

INTERPRETASI ANOMALI MEDAN MAGNET BUMI DI KAWASAN GUNUNGAPI LAMONGAN

Ninik Agustin

Prodi Teknik Informatika, Fakultas Matematika dan Ilmu Komputer, Universitas Nahdlatul Ulama Al-Ghazali
Cilacap

Email: nika.agustin@gmail.com

Abstrak

Lumajang merupakan salah satu kabupaten di Jawa Timur yang terdapat Kawasan Gunungapi Lamongan. Gunungapi Lamongan merupakan Gunungapi monogenesis muda yang tumbuh dari sesar pada puncaknya. Erupsi yang terjadi pada Gunungapi Lamongan tidak hanya pada gunung utama, tetapi juga membentuk kerucut parasit di sekitar gunung utama berupa cinder cone dan maar. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui ada tidaknya aktivitas vulkanik di bawah permukaan Kawasan Gunungapi Lamongan berdasarkan data anomali medan magnet. Pengambilan data medan magnet dilakukan pada 443 titik di sisi barat Kawasan. Anomali medan magnet total didapatkan dari koreksi harian dan IGRF data medan magnet. RTP dan kontinuitas ke atas selanjutnya dilakukan untuk mendapatkan anomali medan magnet terkontinuasi. Data anomali medan magnet diinterpretasi untuk mengonfirmasi adanya suhu tinggi batuan bawah permukaan pada daerah selatan, barat, dan utara dari Gunungapi Lamongan di sekitar maar dan cinder cone yang diindikasikan dengan anomali magnetik negatif.

Kata kunci: Gunungapi Lamongan, maar, cinder cone, anomali magnetik.

Abstract

Lumajang is one of district at Jawa Timur regency where located Lamongan volcanic area. Lamongan volcano is a young monogenetic volcano that was growth from a fault at the summit. Eruption at Lamongan volcano not only occurred at the main volcano, but also at parasite cone at Lamongan volcanic area such us cinder cones dan maars This research was conducted to find out volcanic activity at subsurface of Lamongan volcanic area based on magnetic anomaly. Magnetic data acquisition was conducted at 443 station at western area. Total magnetic anomaly was obtained by reducing total magnetic field by diurnal variation and IGRF. Total magnetic anomaly was filtered by RTP and upward continuation to obtained continued magnetic anomaly. Based on interpretation of magnetic anomaly, there is an area at south, west, and north with high temperature subsurface rock around maars and cinder cones, that is indicated by negative magnetic anomaly.

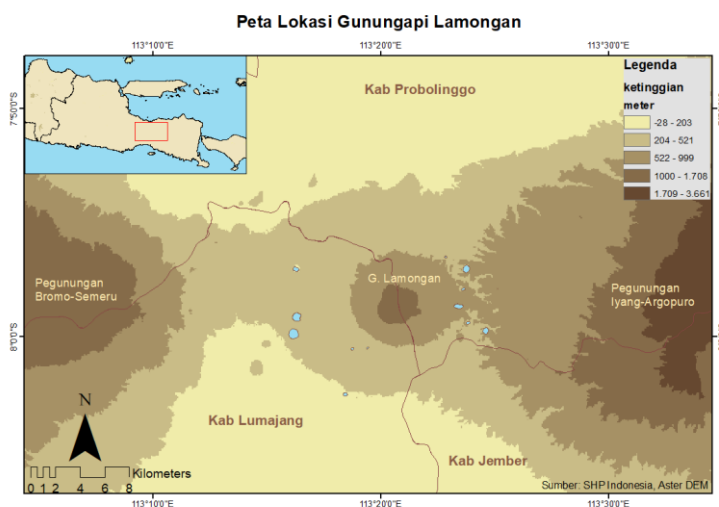
Keywords: Lamongan volcano, maar, cinder cone, magnetic anomaly.

1. Pendahuluan

Lumajang merupakan salah satu kabupaten di Jawa Timur yang memiliki dua Kawasan Gunungapi. Bagian barat Kabupaten Lumajang terdapat Kawasan Bromo Tengger Semeru, dan di bagian timur terdapat Kawasan Gunungapi Lamongan (Gambar 1). Gunungapi Lamongan merupakan Gunungapi monogenesis muda yang tumbuh dari sesar pada puncaknya. Erupsi yang terjadi pada Gunungapi Lamongan tidak hanya pada gunung utama, tetapi juga membentuk kerucut parasit berjumlah sekitar 37 cinder cone dan 27 maar di sekitar gunung utama [1].

Gunungapi Lamongan terletak di zona transisi antara zona subduksi dominasi kompresi dan punggung busur Masalima yang mengarah ke utara hingga Laut Jawa [2]. Cinder cone dan Maar terbentuk ketika terjadinya kontak antara magma dan air sehingga menimbulkan erupsi freatomagmatik yang disertai dengan muntahan piroklastik dan aliran timbunan material [3]. Produk erupsi gunung tersebut, antara lain berupa erupsi pusat Tarub (Lamongan Tua), Lamongan Muda (Lamongan sekarang), hasil erupsi samping, erupsi eksentrik, erupsi freatik, dan endapan sekunder. Hasil erupsi kawah pusat sebagian besar berupa lava dan jatuhnya piroklastik, erupsi samping menghasilkan sebagian besar berupa aliran lava, erupsi eksentrik menghasilkan lava atau piroklastik dan kombinasi lava serta piroklastik. Berdasarkan data geologi dan geokimia, rata-rata umur cinder cone dan Maar di Kawasan Gunungapi Lamongan terbentuk dari hasil erupsi pada abad ke-18 hingga ke-19 [4]. Aktivitas vulkanik selanjutnya tercatat adanya aktivitas seismik di kawasan Gunungapi Lamongan [5]. Berdasarkan data InSAR tahun 2015, kawasan Gunungapi Lamongan termasuk Gunungapi dengan kenaikan permukaan relatif tinggi yang dimungkinkan karena adanya aktivitas magmatik di bawah permukaan [6]. Data mikroseismik juga menunjukkan adanya aktivitas yang disebabkan oleh kerucut-kerucut parasit di bagian utara dan barat [7].

Berdasarkan uraian tersebut, kawasan Gunungapi Lamongan ini menarik untuk diteliti lebih lanjut mengenai ada tidaknya aktivitas vulkanik di bawah permukaan.



Gambar 1. Peta Kawasan Gunungapi Lamongan.

Salah satu metode geofisika yang digunakan untuk menentukan struktur bawah permukaan adalah metode magnetik. Metode magnetik bekerja berdasarkan pengukuran variasi intensitas medan magnet di permukaan bumi. Variasi intensitas Gambar 1. medan magnet ditimbulkan karena adanya kontras sifat kemagnetan antar batuan di lapisan kerak bumi sehingga menimbulkan medan magnet bumi yang tidak homogen, atau disebut juga anomali magnetik. Metode magnetik digunakan dalam survei pemetaan eksplorasi mineral, pemetaan struktur geologi, maupun perbedaan litologi batuan [8]. Metode magnetik digunakan dalam penentuan reservoir pada sistem panas bumi melalui adanya anomali magnetik rendah yang menginterpretasikan zona-zona sumber panas [9].

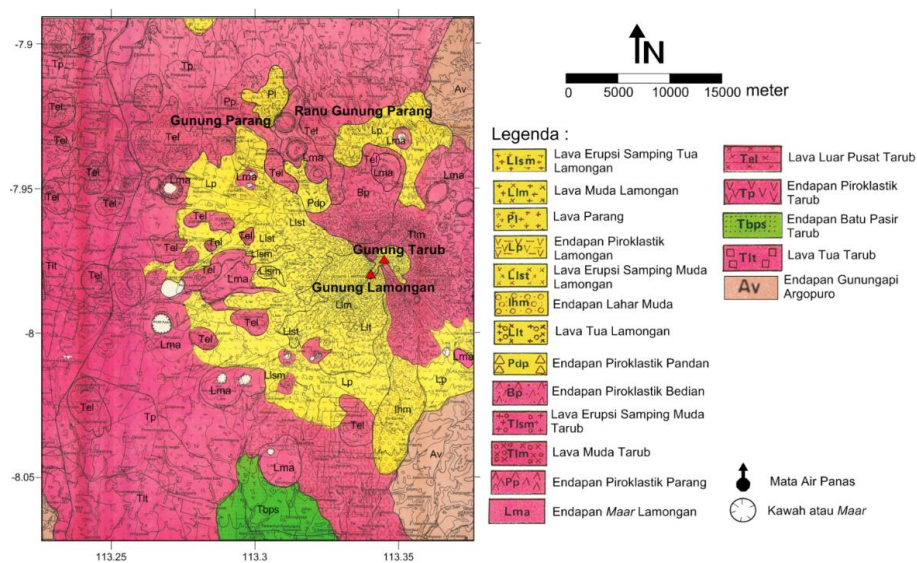
Penelitian menggunakan metode magnetik pada Kawasan Gunungapi Lamongan belum pernah dilakukan. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui ada tidaknya aktivitas vulkanik di bawah permukaan Kawasan Gunungapi Lamongan menggunakan data anomali magnetik.

2. Geologi G. Lamongan

Gunungapi Lamongan terletak pada busur Sunda diantara kompleks Pegunungan Bromo-Semeru dan Pegunungan Iyang-Argopuro. Deretan Gunungapi tersebut termasuk pada Zona Gugusan Gunungapi yang aktif sejak jaman Miosin akhir, yang merupakan zona geologi regional termuda di Pulau Jawa. Jenis batuan di Zona Gugusan Gunungapi ini Sebagian besar merupakan material erupsi gunungapi yang dihasilkan oleh Gunungapi-gunungapi di Zona ini.

Gunungapi Lamongan merupakan gunungapi muda yang lahir dari pensesaran Gunung Tarub dengan arag tenggara-barat laut dengan ketinggian 1651 mdpl. Kerucut eksentrik berupa *cinder cone* dan *maar* tersebar di sekitar Gunungapi Lamongan sepanjang 37 km arah barat-timur dan 18 km arah utara-selatan. *System fissure* juga terdapat pada arah timur-timur laut hingga barat-barat-daya dan tercatat beberapa gempa bumi lokal yang menyebabkan adanya pola-pola struktur kerucut parasit yang berkembang di Kawasan Gunungapi Lamongan [10].

Batuan permukaan pada Kawasan Gunungapi Lamongan merupakan batuan produk vulkanik dari erupsi yang terjadi baik dari kawah utama Gunung Lamongan dan Gunung Tarub, maupun dari kerucut-kerucut parasit di sekitarnya [5]. Sebagian Kawasan memiliki batuan vulkanik hasil dari erupsi masa Gunung Tarub, ditunjukkan dengan batuan berwarna merah muda pada Gambar 2, sedangkan Kawasan lain dengan warna batuan kuning memiliki batuan dengan umur lebih muda yang terbentuk pada masa erupsi Gunung Lamongan.



Gambar 2. Peta Geologi Kawasan Gubungapi Lamongan [2].

3. Metode Penelitian

Pengambilan data medan magnet dilakukan selama 11 hari, pada tanggal 20 Desember 2014 sampai dengan 31 Januari 2015. Penelitian ini dilaksanakan di Kawasan sisi barat Gunungapi Lamongan dengan luas wilayah sekitar 15 km x 20 km. Secara geografis terletak pada koordinat 113,343° sampai 113,246° BT dan -7,902° sampai -8,053° LS di Kabupaten Lumajang dan Probolinggo, Propinsi Jawa Timur. Penelitian ini terdiri dari pengambilan data primer medan magnet, pengolahan data, serta analisis dan interpretasi data.

3.1. Pengambilan Data

Pengambilan data diawali dengan pembuatan desain survei yang dilakukan pada hari pertama setelah meninjau seluruh lokasi pengambilan data. Hal ini dilakukan untuk memperkirakan penentuan setiap titik pengambilan data yang tepat dengan memperhatikan *noise* yang ada di sekitarnya dan persiapan teknis lainnya. Desain survei titik pengukuran dibuat mendekati grid agar diperoleh data pengukuran medan magnet yang merata. Jarak antar titik sekitar 250 – 300 m menyesuaikan dengan kondisi lapangan. Pengambilan data medan magnet dilakukan dengan satu alat sebagai *base station*, dan dua alat untuk pengambilan data tiap titik pengukuran. *Base station* menggunakan 1 buah *Proton Precession Magnetometer (PPM)* tipe GEM GSM-19T yang dilengkapi sensor, tongkat, dan baterai kering, sebagai perekam data medan magnet di titik *base*. Dua buah PPM Geotron model G5 digunakan untuk pengambilan data di setiap titik pengukuran. Setiap titik pengukuran intensitas medan magnet total dilakukan pada lima titik yang berbeda dengan setiap titik diukur satu kali. Jarak antara satu titik dengan titik yang lain dibuat sekitar satu meter. Tujuannya adalah untuk mencari nilai medan magnet observasi yang dominan pada satu titik pengukuran dan untuk mereduksi *noise* lokal. Data yang diambil dalam pengukuran meliputi hari dan tanggal pengambilan data, koordinat titik pengukuran (x, y, z) dan waktu saat pengambilan data tiap titik. Pengambilan data setiap titik dilakukan lima kali dengan spasi satu meter ke arah kanan, kiri, depan, dan belakang.

3.2. Pengolahan Data

Pengolahan data diawali dengan melakukan koreksi harian dari data medan magnet *base station*. Koreksi harian atau koreksi medan luar dilakukan dengan tujuan untuk mereduksi *noise* yang disebabkan oleh benda-benda magnetik di sekitar titik pengukuran [8]. Koreksi dilakukan dengan memperoleh nilai variasi harian mengurangi nilai medan magnet total tiap perekaman dengan salah satu nilai medan magnet yang dipilih (*baseline*). Nilai variasi harian (ΔH_d) kemudian digunakan untuk mengoreksi nilai intensitas medan magnet pada setiap titik pengukuran dengan waktu yang hampir sama. Selanjutnya dilakukan koreksi medan magnet utama bumi teoritis (H_0) yang dari IGRF (*International Geomagnetics Reference Field*) dengan nilai sudut inklinasi dan deklinasi yang sama [8]. Koreksi IGRF dilakukan dengan mengurangi nilai medan magnet total dengan nilai IGRF daerah setempat. Nilai IGRF tiap titik pengukuran diakses dari <http://www.ngdc.noaa.gov/geomag-web/?model=igrf#igrfwmm> dengan

melakukan input data koordinat dan tanggal pengambilan data. Hasil dari koreksi harian dan IGRF berupa data anomali medan magnet total (ΔH), dirumuskan pada persamaan (1) berikut:

$$\Delta H = H_{obs} \pm \Delta H_d - H_0 \quad (1)$$

Pengolahan lebih lanjut dilakukan dengan mentransformasikan data anomali medan magnet total ke kutub menggunakan metode reduksi ke kutub. Anomali medan magnet pada daerah dengan lintang rendah atau di sekitar ekuator, memiliki kutub positif dan negatif yang sama kuat. Hal tersebut menyebabkan interpretasi data medan magnet sulit dilakukan untuk menentukan posisi benda penyebab anomali. Proses transformasi reduksi ke kutub dilakukan dengan mengubah arah magnetisasi dan medan utama dalam arah vertikal menggunakan transformasi Fourier [11]. Reduksi ke kutub dilakukan menggunakan *software* Magpick.

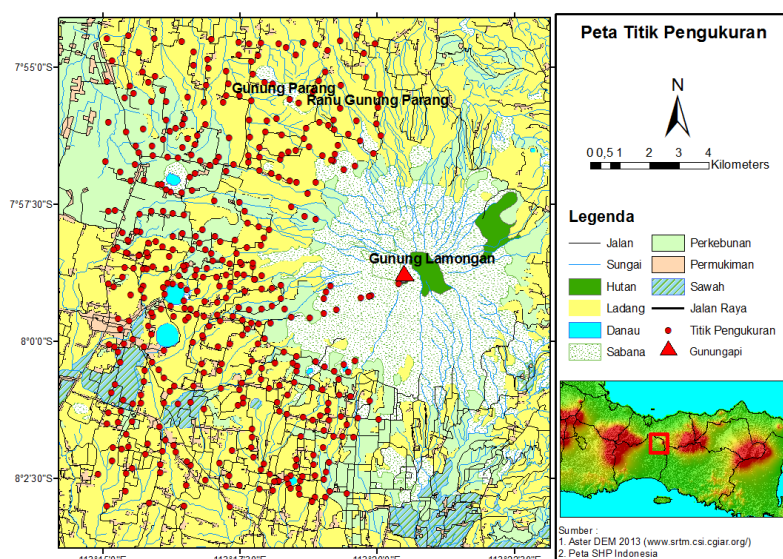
Trasnformasi data kedua yang dilakukan adalah kontinuitas ke atas. Transformasi ini mengatenuasi anomali medan magnet sebagai fungsi panjang gelombang, semakin pendek panjang gelombangnya maka semakin besar atenuasinya. Konsep dasar kontinuitas ke atas berasal dari identitas ketiga teorema Green. Suatu medan potensial yang bersifat kontinu pada permukaan asal dapat ditransformasikan ke permukaan dengan ketinggian tertentu. Kontinuitas paling sederhana untuk medan potensial yang terukur pada bidang datar dengan menggunakan sistem koordinat kartesian, dengan sumbu z ke arah bawah [11]. Transformasi kontinuitas keatas dilakukan menggunakan *software* Magpick dengan mengangkat anomali medan magnet yang telah tereduksi ke kutub, dari permukaan asal ke permukaan dengan ketinggian tertentu. Hasil dari transformasi ini adalah anomali medan magnet yang lebih bersifat regional.

3.3 Interpretasi Data

Data anomali medan magnet total dan anomali medan magnet regional kemudian dipetakan menggunakan Surfer 13 untuk selanjutnya dilakukan interpretasi. Pada penelitian ini, interpretasi data dilakukan secara kualitatif dengan menganalisis tinggi rendahnya anomali medan magnet didukung dengan data geologi untuk menentukan ada tidaknya aktivitas vulkanik di bawah permukaan Kawasan Gunungapi Lamongan.

4. Hasil dan Analisis

Hasil pengambilan data berupa data intensitas medan magnet pada titik pengukuran dan data intensitas medan magnet di base station selama 10 hari. Terdapat 443 titik dengan jarak antar titik 250 – 300 m yang dipetakan pada Gambar 3. Titik-titik pengukuran tersebar di Kawasan barat Gunungapi Lamongan yang terdapat banyak kenampakan *maar* dan *cinder cone* yang merupakan fokus dari penelitian ini.



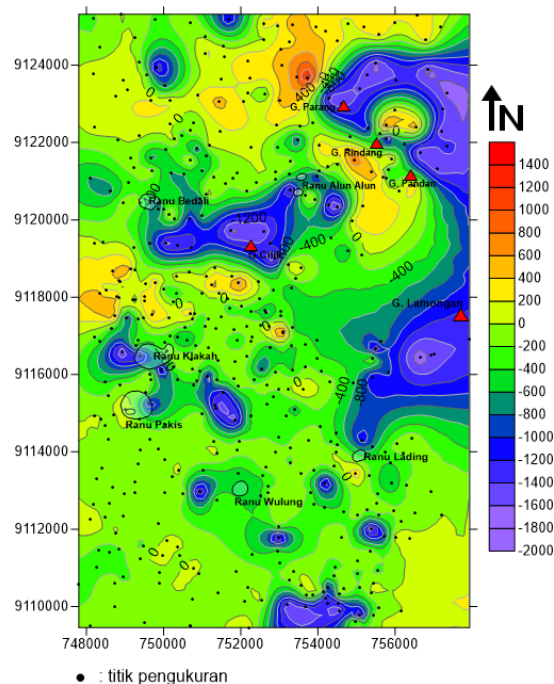
Gambar 3. Peta sebaran titik pengambilan data medan magnet total

Hasil pengambilan data pada *base station* kemudian dibuat menjadi data variasi harian. Nilai variasi harian dalam 10 hari pengambilan data tergolong dalam kisaran normal (tidak lebih dari 10 nT) sehingga data variasi dapat digunakan sebagai koreksi. Selanjutnya, hasil pengambilan data intensitas medan magnet kemudian dikoreksi IGRF dan variasi harian dengan persamaan 1, sehingga menghasilkan nilai anomali medan magnet total. Anomali medan magnet total kemudian dipetakan menggunakan *software* Surfer 13 sehingga menjadi peta anomali medan magnet total yang disajikan pada Gambar 3.

Nilai anomali medan magnet total berkisar dari -1800 hingga 1400 nT. Berdasarkan peta anomali medan magnet total pada Gambar 3, terlihat adanya anomali positif dan negatif. Anomali medan magnet positif (warna kuning hingga merah) menunjukkan bahwa batuan di bawah permukaan memiliki kemagnetan yang tinggi. Sedangkan anomali medan magnet negatif (warna hijau hingga ungu) menunjukkan batuan di bawah permukaan bernilai rendah pada kandungan magnetiknya. Anomali-anomali pada Gambar 3 hampir seluruhnya membentuk klosur-klosur tertutup. Hal ini menunjukkan bahwa anomali pada Kawasan Gunungapi Lamongan merupakan struktur-struktur lokal.

Berdasarkan informasi geologi, Kawasan Gunungapi Lamongan memiliki batuan dominan berupa batuan beku serta tidak ditemukan struktur geologi besar [8]. Perbedaan anomali positif dan negatif serta klosur-klosur yang terbentuk maka bukan disebabkan oleh perbedaan jenis batuan, maka kontras anomali dapat disebabkan oleh perbedaan suhu pada batuan di bawah permukaan. Pengaruh suhu pada sifat kemagnetan batuan adalah melemahkan, maka batuan yang memiliki suhu lebih tinggi dibandingkan sekitarnya memiliki anomali negatif.

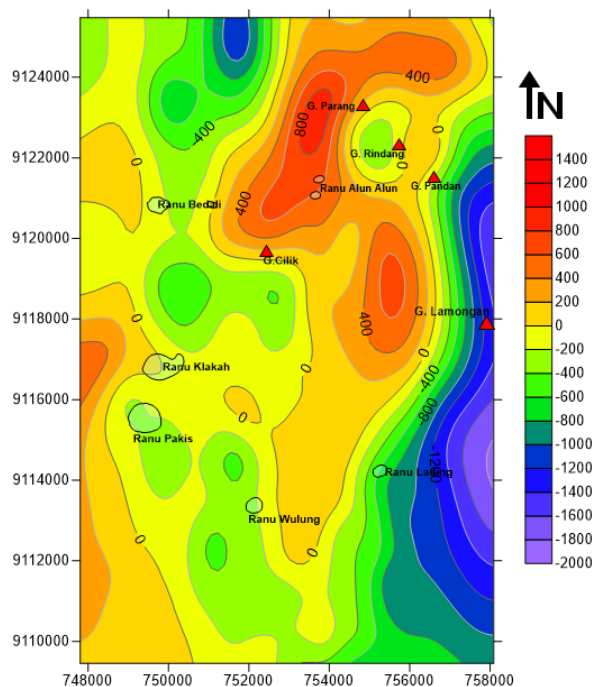
Gambar 4 memperlihatkan bahwa anomali negatif berada pada daerah di sekitar *maar* ataupun *cindercone*. Anomali negatif pada sisi selatan tampak berada di sekitar Ranu Wurung dan Ranu Lading. Kemudian ke arah barat terdapat anomali negatif yang lebih tinggi di sekitar Ranu Klakah dan Ranu Pakis. Anomali negatif membentuk klosur tertutup yang lebih besar pada sekitar Ranu Bedali, Gunung Cilik dan Ranu Alun Alun. Selanjutnya, di sisi utara, terdapat kenampakan Gunung Parang, Gunung Rindang, dan Gunung Pandan yang disekitarnya terdapat anomali negatif.



Gambar 4. Peta anomali medan magnet total.

Data anomali medan magnet total selanjutnya ditransformasikan menggunakan reduksi ke kutub dan kontinuasi ke atas. Reduksi ke kutub dilakukan transformasi data anomali medan magnet total dengan sudut inklinasi dan deklinasi daerah penelitian dengan sudut inklinasi $32,6^\circ$ dan deklinasi $1,16^\circ$ diubah sudut inklinasinya menjadi -90° dan deklinasinya menjadi 0° . Selanjutnya, dilakukan transformasi berupa anomali medan magnet yang terkontinuasi pada ketinggian 600 m, disajikan pada Gambar 4. Gambar 4 menyajikan anomali medan magnet yang lebih regional sehingga efek lokal telah direduksi dan menampilkan anomali medan magnet yang lebih regional dengan sumber yang lebih dalam. Anomali

medan magnet berkisar dari 1400 nT hingga -1700 nT. Terlihat anomali negatif terkonsentrasi pada bagian selatan dan barat Kawasan mulai dari Ranu Lading, kearah barat hingga Ranu Wurung, Ranu Pakis, Ranu Klakah, dan ke utara hingga Ranu Bedali. Anomali medan magnet negatif pada beberapa Ranu tersebut dapat mengindikasikan adanya zona demagnetisasi hidrothermal di bawah permukaan [12]. Zona demagnetisasi hidrothermal disebabkan oleh adanya aktivitas vulkanik sehingga suhu zona tersebut relatif lebih tinggi dibandingkan daerah di sekitarnya. Bawah permukaan di daerah sekitar Ranu Lading, kearah barat hingga Ranu Wurung, Ranu Pakis, Ranu Klakah, dan ke utara hingga Ranu Bedali memiliki suhu lebih tinggi karena adanya aktivitas vulkanik.



Gambar 5. Peta anomali medan magnet terkontinuasi 600 m

Anomali medan magnet positif yang lebih mendominasi pada bagian utara membentuk klosur tertutup dan terdapat kontras anomali. Kontras anomali dengan klosur tertutup mengindikasikan adanya struktur di bawah permukaan. Hal ini sejalan dengan kenampakan geologi berupa kelurusan struktur yang diindikasikan dengan adanya tiga *cinder cone* yaitu Gunung Parang, Gunung Rindang, dan Gunung Pandan.

Secara keseluruhan, berdasarkan peta anomali medan magnet total (Gambar 4) dan peta anomali medan magnet terkontinuasi (Gambar 5), daerah-daerah di sekitar *maar* dan *cindercone* memiliki anomali medan magnet negatif yang diindikasikan karena adanya aktivitas vulkanik pada daerah tersebut. Hal ini mengacu pada banyaknya aktivitas seismik pada daerah-daerah tersebut [5].

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan analisis penelitian ini, maka disimpulkan bahwa data anomali medan magnet mengonfirmasi adanya suhu tinggi batuan bawah permukaan pada daerah selatan, barat, dan utara dari Gunungapi Lamongan yang diindikasikan dengan anomali medan magnet negatif.

Daftar Pustaka

- [1] Carn A.S. The Lamongan volcanic field, East Java, Indonesia: Physical volcanology, historic activity and hazards. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*. 2000: 95: 81–108.
- [2] Bronto S, Situmorang T, Effendi W. Peta Geologi Gunungapi Lamongan, Lumajang, Jawa Timur. Bandung: Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi: 1986.
- [3] Deon F, Förster H.J, Wiegand B, Moeck I, Scheytt, T, Jaya M, Putriatni D, Supoyo. Greenfield Exploration of Hidden Magmatically Driven Geothermal Systems in Active Subduction Zone: Case Study Lamongan (Eastern Java, Indonesia). *Proceeding World Geothermal Congress*. 2015.

- [4] Carn A.S. Application of synthetic aperture radar (SAR) imagery to volcano mapping in the humid tropics: a case study in East Java, Indonesia. *Bull Volcanol.* 1999: 61: 92–105.
- [5] Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi. Data Dasar Gunungapi Indonesia. Badan Geologi Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. Bandung: 2014.
- [6] Chaussard E, Amelung F. Precursory inflation of shallow magma reservoirs at west Sunda volcanoes detected by InSAR. *Geophysical Research Letters.* 2012: 39.
- [7] Kusuma P, Utama W, Jaya M. Application of Ensemble Empirical Mode Decomposition The Passive Seismic Signals for Identification of Hydrothermal Activity Signals, Case Study: Mt. Lamongan, East Java – Indonesia, Proceedings World Geothermal Congress, Australia. 2015.
- [8] Reynold J.M. An Intoduction to Applied Environmental Geophysics. West Sussex: John Wiley & Sons: 1997.
- [9] Sumintadirejo P. Vulkanologi dan Geothermal: Diktat kuliah vulkanologi dan geothermal. Bandung: Penerbit ITB: 2005: 15.
- [10] Bemmelen V.R.W. The Geology of Indonesia. Govt. Printing Office, Nijhoff, The Hague, 1949. :732.
- [11] Blakely R.J. Potential Theory in Gravity and Magnetic Applications. Cambrige University Press: USA: 1995
- [12] Daud Y, Rosid S, Fahmi S, Yunus M.F, Muflihendri R. Geomagnetic Survey to Explore High-Temperature Geothermal System in Blawan-Ijen, East Java, Indonesia. ICENIS 2017. E3S Web of Conferences 31, 02003. 2018.