



Analisis Metode Magnetik pada Daerah Manifestasi Panas Bumi Karangrejo, Kabupaten Pacitan

Mayang Bunga Puspita¹, Cholisina Anik Perwita², Sukir Maryanto³, Imam Suyanto⁴

^{1,2,3}Program Studi Teknik Geofisika, Fakultas MIPA, Universitas Brawijaya, Malang, Indonesia

⁴Program Studi Geofisika, Fakultas MIPA, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, Indonesia

Email: ¹mayang.puspita@ub.ac.id, ²cholisina@ub.ac.id, ³sukir@ub.ac.id, ⁴imamsuyanto@ugm.ac.id

Abstract

Geothermal energy is one of the natural resources found in Pacitan Regency, alongside mining and geotourism. Geothermal manifestations in Pacitan Regency take the form of hot springs located at two points: Tinatar in the Punung District and Karangrejo in the Arjosari District. This research primarily focuses on magnetic measurement methods at the Karangrejo hot spring manifestation to provide information about its subsurface geological conditions. Data acquisition was conducted using 2 Proton Precision Magnetometers (PPM) of the Geotron G-5 brand as both base and rover instruments. The acquired data was processed with diurnal correction, IGRF correction, separation of residual-regional anomalies, and Reduce to Pole (RTP) transformation. The research results show magnetic anomaly variations in the study area ranging from -220 nT to 200 nT. Some geological structures that could potentially be associated with the Karangrejo hot spring manifestation are north-south trending faults and northeast-southwest trending faults, while the lithology of the study area is dominated by kaolin alteration and andesite rocks. It is estimated that the Karangrejo geothermal system is a fault-hosted geothermal system resulting from fault activity.

Keywords: *Geothermal, Magnetic Method, Pacitan Regency*

Abstrak

Panas bumi merupakan salah satu sumber daya alam yang terdapat di Kabupaten Pacitan di samping pertambangan dan geowisata. Manifestasi panas bumi di Kabupaten Pacitan berupa mata air panas yang terletak di 2 titik yaitu Tinatar di Kecamatan Punung dan Karangrejo di Kecamatan Arjosari. Penelitian ini lebih berfokus pada pengukuran metode magnetik di manifestasi air panas Karangrejo untuk memberikan informasi mengenai keadaan geologi bawah permukaannya. Akuisisi data dilakukan dengan menggunakan 2 Proton Precision Magnetometer (PPM) merek Geotron G-5 sebagai alat *base* dan alat *rover*. Data yang diperoleh diolah dengan koreksi variasi harian, koreksi IGRF, pemisahan anomali residual-regional, dan Reduce to Pole (RTP). Hasil penelitian menunjukkan variasi anomaly magnetik di daerah penelitian berkisar antara -220 nT hingga 200 nT. Beberapa struktur geologi yang dapat menjadi kemungkinan asosiasi dari manifestasi air panas Karangrejo, yaitu sesar berarah utara-selatan dan sesar berarah timur laut-barat daya, sedangkan litologi daerah penelitian didominasi oleh alterasi kaolin dan batuan andesit. Diperkirakan sistem panas bumi Karangrejo merupakan sistem panas bumi akibat sesar (*fault-hosted geothermal system*).

Kata Kunci: Panas Bumi, Metode Magnetik, Kabupaten Pacitan.

1. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan salah satu negara dengan potensi panas bumi terbesar di dunia. Menurut Wardani (2017), terdapat 331 titik potensi panas bumi yang tersebar mengikuti formasi vulkanik dari Sumatra, Jawa, Bali, Nusa Tenggara hingga Maluku dengan rincian cadangan (*reserve*) sebesar 17.506 MW dan sumber daya (*resources*)

sebesar 11.073 MW. Potensi panas bumi ini ditandai dengan adanya manifestasi panas bumi, yaitu gejala di permukaan yang merupakan ciri terdapatnya potensi energi panas bumi di bawah permukaan daerah. Manifestasi panas bumi dapat berupa mata air panas, fumarole, tanah beruap, tanah hangat, dan lain-lain (BSNI, 1998).

Kabupaten Pacitan yang berada di Provinsi Jawa Timur merupakan daerah yang memiliki sumber daya geologi yang sangat banyak, salah satunya yaitu potensi panas bumi. Menurut Buku Potensi Panas Bumi yang diterbitkan oleh Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (KESDM) pada tahun 2017, disebutkan bahwa potensi panas bumi di Kabupaten Pacitan berada di dua titik, yaitu Melati dan Karangrejo yang berada di Kecamatan Arjosari (Wardani, 2017). Sumber daya spekulatif pada kedua titik sebesar 25 MW tidak terlalu besar, sehingga masih belum banyak penelitian yang dilakukan untuk eksplorasi panas bumi di Kabupaten Pacitan (Ummah, 2018).

Salah satu metode geofisika yang dapat digunakan untuk melakukan eksplorasi panas bumi adalah metode magnetik. Metode magnetik merupakan metode potensial yang sering digunakan bersamaan dengan metode gravitasi untuk mengidentifikasi struktur geologi bawah permukaan daerah panas bumi (Dentith dan Mudge, 2014). Struktur geologi bawah permukaan ini dapat digunakan untuk membangun konseptual model dari suatu sistem panas bumi. Cadangan panas bumi dapat dianalisis dengan pembangunan model konseptual yang baik

Kurangnya penelitian mengenai system panas bumi di Kabupaten Pacitan memberikan ruang untuk studi panas bumi di Kabupaten Pacitan yang lebih banyak. Metode magnetik yang digunakan dalam penelitian ini diharapkan mampu memberikan informasi mengenai geologi bawah permukaan pada sekitar daerah manifestasi panas bumi Karangrejo di Kecamatan Arjosari, Kabupaten Pacitan.

Geologi Daerah Penelitian

Kabupaten Pacitan memiliki 2 titik potensi panas bumi yaitu Tinatar dan Karangrejo. Kapasitas kedua sumber tersebut masing-masing 25 MW (Wardani, 2017). Angka tersebut masih di bawah standar disyaratkan Dinas Pertambangan dan Energi untuk meneliti kedua sumber panas bumi di Kecamatan Arjosari, sehingga memang belum banyak penelitian maupun eksplorasi yang dilakukan pada kedua sumber panas bumi tersebut.

Lokasi manifestasi panas bumi yang menjadi kawasan wisata adalah Desa Banyu Anget, Kecamatan Arjosari. Secara geografis, Pacitan berada di bagian selatan Jawa Timur. Secara geologis berbagai batuan yang terbentuk selama geologi purba telah tersingkap. Cekungan sedimen membentuk berbagai batuan sedimen dan naik menjadi daratan utama Jawa. Setelah itu, dengan adanya aktivitas tektonik dan vulkanik, struktur geologi dan ekstrusi magma terbentuk yang membentuk berbagai batuan beku dan batuan vulkanik. Beberapa peneliti sebelumnya telah meneliti fenomena geologi wilayah Pacitan dan sekitarnya, termasuk Bemmelen (1949), Samodra et al (1992), Soeria-Atmadja et al (1994), Sutanto (2003) dan Smyth et al (2008).

Secara fisiografis, Bemmelen (1949) memasukkan daerah Arjosari, Pacitan, ke dalam Busur Pegunungan Selatan. Batuan Geologi di Pegunungan Selatan mendominasi sebagai hasil dari aktivitas magmatisme yang bercirikan tertua dengan munculnya lahar andesit yang sering disebut sebagai "Formasi Andesit Tua". Samodra et al (1992) melaporkan adanya tufa dan breksi vulkanik di Formasi Semilir, Jaten, Wuni, Nampal dan Oyo di Miosen Tengah.

Pada pemetaan geologi di kawasan Arjosari, khususnya Banyu Anget dan sekitarnya ditemukan empat satuan batuan, yang juga mengekspresikan sistem panas bumi Daerah panas bumi Arjosari. Satuan batuan tersebut adalah 1) Batupasir vulkanik

dilakukan dengan mengurangi data intensitas medan magnet total dengan variasi harian yang terukur di base pada waktu yang sama serta nilai medan magnet bumi di daerah penelitian yang menggunakan model IGRF 2020.

b. Pemisahan Anomali Residual-Regional

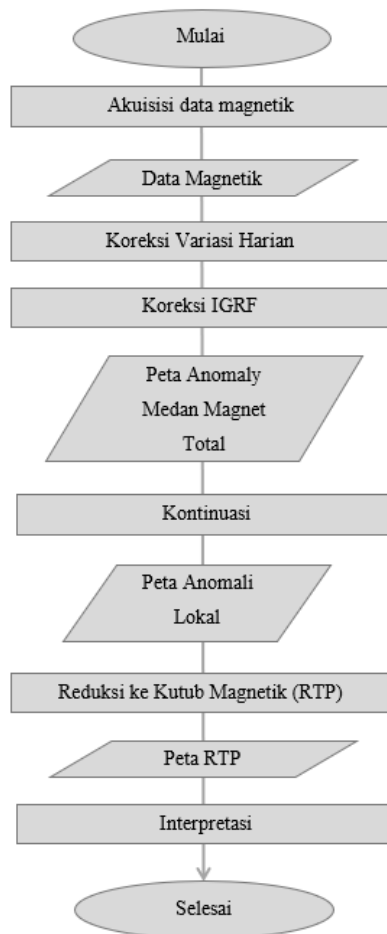
Secara umum, proses kontinuitas memiliki fungsi seperti operasi filter. Tujuan dari kontinuitas ke atas adalah untuk menghilangkan pengaruh anomali lokal yang masih terdapat pada data dan mencari pengaruh dari anomali regionalnya. Semakin tinggi kontinuitas data, maka informasi lokal semakin hilang dan informasi regional semakin jelas. Proses kontinuitas ke atas dilakukan dengan menggunakan program Geosoft Oasis Montaj. Pemisahan anomali lokal dan regional ini bertujuan untuk menghilangkan pengaruh yang disebabkan oleh anomali regional yang pengaruhnya lebih luas. Pemisahan ini juga menggunakan program Geosoft Oasis Montaj.

c. Reduksi ke Kutub Magnetik (RTP)

Reduksi ke kutub magnetik atau *Reduce to Pole* (RTP) adalah proses matematis yang membuat data seakan-akan diambil pada sudut inklinasi 90° . Pada sudut inklinasi 90° respon anomaly berupa monopole dengan puncak anomaly berada di atas badan target dengan susceptibilitas maksimum. Proses RTP ini dilakukan untuk mempermudah interpretasi.

3. Diagram Alir

Diagram alir penelitian ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram alir penelitian

2.2 Waktu dan Tempat Penelitian

Akuisisi data penelitian dilakukan pada tanggal 25 April 2021 hingga tanggal 2 Juni 2021 di manifestasi air panas Karangrejo yang berada di Desa Brungkan, Kelurahan Karangrejo, Kecamatan Arjosari, Kabupaten Pacitan. Pengambilan data dilakukan bertahap, dengan data awal yaitu peta topografi untuk pembuatan desain survei, kemudian dilakukan survei pendahuluan berupa pengambilan data geologi, setelah itu dilakukan akuisisi data magnetik dengan menggunakan PPM Geotron (Gambar 3).

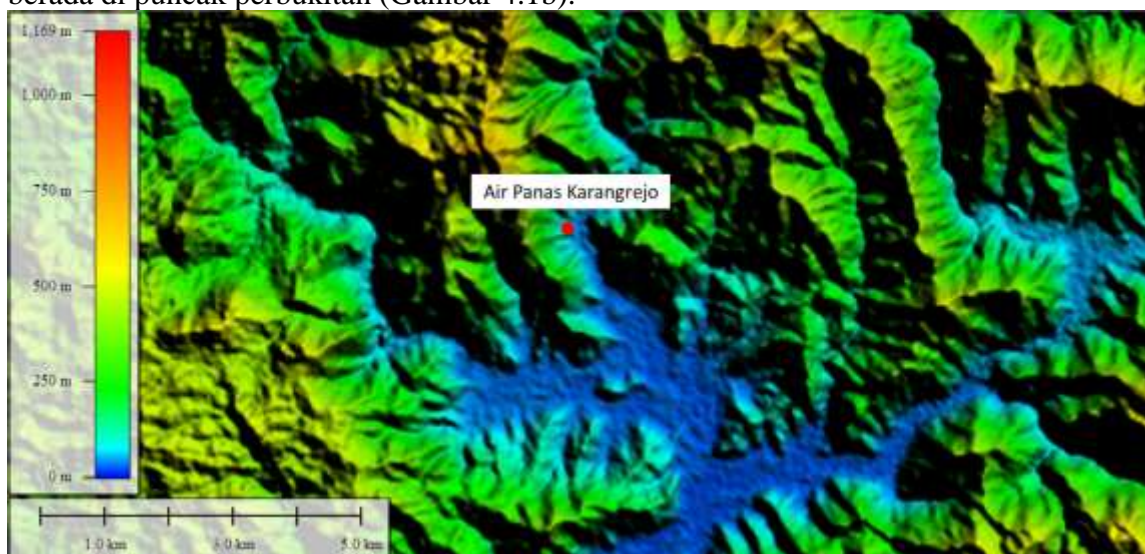


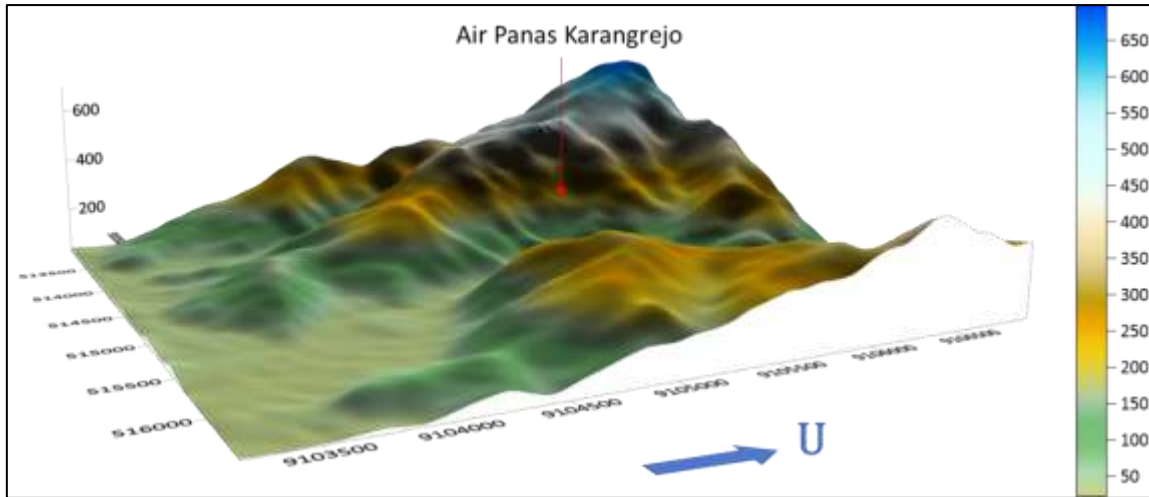
Gambar 3. Akuisisi data magnetik

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Topografi dan Geologi Panas Bumi Karangrejo

Daerah utara Kabupaten Pacitan memiliki topografi yang berbeda dengan kota Pacitan. Terlihat di Gambar 4.1a, topografi di sekitar daerah penelitian yang berada di Kecamatan Arjosari memperlihatkan keberadaan perbukitan yang memanjang dari utara ke selatan. Elevasi di daerah penelitian sangat beragam, dengan elevasi paling rendah adalah 50 m yang berada pada sekitar sungai dan elevasi paling tinggi hingga 650 m yang berada di puncak perbukitan (Gambar 4.1b).





Gambar 4. a) Topografi daerah penelitian dalam bentuk 2D, b) Topografi daerah penelitian dalam bentuk 3D

Bentang alam berupa perbukitan yang memanjang dapat dilihat pada Gambar 4. Pada gambar tersebut terlihat sungai berkelok dengan daerah banjir cukup lebar. Sungai tersebut dikelilingi oleh perbukitan tinggi yang memanjang dari utara ke selatan. Manifestasi air panas Karangrejo terletak di kaki bukit dan sangat dekat dengan sungai.

Di sekitar manifestasi air panas Karangrejo, hingga ± 500 m ke utara maupun ke selatan ditemukan banyak sekali alterasi kaolin serta material breksi vulkanik (Gambar 5). Alterasi kaolin ini ditunjukkan dari material-material yang berwarna putih. Sedangkan material breksi vulkanik ditemukan sepanjang jalan menuju ke air panas Karangrejo. Breksi vulkanik ditemukan berupa bongkahan-bongkahan besar dengan fragmen-fragmen dari material vulkanik. Disebut breksi jika fragmen memiliki besar lebih dari 2 mm dan berbentuk menyudut.



Gambar 5. Singkapan alterasi kaolin dan breksi vulkanik

Hasil Pengolahan Data Magnetik

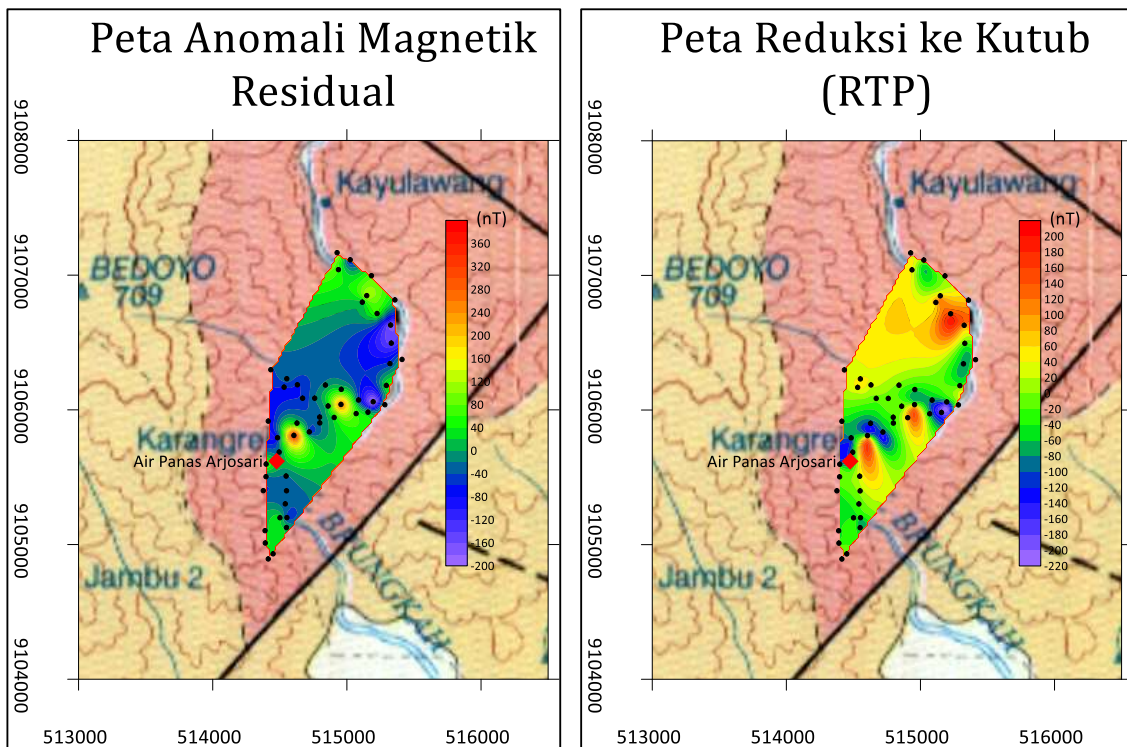
Pada hasil pengolahan data magnetik ini, diperoleh beberapa peta dari tahap-tahap pengolahan data magnetik. Peta anomali medan magnet total daerah penelitian diperoleh

dari pengolahan data mentah yang diperoleh di lapangan dengan koreksi IGRF pada daerah penelitian sebesar 45073,5 nT yang diambil dari website www.ngdc.noaa.gov (Gambar 6). Peta anomali magnetik regional diperoleh dari anomali medan magnet total diberikan filter *upward continuation* dengan menggunakan software Geosoft Oasis Montaj. Peta anomali magnetik residual merupakan selisih dari anomali total dengan anomali regional. Proses terakhir yang dilakukan adalah memberikan filter *Reduce to Pole* (RTP) pada peta anomali magnetik residual sehingga diperoleh peta RTP yang menunjukkan peta anomali magnetik yang sudah berupa monopole.

Magnetic Field							
Model Used: IGRF2020							
Latitude: 8.091385561951164° S							
Longitude: 111.13068347825556° E							
Elevation: 80.0 m Mean Sea Level							
Date	Declination (+ E - W)	Inclination (+ D - U)	Horizontal Intensity	North Comp (+ N - S)	East Comp (+ E - W)	Vertical Comp (+ D - U)	Total Field
2021-06-01	0.8120°	-32.5324°	38,000.9 nT	37,997.1 nT	538.5 nT	-24,239.5 nT	45,073.5 nT
Change/year	-0.0409°/yr	0.0940°/yr	40.3 nT/yr	40.7 nT/yr	-26.5 nT/yr	62.0 nT/yr	0.7 nT/yr

Gambar 6. Perhitungan deklinasi, inklinsi, dan IGRF daerah penelitian

Bila anomali regional menggambarkan sumber anomali yang dalam dan besar, sebaliknya sumber anomali yang lebih dangkal dan kecil digambarkan oleh peta anomali magnetik residual. Variasi nilai anomali residual berbeda dengan anomali total dan anomali regional, di mana pada kedua anomali tersebut bernilai minus. Sedangkan anomali residual bervariasi dari -200 nT hingga 360 nT (Gambar 4.7a). Meskipun nilainya berbeda, pola anomali residual ini sama dengan pola anomali total dengan nilai tinggi di bagian utara dan selatan, sedangkan nilai rendah di bagian tengah daerah penelitian.



Gambar 7.a) Peta anomali magnetik residual, b) Peta reduksi ke kutub (RTP)

Proses selanjutnya adalah RTP yang mengubah anomali magnetik dipole pada daerah dengan inklinasi antara $\pm 90^\circ$ dan 0° menjadi seolah-olah berada di inklinasi 90° dengan anomali magnetik yang *monopole*. Daerah penelitian memiliki inklinasi $-32,53^\circ$ yang menyebabkan anomali magnetik di daerah penelitian berpola *dipole*, kemudian filter RTP diberikan pada peta anomali magnetik residual sehingga memperoleh peta RTP. Pada peta RTP ini, variasi nilai anomali berkisar antara -220 nT hingga 200 nT (Gambar 7b). Beberapa spot di daerah penelitian memiliki nilai anomali magnetik yang rendah, yang menunjukkan batuan dengan suseptibilitas yang kecil. Sebaliknya, sebagian besar daerah penelitian memiliki nilai anomali magnetik yang besar (lebih besar dari -40 nT) yang menunjukkan daerah penelitian didominasi oleh batuan dengan suseptibilitas yang besar. Peta RTP ini merupakan peta yang akan dianalisis bersama informasi-informasi yang lain untuk memperoleh gambaran mengenai sistem panas bumi di Karangrejo.

Pembahasan

Manifestasi air panas Karangrejo memiliki suhu yang tidak terlalu tinggi, hanya berkisar dari 35° C hingga 42° C di kolam pemandiannya. Suhu pada kolam penampungan tidak dapat diukur karena adanya pagar yang membatasi kolam tersebut. Manifestasi yang memiliki suhu tidak terlalu tinggi tersebut mengindikasikan temperature reservoir panas buminya juga cukup rendah. Menurut Haenel et al (1988), sumber panas bumi enthalpi rendah berkorespondensi dengan temperature reservoir yang rendah, kurang dari 150° C. Dapat disimpulkan bahwa sistem panas bumi Karangrejo memiliki sumber dengan enthalpi rendah.

Kabupaten Pacitan bagian utara memiliki bentang alam berupa perbukitan memanjang seperti tergambar pada Gambar 4.1. Perbukitan memanjang ini merupakan salah satu hasil dari aktifitas struktur geologi yang sangat aktif. Dapat dilihat di peta geologi (Gambar 1) bahwa di sekitar daerah penelitian sangat banyak patahan-patahan yang memiliki umur bervariasi. Salah satu tipe sistem panas bumi enthalpi rendah adalah sistem panas bumi akibat sesar (*fault-hosted geothermal system*). Sistem panas bumi ini memiliki sumber panas dari mantel atas yang kemudian terkonduksi ke atas hingga akuifer yang dalam. Panas tersebut kemudian terkonveksi hingga sampai ke permukaan melalui sesar. Sesar yang berasosiasi dengan sistem panas bumi Karangrejo ini diperkirakan berarah utara-selatan. Namun begitu, di dekat daerah penelitian ada juga sesar yang berarah timur laut-barat daya dan sesar yang berarah tenggara-barat laut (Abdullah et al., 2003; Samodra et al., 1992) yang merupakan kemenerusan dari Sesar Grindulu yang termasuk sesar regional.

Peta anomali magnetik (Gambar 7) didominasi oleh anomali bernilai tinggi yang ditunjukkan oleh warna kuning hingga merah. Anomali tinggi ini menunjukkan batuan di daerah penelitian didominasi oleh batuan dengan suseptibilitas cukup tinggi. Hal ini kemungkinan berhubungan dengan alterasi kaolin dan batuan andesit yang ditemukan mendominasi daerah penelitian (Telford et al., 1990). Meskipun alterasi kaolin merupakan produk dari proses hidrothermal, namun proses *hydrothermal* yang menyebabkan alterasi kaolin ini berbeda dengan sistem panas bumi aktif yang dicari saat ini. Alterasi kaolin memiliki suhu rendah (100° C- 200° C) (Morrison, 1997) yang merupakan hasil vulkanisme masa lampau. Diperkirakan batuan yang teralterasi berumur Eosen, sedangkan panasnya paling tidak berumur Miosen. Panas tersebut sudah berhenti, sehingga berbeda sistem dengan sistem panas bumi Karangrejo yang masih aktif hingga saat ini. Sumber panas dari sistem panas bumi Karangrejo diperkirakan berupa magma dalam, bukan magma dangkal (Purnomo & Pichler, 2014).

Dari peta anomali magnetik (Gambar 7b), beberapa spot memiliki nilai anomali rendah, termasuk di manifestasi air panas Karangrejo. Hal ini menunjukkan daerah yang

memiliki panas hingga dekat permukaan akan memiliki nilai anomali magnetik rendah dikarenakan suseptibilitas batuan yang berkurang akibat panas. Dalam peta ini dapat dilihat bahwa daerah dengan suseptibilitas rendah ini hampir menerus ke arah timur laut dari manifestasi air panas Karangrejo. Ada kemungkinan bahwa sesar yang berasosiasi dengan manifestasi ini memiliki arah timur laut-barat daya (Samodra et al., 1992). Namun perlu dilakukan penelitian dengan area yang lebih besar agar dapat melihat gambaran yang lebih regional untuk menentukan sesar yang berasosiasi dengan manifestasi air panas Arjosari ini, karena sangat dekat dengan manifestasi terdapat gawir sesar yang merupakan bukti fisik keberadaan sesar berarah utara-selatan. Selain itu, survei geofisika dengan metode lain perlu dilakukan, terutama dengan menggunakan metode geofisika yang dapat mendeteksi sesar, seperti metode gravitasi.

4. KESIMPULAN

Sistem panas bumi Karangrejo merupakan sistem panas bumi akibat sesar (*fault-hosted geothermal system*), dengan sesar yang berasosiasi berarah utara-selatan dan timurlaut-baratdaya. Daerah penelitian didominasi oleh anomali medan magnet yang tinggi yang berhubungan dengan alterasi kaolin dan batuan andesit. Sedangkan anomali medan magnet yang rendah berada di sekitar manifestasi berupa sumber air panas. Nilai anomali magnetik rendah dikarenakan suseptibilitas batuan yang berkurang akibat panas.

UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terima kasih diberikan penulis kepada DPP/DPP Fakultas MIPA, Universitas Brawijaya yang telah memberikan dana penelitian berdasarkan Surat Perjanjian Nomor 1512/UN10.F09/PN/2021.

5. REFERENCES

- Abdullah, C. I., Magetsari, N. A., & Purwanto, H. S. (2003). Analisis Dinamik Tegangan Purba pada Satuan Batuan Paleogen – Neogen di Daerah Pacitan dan Sekitarnya, Provinsi Jawa Timur Ditinjau dari Studi Sesar Minor dan Kekar Tektonik. *ITB Journal of Sciences*, 35(2), 111–127. <https://doi.org/10.5614/itbj.sci.2003.35.2.3>
- Bemmelen, R. W. van. (1949). *The Geology of Indonesia* ([Special ed. of the Bureau of Mines in Indonesia, Dept. of Transport, Energy, and Mining]). Govt. Print. Off.; sole agents, Nijhoff. <http://catalog.hathitrust.org/api/volumes/oclc/1517019.html>
- Haenel, R., Rybach, L., & Stegena, L. (1988). Fundamentals of Geothermics. In R. Haenel, L. Rybach, & L. Stegena (Eds.), *Handbook of Terrestrial Heat-Flow Density Determination* (pp. 9–57). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-94-009-2847-3_2
- Lestari, T. E. (2016). *Interpretasi Bawah Permukaan Daerah Manifestasi Panas Bumi Desa Karangrejo Kecamatan Arjosari, Pacitan Menggunakan Metode Geomagnet*. 5, 7.
- Morrison, K. (1997). *Important Hydrothermal Minerals and Their Significance*. Geothermal and Minerals Service Division Limited,.
- Purnomo, B. J., & Pichler, T. (2014). Geothermal systems on the island of Java, Indonesia. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 285, 47–59. <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2014.08.004>
- Samodra, H., Gafoer, S., & Tjokrosapoetro, S. (1992). *Peta Geologi Lembar Pacitan, Jawa* [Map]. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.
- Smyth, H. R., Hall, R., & Nichols, G. J. (2008). Cenozoic volcanic arc history of East Java, Indonesia: The stratigraphic record of eruptions on an active continental margin. In *Special Paper 436: Formation*

and Applications of the Sedimentary Record in Arc Collision Zones (Vol. 436, pp. 199–222). Geological Society of America. [https://doi.org/10.1130/2008.2436\(10\)](https://doi.org/10.1130/2008.2436(10))

Soeria-Atmadja, R., Maury, R. C., Bellon, H., Pringgoprawiro, H., Polve, M., & Priadi, B. (1994). Tertiary magmatic belts in Java. *Journal of Southeast Asian Earth Sciences*, 9(1–2), 13–27. [https://doi.org/10.1016/0743-9547\(94\)90062-0](https://doi.org/10.1016/0743-9547(94)90062-0)

Sumotarto, U., Hendrasto, F., Meirawati, M., & Azzam, I. (2020). *Geology of Arjosari geothermal area, Pacitan, East Java*. 070001. <https://doi.org/10.1063/5.0007201>

Sutanto. (2003). Batuan Vulkanik Tersier Di Daerah Pacitan Dan Sekitarnya. *Majalah Geologi Indonesia*, 18(2), 159-167.

Telford, W. M., Geldart, L. P., & Sheriff, R. E. (1990). *Applied Geophysics* (2nd ed.). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9781139167932>

Wardani, R. (2017). *Peluncuran Buku Potensi Panas Bumi Indonesia*. <https://ebtke.esdm.go.id/post/2017/09/26/1753/peluncuran.buku.potensi.panas.bumi.indonesia.2017>