

## INTERPRETASI SISTEM PANAS BUMI GUNUNG TELOMOYO BAGIAN UTARA KABUPATEN SEMARANG BERDASARKAN DATA GEOMAGNET

Hiska Anggit Maulana, Tony Yulianto dan Udi Harmoko

Jurusan Fisika, Fakultas Sains dan Matematika, Universitas Diponegoro, Semarang

E-mail: [anggit.maulana@st.fisika.undip.ac.id](mailto:anggit.maulana@st.fisika.undip.ac.id)

### ABSTRACT

Research has been carried out using the magnetic methods that have aim for interpret the subsurface structure of Telomoyo Mount geothermal field. The second aim is for analysis the model of Telomoyo Mount geothermal field previous.

Magnetic data acquisition has been carried out in 83 points by using a couple of PPM (Proton Precession Magnetometer). Those are a PPM GSM19T model geometric is used looking for total magnetic anomaly and the second one is PPM G856X model that used as a base station. Then the result of acquisition data is processed by the daily correction and IGRF (International Geomagnetic Reference Field) correction. The corrected data is used to create total magnetic anomaly contour. Magnetic field that negative values is the research target and then do subsurface cross section that looking for visualization of conceptual geothermal model of Telomoyo Mount by processing of upward continuation and reduction to pole.

The result of study showed a pair of positive and negative closure that indicating a fault under surface zone. In 2D modeling result is about 1400 meters depth. In 800 to 1400 meters depth can be interpret as a clay cap with a low susceptibility parameter that valued  $-0.313 \times 10^{-3}$  (SI-unit).

**Keywords:** Geothermal, Telomoyo Mount, total magnetic field

### ABSTRAK

Telah dilakukan penelitian dengan menggunakan metode magnetik yang bertujuan untuk menginterpretasi struktur bawah permukaan daerah panasbumi Gunung Telomoyo. Selain itu, untuk menganalisis sistem panasbumi di Gunung Telomoyo untuk melengkapi konseptual model sebelumnya.

Pengukuran dilakukan pada 83 titik yang diukur dengan menggunakan PPM (Proton Precession Magnetometer) tipe geometrics model GSM19T untuk mendapatkan nilai medan magnet total dan dua titik sebagai base station diukur simultan dengan menggunakan PPM model G856X. Data hasil pengukuran di lapangan kemudian diolah dengan melakukan koreksi variasi harian dan koreksi IGRF (International Geomagnetic Reference Field). Data yang telah dikoreksi digunakan untuk membuat kontur anomali medan magnet total. Kontur anomali medan magnet total digunakan untuk proses kontinuitas ke atas dan reduksi ke kutub. Medan magnet yang bernilai negatif merupakan target penelitian yang selanjutnya dilakukan pensayatan dan interpretasi kuantitatif untuk mengetahui struktur bawah permukaan daerah penelitian dan dilakukan pembuatan gambaran model sitem panasbumi Gunung Telomoyo untuk melengkapi konseptual model sebelumnya.

Hasil penelitian berupa anomali medan magnet total menunjukkan pasangan klosur positif dan klosur negatif yang mengindikasikan adanya zona sesar dibawah permukaan. Pada tahap pemodelan 2D, didapat sturuktur bawah permukaan dan didapat hingga kedalaman sekitar 1400 meter. Pada kedalaman 800 hingga 1400 meter diinterpretasikan sebagai batuan penudung (clay cap) dengan parameter nilai suseptibilitas yang rendah yaitu bernilai  $-0.313 \times 10^{-3}$  (satuan SI).

**Kata kunci:** panasbumi, Gunung Telomoyo, dan medan magnet total

### PENDAHULUAN

Posisi Indonesia yang terletak dipertemuan tiga lempeng tektonik, menjadikan wilayah Indonesia memiliki tatanan tektonik yang kompleks. Hal ini ditandai dengan munculnya rangkaian gunung api. Berbagai gunung api yang muncul di Indonesia, Pulau Jawa merupakan

lapangan produksi panasbumi terbanyak. Terjadinya lapangan panasbumi di Pulau Jawa disebabkan oleh geologi *setting* [1].

Wilayah Kabupaten Semarang mempunyai wilayah 95.020,67 ha [2]. Area prospek panasbumi di daerah Telomoyo tersebar di bagian tengah daerah penyelidikan

yaitu sekitar manifestasi batuan ubahan di daerah Keningar, Kendal Duwur, dan Sepakung yang memanjang ke mata air panas yang muncul di dekat Candi Dukuh [3].

Manifestasi air panas yang terletak di Candi Dukuh memiliki kerapatan dan patahan dan rekahan dengan luas sekitar  $7 \text{ km}^2$ . Struktur yang dimiliki Candi Dukuh dan sekitarnya berpotensi sebagai zona *permeable* yang dapat berperan sebagai media bagi fluida panas yang mengalir dari reservoir di kedalaman dangkal. Manifestasi air panas Candi Dukuh memiliki temperatur berkisar  $35 - 36^{\circ} \text{C}$  [4].

Metode magnetik dapat digunakan untuk menentukan struktur geologi bawah permukaan seperti sesar, lipatan, intrusi batuan beku atau kubah garam dan reservoir geothermal. Metode magnetik ini digunakan pada studi geothermal karena mineral-mineral ferromagnetik akan kehilangan sifat kemagnetannya bila dipanasi mendekati temperatur *Curie* [5].

Sampai saat ini masih sedikit penelitian Geofisika untuk eksplorasi panasbumi di sisi utara Gunung Telomoyo dan sekitarnya. Oleh karena itu, penelitian ini dapat bermanfaat memberikan informasi kepada pemerintah dan masyarakat. Berdasarkan metode magnetik, maka akan didapat nilai medan magnet total tentang struktur bawah permukaan.

## DASAR TEORI

### Suseptibilitas Kemagnetan

Kemudahan suatu benda untuk dimagnetisasi ditentukan oleh suseptibilitas kemagnetan  $k$  yang dirumuskan dengan persamaan 1 [6].

$$\mathbf{M} = k\mathbf{H} \quad (1)$$

Besaran yang tidak berdimensi ini merupakan parameter dasar yang digunakan dalam metode magnetik. Suseptibilitas magnetik dapat diartikan sebagai derajat kemagnetan suatu benda. Harga  $k$  pada batuan semakin besar apabila dalam batuan semakin banyak dijumpai mineral-mineral yang bersifat magnetik.

### Medan Magnet Bumi

Sumber medan magnet bumi secara umum dibagi menjadi tiga, yaitu medan magnet utama bumi (*main field*), medan luar (*external field*), dan medan anomali (*anomaly field*).

Medan magnet utama bumi bersumber dari dalam bumi sendiri. Medan luar bersumber dari luar bumi yang merupakan hasil ionisasi di atmosfer yang ditimbulkan oleh sinar ultraviolet dari matahari. Sedangkan Anomali medan magnet 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 survei magnetik (anomali magnetik).

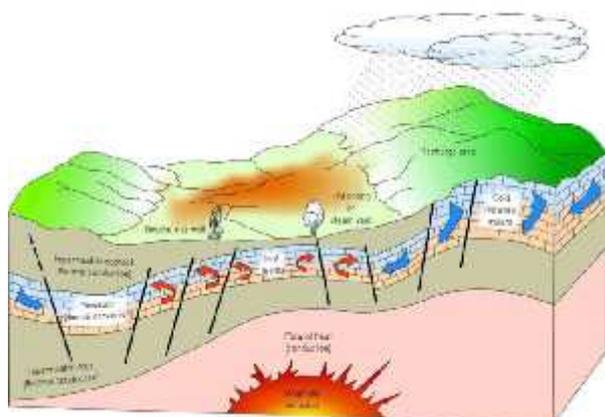
### Sistem Panasbumi

Sistem panasbumi adalah energi yang tersimpan dalam bentuk air panas atau uap pada kedalaman beberapa kilometer di dalam kerak bumi [7].

Berdasarkan sumber panas [8] membagi lapangan panasbumi menjadi tiga tipe yaitu: (1) tipe Lodeiro, (2) Mount Amiata, dan (3) Wairabe.

Energi panasbumi merupakan energi panas alami dari dalam bumi yang ditransfer ke permukaan bumi secara konduksi dan konveksi. Sistem panas bumi merupakan perpindahan panas alami dalam volume tertentu dari kerak bumi dari sumber panas ke tempat pelepasan panas, yang umumnya adalah permukaan tanah [9].

Komponen sistem geotermal tersebut terlihat pada Gambar 1. Di Indonesia sendiri, sebagian besar sistem geotermalnya terletak di daerah yang tinggi (*high terrain*), reservoirnya tersembunyi dengan kedalaman 1-3 km, strukturnya kompleks, terletak di hutan yang lebat, dan beberapa lapangan memiliki *outflow* yang panjang dan dalam [10].



Gambar 1 Sistem Panasbumi (Dickson and Fanelli, 2004)

Sistem geotermal terdiri dari tiga elemen utama: (1) batuan reservoir yang permeabel, (2) air yang membawa panas dari reservoir ke permukaan bumi, dan (3) sumber panas atau *heat source* [11].

## METODE PENELITIAN

Metode magnetik digunakan untuk mengetahui variasi medan magnet di daerah penelitian. Metode magnetik ini digunakan pada studi geothermal karena mineral-mineral ferromagnetik akan kehilangan sifat kemagnetannya bila dipanasi mendekati temperatur *Curie*. Oleh karena itu, metode magnetik digunakan untuk mempelajari daerah yang diduga mempunyai potensi geotermal. Secara lebih rinci digunakan untuk mendeteksi struktur bawah permukaan sebagai pembentuk sistem panasbumi.

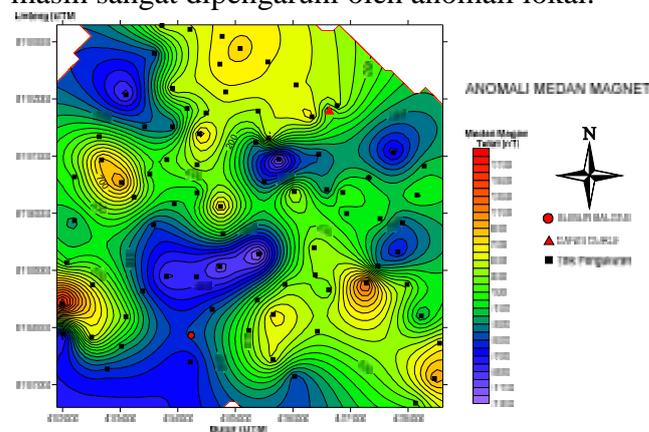
Penelitian dimulai dengan membuat desain survei dengan mengacu informasi geologi daerah penelitian. Setelah membuat desain survei dilanjutkan dengan akuisisi data di lapangan. Pada penelitian ini sejumlah 83 titik diukur dengan menggunakan PPM (*Proton Precession Magnetometer*) tipe *geometrics* model GSM19T untuk mendapatkan nilai medan magnet total dan dua titik sebagai *base station* diukur simultan dengan menggunakan PPM model G856X.

Data yang diperoleh dari lapangan tersebut kemudian diolah kemudian dimodelkan. Pengolahan yaitu dengan melakukan kontinuasi ke atas dan reduksi ke kutub. Pemodelan yang dibuat

harus memperhatikan segi informasi geologi daerah penelitian dan hasil reduksi ke kutub. Pemodelan tersebut akan menghasilkan struktur bawah permukaan dari data anomali yang kemudian dilakukan interpretasi. Interpretasi kuantitatif dilakukan dengan pemodelan yang di cocokkan dengan informasi geologinya.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari hasil data anomali magnetik di dapatkan sebuah kontur anomali magnetik total yang di tunjukan pada gambar 2. Pola kontur anomali medan magnetik total pada topografi terdiri dari pasangan klosur positif dan klosur negatif. Pasangan klosur positif dan klosur negatif ini menunjukkan anomali magnetik adalah *dipole* (dwi kutub). Jumlah pasangan *dipole* magnetik yang banyak menunjukkan anomali medan magnetik total di topografi masih sangat dipengaruhi oleh anomali lokal.



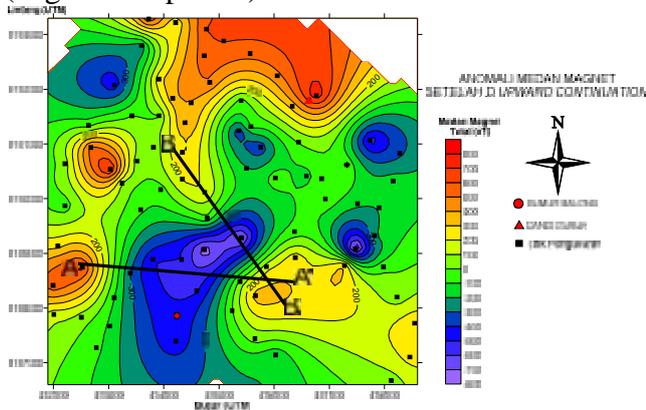
Gambar 2. Anomali medan magnet total

Selanjutnya untuk memudahkan dalam interpretasi data dilakukan proses kontinuasi ke atas (*upward continuation*) serta reduksi ke kutub (*reduction to pole*) terhadap data anomali medan magnetik total. Penggunaan kontinuasi ke atas dapat membantu untuk memisahkan anomali regional dengan anomali lokal, sedangkan filter reduksi ke kutub digunakan untuk menghilangkan pengaruh sudut inklinasi magnetik. Hasil dari reduksi ke kutub menunjukkan anomali residual menjadi satu kutub. Hal ini ditafsirkan bahwa posisi benda

penyebab anomali medan magnet berada dibawahnya.

Data anomali medan magnet total yang telah difilter selanjutnya diinterpretasi secara kualitatif dan kuantitatif. Interpretasi secara kualitatif dilakukan dengan menganalisis kontur anomali medan magnetik total hasil kontinuasi ke atas. Reduksi ke kutub digunakan untuk mengetahui pasangan kutub yang akan digunakan untuk interpretasi.

Gambar 3 merupakan peta anomali medan magnet total setelah dilakukan pengangkatan ke atas (*upward continuation*). Terlihat pada peta tersebut terdapat beberapa pasangan anomali positif dan negatif. Pada peta anomali negatif dan positif, pola kontur tampak lebih rapat, hal ini mengindikasikan adanya struktur sesar pada daerah tersebut, karena struktur sesar dicirikan oleh lineasi anomali, kerapatan kontur, pembelokan anomali, dan pengkutuban anomali (negatif dan positif).



**Gambar 3.** Peta anomali medan magnet total setelah dilakukan pengangkatan ke atas

Dari peta pasangan kontur tertutup (anomali negatif dan positif), dibuatlah dua sayatan yang berarah barat-timur yaitu A-A' dan berarah barat laut-tenggara B-B' (arah sayatan ditunjukkan dengan garis warna hitam). Dari sayatan ini, akan digunakan untuk permodelan struktur bawah permukaan daerah penelitian.

Interpretasi secara kuantitatif dilakukan terhadap hasil sayatan dari interpretasi kualitatif, yaitu sebanyak dua buah sayatan (A-A' dan B-B'). Permodelan dengan sayatan diharapkan dapat

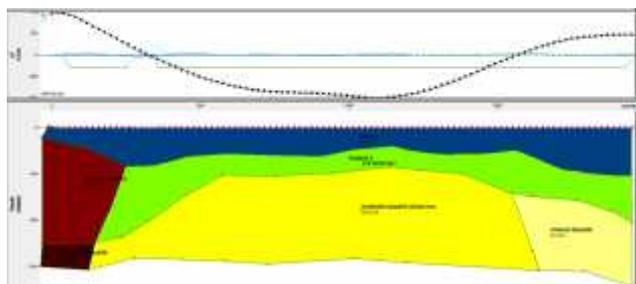
menjelaskan struktur bawah permukaan yang berupa struktur sesar maupun sistem panas bumi yang diduga sebagai penyebab anomali. Dalam pemodelan ini, disesuaikan dengan informasi geologi maupun penampakan permukaan di daerah penelitian.

Pemodelan yang pertama adalah hasil sayatan A-A' yang ditunjukkan pada gambar 4. Sayatan ini ditarik dari barat menuju ke timur (terlihat pada gambar 3), dengan sisi barat di bagian kiri dan sisi timur di bagian kanan gambar (gambar 4). Berdasarkan informasi geologi di daerah penelitian, pemodelan sayatan A-A' tersusun atas 3 lapisan batuan umumnya berumur pleistosen awal.

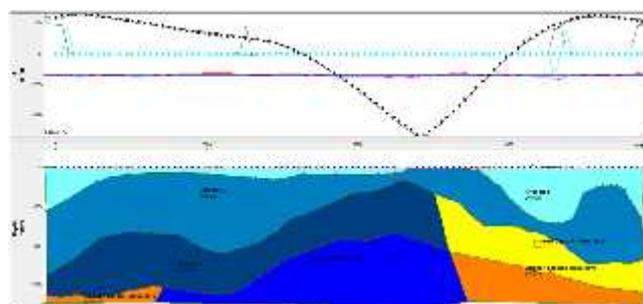
Lapisan pertama dalam pemodelan ini merupakan batuan aliran lava Telomoyo yang berjenis andesit. Lapisan ini berada hingga sekitar kedalaman 415 meter dengan nilai suseptibilitas  $1.27 \times 10^{-3}$  (satuan SI).

Kemudian lapisan batuan yang kedua merupakan andesit dengan aliran lava dari gunung Telomoyo dengan nilai suseptibilitas  $1.26 \times 10^{-5}$  (satuan SI). Lapisan ini berada pada kedalaman 169 hingga 1100 meter. Pada lapisan ini terlihat adanya penurunan nilai suseptibilitas. Hal ini dikarenakan lapisan yang semakin dalam yang terjadi kontak dengan panas di dalam kerak bumi.

Lapisan ketiga yaitu batuan andesit basaltik akibat lava yang merupakan batuan diamagnetik. Batuan ini memiliki nilai suseptibilitas  $-0.313 \times 10^{-3}$  (satuan SI). Lapisan ini berada pada kedalaman 375 hingga 1365 meter yang membentuk suatu *dome* atau lengkungan ke atas dan dimungkinkan adalah lapisan batuan penudung (*clay cap*). Pada [12] dikatakan bahwa batuan reservoir berada di sekitar kedalaman 1100 hingga 2500 meter sehingga dalam penelitian ini dianalisis sebagai batuan penudung (*clay cap*), sedangkan dalam penelitian ini hanya dapat menjangkau hingga kedalaman 1365 meter.



Gambar 4. Hasil Pemodelan Sayatan A-A'



Gambar 5. Hasil Pemodelan Sayatan B-B'

Pemodelan yang kedua adalah hasil sayatan B-B' yang ditunjukkan pada Gambar 5. Sayatan kedua ini ditarik dari barat laut menuju ke tenggara (terlihat pada gambar 3), dengan sisi barat laut di bagian kiri dan sisi tenggara di bagian kanan gambar (gambar 5). Dari hasil pemodelan tersebut, terlihat adanya 4 lapisan batuan.

Lapisan pertama merupakan batuan andesit akibat aliran lava piroklastik. Lapisan ini berada dari kedalaman 0 meter hingga kedalaman 600 meter dengan nilai suseptibilitas  $1.90 \times 10^{-3}$  (satuan SI). Pada lapisan batuan ini mengalami depresi pada kedalaman 100 meter hingga 500 meter. Hal ini diduga karena adanya pengisian akibat gaya gravitasi (Bemmelem,1970).

Selanjutnya lapisan batuan yang kedua terdiri dari andesit dengan aliran lava piroklastik dari gunung api Telomoyo yang mempunyai nilai suseptibilitas  $0.818 \times 10^{-2}$  (satuan SI). Lapisan ini berada pada kedalaman 7 hingga 830 meter.

Kemudian lapisan yang ketiga terdiri dari batuan andesit dengan suseptibilitas  $3.26 \times 10^{-2}$  (satuan SI) dan andesit-basaltik akibat lava dengan suseptibilitas sebesar  $-0.113$  (satuan SI). Andesit-basaltik akibat lava terletak di sebelah selatan ini yang memiliki nilai suseptibilitas yang sangat rendah, dimungkinkan merupakan batuan diamagnetik. Hal ini dikarenakan batuan telah mengalami kontak dengan panas batuan yang ada di bawahnya. Batuan ini berada di kedalaman 320 hingga 1320 meter yang pada kedalaman tersebut adalah batuan penudung [12].

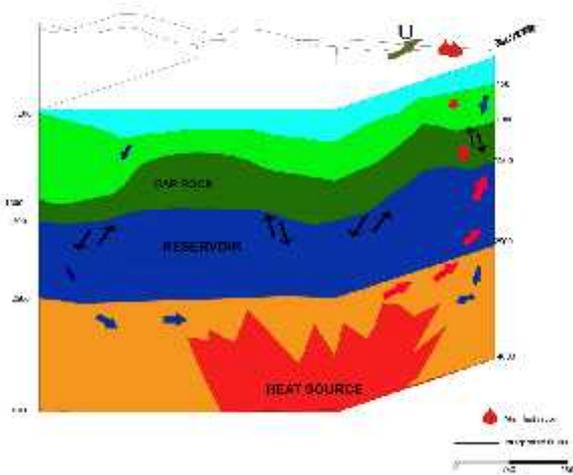
Lapisan keempat ini berada pada kedalaman 564 hingga 1469 meter. Pada lapisan ini terdiri dari 3 batuan yaitu batuan andesit-basaltik yang memiliki nilai suseptibilitas  $-0.116$  (satuan SI),

Berdasarkan data anomali medan magnet dan pemodelannya, maka sistem panasbumi Gunung Telomoyo dapat dijelaskan dengan sebuah model geofisika panasbumi (gambar 6). Pada pemodelan sayatan diketahui pada kedalaman 800-1400 m merupakan batuan penudung (*cap rock*). Hal ini didukung oleh penelitian (Praromadani,2012) yang menyebutkan bahwa dengan menggunakan data Magnetotellurik didapat resistivitas yang rendah ( $<15$  ohm.meter) yang tebalnya mencapai kedalaman 1500 meter. Untuk kedalaman 1400 meter berdasarkan data magnetik, tidak dapat menggambarkan hingga kedalaman 4000 meter sehingga dilakukan dengan memasukkan hasil penelitian menggunakan metode magnetotellurik. Pada kedalaman 1500 hingga 2500 meter diinterpretasikan sebagai reservoir yang memiliki nilai resistivitas 50-150 ohm.meter. Letak reservoir tersebut bertepatan dengan lokasi terdapatnya rim kaldera.

Gambar 6 merupakan gambaran model geofisika sistem panasbumi G.Telomoyo. Pada gambar tersebut terlihat adanya sumber panas yang berupa intrusi batuan andesit yang berperan sebagai *heat source*. *Heat source* ini kemudian menghantarkan panas secara konduktif ke batuan permeable disekitarnya. Selain itu juga mengakibatkan aliran konveksi pada fluida *hydrothermal* (air tanah yang terpanaskan) di dalam pori-pori batuan. Selanjutnya fluida *hydrothermal* ini bergerak ke atas namun tidak sampai ke permukaan karena

tertahan oleh lapisan batuan yang bersifat impermeabel (*cap rock*). Lokasi tempat terakumulasinya fluida *hydrothermal* disebut reservoir, atau lebih tepatnya reservoir panasbumi. Dari daerah reservoir ini, fluida panasbumi akan mencari zona permeabel yang dapat melewati fluida tersebut sampai ke permukaan. Zona tersebut merupakan zona sesar. Melalui zona sesar, fluida akan mengalir ke permukaan berupa mata air panas (*hot spring*) di Candi Dukuh.

Fluida panasbumi yang muncul di permukaan bercampur dengan air sungai dan dekat dengan danau Rawa Pening karena di atas zona sesar terdapat sungai dengan jumlah air yang berlimpah. Hal ini menyebabkan kadar fluida panasbumi menjadi sama dengan air permukaan, sehingga sering ditafsirkan bahwa fluida panasbumi tersebut merupakan aliran samping (*out flow*) dari sistem panasbumi di dekat daerah penelitian. Pendugaan ini tentu perlu dijelaskan lebih lanjut, sehingga didapatkan model geofisika yang dapat menggambarkan sistem panasbumi G.Telomoyo dengan tepat.



**Gambar 6.** Gambaran sistem panasbumi Gunung Telomoyo

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengolahan data magnetik hingga didapat pemodelan sistem panasbumi G.Telomoyo, maka dapat diperoleh kesimpulan:

1. Data anomali medan magnetik total menunjukkan pasangan klosur positif dan klosur negatif yang mengindikasikan adanya sesar dibawah permukaan yang digunakan pada tahap pensayatan. Pada tahap pemodelan menggunakan software *Oasis Montaj*, didapat sturuktur bawah permukaan dan didapat hingga kedalaman sekitar 1400 meter. Pada kedalaman 800 hingga 1400 meter diinterpretasikan sebagai batuan penudung (*clay cap*) dengan parameter nilai suseptibilitas yang rendah yaitu bernilai  $-0.313 \times 10^{-3}$  (satuan SI).
2. Struktur bawah permukaan di wilayah G. Telomoyo berada pada zona sesar, yang merupakan media jalan keluar fluida ke permukaan pada sistem panasbumi daerah tersebut yang ditunjukan dengan manifestasi mata air panas Candi Dukuh.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Gatot Yuliyanto, M.Si serta Ir. Sugeng Widada yang telah memberi arahan dan bantuan dalam penelitian ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Utama,A.P., Dwiyanto, A., Situmorang, J., Hikmi M., Irshakmukhti, R., 2012, *Green Field Geothermal Systems In Java, Indonesia*, PROCEEDINGS, 1st ITB Geothermal Workshop 2012.
- [2] Hapsari, P, 2007, *Identifikasi Komoditi Pertanian Unggulandi Kabupaten Semarang*, UNS,Surakarta.
- [3] BKPM (Badan Koordinasi Penanaman Modal), 2011, *Provinsi Jawa Tengah Peluang Investasi*.

- [4] Hermawan. D., dan Rezky,Y., 2011, *Delineasi Daerah Prospek Panasbumi Berdasarkan Analisis Kelurusan Citra Landsat Di Candi Umbul - Telomoyo, Provinsi Jawa Tengah*, Buletin Sumber Daya Geologi Volume 6 Nomor 1 Badan: Pusat Sumber Daya Geologi, Bandung.
- [5] Broto, S. dan Thomas, T.P., 2011, Aplikasi Metode Geomagnet Dalam Eksplorasi Panasbumi, *Jurnal Teknik*, Vol. 32, No. 1, ISSN 0852-1697.
- [6] Telford, W.M., Geldart, L.P., and Sherif, R.E., 1990, *Applied Geophysics, second edition*, Cambridge University Press, London.
- [7] Hermawan, D., Widodo, S., Mulyadi, E., 2012, *Sistem Panas Bumi Daerah Candi Umbul-Telomoyo Berdasarkan Kajian Geologi Dan Geokimia*, Buletin Sumber Daya Geologi Volume 7 Nomor 1-2012, Badan: Pusat Sumber Daya Geologi, Bandung.
- [8] Tonani. 1982. *Geothermic* Vol. 2, Cambridge : Cambridge University Press
- [9] Hochstein, M.P. dan Browne, P.R.L., 2000, *Surface Manifestation of Geothermal System with Volcanic Heat Source*, In Encyclopedia of Volcanoes, H. Sigwardson, B.F. Houghton, S.R. Mc Nutt, H. Rymer dan J. Stix (eds.), Academic Press.
- [10] Daud, Y., 2010, *Introduction to Geothermal System and Technology*, Laboratorium Geofisika FMIPA, Universitas Indonesia, Jakarta.
- [11] Goff, F.E. dan Janik, C.J., 2000, *Encyclopedia of Volcanoes: Geothermal Systems*, Academic Press: A Harcourt Science and Technology Company.
- [12] Praromadani, Z.S., 2012, *Pemodelan Sistem Geothermal Daerah Telomoyo dengan Menggunakan Data Magnetotellurik*, Depok: Universitas Indonesia.