



KAJIAN PANAS BUMI DAERAH MEDINI – GONOHARJO BERDASARKAN DATA GEOMAGNETIK

Ender Widi Sugiyo , Supriyadi, dan Agus Yulianto

Jurusan Fisika, FMIPA, Universitas Negeri Semarang, Indonesia
Gedung D7 Lt. 2, Kampus Sekaran Gunungpati, Semarang 50229

Info Artikel

Diterima April 2015
Disetujui April 2015
Dipublikasikan Agustus
2015

Keywords:
geomagnetic, geothermal,
magnetic anomalous


Abstrak

Prospek panas bumi Gunung Ungaran ditunjukkan dengan munculnya manifestasi di permukaan. Penelitian bertujuan untuk mengetahui intensitas medan total, anomali magnetik, dan distribusi panas bumi di sekitar sumber air panas Medini dan Gonoharjo. Pengambilan data geomagnetik dilakukan pada 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 $7^{\circ}09'42.1''E$ menggunakan *Proton Precession Magnetometer* model GSM-19T dengan sensitivitas 0,05 nT, GPS, dan kompas geologi. Data intensitas medan magnet total hasil pengukuran diolah dengan melakukan koreksi diurnal dan IGRF, kontinuasi ke atas, pemisahan anomali lokal dan regional, dan reduksi ke kutub. Intensitas medan total daerah penelitian bernilai 43.000 nT sampai 47.650 nT dengan anomali magnetik bernilai -1.800 nT sampai 2.700 nT. Pola anomali magnetik cenderung berarah tenggara yang diduga menuju pusat panas bumi Gunung Ungaran. Distribusi prospek panas bumi daerah Medini – Gonoharjo berhubungan dengan sebaran luas nilai anomali magnetik rendah akibat alterasi hidrotermal sistem panas bumi sehingga mengalami penurunan sifat kemagnetan batuan.

Abstract

The existence of Medini and Gonoharjo hot springs in northern part of Ungaran Volcano indicate geothermal energy potential area. This research conducted to determine total magnetic intensity, magnetic anomalous, and geothermal prospect distribution. Geomagnetic research is applied in coordinate longitude $110^{\circ}19'47.3''E$ to $110^{\circ}20'12.3''E$ and coordinate latitude $7^{\circ}08'56.9''S$ to $7^{\circ}09'42.1''E$. Data has been collected by Proton Precession Magnetometer model GSM-19T with sensitivity 0,05 nT, GPS, and geological compass. Total magnetic intensity data is processed by diurnal and main field correction, upward continuation, disperate between local and regional anomalous, and reduction to pole. Total magnetic field intensity is spread out between 43.000 nT to 47.650 nT and magnetic anomalous is spread out between -1.800 nT to 2.700 nT which has south east direction to heat source of Ungaran Volcano. Geothermal prospect distribution is related to widespread and dominated of negative magnetic anomalous that indicated demagnetization zone caused by hydrothermal alteration.

© 2015 Universitas Negeri Semarang

 Alamat korespondensi:
E-mail: sugivowidi@gmail.com

PENDAHULUAN

Energi panas bumi merupakan energi terbarukan yang potensial di Indonesia dengan potensi sebesar 29.038 MW (Hasan *et al.*, 2012). Indonesia memiliki potensi panas bumi terbesar dunia, namun pengembangannya masih belum optimal. Gunung Ungaran memiliki manifestasi panas bumi permukaan sehingga perlu dikaji sebagai daerah prospek panas bumi. Metode geomagnetik telah diterapkan sebagai studi pendahuluan daerah panas bumi berdasarkan variasi kecil intensitas medan magnet yang disebabkan oleh perbedaan sifat magnetisasi batuan (Rusli, 2009). Metode geomagnetik didasarkan pada gaya Coulomb F antara dua kutub magnetik p_1 dan p_2 yang berjarak r dan dinyatakan dalam persamaan (1).

$$F = \frac{p_1 p_2}{\mu_0 r^2} r_1 \quad (1)$$

Derajat benda magnetik untuk termagnetisasi ditentukan oleh sifat magnetik berupa nilai susceptibilitas sesuai dengan persamaan (2).

$$\overline{M} = \chi \overline{H} \quad (2)$$

Sifat kemagnetan terdiri dari tiga kelompok utama, yaitu diamagnetik, paramagnetik, dan ferromagnetik. Susceptibilitas tidak bergantung pada temperatur untuk benda diamagnetik tetapi berubah berkebalikan dengan temperatur absolut untuk paramagnetik sesuai dengan studi Piere Curie pada tahun 1895 (Cullity & Graham, 2009). Hipotesis medan molekuler oleh Piere Weiss pada tahun 1906 mendorong munculnya Hukum Curie-Weiss yang dinyatakan dalam persamaan (3).

$$\chi = \frac{C}{(T - \theta)} \quad (3)$$

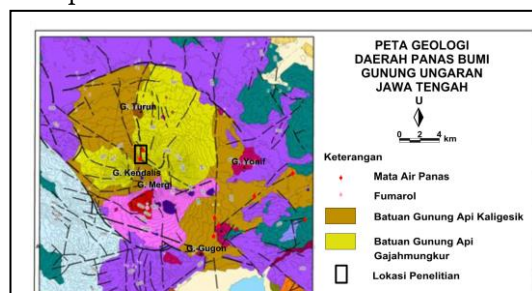
Konstanta bernilai nol untuk bahan-bahan yang mematuhi Hukum Curie.

Studi geologi panas bumi gunung Ungaran menunjukkan batuan terdiri dari lava andesit basaltik, tufa andesit augit hornblende, andesit, basalt andesit augit-olivin, basalt olivin, andesit piroksen, gabro, dan endapan aluvial. Struktur geologi Gunung Ungaran merupakan sistem sesar volkano-tekonik dan mengontrol pemunculan manifestasi panas bumi permukaan. Secara geologi daerah penelitian terletak di satuan batuan Gunungapi Kaligesik dan satuan batuan Gunungapi Gajahmungkur.

Temperatur pada sistem panas bumi diduga mempengaruhi sifat kemagnetan batuan sehingga dipilih metode geomagnetik untuk studi daerah prospek panas bumi lereng utara Gunung Ungaran di sekitar sumber mata air panas Medini dan Gonoharjo. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui intensitas medan magnet total, anomali magnetik, dan distribusi panas bumi daerah penelitian.

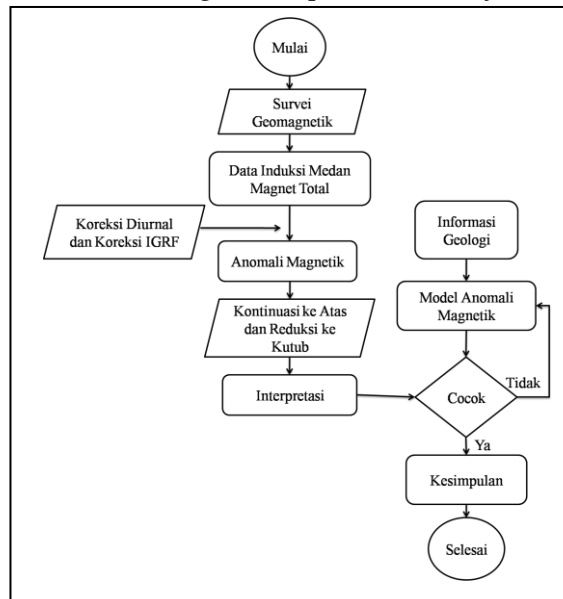
METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan penelitian lapangan berdasarkan penerapan metode geofisika. Pengambilan data dilakukan menggunakan *Proton Precession Magnetometer* model GSM-19T dengan sensitivitas 0,05 nT, *Global Positioning System* (GPS), kompas geologi, *log book*, alat tulis, dan meteran. Lokasi penelitian berada pada koordinat 426026 sampai 426793 UTM X dan 9208328 sampai 9209715 UTM Y zona 49S dan ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Lokasi Penelitian

Koreksi data penelitian meliputi koreksi diurnal dan IGRF, kontinuasi ke atas, pemisahan anomali lokal dan regional, dan reduksi ke kutub. Diagram alir penelitian ditunjukkan dalam Gambar 2.

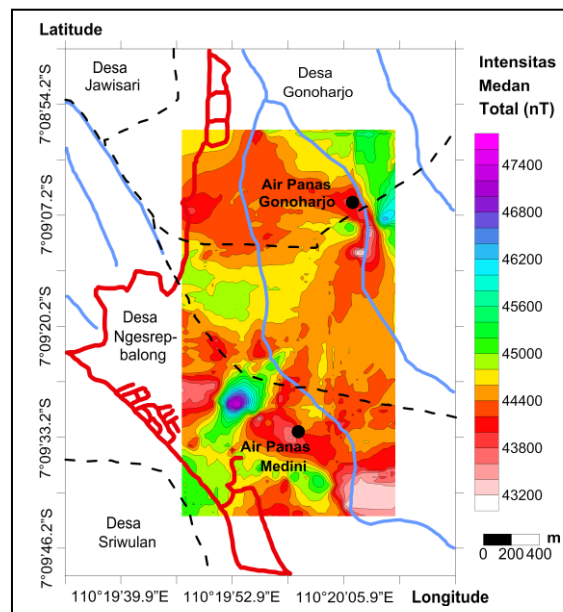


Gambar 1. Lokasi Penelitian

Analisis data dilakukan pada peta kontur hasil pengolahan data dengan kajian pendukung hasil penelitian sebelumnya meliputi studi kelembaban udara dan temperatur permukaan dangkal (Ulumiyah *et al.*, 2013), studi geolistrik (Prihadi *et al.*, 2013), studi geokimia (Emianto & Ariwibowo, 2011), studi CSAMT (Setyawan *et al.*, 2005), dan studi struktur geologi (Nurdiyanto *et al.*, 2004)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Medan magnet bumi yang terukur di permukaan bumi terdiri dari medan magnet utama bumi, medan luar, dan anomali magnetik. Hasil pengukuran berupa intensitas medan total disajikan dalam Gambar 3.



Gambar 3. Intensitas Medan Magnetik Total Daerah Penelitian

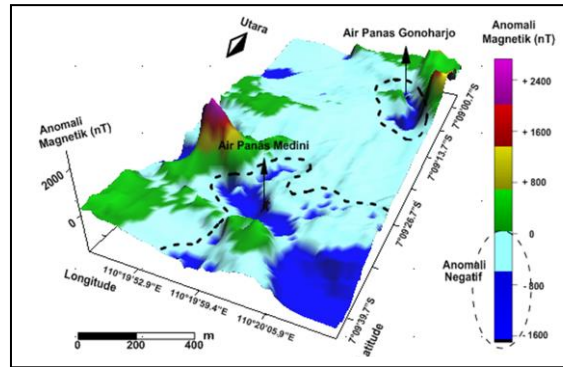
Intensitas medan total daerah penelitian berada pada rentang nilai 43.000 nT sampai 47.650 nT. Medan utama bumi membangkitkan magnetisasi mineral magnet dalam batuan, sehingga meningkatkan

nilai induksi medan magnet yang terukur. Medan magnet luar merupakan noise yang mempengaruhi hasil pengukuran. Medan luar dihilangkan melalui koreksi diurnal. Medan magnet utama bumi dihilangkan dengan koreksi IGRF (*International Geomagnetic Reference Field*).

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).

$$\Delta H = B_T + H_D - H_0 \tag{4}$$

Hasil pengolahan koreksi diurnal dan medan utama menghasilkan anomali magnetik pada Gambar 4.



Gambar 4. *Surface 3D* Anomali Magnetik Daerah Penelitian

Anomali magnetik daerah penelitian dapat dibagi menjadi anomali magnetik positif dan anomali magnetik 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. Keberadaan sumber air panas Medini dan Gonoharjo di lereng utara Gunung Ungaran mengindikasikan adanya sumber panas di daerah tersebut. Sumber panas memanasi air bawah permukaan yang berasal dari daerah resapan sehingga membentuk sistem panas bumi hidrotermal. Manifestasi panas bumi permukaan muncul melalui celah atau rekahan batuan.

Karakteristik medan magnet bumi disajikan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Parameter Medan Magnet Bumi

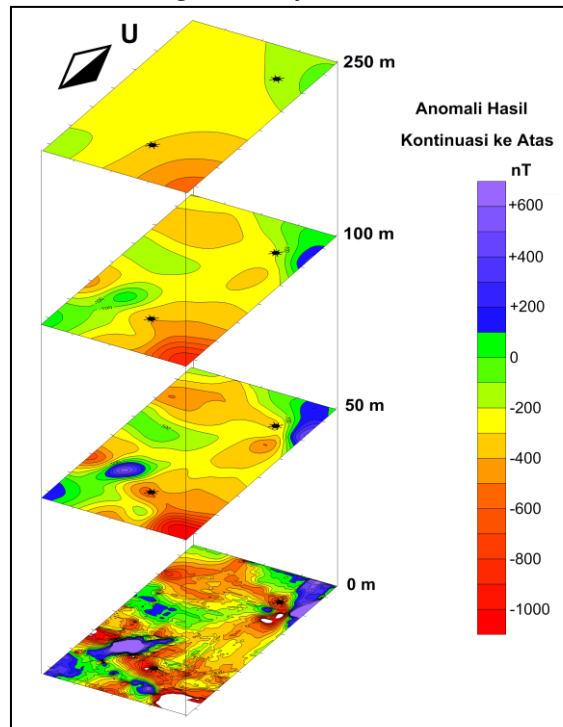
No	Parameter Medan Magnet Bumi	Nilai
1	Medan Magnet Utama Bumi (IGRF)	44.750,0 sampai 44.755,6 nT
2	Sudut Deklinasi	-39,1°
3	Sudut Inklinasi	1,1°

Sebagian besar respon batuan vulkanik memperlihatkan sifat kemagnetan yang lebih kuat karena kandungan mineral ferromagnetik dibanding batuan lainnya (Chen *et al.*, 2013). Daerah penelitian merupakan daerah vulkanik, namun respon sifat kemagnetan menunjukkan dominasi nilai anomali yang rendah yang didukung dengan pemunculan sumber air panas. Hal ini menunjukkan adanya pengaruh temperatur berkaitan dengan alterasi hidrotermal dan sumber panas bumi Gunung Ungaran terhadap penurunan sifat kemagnetan batuan di daerah studi.

Larutan hidrotermal pada sistem panas bumi menimbulkan perubahan yang masif terhadap sifat kimia dan fisika batuan bawah permukaan termasuk sifat kemagnetan batuan. Nilai suseptibilitas menjadi lebih rendah pada temperatur yang lebih tinggi sehingga magnetisasi yang diberikan oleh respon material menjadi lebih rendah. Magnetisasi dalam batuan ini mengalami penurunan akibat aktivitas pemanasan

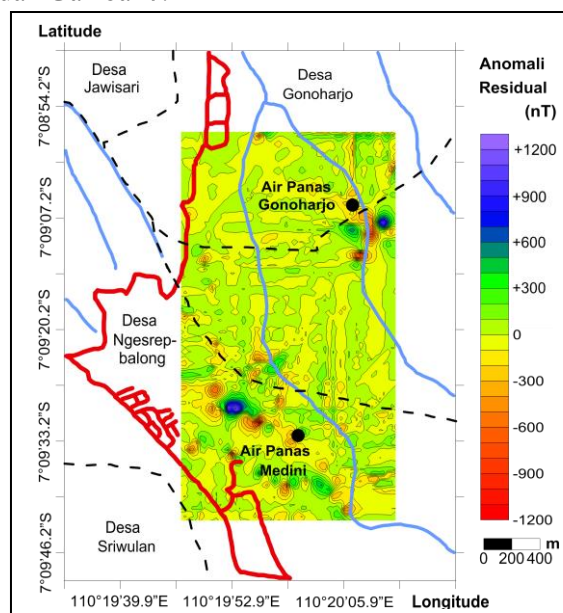
oleh sumber panas bumi. Anomali magnetik rendah negatif pada daerah studi memiliki pola terbuka dan meliputi daerah yang luas melebihi daerah penelitian, sehingga distribusi prospek panas bumi lereng utara Gunung Ungaran diduga melingkupi daerah yang luas.

Hasil kontinuitas ke atas anomali magnetik disajikan dalam Gambar 5.

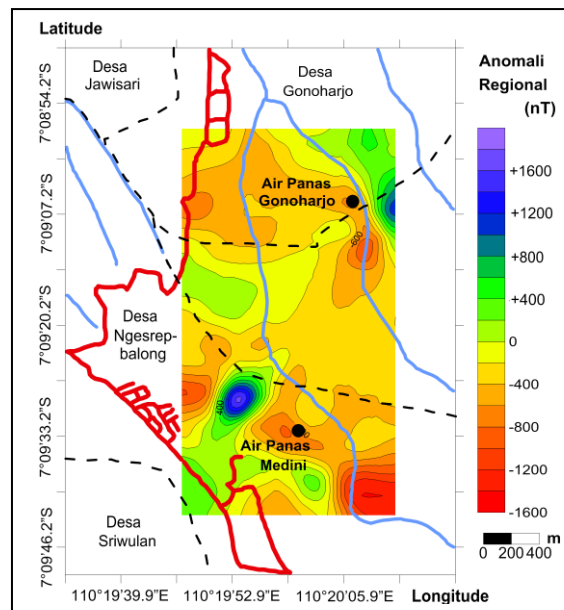


Gambar 5. Anomali Hasil Kontinuasi ke Atas

Berdasarkan hasil kontinuitas 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 kontinuitas pada ketinggian 100 m mulai menunjukkan kerusakan data karena pasangan klosur anomali positif-negatif sudah mulai hilang. Pasangan anomali positif dan negatif menunjukkan adanya penyebab anomali. Hasil pemisahan anomali lokal dan regional disajikan dalam Gambar 6 dan Gambar 7.



Gambar 6. Anomali Lokal atau Residual Daerah Penelitian



Gambar 7. Anomali Regional Daerah Penelitian

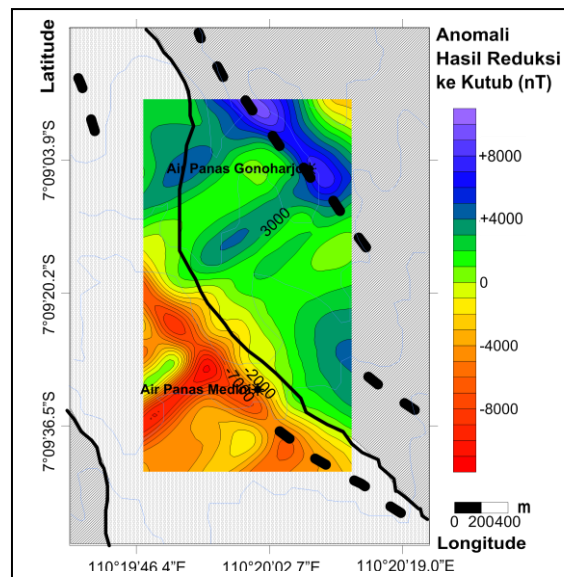
Pola kontur anomali lokal menunjukkan pola anomali yang tidak beraturan dan acak. Anomali lokal dipengaruhi keberadaan benda di dekat permukaan bumi yang dapat berasal dari aktivitas manusia maupun keberadaan batuan transport. Anomali regional memiliki frekuensi rendah dan memberikan informasi mengenai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

Sumber panas Gunung Ungaran berasal dari sisa panas dapur magma. 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 pada daerah penelitian terjadi pada zona *outflow* karena konsentrasi Cl kurang dominan dan mengindikasikan letak yang cukup jauh dari aliran utama sistem panas bumi. Sisipan lapisan konduktif diperkirakan sebagai zona penudung panas bumi Ungaran sedangkan lapisan di bawahnya diduga merupakan reservoir. Endapan vulkanik memiliki permeabilitas rendah dan dapat berfungsi sebagai batuan penudung karena mengalami alterasi yang mengubah mineral primer menjadi mineral lempung.

Hasil perhitungan geotermometer Na-K-Ca diketahui bahwa suhu reservoir berkisar antara 206-207°C dengan rata-rata suhu reservoir di Gonoharjo dan Medini sebesar 207.33°C (Emianto dan Ariwiwobo, 2011). Temperatur reservoir mempengaruhi sifat kemagnetan batuan. Berdasarkan studi oleh Ulumiyah *et al.* (2013), nilai temperatur permukaan dangkal daerah Gonoharjo terdistribusi antara 21°C sampai 41°C. Indikasi area panas bumi terdeteksi dengan nilai temperatur 37°C, 38°C dan 40°C di dekat air panas *hot springs*. Berdasarkan penelitian Geolistrik di daerah studi (Prihadi *et al.*, 2013), permukaan sampai kedalaman 12,4 m umumnya didominasi oleh hidrotermal.

Setyawan *et al.* (2010) memprediksi 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.

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).



Gambar 7. Anomali Hasil Reduksi ke Kutub

Pola kontur anomali magnetik hasil reduksi ke kutub menunjukkan adanya klosur positif dan negatif. Kecenderungan arah batas pola klosur barat laut – tenggara diduga berkaitan dengan struktur geologi dan batas kontak satuan batuan. Berdasarkan penelitian struktur bawah permukaan oleh Nurdiyanto *et al.* (2004), 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 studi berasal dari reservoir gunung api Ungaran yang menerobos melalui zona lemah batuan. Air panas Gonoharjo muncul pada penerobosan zona lemah pada rekahan batuan (Prihadi *et al.*, 2013) dan sesar turun pada endapan piroklastik. Sesar turun pada batas satuan batuan Gunungapi Gajahmungkur dan Kaligesik mengontrol pemunculan air panas Medini sesuai arah batas pola klosur anomali hasil reduksi ke kutub. Struktur geologi menjadikan daerah panas bumi Gunung Ungaran memiliki kemampuan yang baik untuk meloloskan air ke bawah permukaan.

SIMPULAN

Intensitas medan magnet total daerah penelitian didominasi oleh nilai dalam kategori relatif rendah. Anomali magnetik daerah studi terdiri dari pasangan klosur positif dan negatif dan didominasi anomali magnetik bernilai negatif. Distribusi prospek panas bumi daerah Medini dan Gonoharjo dihubungkan dengan keberadaan nilai anomali magnetik negatif yang meliputi sebagian besar daerah studi akibat pengaruh panas pada alterasi hidrotermal sistem panas bumi terhadap penurunan sifat kemagnetan batuan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih pada LP2M Unnes dan semua pihak atas kontribusi dan bantuan yang telah diberikan selama penelitian, pengolahan data, dan penyusunan laporan dan artikel ilmiah.

DAFTAR PUSTAKA

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. & C. D. Graham. 2009. *Introduction To Magnetic Materials 2nd Edition*. Canada : IEEE Press.
- Emianto, Y. B. & 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.
- 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.
- Nuha, D. Y. U. & 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, & 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., Supriyadi, & 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.
- 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.
- Satiawan, S. Aplikasi Kontinuasi ke Atas dan Filter Panjang Gelombang untuk Memisahkan Anomali Regional – Residual pada Data Geomagnetik. *Tugas Akhir*. Bandung: ITB.
- Setyawan, A., S. Ehara, Y. Fujimitsu, & J. Nishijima. 2010. An Estimate of the Resources Potential of Ungaran Geothermal Prospect for Indonesia Power Generation. *Proceedings 3^{4th} World Geothermal Congress*. Indonesia: Bali.
- Setyawan, A., Wahyudi, & 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.
- Ulumiyah, I., Supriyadi, & Yulianto, A. 2013. Analisis Kelembaban dan Temperatur Permukaan Dangkal di Daerah Gonoharjo. *Unnes Physics Journal* 2(1): 7-12.