



## PENENTUAN STRUKTUR BAWAH PERMUKAAN TANAH DAERAH POTENSI PANAS BUMI DENGAN METODE GEOMAGNETIK DI TINGGI RAJA KABUPATEN SIMALUNGUN

Awaliyatun F.Z dan Juniar Hutahaean\*

Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Medan, Indonesia

*Diterima Oktober 2014; Disetujui November 2014; Dipublikasikan Desember 2014*

### Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui bagaimana struktur bawah permukaan dan untuk menentukan jenis batuan berdasarkan suseptibilitas anomalnya di daerah sumber air panas Tinggi Raja Desa Dolok Marawa Kecamatan Silou Kahean Kabupaten Simalungun. Posisi daerah sumber air panas terletak pada koordinat 476212 N – 476370 N dan 347890 E – 347780 E. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode magnetik. Pengukuran data magnetik ini menggunakan alat yang disebut PPM (*Proton Precession Magnetometer*). Dan titik koordinat dapat diketahui dari hasil pembacaan GPS (*Global Position System*). Dengan menggunakan alat ini akan diperoleh berupa data medan magnet utama bumi, variasi medan magnet bumi yang berhubungan dengan kerentanan magnet batuan. Data magnetik yang diperoleh dikurangi dengan nilai variasi harian untuk mendapatkan nilai koreksi hariannya. Untuk desain survei pengukuran metode magnetik dilakukan secara acak dengan jumlah titik ukur 60 titik dan pengolahan data anomali magnet total dilakukan dengan menggunakan program *Surfer11*. Untuk mendapatkan penampang anomali digunakan program *Mag2dc For Windows*. Hasil pengukuran magnetik menunjukkan adanya variasi kuat medan magnet disetiap titik dengan nilai intensitas magnet terendah sebesar 41909,44 nT terdapat pada titik 30 pada posisi 476342 N dan 347905 E. Dan harga intensitas magnet tertinggi sebesar 41948,77 nT di titik 7 pada posisi 476250 N dan 347868 E. Dari hasil interpretasi kualitatif, nilai anomali magnetik berada pada -11,8533 nT sampai 34,6033 nT sedangkan hasil interpretasi kuantitatif pemodelan AA' menunjukkan adanya batuan sedimen dan kalsit, dengan nilai suseptibilitas -0,002; 0,006; 0,002; dan 0,015.

**Kata Kunci :** *Geomagnetik, Anomali Magnetik, Suseptibilitas*

**How to Cite:** Awaliyatun F.Z Dan Juniar Hutahaean, (2015), Penentuan Struktur Bawah Permukaan Tanah Daerah Potensi Panas Bumi Dengan Metode Geomagnetik Di Tinggi Raja Kabupaten Simalungun, *Jurnal Einstein Prodi Fisika FMIPA Unimed*, 3 (1): 1-8.

\*Corresponding author:  
E-mail : [awaliyatun\\_fz@yahoo.com](mailto:awaliyatun_fz@yahoo.com)

p-ISSN : I2338 - 1981

## PENDAHULUAN

Wilayah Indonesia memiliki kandungan sumber daya alam berupa mineral dan energi yang cukup tinggi, salah satunya adalah panas bumi. Sumber energi panas bumi Indonesia umumnya berada pada jalur gunung api, membentang mulai dari ujung Pulau Sumatera, sepanjang Pulau Jawa, Bali, Nusa Tenggara, Sulawesi, dan Maluku. Kondisi ini menempatkan Indonesia sebagai pemilik potensi energi panas bumi terbesar di dunia, yang mencapai 28.617 megawatt (MW) atau sekitar 40 % dari total potensi dunia yang tersebar di 299 lokasi (WWF-Indonesia, 2013).

Pulau Sumatera merupakan salah satu daerah di Indonesia yang dilalui oleh pertemuan dua lempeng tektonik yaitu Lempeng Eurasia dan Lempeng Indo-Australia sehingga menyebabkan sering terjadinya gempa bumi dan menimbulkan daerah potensi panas bumi. Pulau Sumatera memiliki potensi sumber panas bumi sampai 13.470 MW dan merupakan potensi terbesar dibandingkan dengan pulau-pulau yang lain.

Potensi sumber air panas bumi yang besar ini kurang disadari, salah satunya adalah sumber air panas yang terdapat di Kabupaten Simalungun yang merupakan bagian dari wilayah pada posisi silang di kawasan Palung Pasifik Barat yang secara geografis terletak diantara 02°36'-03°18' Lintang Utara dan 98°32'-99°35' Bujur Timur. Salah satu sumber air panas yang terdapat di Kabupaten Simalungun yakni Kawah Putih Tinggi Raja tepatnya berada di Kecamatan Silau Kahean, Desa Dolok Marawa. Sumber panas bumi berada pada jarak 500 meter dari rumah penduduk. Berdasarkan pengakuan dari masyarakat setempat, air panas yang muncul umumnya masih dimanfaatkan hanya sebagai objek wisata saja sedangkan untuk prospek pengembangan sumber energi panas bumi belum dikaji secara matang. Dengan melihat potensi yang ada pada daerah panas bumi tersebut, maka perlu dikembangkan agar lebih bermanfaat.

Sistem panas bumi mencakup sistem *hydrothermal* yang merupakan sistem tata-air, proses pemanasan dan kondisi sistem dimana air yang terpanasi terkumpul. Sehingga sistem panas bumi mempunyai persyaratan seperti harus tersedia air, batuan pemanas, batuan sarang dan batuan penutup. Air disini umumnya berasal dari air hujan atau air meteorik. Batuan pemanas akan berfungsi sebagai sumber pemanasan air, yang dapat berwujud tubuh terobosan granit maupun bentuk-bentuk batolit lainnya. Panas yang ditimbulkan oleh pergerakan sesar aktif kadang-kadang berfungsi pula sebagai sumber panas, seperti sumber-sumber mata air panas di sepanjang jalur sesar aktif.

Perubahan struktur di bawah permukaan bumi terjadi akibat perubahan beban massa tanah dan batuan baik di permukaan bumi maupun di dalam bumi. Untuk mengidentifikasi struktur bawah permukaan akibat peristiwa tersebut, dapat digunakan beberapa metode geofisika. Dalam penelitian ini menggunakan metode magnetik. Metode magnetik dapat digunakan untuk menentukan struktur geologi besar bawah permukaan seperti sesar, lipatan, intrusi batuan beku atau kubah garam dan reservoir geothermal.

Dalam penelitian ini menggunakan metode magnetik. Metode magnetik dapat digunakan untuk menentukan struktur geologi besar bawah permukaan seperti sesar, lipatan, intrusi batuan beku atau kubah garam dan reservoir geothermal. Metode magnetik bekerja didasarkan pada pengukuran variasi kecil intensitas medan magnetik di permukaan bumi. Variasi ini disebabkan oleh kontras sifat kemagnetan antar batuan di dalam kerak bumi, sehingga menimbulkan medan magnet bumi yang tidak homogen, bisa disebut juga sebagai suatu anomali magnetik. Dimana batuan di dalam sistem panas bumi pada umumnya memiliki magnetisasi rendah dibanding batuan sekitarnya. Hal ini disebabkan adanya proses demagnetisasi oleh proses alterasi hidrotermal, dimana proses tersebut mengubah mineral yang ada menjadi

mineral-mineral paramagnetik atau bahkan diamagnetik. Nilai magnet yang rendah tersebut dapat menginterpretasikan zona-zona potensial sebagai reservoir dan sumber panas (Musafak, 2007).

Penelitian yang dilakukan oleh Sehad (2013) mengenai struktur bawah permukaan sungai Logawa menggunakan metode magnetik, diperoleh kontras suseptibilitas  $-0,006$  cgs units pada kedalaman  $4,88 - 23,98$  m dengan jenis batupasir berbutiran halus, sedangkan pada kontras suseptibilitas  $0,001$  cgs units dengan kedalaman  $0,00 - 13,13$  m bongkahan batu andesit-basaltik. Sundhoro (2006), melakukan intensitas magnet di beberapa lokasi di Desa Dolok Marawa dan dengan hasil anomali total antara  $-824$  s/d  $427$  nT. Maka dalam penelitian ini peneliti mengembangkan penelitiannya dengan menambahkan nilai suseptibilitasnya dan menggunakan hasilnya dengan pemodelan dua dimensi.

**METODE PENELITIAN**

**Peralatan yang digunakan**

Dalam melakukan pengukuran geomagnetik, peralatan paling utama yang digunakan adalah magnetometer. Peralatan ini digunakan untuk mengukur kuat medan magnetik di lokasi survei. Salah satu jenisnya adalah Proton Precision Magnetometer (PPM) yang digunakan untuk mengukur nilai kuat medan magnetik total. Peralatan lain yang bersifat pendukung di dalam survei magnetik adalah Global Positioning System (GPS). Peralatan ini digunakan untuk mengukur posisi titik pengukuran yang meliputi bujur, lintang, ketinggian, dan waktu. GPS ini dalam penentuan posisi suatu titik lokasi menggunakan bantuan satelit.

Beberapa peralatan penunjang lain yang sering digunakan di dalam survei magnetik, antara lain (Santoso, 2013) :

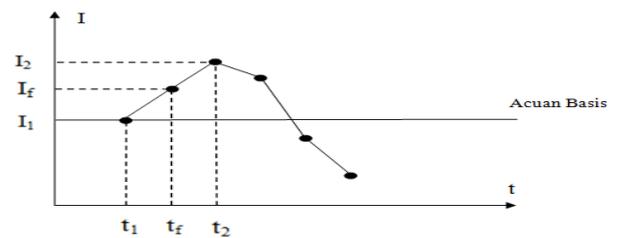
- Kompas geologi, untuk mengetahui arah utara dan selatan dari medan magnet bumi.

- PC atau laptop dengan software seperti Surfer, Mag2DC, dan lain-lain.

Data yang dicatat selama proses pengukuran adalah hari, tanggal, waktu, kuat medan magnetik, kondisi cuaca dan lingkungan.

**Pengolahan Data Geomagnetik Koreksi Harian**

Koreksi harian dilakukan untuk menghilangkan pengaruh medan magnet luar pada harga medan hasil pengukuran. Koreksi ini dilakukan jika ada perbedaan pengukuran medan magnet bumi di base dengan ini daerah survei. Cara yang dilakukan untuk mendapatkan nilai koreksi ini adalah dengan membuat grafik intensitas medan (I) versus waktu (t) dari hasil pengukuran di stasiun base.



**Gambar 1.** Grafik intensitas medan (I) versus waktu (t)

Garis-garis sejajar sumbu-I ditarik sebagai acuan benda melewati titik (t, I) pertama. Kemudian dihitung harga penyimpangan grafik terhadap harga acuan basis untuk waktu-waktu t yang bersesuaian dengan waktu-waktu pengukuran di titik pengukuran. Harga penyimpangan tersebut diperoleh dengan persamaan interpolasi sebagai berikut.

$$I_f = x (I_2 - I_1) \quad (1)$$

Persamaan di atas yaitu pengukuran antara  $t_1$  dan  $t_2$  terhadap  $I_1$  dan  $I_2$ . Sedangkan untuk koreksi harian adalah :

$$T_{vh} = I_p I_f \quad (2)$$

**Koreksi Topografi**

Koreksi topografi adalah koreksi yang dilakukan untuk menghilangkan

pengaruh medan magnet yang ditimbulkan oleh bukit-bukit yang termagnetisasi terhadap harga medan hasil pengamatan. Belum ada aturan umum dalam koreksi ini. Jika topografi dianggap tidak termagnetisasi, maka yang dilakukan adalah koreksi ketinggian dengan mengacu pada harga gradien vertikal magnet bumi, yaitu :

- Didaerah kutub sekitar – 0,03 gamma setiap penurunan satu meter dan sebaliknya.
- Didaerah ekuator sekitar 0,0015 gamma setiap penurunan satu meter dan sebaliknya.

Karena penelitian berada di daerah aquator, maka koreksi topografinya :

$$T_T = T_{vh} - (\Delta h * 0,015\gamma) \quad (3)$$

### Koreksi IGRF

Data hasil pengukuran medan magnetik pada dasarnya adalah kontribusi dari tiga komponen dasar, yaitu medan magnetik utama bumi, medan magnetik luar dan medan anomali. Nilai medan magnetik utama tidak lain adalah nilai IGRF. Jika nilai medan magnetik utama dihilangkan dengan koreksi harian, maka kontribusi medan magnetik utama dihilangkan dengan koreksi IGRF.

### Pola Penyebaran anomali

Anomali medan magnet merupakan penyimpangan nilai rata-rata medan magnet bumi, yang disebabkan oleh mineral-mineral bermagnet yang terdapat di permukaan bumi. Data hasil koreksi harian dan koreksi IGRF base disebut anomali medan magnetik pada topografi, yaitu :

$$\Delta T = T_T - T_{IGRF} \quad (4)$$

### Suseptibilitas Magnetik

Dapat ditentukan suseptibilitas batuan di tiap titik daerah survei.

$$k = \quad (5)$$

### Interpretasi Data Geomagnetik

Secara umum interpretasi data geomagnetik terbagi menjadi dua, yaitu interpretasi kualitatif dan kuantitatif. Interpretasi kualitatif didasarkan pada pola kontur anomali medan magnetik yang bersumber dari distribusi benda-benda termagnetisasi atau struktur geologi bawah permukaan bumi. Selanjutnya pola anomali medan magnetik yang dihasilkan ditafsirkan berdasarkan informasi geologi setempat dalam bentuk distribusi benda magnetik atau struktur geologi, yang dijadikan dasar pendugaan terhadap keadaan geologi yang sebenarnya.

Interpretasi kuantitatif bertujuan untuk menentukan bentuk atau model dan kedalaman benda anomali atau struktur geologi melalui pemodelan matematis. Untuk melakukan interpretasi kuantitatif, ada beberapa cara dimana antara satu dengan lainnya mungkin berbeda, tergantung dari bentuk anomali yang diperoleh, sasaran yang dicapai dan ketelitian hasil pengukuran. Beberapa pemodelan yang biasa digunakan yaitu pemodelan dua setengah dimensi dan pemodelan tiga dimensi.

## HASIL DAN PEMBAHASAN HASIL PENELITIAN

### Koreksi Harian

Cara yang dilakukan untuk mendapatkan nilai koreksi ini dengan membuat grafik intensitas medan (I) versus waktu (t) dari hasil pengukuran di stasiun base.

### Gambar 2. Grafik Variasi Harian

Gambar 2. menunjukkan bahwa nilai intensitas di pengaruhi oleh suhu. Semakin tinggi suhu maka semakin rendah intensitas. Sebaliknya semakin rendah suhu maka semakin tinggi intensitas. Pada pukul 10:00:03 intensitas magnetik memiliki nilai 41934 nT, ini dikarenakan suhu pada waktu tersebut rendah sehingga nilai intensitas tinggi. Dan pada pukul 14:25:03 intensitas magnetik memiliki nilai 41918,4 nT, ini dikarenakan suhu pada waktu tersebut

tinggi sehingga nilai intensitas magnetik rendah. Dari grafik terlihat jelas bahwa nilai intensitas dari tinggi ke rendah akibat adanya pengaruh suhu.

Dalam menghitung harga penyimpangan grafik terhadap harga acuan basis, dapat diperoleh dengan interpolasi, untuk titik Z1 interpolasi didapat 0,39 nT. Apabila nilai variasi harian negatif, maka koreksi harian dilakukan dengan cara menambahkan nilai variasi harian yang terekam pada waktu tertentu terhadap data medan magnetik yang akan dikoreksi. Sebaliknya jika variasi harian positif, maka koreksi harian dilakukan dengan cara mengurangi nilai variasi harian yang terekam pada waktu tertentu terhadap data medan magnetik yang akan dikoreksi. Maka untuk koreksi harian adalah 41936,86 nT.

**Koreksi Topografi**

Untuk titik pengukuran (Z1) ketinggian di titik acuan adalah 445, di titik pengukuran adalah 371 dimana titik tersebut lebih rendah -74 dan koreksi harian di titik pengukuran adalah 41936,86 nT, maka hasil koreksi topografi adalah 41937,97 nT.

**Koreksi IGRF**

Pada penelitian ini dilokasi pada posisi 476212 N - 347890 E pada ketinggian 371 meter diatas permukaan laut (dpl). Diperoleh nilai koreksi IGRF pada titik Z1 sebesar 41903,37 nT.

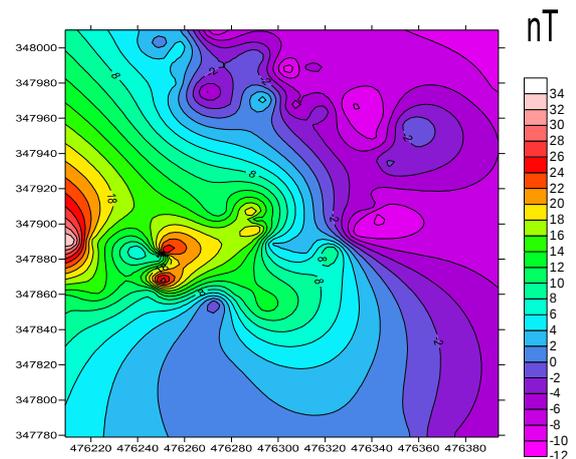
**PEMBAHASAN**

**Anomali Magnetik**

Untuk memperoleh harga anomali magnet, data hasil pengukuran di jumlahkan dengan koreksi hariannya dan dikurangi dengan koreksi IGRF. Misalnya pada titik (Z1) diperoleh nilai koreksi topografi adalah 41938,22, kemudian dikurangi dengan nilai koreksi IGRF, akhirnya di dapat anomali magnet sebesar 34,6033 nT

Pada titik (Z56) diperoleh nilai anomali magnet sebesar -11,8533 nT. Sehingga

diperoleh anomali total pada daerah penelitian sebesar -11,8533 nT s/d 34,6033 nT. Dari hasil penelitian Sundhoro (2006), mendapatkan anomali total antara -824 s/d 427 nT. Sundhoro melakukan penelitian di 272 titik sehingga mendapatkan anomali yang besar, sedangkan peneliti melakukan penelitian di 60 titik yaitu di Tingi Raja, sehingga mendapatkan anomali kecil.



**Gambar 3.** Peta kontur anomali magnet didaerah penelitian

Nilai anomali magnetik (gambar 3.) daerah penelitian dapat dikelompokkan menjadi tiga kelompok anomali, yaitu : anomali magnetik rendah dengan nilai kurang dari -2 nT. Anomali magnetik sedang dengan nilai 4 nT sampai 22 nT. Anomali magnetik tinggi dengan nilai lebih dari 26 nT.

**Suseptibilitas**

Untuk mendapatkan gambaran yang jelas tentang sifat-sifat kemagnetan yang dijumpai di daerah penelitian dilakukan pengukuran suseptibilitas magnetik di setiap titik pengukuran. Untuk titik Z8 suseptibilitas di titik tersebut adalah 0, 825.

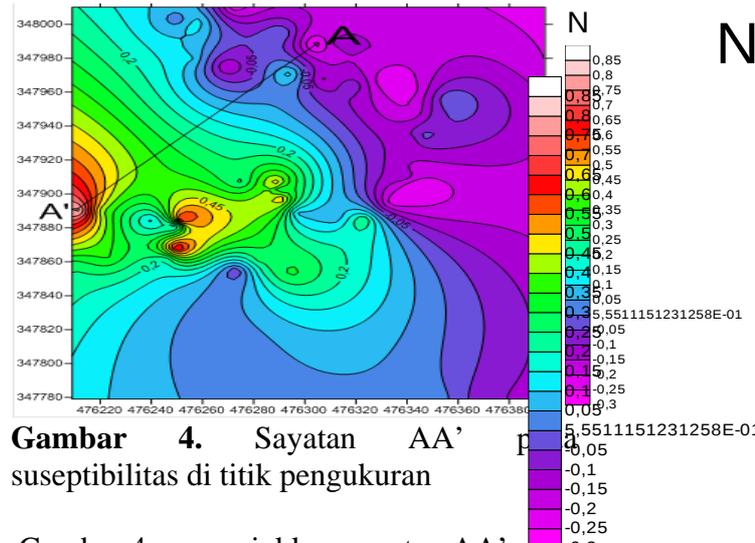
Dari perhitungan nilai suseptibilitas diketahui bahwa daerah penelitian mempunyai nilai suseptibilitas berkisar antara (-0,0026634) – (0,8253509). Dengan rata-rata 0,0893249. Adanya nilai suseptibilitas yang berbeda menandakan adanya jenis batuan yang berbeda, namun

secara umum jenis batuan yang terdapat di daerah survei adalah jenis batuan sedimen dan kalsit.

Nilai suseptibilitas yang bernilai negatif merupakan batuan yang bersifat diagnetik sedangkan anomali yang bernilai positif merupakan batuan yang bersifat Paramagnetik.

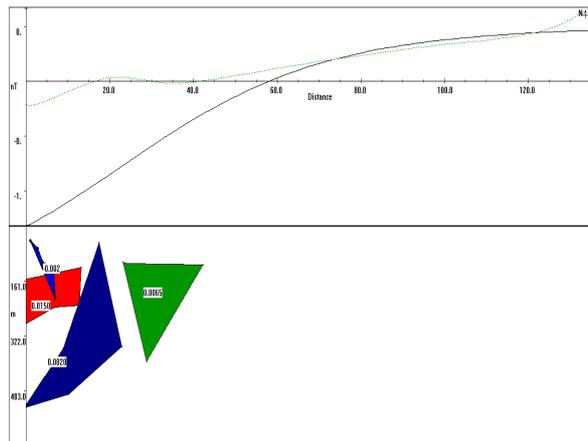
### Interpretasi Data Geomagnetik

Interpretasi kualitatif didasarkan pada pola kontur anomali magnetik yang diolah dalam program *surfer* seperti gambar 4. pola kontur anomali magnetik menghasilkan nilai anomali yang berbeda dari mulai yg rendah sampai anomali yang tinggi. Nilai anomali magnetik dipeoleh dari data pengukuran tiap – tiap titik yang telah dikoreksi variasi harian, dikurangi dengan harga total magnet bumi secara teoritis dari IGRF. Gambar 4.3 menunjukkan sumber anomali magnetik terlihat jelas. Anomali rendah pada kontur dikarenakan adanya demagnetisasi batuan. Interpretasi kuantitatif diperlukan untuk menggambarkan struktur bawah permukaan dari pengukuran data. Interpretasi ini dilakukan dengan cara menyayat anomali magnetik. Interpretasi kuantitatif bertujuan untuk menentukan litologi daerah penelitian. Lotologi ini dapat ditentukan dengan nilai suseptibilitas hasil pemodelan. Interpretasi ini dilakukan dengan membuat model menggunakan software *Mag2DC*. Parameter yang digunakan dalam pemodelan adalah nilai IGRF sebesar 41925,6, sudut inklinasi sebesar – 11,12 derajat dan sudut deklinasi sebesar -0,62 derajat, satuan yang digunakan adalah meter dan sistem SI ( $10^3$ ).



**Gambar 4.** Sayatan AA' pada suseptibilitas di titik pengukuran

Gambar 4. menunjukkan sayatan AA' pada suseptibilitas yang disayat berdasarkan geologi daerah penelitian dan interpretasi kualitatif. Sayatan AA' melintang dari arah timur laut menuju barat daya. Maka dihasilkan model penampang melintang. 8



**Gambar 5.** Model penampang menggunakan *Mag2dc*.

Gambar 5 menunjukkan model penampang yang melintang AA' dimana pada gambar tersebut terdapat sumbu x dan sumbu y. Sumbu x menunjukkan panjang sayatan. Sumbu y positif menunjukkan nilai variasi intensitas magnetik dan sumbu y negatif menunjukkan kedalaman. Dari hasil pemodelan dapat ditentukan litologi batuan berdasarkan nilai suseptibilitas. Model penampang ini menunjukkan batuan sedimen dan kalsit, dengan nilai suseptibilitas -0,002; 0,006; 0,002; dan 0.015.

## KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang dilakukan maka dapat diambil kesimpulan antara lain:

1. Nilai anomali magnet di daerah survei berkisar antara -11,8533 nT sampai 34,6033 nT.
2. Data magnet yang diperoleh setelah di koreksi harian dengan nilai magnet terendah sebesar 41909,44 nT terdapat pada titik 30 pada posisi 476342 N dan 347905 E. Dan harga intensitas magnet tertinggi sebesar 41948,77 nT di titik 7 pada posisi 476250 N dan 347868 E. Sedangkan data magnet yang diperoleh setelah di koreksi topografi dengan nilai magnet terendah 41909,81 nT terdapat pada titik 30 dan harga intensitas magnet tertinggi 41949,77 terdapat pada titik 7.
3. Interpretasi kuantitatif menghasilkan litologi bawah permukaan daerah Tinggi Raja di dominasi oleh batuan sedimen dan kalsit, dengan nilai suseptibilitas -0,002; 0,006; 0,002; dan 0,015.

## SARAN

1. Memperluas titik pengukuran untuk mendapatkan data magnet daerah penelitian secara menyeluruh, yaitu kearah barat dari lokasi pengukuran.
2. Penelitian ini dapat dilanjutkan dengan metode geofisik yang lain, misalnya metode resistivitas dan elektromagnetik selanjutnya dilakukan eksplorasi detail seperti geologi panas bumi, geokimia, geolistrik schlumberger sampai ditemukan informasi prospek atau tidaknya daerah panas bumi di Kecamatan Silou Kahean Kabupaten Simalungun untuk pembangkit listrik tenaga

geothermal dengan daya pasang yang optimal.

## DAFTAR PUSTAKA

- Indonesia, WWF., (2013), *Panduan Kelestarian Ekosistem untuk Pemanfaatan Panas Bumi*, British Embassy, Jakarta.
- Musafak, Z., dan Santosa, B.J., (2007), *Interpretasi Metode Magnetik Untuk Penentuan Struktur Bawah Permukaan Di Sekitar Gunung Kelud Kabupaten Kediri*, Laporan Hasil Penelitian, FMIPA, ITS, Surabaya.
- Santoso, D. (2002), *Pengantar Teknik Geofisika*, ITB, Bandung.
- Sehah., Raharjo, S.A., dan Chandra, A., (2013), *Aplikasi Metode Magnetik Untuk Mengidentifikasi Struktur Lapisan Bawah Permukaan Sungai Logawa Desa Kediri Kecamatan Karanglewas Kabupaten Banyumas*, *Jurnal Geofisika*, **v14(1)**: 127-129.
- Sundhoro, H., Bakrun., Suryakusuma, D., Sulaeman, B., dan Situmorang, T., (2006), *Survei Panas Bumi Terpadu (Geologi, Geokimia dan Geofisika) Daerah Dolok Marawa Kabupaten Simalungun Sumatera Utara*, Laporan Hasil Penelitian, Kelompok Program Penelitian Panas Bumi.