



INTERPRETASI BAWAH PERMUKAAN DAERAH SESAR KALI KREO BERDASARKAN DATA MAGNETIK

Retno Purwaningsih[✉], Khumaedi, Hadi Susanto

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

Info Artikel

Diterima Pebruari 2015
Disetujui Pebruari 2015
Dipublikasikan Agustus 2015

Keywords:

fault zone; magnetic data; subsurface's structure

Abstrak

Telah dilakukan survey medan magnet untuk mengetahui struktur bawah permukaan pada lokasi sesar di sekitar Kali Kreo, wilayah Kecamatan Gunungpati dan Kecamatan Ngaliyan. Penelitian ini dilatarbelakangi oleh banyaknya ditemukan lokasi-lokasi dengan pergerakan tanah yang memungkinkan terjadinya longsor. Titik pengukuran sebanyak 55 titik yang dilakukan secara *looping* selama tiga hari, yaitu pada tanggal 26-28 Desember 2014. Pengukuran medan magnet menggunakan *Proton Precession Magnetometer* GEM System tipe GSM-19T. Hasil penelitian berupa peta kontur medan magnet anomali yang dapat mengindikasikan adanya sesar. Wilayah dengan kontras medan magnet anomali yang merupakan zona sesar yaitu wilayah utara Kelurahan Pongangan, wilayah tenggara Kelurahan Sadeng, wilayah utara Kelurahan Kandri, dan wilayah barat Kelurahan Kalisegoro, serta sebagian wilayah selatan Kelurahan Kalipancur. Formasi batuan yang mengalami pergerakan relatif terhadap formasi lainnya adalah formasi Damar (QTd) dengan nilai susceptibilitas magnetik antara $-0,003 - 0,0169$ dalam satuan cgs.

Abstract

Magnetic survey has been carried out to estimate the subsurface's structure in the fault zone around Kali Kreo, within Gunungpati District and Ngaliyan District. This research was based on the geological condition where there was soil's movement potentially occurred and caused a landslide. There used 55 measurement point in this research that carried out by a looping methods for three days measurement, started in December 26th until 28th 2014. Magnetic field measurement used a Proton Precession Magnetometers GEM System, that was GSM-19T. The research's result was an anomaly field contour map that indicated an existence of a fault. Area with a contrast anomaly field that was a fault zone, enclosed northern area of Pongangan Village, south-eastern area of Sadeng Village, northern area of Kandri Village, and western area of Kalipancur Village. Rock formation that experienced a relative movement through the other was the Damar Formation (QTd) with the magnetic susceptibility value between $-0,003 - 0,0169$ in cgs units.

PENDAHULUAN

Zona sesar merupakan area dimana rawan terjadi bencana kegempaan maupun pergerakan tanah. Lokasi ini tidak dianjurkan sebagai lokasi pemukiman dikarenakan potensi bencana yang mungkin terjadi dapat membahayakan penduduk setempat. Pergerakan tanah yang mungkin terjadi juga berpengaruh terhadap jalur transportasi. Kondisi bawah permukaan yang tidak stabil mengakibatkan badan jalan mudah mengalami kerusakan dengan adanya gaya eksogen dari kendaraan yang melaluinya.

Hasil penelitian terkait pergerakan tanah yang dilakukan Sulistyaningrum *et al.* (2014) menunjukkan bahwa wilayah Kecamatan Gunungpati, khususnya Kelurahan Sadeng berpotensi mengalami pergerakan tanah ke arah barat laut dengan struktur geologi bawah permukaan berupa lapisan pasir dan lapisan lempung. Keberadaan lapisan pasir berada di atas lapisan lempung, dimana lapisan lempung merupakan lapisan yang stabil dan kedap air, sehingga memungkinkan lapisan pasir mudah bergerak dengan adanya pengaruh gaya endogen maupun eksogen.

Sementara itu, Yaqin dan Supriyadi (2014) telah melakukan penelitian struktur geologi di salah satu ruas jalan di Kecamatan Gunungpati. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sepanjang jalan pada formasi Kerek (Tmk) berpotensi terjadi kerusakan karena merupakan daerah rawan longsor (pergerakan tanah).

Menurut Syirojudin *et al.* (2012: 2), dampak dari aktivitas sesar dapat diminimalkan apabila karakteristik sesar tersebut telah diketahui. Secara garis besar, terdapat tiga jenis sesar berdasarkan arah pergerakannya, yaitu (1) *dip-slip fault*; (2) *strike-slip fault* dan (3) *oblique-slip fault*. Masing-masing jenis sesar memiliki dampak yang berbeda dalam zona patahan tertentu. Dengan mengetahui karakteristik sesar, dapat ditentukan orientasi dan struktur bangunan tahan gempa yang tepat untuk didirikan di wilayah zona patahan, sehingga dapat meminimalkan dampak dari bencana akibat aktivitas sesar tersebut.

Berdasarkan Peta geologi Lembar Magelang-Semarang, terdapat dua sesar normal (*normal fault*) pada lokasi penelitian. Sesar yang pertama, berarah barat laut-tenggara pada batas formasi Damar (Qtd) dan formasi Kalibeng (TmPk), dimana formasi Damar (Qtd) relatif turun terhadap formasi Kalibeng (TmPk). Sedangkan sesar yang kedua berarah barat-timur pada batas formasi Damar (Qtd) dan formasi Kerek (Tmk), dimana formasi Damar (Qtd) relatif turun terhadap formasi Kerek (Tmk).

Banyaknya dampak yang ditimbulkan dari adanya sesar menjadi faktor penting perlunya dilakukan survey lokasi sesar dan interpretasi bawah permukaan di lokasi penelitian. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menginterpretasikan sesar yang ada berdasarkan data anomali medan magnetik dan mengetahui karakteristik sesar yang ada.

Metode magnetik merupakan metode geofisika yang bekerja memanfaatkan sifat-sifat magnetik dari batuan dan material-material yang berada di bawah permukaan bumi. Data yang terukur dalam metode ini adalah nilai medan magnet yang berada di setiap area. Melalui koreksi IGRF dan koreksi variasi harian, akan diperoleh nilai medan magnet anomali. Nilai medan magnet anomali ini kemudian dipetakan dalam kontur anomali magnet. Dari hasil pemetaan tersebut, dapat diidentifikasi struktur geologi dari area survey (Fasihullisan *et al.*, 2014: 3).

Pengertian umum medan magnet bumi adalah medan dimana dapat dideteksi distribusi gaya magnet (Indratmoko *et al.*, 2009: 155). Sumber medan magnet bumi secara umum dibagi menjadi tiga, yaitu : (1) medan magnet utama bumi (*main field*); (2) medan magnet luar (*external field*) dan (3) medan magnet anomali (*anomaly field*). Medan magnet utama bersumber dari dalam bumi sendiri. Medan magnet luar bersumber dari luar bumi yang merupakan hasil ionisasi di atmosfer yang ditimbulkan oleh sinar ultraviolet dari matahari. Sedangkan medan magnet anomali dihasilkan oleh benda magnetik yang telah terinduksi oleh medan magnet utama bumi, sehingga benda tersebut memiliki medan magnet sendiri dan ikut mempengaruhi besar medan magnet total hasil pengukuran. Variasi medan magnetik yang terukur di permukaan merupakan target dari survey medan magnet anomali (Nuha *et al.*, 2014: 130).

Medan magnet anomalnya dapat ditunjukkan dalam persamaan (1) sebagai berikut (Darmawan *et al.*, 2012: 10) :

$$\Delta H = H_{obs} - H_{IGRF} \pm H_{vh} \quad (1)$$

ΔH = medan magnet anomali

H_{obs}	= medan magnet observasi (medan magnet total)
H_{IGRF}	= medan magnet utama bumi
H_{vh}	= variasi harian yang merupakan pengaruh medan magnet luar

Medan magnet total pada suatu medium ditunjukkan seperti pada persamaan (2) berikut :

$$\mathbf{B} = \mu_o(\mathbf{H} + \mathbf{M}) = \mu_o(1 + k)\mathbf{H} = \mu\mathbf{H} \quad (2)$$

\mathbf{M} merupakan tingkat magnetisasi bahan, dimana $\mathbf{M} = k\mathbf{H}$ dengan k adalah suseptibilitas magnetik bahan. Pada medium linier, \mathbf{B} (medan magnet total) sebanding dengan \mathbf{H} (medan magnetisasi), dimana μ disebut permeabilitas bahan. Dalam ruang hampa, dimana tidak ada materi termagnetisasi, maka $k = 0$, sehingga $\mu = \mu_o$ dan disebut permeabilitas ruang hampa yaitu sebesar $4\pi \times 10^{-7}$ Wb/Am (Griffiths, 1999: 275).

Suseptibilitas magnetik adalah parameter paling pokok yang dimiliki batuan dalam kajian magnetik. Respon magnetik batuan dan mineral ditentukan oleh jumlah dan suseptibilitas material magnetik di dalamnya (Telford *et al.*, 1990: 64).

Pengolahan data medan magnet setidaknya melalui tiga proses koreksi yang terdiri dari : (1) koreksi IGRF (*International Geomagnetic Reference Field*) dan koreksi variasi harian; (2) kontinuitas ke atas dan (3) koreksi reduksi ke kutub. Koreksi IGRF dilakukan dengan mengurangi nilai IGRF terhadap nilai medan magnet total yang terukur. Sedangkan koreksi variasi harian dilakukan dengan mengurangi nilai mutlak dari variasi harian medan magnet yang merupakan perubahan nilai medan magnet pada *base*.

Koreksi kontinuitas ke atas dilakukan untuk menghilangkan pengaruh 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. Kontinuitas ke atas ini dapat dilakukan dengan menggunakan program *MagPick* (Nurdiyanto *et al.*, 2004: 39).

Data anomali medan magnet total hasil kontinuitas selanjutnya direduksi ke kutub dengan tujuan dapat melokalisasi daerah-daerah dengan anomali maksimum tepat berada di atas tubuh benda penyebab anomali, sehingga dapat memudahkan dalam melakukan interpretasi. Reduksi ke kutub dilakukan dengan cara membuat sudut inklinasi benda menjadi 90° dan deklinasinya 0° . Karena pada kutub magnetik, medan magnet bumi dan induksi magnetisasinya berarah ke bawah. Dari data hasil reduksi ke kutub ini, sudah dapat dilakukan interpretasi secara kualitatif. Reduksi ini dilakukan dengan menggunakan program *Magpick* (Nurdiyanto *et al.*, 2004: 40-41).

Interpretasi data anomali medan magnetik dapat dilakukan secara kualitatif maupun kuantitatif. Secara kualitatif, interpretasi dilakukan dengan analisis peta kontur medan magnet anomali yang dibuat menggunakan *software* Surfer 11, dimana lokasi sesar digambarkan dengan kontras nilai medan magnet anomali. Interpretasi secara kuantitatif dilakukan dengan membuat model bawah permukaan dan menyesuaikan respon anomali model dengan kurva medan magnet anomali hasil penelitian menggunakan *software* Mag2DC.

METODE PENELITIAN

Penelitian dilaksanakan di sekitar aliran Kali Kreo pada minggu keempat bulan Desember. Koordinat lokasi penelitian terletak pada E $110^\circ 21' 9.8''$ – $110^\circ 22' 29.7''$ dan S $7^\circ 0' 57.2''$ – $7^\circ 3' 32.0''$, yaitu meliputi sebagian wilayah Kelurahan Kandri, Kelurahan Pongangan, Kelurahan Sadeng, dan Kelurahan Kalipancur dengan luas area sekitar $\pm 11,836$ Km². Penelitian ini mengaji struktur geologi berupa sesar yang didasarkan pada peta geologi. Desain titik pengukuran dibuat menggunakan *software* Surfer 11.

Desain titik pengukuran terdiri dari 55 titik pengukuran yang menyebar. Pengukuran dilakukan secara *looping* menggunakan satu set alat PPM (*Proton Precession Magnetometers*) tipe GSM-19T produk GEM System untuk memperoleh nilai kuat medan magnet total pada masing-masing titik pengukuran. Umumnya, untuk target regional digunakan spasi 1-5 Km, sedangkan untuk target lokal digunakan spasi

antara 50-500 m (HMGI, 2012). Penentuan arah utara, elevasi, waktu dan koordinat titik dilakukan dengan GPS tipe GPSmap 60CSx produk Garmin.

Pengolahan data dilakukan dengan Microsoft Excel dan *software* MagPick, sedangkan interpretasi dilakukan dengan *software* Surfer 11 dan Mag2DC. Proses koreksi yang dilakukan meliputi koreksi IGRF dan variasi harian menggunakan Microsoft Excel. Nilai medan magnet anomali hasil koreksi selanjutnya dipetakan dalam bentuk peta kontur menggunakan *software* Surfer 11. Peta kontur medan magnet anomali ini yang kemudian di kontinuasi ke atas dan direduksi ke kutub dengan *software* MagPick. Setelah proses reduksi ke kutub, peta kontur medan magnet anomali dapat diinterpretasi secara kualitatif dengan menganalisis klosur konturnya.

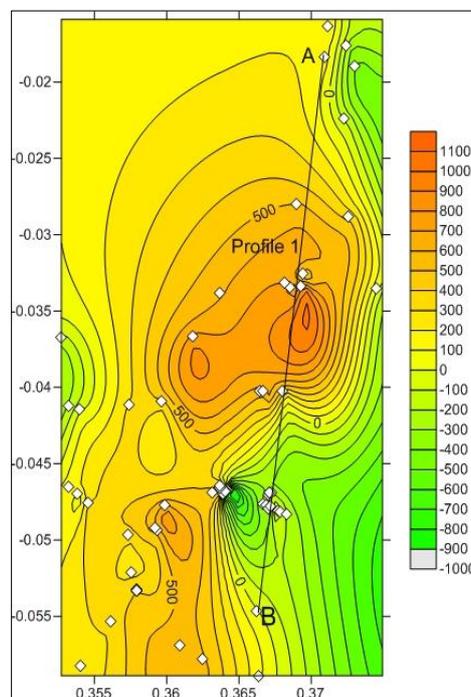
Interpretasi kuantitatif dilakukan dengan membuat sayatan pada peta kontur medan magnet anomali yang kemudian di olah dengan *software* Mag2DC untuk memperoleh model struktur bawah permukaan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Nilai yang terukur di lapangan merupakan besarnya kuat medan magnet total pada masing-masing titik pengukuran yang masih dipengaruhi oleh nilai anomali. Nilai kuat medan magnet yang terukur tersebut kemudian dikoreksi menggunakan data IGRF dan nilai variasi harian untuk memperoleh nilai medan magnet anomali. Selanjutnya, nilai medan magnet anomali tersebut dipetakan dalam bentuk peta kontur medan magnet anomali.

Sebelum dilakukan koreksi reduksi ke kutub, untuk area penelitian yang luas dilakukan proses kontinuasi ke atas untuk menghilangkan pengaruh lokal. Karena lokasi penelitian tidak terlalu luas, pada penelitian ini tidak dilakukan proses kontinuasi ke atas, melainkan langsung dilakukan koreksi reduksi ke kutub. Hasil koreksi ini kemudian diinterpretasi secara kualitatif dengan menganalisis klosur konturnya.

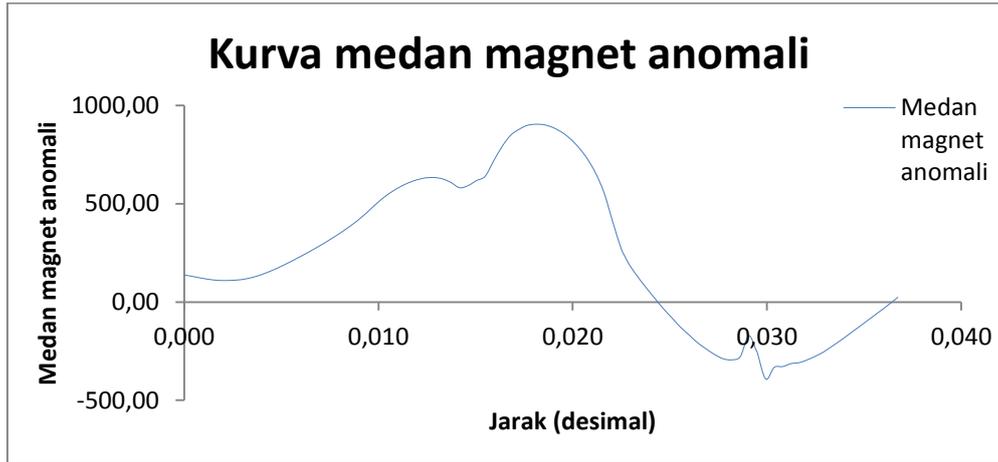
Menurut Fashihullisan *et al.* (2014), pola anomali tinggi-rendah yang disertai daerah bersegmen dengan pola rendah-tinggi pada area yang cukup luas mengindikasikan adanya sesar. Pada peta kontur medan magnet anomali, lokasi sesar ditandai dengan perubahan warna yang mencolok pada lokasi yang diduga merupakan sesar. Peta kontur hasil koreksi ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Peta kontur medan magnet anomali hasil koreksi

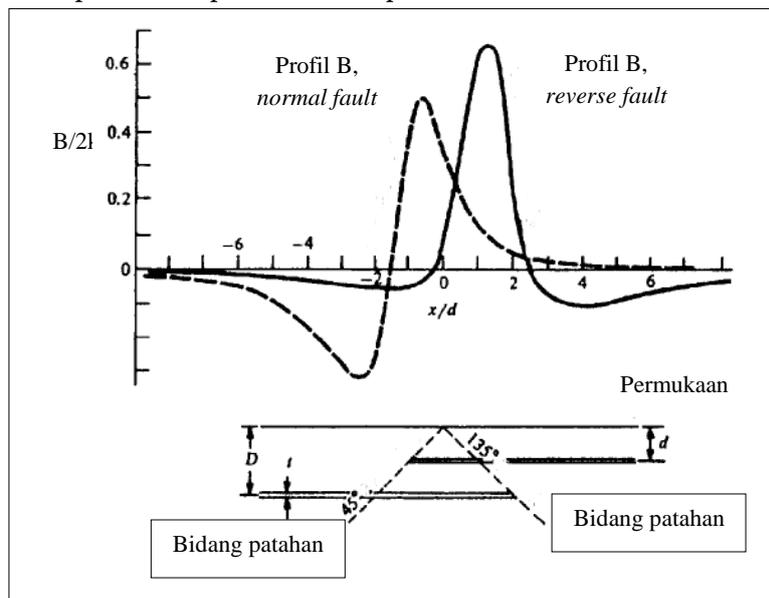
Hasil penelitian menunjukkan adanya suatu area yang cukup luas dimana nilai medan magnet anomali turun secara drastis. Area yang diprediksi sebagai lokasi sesar ini selanjutnya dibuat sayatan profil anomali medan dengan menarik garis lurus antara dua titik pengukuran (garis A-B). Sayatan pada peta kontur dibuat dengan menyesuaikan kondisi geologi lokasi penelitian. Penentuan titik pengukuran yang digunakan sebagai acuan pembuatan sayatan dipilih dengan memperhatikan lokasi titik tersebut pada peta geologi. Titik yang dipilih sebagai acuan sayatan adalah titik yang melalui garis patahan pada peta geologi.

Lintasan sayatan A-B ditarik dari titik A yang terletak pada koordinat 110,3709 BT dan 7,0183 LS menuju titik B yang terletak pada koordinat 110,3662 BT dan 7,0547 LS. Profil anomali lintasan A-B ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Profil sayatan peta kontur medan magnet anomali

Profil anomali medan ini digunakan untuk proses interpretasi secara kualitatif, dengan mengacu pada dugaan profil anomali medan secara teori dan data geologi. Profil anomali hasil penelitian ini selanjutnya dibandingkan dengan profil medan magnet anomali secara teori (Gambar 3). Dugaan profil medan magnet anomali secara teori, seperti pada Gambar 3 menunjukkan bahwa pada sesar normal terjadi penurunan nilai medan magnet anomali secara drastis di sekitar garis patahan. Sedangkan pada sesar naik, terjadi kenaikan nilai medan magnet anomali di sekitar garis patahan. Profil anomali medan hasil penelitian menunjukkan adanya penurunan medan magnet secara drastis. Penurunan medan magnet ini menunjukkan bahwa pada lokasi penelitian terdapat sesar.



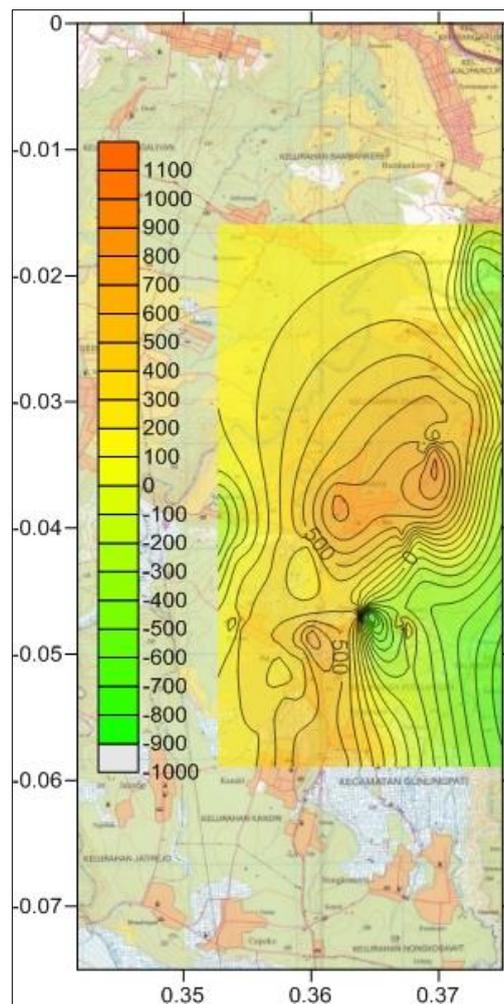
Gambar 3. Profil medan magnet anomali secara teori (Telford *et al.*, 1990)

Jenis sesar belum dapat diketahui secara spesifik melalui interpretasi profil anomali ini, karena untuk mengetahui jenis sesar diperlukan penelitian antar waktu untuk mengetahui jenis/pola pergerakan masing-masing bidang patahan. Hasil penelitian ini hanya dapat menjelaskan bahwa pada batas formasi Damar (QTd) terdapat sesar yang ditandai dengan penurunan medan magnet anomali.

Hasil penelitian yang ditunjukkan dalam peta kontur anomali (Gambar 1) menunjukkan adanya suatu area yang cukup luas dengan nilai medan magnet anomali sangat rendah. Area ini dapat diperkirakan sebagai zona patahan.

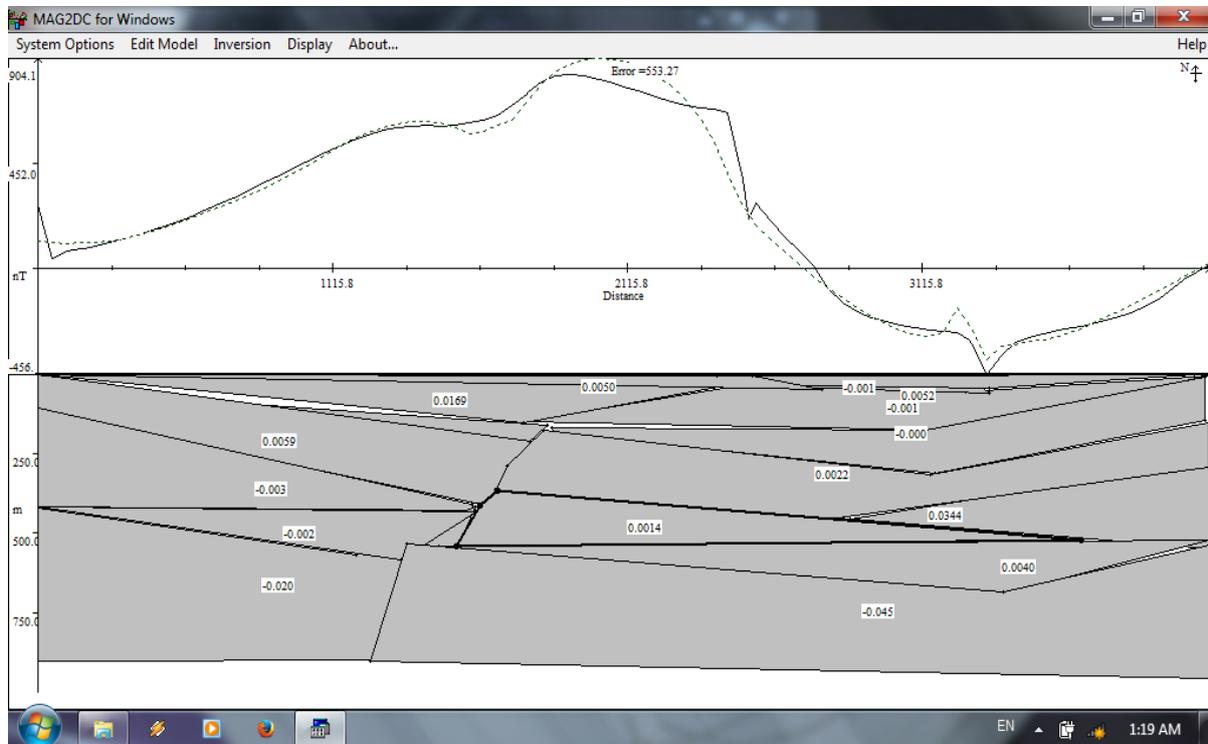
Kelurahan yang termasuk dalam zona patahan dapat diketahui dari hasil plot kontur medan magnet anomali pada Peta RBI lokasi penelitian (Gambar 4). Zona patahan ditandai dengan area berwarna hijau (nilai medan magnet rendah) pada peta kontur. Hasil penelitian yang diplot sesuai koordinatnya pada peta RBI menunjukkan bahwa zona patahan meliputi sebagian wilayah Kecamatan Gunungpati, yaitu wilayah utara Kelurahan Pongangan, wilayah tenggara Kelurahan Sadeng dan wilayah utara Kelurahan Kandri, serta sebagian wilayah selatan Kelurahan Kalipancur Kecamatan Ngaliyan. Sebaran titik pengukuran kurang rapat dan merata, sehingga zona patahan yang terdeteksi dari penelitian ini berada di area dimana banyak sebaran titik pengukuran dengan jarak yang lebih rapat.

Interpretasi secara kualitatif ini belum dapat menjelaskan posisi garis patahan dan struktur bawah permukaan pada lokasi sesar. Untuk mendapatkan model struktur bawah permukaan pada lokasi sesar ini, dilakukan interpretasi secara kuantitatif dengan membuat model perkiraan struktur bawah permukaan dan menyesuaikannya dengan kurva respon anomali medan magnet. Interpretasi ini dilakukan dengan *software* Mag2DC.



Gambar 4. Lokasi zona sesar pada peta RBI

Interpretasi kuantitatif bersifat *trial and error*, namun tetap mengacu pada informasi geologi lokasi penelitian. Prediksi kedalaman lapisan dan lokasi garis patahan disesuaikan dengan informasi penampang geologi lokasi penelitian. Hasil pemodelan dengan *software* Mag2DC ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Model sesar dari profil anomali medan

Nilai suseptibilitas magnetik dari masing-masing lapisan disesuaikan dengan informasi jenis batuan pada masing-masing formasi, dengan asumsi bahwa batuan pada formasi yang sama memiliki nilai suseptibilitas yang hampir sama. Berdasarkan hasil penelitian, formasi Damar (QTd) yang tersusun atas batupasir tufan, konglomerat dan breksi vulkanik memiliki nilai suseptibilitas magnetik pada rentang $-0.003 - 0.0169$ dalam satuan cgs. Ketebalan lapisan formasi Damar (QTd) sekitar 250-300 m. Formasi Kalibeng (TmPk) yang berada di bawah formasi Damar (QTd), tersusun atas batu napal pejal bersisipan dengan batupasir tufan dan batu gamping memiliki nilai suseptibilitas magnetik antara $(-0.002) - (-0.02)$ dalam satuan cgs.

Zona patahan berdasarkan hasil penelitian berada pada batas formasi Damar (QTd). Hasil interpretasi menunjukkan bahwa pada garis patahan terjadi penurunan nilai medan magnet anomali. Zona patahan yang mengalami penurunan nilai medan magnet anomali memiliki nilai suseptibilitas magnetik $-0.045 - 0.0344$ dalam satuan cgs. Patahan ini terjadi dikarenakan susunan batuan pada formasi Damar (QTd) kurang stabil, terdiri dari batupasir tufan, konglomerat dan breksi vulkanik. Sesuai dengan hasil penelitian sebelumnya yang dilakukan Sulistyaningrum *et al.* (2014), batuan pada lokasi penelitian merupakan perselingan antara lapisan batupasir dan lapisan lempung dimana lapisan pasir berada di atas lapisan lempung yang merupakan lapisan stabil dan kedap air, sehingga memungkinkan lapisan pasir mudah bergerak dengan adanya pengaruh gaya endogen maupun eksogen.

Nilai error pada interpretasi kuantitatif ini cukup besar, dikarenakan nilai suseptibilitas magnetik diasumsikan hampir sama untuk batuan dalam satu formasi. Untuk informasi jenis batuan yang lebih rinci pada lokasi patahan, dapat dilakukan survey geofisika untuk kedalaman dangkal menggunakan metode tahanan jenis.

SIMPULAN

Berdasarkan hasil interpretasi profil anomali dan kesesuaiannya dengan peta geologi, dapat diketahui bahwa terdapat suatu bidang patah pada formasi Damar (QTd) yang ditunjukkan dengan penurunan nilai medan magnet anomali secara drastis. Nilai suseptibilitas magnetik formasi Damar (QTd) antara $-0.003 - 0,0169$ cgs yang berdasarkan informasi geologi memiliki struktur batuan penyusun tidak stabil. Lokasi penelitian yang termasuk ke dalam zona patahan dengan nilai medan magnet anomali rendah meliputi sebagian wilayah Kecamatan Gunungpati, yaitu wilayah utara Kelurahan Pongangan, wilayah tenggara Kelurahan Sadeng, wilayah utara Kelurahan Kandri, dan wilayah barat Kelurahan Kalisegoro, serta sebagian wilayah selatan Kelurahan Kalipancur Kecamatan Ngaliyan.

DAFTAR PUSTAKA

- Darmawan, S., H. Danusaputro, & T. Yulianto. 2012. Interpretasi Data Anomali Medan Magnetik Total untuk Pemodelan Struktur Bawah Permukaan Daerah Manifestasi Mud Vulcano (Studi Kasus Bledug Kuwu Grobogan). *Jurnal Geofisika*, 13(1): 7-11. Tersedia di <http://hub.hagi.or.id/> [diakses 1-10-2014]
- Fashihullisan, A.L., A. Susilo, & A.F. Jam'an. 2014. Identifikasi Daerah Sesar Dan Intrusi Berdasarkan Perbandingan Antara Filter (Rtp, Upward, Downward, dan Aniltic Signal) Data Mapping Regional Magnetik Daerah Garut, Jawa Barat. *Physics Student Journal*, 2(1): 1-7. Tersedia di <http://physics.studentjournal.ub.ac.id> [diakses 3-12-2014].
- Griffiths, D.J. 1999. *Introduction to Electrodynamisc*. (3rd ed.). New Jersey: Prentice Hall, Inc.
- Indratmoko, P., M.I. Nurwidyanto, & T. Yulianto. 2009. Interpretasi Bawah Permukaan Daerah Manifestasi Panas Bumi Parang Tritis Kabupaten Bantul DIY dengan Metode Magnetik. *Berkala Fisika*, 12(4): 153-160. Tersedia di <http://ejournal.undip.ac.id> [diakses 1-10-2014].
- Nuha ABA, MU., T. Yulianto, & U. Harmoko. 2014. Interpretasi Bawah Permukaan Daerah Sumber Air Panas Diwak-Derekan Berdasarkan Data Magnetik. *Youngster Physics Journal*, 3(2): 129-134. Tersedia di <http://ejournal-s1.undip.ac.id> [diakses 29-9-2014].
- Nurdiyanto, B., Wahyudi, & I Suyanto. 2004. Analisis Data Magnetik untuk Mengetahui Struktur Bawah Permukaan Daerah Manifestasi Airpanas di Lereng Utara Gunungapi Ungaran. *Prosiding Pertemuan Ilmiah Tahunan ke-29 Himpunan Ahli Geofisika Indonesia*; Yogyakarta, 5-7 Oktober 2004. Yogyakarta: Himpunan Ahli Geofisika Indonesia. hlm 36-45. Tersedia di <http://geothermal.ft.ugm.ac.id> [diakses 29-9-2014].
- Sulistyaningrum, E., Khumaedi & Supriyadi. 2014. Aplikasi Metode Seismik Refraksi untuk Identifikasi Pergerakan Tanah di Perumahan Bukit Manyaran Permai (BMP) Semarang. *Unnes Physics Journal*, 3(2): 14-21. Tersedia di <http://journal.unnes.ac.id> [diakses 17-1-2015]
- Syirojudin, M. 2010. *Penentuan Karakteristik Sesar Cimandiri Segmen Pelabuhan Ratu-Citarik Dengan Metode Magnet Bumi*. Skripsi. Jakarta: Fakultas Sains dan Teknologi UIN Syarif Hidayatullah. Tersedia di <http://repository.uinjkt.ac.id> [diakses 26-9-2014].
- Telford, W.M., L.P. Geldart, & R.E. Sheriff. 1990. *Applied Geophysics* (2nd ed.). New York: Cambridge University Press.
- Yaqin, F.N. & Supriyadi. 2014. Lapisan Tanah di Ruas Jalan Sampangan-Banaran Kecamatan Gunungpati Semarang Berdasarkan Data Geolistrik. *Unnes Physics Journal*, 3(2): 40-50. Tersedia di <http://journal.unnes.ac.id> [diakses 17-1-2015].