiliki nilai respon magnetik tinggi. Di bagian barat daya peta juga memiliki nilai magnetisme yang tinggi, respon bernilai tinggi ini didapat dari adanya lahar sumbing pada titik tersebut sehingga memiliki nilai magnet yang tinggi akibat mineral feromagnetik. Sedangkan di sebelah selatan

peta memiliki nilai yang tinggi pula, mengacu pada geologi dan singkapan regional yang ditemui respon magnetisme tinggi akibat adanya litologi batuan andesit, karena andesit merupakan zat beku batuan beku Fe yang unsurnya cukup tinggi sehingga Respon juga daya tariknya tinggi.

Pada skala warna hijau-kuning dengan nilai berkisar antara 9 sampai 274,7 nT yang tersebar di tengah dan timur peta dapat diartikan sebagai batuan vulkanik dari gunung api gajahmungkur dan batuan sedimen dari pembentukan kaligetass, karena didominasi oleh batuan sedimen yang dihasilkan. Dari pelapukan batuan sebelumnya, nilai magnetisme sedang, karena lebih didominasi mineral klastik silky. Namun, di sebelah timur peta, ini menunjukkan adanya kesalahan berorientasi utara utara, hal ini terlihat dari pola geologi dan degradasi regional nilai magnetik yang tiba-tiba menjadi negatif pada koordinat 438000; 9198000. Adanya gesekan antara dua blok batuan yang mengalami operasi caesar akan menyebabkan panas dan deformasi sepanjang medan patahan dimana keduanya akan mengakibatkan saat dipol magnetik menjadi rendah karena bersifat acak lagi, seperti batang magnet yang dimangsa kemudian menjadi magnetisme. Akan rendah.

Pada skala biru dengan nilai berkisar antara -185 sampai -3,3 nT menyebar relatif terhadap pusat dan barat laut peta. Di tengah jika mengacu pada geologi regional yang diapit oleh dua kesalahan besar yang berorientasi ke utara-selatan, Jika dilihat dari pola anomali yang terbentuk menunjukkan tingkat magnetik rendah di daerah melebar dan memanjang dalam skala besar, menimbulkan kemungkinan adanya struktur graben. Akibat diapit oleh dua kesalahan tersebut, kehadiran graben terbentuk akibat anomali karena kesalahan yang seharusnya hanya ada disekitar bidang sesar yang melebar. Sedangkan di sebelah barat laut peta ada penutupan warna biru yang sangat rendah, koordinat lokasi ini juga ditemukan beberapa manifestasi seperti fumarol dan tampilan bidang kesalahan. Dari pengukuran orientasi struktur di lapangan diketahui bahwa kesalahan pada lokasi ini adalah kesalahan horisontal. Kesalahan ini diduga menjadi jalur utama manifestasi panas bumi di daerah tersebut. Tekanan terus menerus dari reservoir panas bumi mengarah pada pembentukan fraktur yang kemudian berkembang menjadi kesalahan, karena pembentukan kesalahan dimulai dengan banyak zona lemah yang

bocor sehingga uap dan cairan panas dapat menembus melalui fraktur zona lemah yang menyebabkan pembentukan Perubahan (Argilic-advance argilic) pada dinding samping melewati cairan dan kemudian uap dan permukaan cairan panas sebagai manifestasi. Hal ini menyebabkan situs tersebut merespons nilai magnetisme yang sangat rendah, adanya batuan beku (sumber heatsource harus memiliki nilai magnetisme yang besar) menjalani proses yang disebut badan demagnetisasi (termasuk pencucian, penggantian) dan mengakibatkan perubahan fisik mineral dari mineral. Andesitik terhadap hidrotermal Mineral (formasi berubah), proses ini mempengaruhi perubahan sifat fisik batuan seperti kerapatan porositas, resistivitas, konduktivitas, dan kerentanan batuan yang sangat rendah (gambar 9).

### Kesimpulan

Data geomagnetik daerah manifestasi Gedongsongo ditunjukkan dengan nilai magnetik rendah (diamagnetik) dikarenakan daerah tersebut termasuk kedalam sistem panas bumi, dimana terdapat sumber panas bumi, struktur dan batuan alterasi yang kesemuannya mempunyai nilai kemagnetan rendah (166,7 – 447,5 nT). Struktur geologi berupa sesar sinistral atau mendatar mengkiri juga akan turun nilai kemagnetannya karena adanya daerah deformasi dari akibat struktur geologi tersebut. Batuan teralterasi juga turun nilai kemagnetannya karena mineral – mineral berubah menjadi mineral – mineral alterasi tipe argilik yaitu Kaolin, Illite dan keterdapatannya mineral aksesoris berupa Klorit

Berdasarkan kondisi litologi yang digambarkan di fasias vulkanik gunung Ungaran dan struktur sekarang dan pencitraan bawah permukaan geomagnetik, dapat digambarkan sistem panas bumi berikut gunung ungaran:

#### A) Reservoir

Ini terdiri dari batuan vulkanik yang memiliki porositas primer sebagai hasil pelepasan gas selama proses pendinginan (vesikula), sedangkan deposit piroklastik yang ada di area studi menunjukkan tekstur dengan blok fragmen yang retak atau dikenal sebagai retakan jigsaw, yang memungkinkan Untuk porositas yang baik.

#### B) Cap Rock

Dilihat dari fasies di daerah Gedongsongo terdiri dari fasies sentral Ungaran Muda berupa aliran lava dan aliran deposit piroklastik. Endapan tersebut telah mengalami alterasi argilik yang ditemukan di daerah penelitian, yang memiliki nilai porositas dan permeabilitas rendah karena terumbu porositas batu dengan adanya mineral tanah liat dan menyebabkan kerak kedap dan sesuai.

#### C) sumber panas

Komposisi magma yang merupakan sumber panas Gunung Ungaran memiliki komposisi andesitik, mengacu pada pengamatan beberapa sayatan tipis sampel batuan yang menunjukkan batuan lebih berlumpur pada andesit hornblende dan andesit piroksen. Sementara analisis geomagnetik menunjukkan bahwa heatsource berada di barat laut peta dengan tingkat magnetik rendah, yang berarti tepat di bawah manifestasi Gedongsongo.

#### D) Recharge Area

Perbedaan morfologi yang ada di selatan menunjukkan bahwa daerah resapan sistem panas bumi Gedongsongo dan daerah pemetaan sekitarnya terletak di wilayah selatan, yaitu di daerah Lanjan, Berokan dan Banyukuning.

### Daftar Pustaka

- [1] Bemmelen, V.R.W, 1949, *The Geology of Indonesia*. The Hague Martinus Nijnhoff, Vol. IA.
- [2] Blakely, R.J., 1995, *Potential Theory in Gravity and Magnetic Applications*, Cambridge University Press, NewYork.
- [3] Boko, Wahyudi, dan Imam Suyanto. 2003, *Analisis Data Magnetik Untuk Mengetahui Struktur Bawah Permukaan Daerah Manifestasi Air Panas di Lereng Utara Gunung Api Ungaran*, Program Studi Geofisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Gajah Mada, Yogyakarta.
- [4] Budiardjo, Nugroho, dan Budihardi, 1997, *Resources characteristic of the Ungara field, Central Java, Indonesia. Proceedings of the Nationalseminar of Human Resources Indonesian Geologist, Geological Engineering Mineral Tecnology Faculty*, UPN “Veteran”, Yogyakarta, pp. 139-147.
- [5] Ilfa, A., 2011, *Study Korelasi Antara Suhu dan Aliran Fluida Terhadap Aktifitas Panas Bumi di Daerah Manifestasi Panas Bumi Gedongsongo Gunung Ungaran Kabupaten Semarang Jawa Tengah*, Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Diponegoro, Semarang.
- [6] Prasetyo, Bagus, B., 2012, *Identifikasi Struktur Bawah Permukaan Menggunakan Metode Geolistrik Konfigurasi Schlumberger di Area Manifestasi Geothermal Gedong Songo Lereng Selatan Gunung*



- Ungaran*, Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Diponegoro, Semarang.
- [7] Setyawan, A., Fujimitsu, Y., Fukuoka, K., Nishijima, J., Ehara, S., Saibi, H., 2007, *Geophysical Investigation of Ungaran Volcavo, Central Java, Indonesia*, Proceedings 29th, New Zeland
- [8] Tarmidzi, F., 2013, *Aplikasi Metode Bidimensional Empirical Mode Decomposition (BEMD) Untuk Data Gaya Berat Gunung Ungaran Indonesia*. Jurusan Fisika Fakultas Sains dan Matematika Universitas Diponegoro, Semarang.
- [9] Telford, W.M., Geldart, L.P. dan Sheriff, R.E, 1990, *Applied Geophysics*, second edition, Cambridge University Press, London.
- [10] Thanden RE, Sumadirdja H, Richard PW, Sutisna K. dan Amin TC., 1996, *Peta Geologi Regional Lember Magelang dan Semarang, skala 1 : 100.000*, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.