

## **INTERPRETASI BAWAH PERMUKAAN DAERAH SUMBER AIR PANAS DIWAK-DEREKAN BERDASARKAN DATA MAGNETIK**

**Muhammad Ulin Nuha ABA, Tony Yulianto dan Udi Harmoko**

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

*E-mail: ulinnuha.aba1@gmail.com*

### **ABSTRACT**

*Research has been carried out using a magnetic method that aims to interpret the subsurface structure of the area hot springs Derekan - Diwak based on the total magnetic field anomaly data. It also aims to investigate the geothermal system in the area.*

*Some 99 points measurement areas were measured using PPM (Proton Precession Magnetometer) geometrics type GSM19T models to get the value of the total magnetic field and two points as a base station simultaneously measured using the PPM G856X models. Measurement data is processed by the daily variation correction and IGRF (International Geomagnetic Reference Field) correction. The data has been used to create a contour corrected total magnetic field anomalies and subsurface cross sections involving the upward continuation and reduction to the poles.*

*The results of study showed the total magnetic field anomaly closure pair of positive and negative closure indicate a fault zone below the surface. Interpretation is strengthened by the results of the modeling showed two faults of Derekan - Diwak areas trending southwest- northeast. This fault zone is a media outlet fluid to the surface in the area of geothermal systems.*

**Keywords:** *geothermal, fault, and total magnetic field*

### **ABSTRAK**

*Telah dilakukan penelitian dengan menggunakan metode magnetik yang bertujuan untuk menginterpretasikan struktur bawah permukaan daerah sumber air panas Diwak-Derekan berdasarkan data anomali medan magnet total. Selain itu juga bertujuan untuk menyelidiki sistem panasbumi di daerah tersebut.*

*Sejumlah 99 titik daerah pengukuran 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 diolah dengan melakukan koreksi variasi harian serta koreksi IGRF (International Geomagnetic Reference Field). Data yang telah dikoreksi digunakan untuk membuat kontur anomali medan magnet total serta penampang bawah permukaan dengan melibatkan proses kontinuitas ke atas dan reduksi ke kutub.*

*Hasil penelitian berupa anomali medan magnet total menunjukkan pasangan klosur positif dan klosur negatif yang mengindikasikan adanya zona sesar dibawah permukaan. Penafsiran tersebut diperkuat dengan hasil pemodelan yang menunjukkan adanya dua sesar di wilayah Diwak-Derekan yang berarah baratdaya-timurlaut. Zona sesar ini merupakan media jalan keluar fluida ke permukaan pada sistem geotermal daerah tersebut.*

**Kata kunci:** *panasbumi, sesar, dan medan magnet total*

### **PENDAHULUAN**

Panasbumi merupakan salah satu sumber energi alternatif terbarukan dan sangat berpotensi untuk diproduksi di Indonesia. Hal ini disebabkan Indonesia memiliki lingkaran sabuk gunungapi sepanjang lebih dari 7000 km yang memiliki potensi panasbumi yang besar [1]. Secara spesifik jumlah gunungapi sebanyak 129.

Dalam eksplorasi panasbumi, metode magnetik digunakan untuk mengetahui variasi medan magnet di daerah penelitian. Variasi

magnet disebabkan oleh sifat kemagnetan yang tidak homogen dari kerak bumi. Batuan di dalam sistem panasbumi pada umumnya memiliki magnetisasi rendah dibanding batuan sekitarnya. Hal ini disebabkan adanya proses demagnetisasi oleh proses alterasi hidrotermal, proses tersebut mengubah mineral yang ada menjadi mineral-mineral paramagnetik atau bahkan diamagnetik. Nilai magnet yang rendah dapat diinterpretasikan sebagai zona reservoir dan sumber panas [2].

Terdapat manifestasi panasbumi yang muncul di daerah Diwak Kecamatan Bergas Kabupaten Semarang berupa mata air panas-hangat. Penelitian mengenai studi geofisika terpadu di lereng selatan Gunung Ungaran juga menyatakan Diwak merupakan salah satu lapangan panasbumi [1].

Munculnya manifestasi berupa mata air panas-hangat di daerah Diwak, tentu memicu untuk dilakukan penelitian tentang interpretasi bawah permukaan menggunakan metode geofisika. Adapun metode yang digunakan adalah metode magnetik. Penggunaan metode ini untuk mendeteksi struktur bawah permukaan sebagai pembentuk sistem panasbumi dan melokalisir daerah anomali rendah yang diduga berkaitan dengan manifestasi panasbumi.

## DASAR TEORI

### Suseptibilitas Kemagnetan

Kemudahan suatu benda untuk dimagnetisasi ditentukan oleh suseptibilitas kemagnetan  $k$  yang dirumuskan dengan persamaan 1 [3].

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

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*).

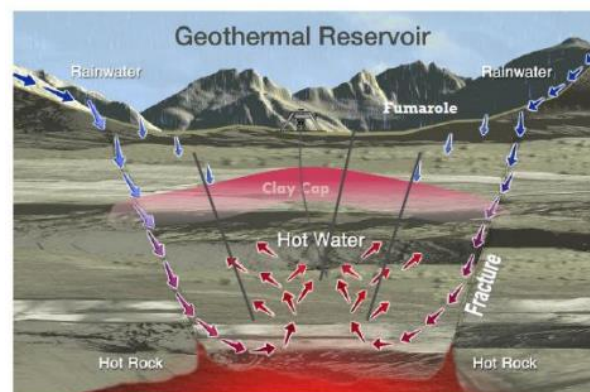
Medan magnet utama bumi bersumber dari dalam bumi sendiri. Medan luar bersumber dari luar bumi yang merupakan hasil ionisasi di atmosfer yang ditimbulkan oleh sinar ultraviolet dari matahari. Sedangkan Anomali medan magnet dihasilkan oleh benda magnetik yang telah terinduksi oleh medan magnet utama bumi, 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).

### Geotermal

Energi panasbumi adalah 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 [4].

Walaupun secara umum di bawah permukaan bumi terdapat sumber panas, namun tidak semua lokasi menyimpan energi geotermal. Energi geotermal hanya terdapat pada lokasi yang memiliki sistem geotermal (gambar 1).



Gambar 1. Model Sistem Geotermal [5]

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 [6]. Selain itu, Hal esensial yang dibutuhkan untuk keberadaan sistem geotermal adalah (1) sumber panas yang besar, (2) reservoir untuk akumulasi panas, (3) batuan penudung (*cap rock*) untuk menjaga akumulasi panas [7].

### METODE PENELITIAN

Metode magnetik digunakan untuk mengetahui variasi medan magnet di daerah penelitian. Variasi magnet disebabkan oleh sifat kemagnetan yang tidak homogen dari kerak bumi. Metode magnetik ini sangat sensitif terhadap perubahan vertikal, umumnya digunakan untuk mempelajari tubuh intrusi, batuan dasar, urat hidrotermal yang kaya akan mineral ferromagnetik dan struktur geologi. Metode magnetik ini digunakan pada studi geothermal karena mineral-mineral ferromagnetic akan kehilangan sifat kemagnetannya bila dipanasi mendekati temperatur *Curie*. Oleh karena itu digunakan untuk mempelajari daerah yang diduga mempunyai potensi geotermal. Secara lebih rinci digunakan untuk mendeteksi struktur bawah permukaan sebagai pembentuk sistem panasbumi dan melokalisir daerah anomali rendah yang diduga berkaitan dengan manifestasi panasbumi.

Target dari survei magnetik adalah variasi medan magnetik yang terukur di permukaan. Variasi 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.

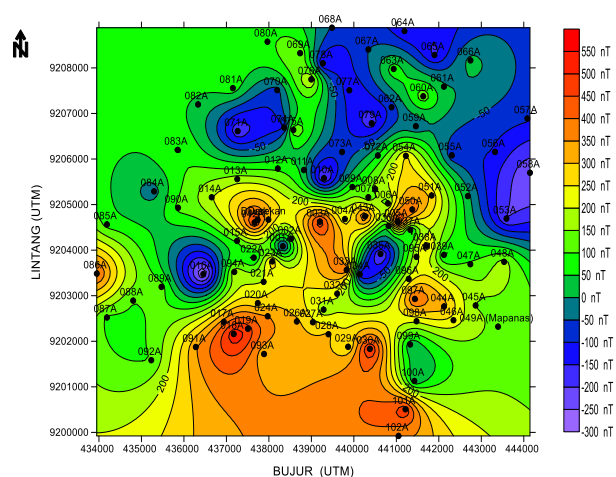
Penelitian dimulai dengan membuat desain survei dengan mengacu informasi geologi daerah penelitian. Setelah membuat desain survei dilanjutkan dengan akuisisi data di lapangan. Pada penelitian ini sejumlah 99 titik diukur dengan menggunakan PPM (*Proton Precession Magnetometer*) tipe *geometrics* model 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 dan dimodelkan. Pemodelan yang dibuat harus memperhatikan segi informasi geologi daerah penelitian. Pemodelan tersebut akan menghasilkan struktur bawah permukaan dari data anomali yang kemudian dilakukan interpretasi. Interpretasi secara kualitatif dilakukan dengan menganalisis kontur peta kontinuasi ke atas. 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.

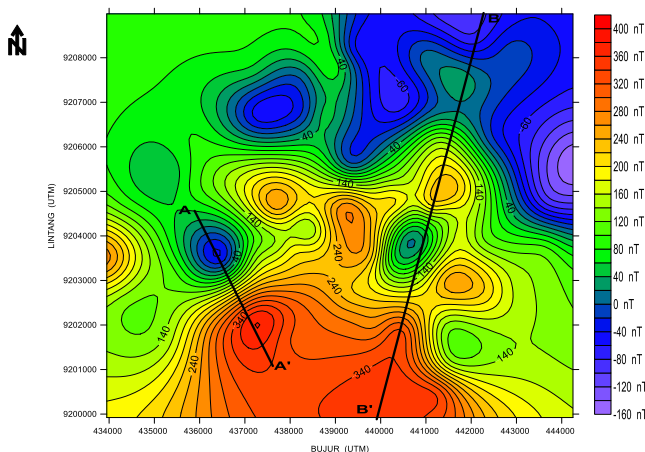


Gambar 2. Anomali medan magnet total

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 utara-selatan yaitu A-A' dan B-B' (arah sayatan ditunjukkan dengan garis warna hitam). Dari sayatan ini, akan digunakan untuk pemodelan 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'). Pemodelan dengan sayatan diharapkan dapat

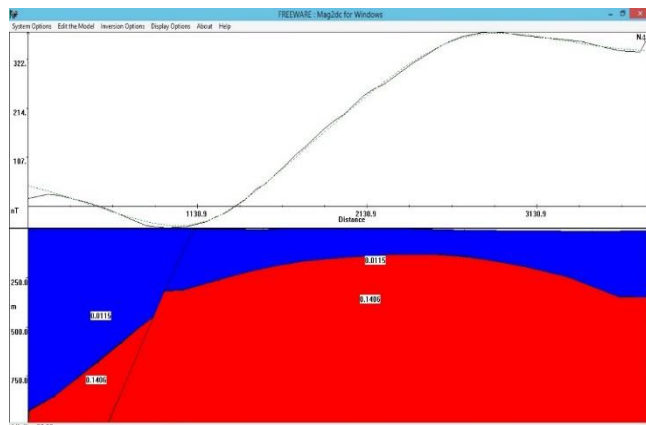
menjelaskan struktur bawah permukaan yang berupa struktur sesar maupun sistem panas bumi yang diduga sebagai penyebab anomali. Dalam pemodelan ini, disesuaikan dengan informasi geologi maupun penampakan permukaan di daerah penelitian.

Pemodelan yang pertama adalah hasil sayatan A-A' yang ditunjukkan pada gambar 4. Sayatan ini ditarik dari utara menuju ke selatan (terlihat pada gambar 3), dengan sisi utara di bagian kiri dan sisi selatan di bagian kanan gambar (gambar 4). Berdasarkan informasi geologi di daerah penelitian, pemodelan sayatan A-A' tersusun atas 2 lapisan batuan umumnya berumur kuartar.

Lapisan pertama dalam pemodelan ini merupakan batuan Gunungapi Gajahmungkur yang berupa pasir tufan dan breksi lapisan atas. Lapisan ini berada hingga kedalaman 850 meter dengan nilai suseptibilitas 0,0115 (satuan SI). Pada lapisan batuan ini sudah tampak adanya patahan. Hal ini diperkuat dengan adanya kenampakan di lapangan berupa sungai (Kali Jumbleng) yang tidak jauh dari manifestasi air panas Diwak.

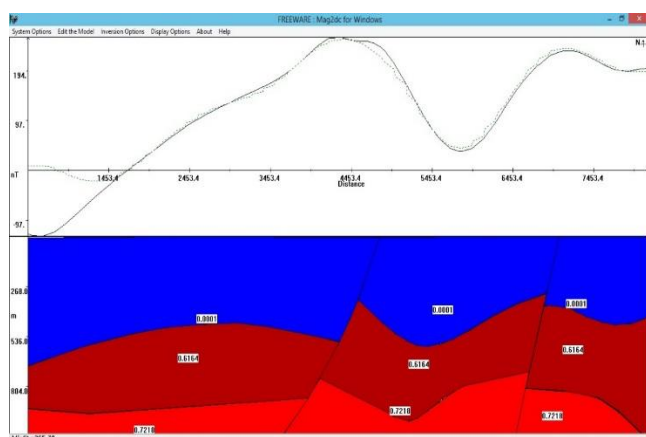
Kemudian lapisan batuan yang kedua merupakan breksi dengan aliran lava dari gunung api Gajahmungkur dengan nilai suseptibilitas 0,1406 (satuan SI) yang berada pada formasi Kaligetas. Lapisan ini berada pada kedalaman 200 hingga 1000 meter. Pada lapisan ini terlihat adanya patahan yang merupakan sesar turun, dengan bidang turun di sisi utara dan bidang naik di sisi selatan.

Secara garis besar berdasarkan hasil pemodelan sayatan A-A' menunjukkan adanya sesar di wilayah Diwak-Derekan. Perkiraan sesar tersebut merupakan sesar turun, dengan bagian turun di sebelah utara dan bagian naik di sebelah selatan. Hal ini juga diperkuat dengan kenampakan di permukaan yaitu adanya sungai yang membentang dari baratdaya menuju timurlaut, sehingga dapat diperkirakan sesar di wilayah tersebut berarah baratdaya-timurlaut.



Gambar 4. Hasil Pemodelan Sayatan A-A'

Pemodelan yang kedua adalah hasil sayatan B-B' yang ditunjukkan pada Gambar 5. Seperti halnya sayatan pertama (A-A'), sayatan kedua ini juga ditarik dari utara menuju ke selatan (terlihat pada gambar 3), dengan sisi utara di bagian kiri dan sisi selatan di bagian kanan gambar (gambar 5). Dari hasil pemodelan tersebut, terlihat adanya 3 lapisan batuan. Lapisan pertama merupakan batuan Gunungapi Gajahmungkur yang berupa pasir tufan dan breksi lapisan atas. Lapisan ini berada hingga kedalaman 650 meter dengan nilai suseptibilitas 0,0001 (satuan SI). Pada lapisan batuan ini sudah tampak adanya patahan yang diidentifikasi dengan adanya kenampakan di lapangan berupa sungai (Kali Klampok).



Gambar 5. Hasil Pemodelan Sayatan B-B'

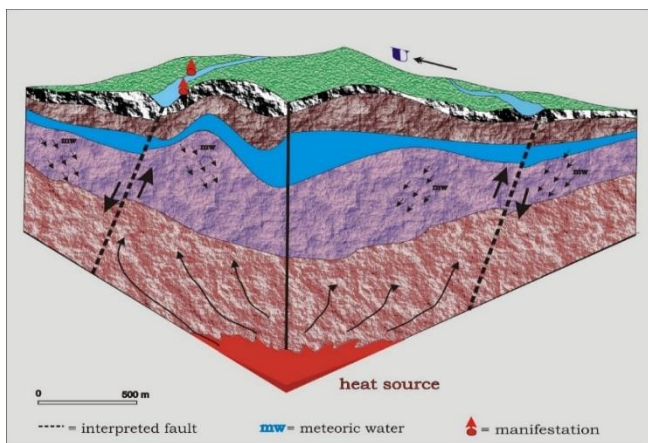
Selanjutnya lapisan batuan yang kedua terdiri dari breksi dengan aliran lava dari gunung api Gajahmungkur yang mempunyai nilai suseptibilitas 0,6164 (satuan SI). Lapisan ini berada pada kedalaman 280 hingga 1070 meter. Kemudian lapisan yang ketiga terdiri dari satuan breksi vulkanik dari Formasi Kaligetas dengan suseptibilitas sebesar 0,7218 (satuan SI). Lapisan ketiga ini berada pada kedalaman 780 hingga 1070 meter. Pada lapisan batuan kedua dan ketiga terlihat adanya dua patahan. Patahan pertama (sisi kiri pada gambar 5) merupakan sesar turun, yang ditunjukkan dengan blok *hanging wall* (sisi utara) relatif turun terhadap *foot wall* (sisi selatan). Patahan kedua (sisi kanan pada gambar 5) merupakan sesar naik dimana posisi blok *hanging wall* relatif naik terhadap blok *foot wall*.

Berdasarkan data anomali medan magnet dan pemodelannya, maka sistem panasbumi Diwak dan Derekan dapat dijelaskan dengan sebuah model geofisika panasbumi (gambar 6). Berdasarkan model tersebut, *heat source* Diwak-Derekan diperkirakan berasal dari tubuh intrusi yang berasosiasi dengan kubah lava andesitik. Intrusi ini merupakan batuan andesitik (T<sub>ma</sub>) yang berada di baratdaya dari sayatan A-A' (ditunjukkan pada peta geologi lembar Magelang dan Semarang). Letak *heat source* tersebut bertepatan dengan lokasi Kendalisodo. Pendugaan ini juga diperkuat dengan hasil penelitian sebelumnya yang menyatakan bahwa di daerah Kendalisodo terdapat suatu sistem geotermal tersendiri yang terpisah dengan sistem di Gedongsongo. *Heat source* ini diperkirakan berasal dari tubuh intrusi yang berasosiasi dengan kubah lava andesitik Gunung Kendalisodo.

Gambar 6 menunjukkan adanya sumber panas yang berupa intrusi batuan andesitik 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 Diwak dan Derekan.



**Gambar 6.** Gambaran sistem panasbumi Diwak-Derekan

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengolahan data hingga pemodelan dapat diperoleh kesimpulan:

1. Data anomali medan magnetik total menunjukkan pasangan klosur positif dan klosur negatif yang mengindikasikan adanya sesar dibawah permukaan. Penafsiran tersebut dikuatkan dengan hasil pemodelan yang menunjukkan adanya dua sesar di wilayah Diwak-Derekan yang berarah baratdaya-timurlaut.
2. Struktur bawah permukaan di wilayah Diwak-Derekan berada pada zona sesar, yang merupakan media jalan keluar fluida ke permukaan pada sistem panasbumi daerah tersebut.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Gaffar, E.Z., Dadan, D.W. dan Djedi, S.W., 2007, Studi Geofisika Terpadu di Lereng Selatan G. Ungaran Jawa Tengah, dan Implikasinya Terhadap Struktur Panasbumi, *Jurnal Meteorologi Dan Geofisika*, Vol. 8, No.2, 98-118.
- [2]. Sumintadireja, P., 2005, *Vulkanologi dan geothermal*. Diktat kuliah vulkanologi dan geothermal, Penerbit ITB, 153hal.
- [3]. Telford, M.W., Geldart L.P., Sheriff, R.E. dan Keys, D.A., 1990, *Applied Geophysics*, Cambridge University Press, USA.
- [4]. Hochstein, M.P. dan Browne, P.R.L., 2000, *Surface Manifestation of Geothermal System with Volcanic Heat Source In Encyclopedia of Volcanoes*, H. Sigurdson, B.F. Houghton, S.R. McNutt, H. Rymer dan J. Stix (eds.), Academic Press.
- [5]. Daud, Y., 2010, *Introduction to Geothermal System and Technology*, Laboratorium Geofisika FMIPA, Universitas Indonesia, Jakarta.
- [6]. Goff, F.E. dan Janik, C.J., 2000, *Encyclopedia of Volcanoes: Geothermal Systems*, Academic Press: A Harcourt Science and Technology Company.
- [7]. Gupta, H. dan Ray, S., 2007, *An Outline of the Geology of Indonesia*, IAGA, Jakarta, hal 11-36.