

**Karakterisasi Sifat Magnetik Dan Sifat Listrik Endapan Sinter di
Beberapa Sumber Mata Air Panas Sumatera Barat
(Studi Kasus: Mata Air Panas Alam Pauh Duo Kabupaten Solok Selatan,
Sumani Kabupaten Solok dan Bonjol Kabupaten Pasaman Sumatera Barat)**

Afdal Fajri Salim^{*}, Arif Budiman, Ardian Putra

Laboratorium Fisika Bumi, Jurusan Fisika, FMIPA, Universitas Andalas
Kampus Unand, Limau Manis, Padang, 25163

^{*}*afdalifs@gmail.com*

ABSTRAK

Telah dilakukan karakterisasi sifat magnetik dan sifat listrik endapan sinter mata air panas dari mata air panas Sapan Malulung Kabupaten Solok Selatan, Sumani Kabupaten Solok dan Bonjol Kabupaten Pasaman. Pengukuran resistivitas listrik dilakukan dengan metode *dual probe electrode* dan susceptibilitas magnetik dengan menggunakan metode *anisotropy of magnetic susceptibility* (AMS). Nilai susceptibilitas magnetik yang didapatkan dari seluruh endapan sampel adalah $6 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg} - 15 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$. Diperkirakan mineral magnetik yang berkontribusi di dalam nilai susceptibilitas magnetik adalah hematit. Rendahnya nilai susceptibilitas magnetik di dalam endapan sinter dikarenakan oleh jumlah mineral magnetik (hematit) yang terkandung di dalam endapan sinter. Nilai resistivitas listrik tidak jenuh air didapatkan pada kisaran 35,632 Ωm dan 2509,569 Ωm . Besarnya rentang nilai resistivitas listrik yang didapatkan karena ketiadaan mineral konduktif di dalam endapan sinter. Nilai resistivitas listrik jenuh air didapatkan pada kisaran 6,829 Ωm sampai 49,333 Ωm . Tingginya nilai resistivitas listrik ini dikarenakan terdapatnya material-material pengotor yang tidak berasal dari reservoir panas bumi. Nilai susceptibilitas magnetik endapan sampel pada ketiga lokasi meningkat terhadap penurunan temperatur permukaan atau bila menjauhi mata air panas, sedangkan resistivitas listrik memiliki bentuk perubahan yang acak terhadap penurunan temperatur.

Kata kunci: endapan sinter mata air panas, resistivitas listrik, susceptibilitas magnetik, panas bumi

ABSTRACT

Magnetic and electrical properties characterization of sinter deposits at several hot springs in Solok Selatan, Solok and Pasaman District has been conducted. Measurement of the electrical resistivity using dual probe electrode method and the magnetic susceptibility using anisotropy of magnetic susceptibility (AMS) method. Magnetic susceptibility values are in the range of $6 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg} - 15 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$. It is estimated that magnetic minerals that contribute to the value of magnetic susceptibility is hematite. Values of magnetic susceptibility in the sinter deposits due to the magnetic minerals (hematite) contain in the sinter deposits. Non water saturated electrical resistivity of sinter deposits are in range of 35.632 Ωm and 2509.569 Ωm . The large range of electricity resistivity value cause by the absence of conductive minerals in the sinter deposits. Water saturated electrical resistivity of sinter deposits are in range of 6.829 to 49.333 Ωm . The large value of this electric resistivity due to the presence of impurities that are not come from a geothermal reservoir. Value of magnetic susceptibility of sediment samples at three locations increase with decreasing of surface temperatures or when away from the hot springs, while the electrical resistivity has a form of random changes to the temperature decrease.

Keywords: sinter deposits hot spring, electrical resistivity, magnetic susceptibility, geothermal

I. PENDAHULUAN

Panas bumi merupakan sumber daya energi terbarukan yang ramah lingkungan (*clean energy*). Panas bumi memiliki jumlah energi yang lebih tinggi dibandingkan dengan energi angin dan sel surya dimana tidak bergantung terhadap fluktuasi cuaca dan perubahan iklim (Kagel, dkk., 2007). Salah satu parameter untuk mengetahui potensi panas bumi adalah penentuan temperatur reservoir. Penentuan temperatur reservoir tersebut dapat dilakukan dengan cara pengeboran secara langsung. Metode ini membutuhkan biaya yang sangat mahal. Untuk menghemat biaya, maka dilakukan estimasi temperatur reservoir panas bumi terlebih dahulu. Untuk panas bumi dengan manifestasi berupa mata air panas, estimasi temperatur reservoir dapat dilakukan dengan menggunakan metode *geothermometry*. Metode ini berdasarkan konsentrasi mineral tertentu yang terkandung di dalam fluida mata air panas.

Selain itu, estimasi temperatur reservoir panas bumi dapat dilakukan dengan menggunakan data endapan sinter yang terdapat di sekitar mata air panas. Endapan sinter tersebut berasal dari mineral-mineral alterasi hidrotermal yang dibawa oleh fluida lalu mengendap saat di permukaan bumi. Bentuk endapan-endapan sinter tersebut dapat berupa endapan sinter silika dan endapan sinter karbonat. Estimasi temperatur reservoir panas bumi ini dilakukan dengan menggunakan Hukum Dakhnov berdasarkan perbandingan antara nilai resistivitas listrik lapisan batuan di reservoir panas bumi dan endapan sinter tersebut (Hersir dan Arnasson, 2010). Wohletz dan Heiken (1992) menyatakan terbentuknya sinter silika di mata air panas menandakan reservoir panas bumi memiliki temperatur tinggi. Keberadaan sinter karbonat di mata air panas menandakan reservoir memiliki temperatur sedang.

Setiap mineral memiliki karakteristik tertentu dan dapat mengalami perubahan oleh parameter tertentu seperti temperatur. Suseptibilitas magnetik dan resistivitas listrik merupakan salah satu sifat fisis dari mineral yang dipengaruhi oleh perubahan temperatur (Schön, 2011). Beberapa peneliti telah melakukan penelitian yang berkaitan dengan sifat fisis endapan sinter di sekitar mata air panas. Masrayanti dkk. (2014) mendapatkan perubahan nilai suseptibilitas magnetik batuan yang berada di mata air panas Ie Jue Aceh Besar berbanding terbalik terhadap perubahan temperatur permukaan. Dona dan Putra (2016) mendapatkan bahwa nilai resistivitas listrik endapan sinter silika jenuh air mengalami perubahan yang berbanding terbalik terhadap perubahan temperatur air di permukaan mata air panas. Endhovani dan Putra (2015) dan Dona dan Putra (2016) mendapatkan hasil XRF bahwa endapan sinter terdiri atas beberapa mineral.

Berdasarkan hal-hal tersebut dilakukan karakterisasi sifat fisis dari endapan sinter yang berada di beberapa sumber mata air panas. Seperti yang diketahui, endapan-endapan sinter yang berada di sekitar mata air panas mengalami paparan temperatur secara terus menerus. Hasil dari karakterisasi sifat fisis tersebut dapat digunakan untuk sebagai data awal dalam mengestimasi temperatur reservoir panas bumi.

II. METODE

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah MS2B Bartington *Susceptibility Meter*, palu dan pahat, neraca digital, *Global Positioning System* (GPS), komputer, termometer, pipa PVC, multimeter digital, catu daya DC, jangka sorong, elektroda, botol air, plastisin dan plastic kaca. Sampel sinter silika dan sinter karbonat diambil dari sumber mata air panas Sapan Malulung Kabupaten Solok Selatan (SS), Sumani Kabupaten Solok (S) dan Bonjol Kabupaten Pasaman (PT), Sumatera Barat.

Endapan sinter yang dikoleksi adalah endapan yang berada di sekitar mata air panas atau di sepanjang aliran air panas mata air panas. Bentuk pengambilan sampel di aliran air panas dilakukan dengan cara menjauhi sumber mata air panas. Endapan sinter yang didapatkan kemudian dikeringkan di bawah sinar matahari selanjutnya dihancurkan untuk mendapat ukuran yang lebih kecil. Sampel endapan selanjutnya diukur nilai suseptibilitas magnetik menggunakan metode *anisotropy of magnetic susceptibility* dan resistivitas listrik menggunakan metode *dual probe electrode*. Sampel endapan sinter yang telah dipisahkan ini dimasukkan ke dalam *sample holder* dan dipadatkan menggunakan plastisin agar tidak mengalami pergeseran selama pengukuran. Sample holder yang telah berisi sampel endapan sinter dimasukkan ke dalam *MS2B Bartington Susceptibility Meter* untuk diukur nilai suseptibilitas magnetiknya dengan orientasi sebanyak 15 arah yang dibantu oleh *software* Multisus untuk memperoleh data suseptibilitas magnetiknya.

Pengukuran nilai resistivitas dilakukan dalam dua keadaan, yaitu jenuh air dan tidak jenuh air. Sampel endapan sinter dimasukkan ke dalam pipa PVC dengan diameter 2 inch dan direndam dengan air sampai keadaan jenuh dimana telah diketahui geometri luas (A) dan panjangnya (L). Sampel di dalam pipa PVC diberikan beda potensial, selanjutnya nilai arus listrik yang didapatkan diregresikan terhadap beda potensial untuk mendapatkan nilai resistansi listrik (R). Nilai resistivitas listrik (ρ) dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan (1) dengan menginputkan nilai resistansi listrik dan geometri pipa PVC. Pengukuran resistivitas listrik tidak jenuh air menggunakan metode yang dengan metode jenuh air, namun langkah perendaman sampel dengan air tidak disertakan dalam penelitian.

$$\rho = \frac{RA}{L} \tag{1}$$

Nilai suseptibilitas magnetik, resistivitas listrik tidak jenuh air dan jenuh air yang telah didapatkan dari masing-masing sampel dibandingkan satu sama lain.

III. HASIL DAN DISKUSI

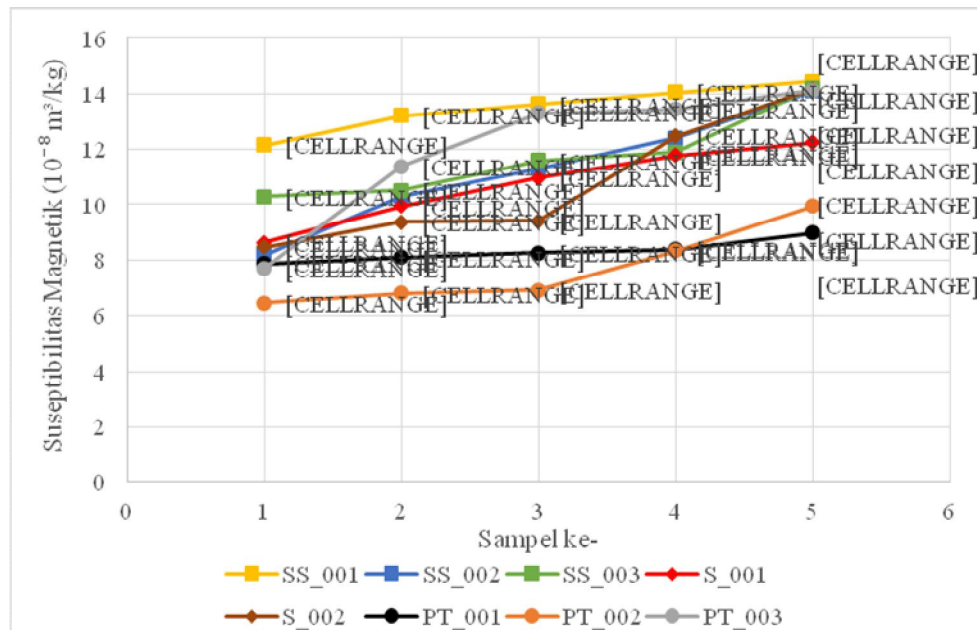
3.1 Suseptibilitas Magnetik Endapan Sinter

Hasil perhitungan nilai suseptibilitas magnetik sampel untuk setiap lokasi adalah seperti pada Tabel 1. Nilai suseptibilitas magnetik yang didapatkan berkisar dari $6,447 \times 10^{-8} - 14,433 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$.

Tabel 1 Nilai suseptibilitas magnetik endapan sinter

Lokasi Mata Air Panas	Temperatur Mata Air Panas (°C)	Suseptibilitas Magnetik ($10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$)				
		1	2	3	4	5
SS_MP_001	87	12,167	13,220	13,627	14,053	14,433
SS_MP_002	80	8,187	10,320	11,333	12,400	14,100
SS_MP_003	91	10,280	10,527	11,593	11,893	14,207
S_MP_001	44	8,627	9,933	10,973	11,780	12,240
S_MP_002	45	8,460	9,353	9,413	12,487	14,173
PT_MP_001	85	7,873	8,093	8,260	8,380	8,973
PT_MP_002	45	6,447	6,793	6,913	8,320	9,940
PT_MP_003	67	7,713	11,387	13,313	13,440	14,113

Grafik hubungan suseptibilitas magnetik terhadap posisi dari sumber mata air panas ditampilkan pada Gambar 1. Dari Gambar 1 dapat dilihat bahwa nilai suseptibilitas magnetik endapan sinter semakin besar terhadap jarak dari sumber mata air panas atau penurunan temperatur permukaan.



Gambar 1 Hubungan nilai suseptibilitas magnetik endapan sinter terhadap posisi sampel untuk 8 mata air panas dengan temperatur yang berbeda

Nilai suseptibilitas magnetik yang didapatkan tidak semuanya mengikuti asas Temperatur Curie. Keadaan ini didapatkan dengan nilai suseptibilitas magnetik yang lebih besar

pada temperatur yang tinggi, seperti SS_001 dan SS_003. Dua endapan tersebut memiliki nilai suseptibilitas magnetik yang tinggi dibandingkan dengan endapan dengan temperatur yang lebih rendah. Fenomena tersebut dapat disebabkan oleh beberapa hal, yaitu komposisi mineral yang terkandung di dalam endapan. Hal ini disebabkan oleh jumlah komposisi mineral magnetik yang terdapat pada endapan sinter tergolong sedikit. Berdasarkan nilai hasil XRF, hematit diperkirakan sebagai penyebab dari nilai suseptibilitas magnetik endapan sinter menjadi positif. Tarling dan Hrouda (1993) menyatakan hematit tergolong sebagai mineral ferromagnetik. Nilai suseptibilitas magnetik dari hematit berkisar $25 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$. Didapatkan perbedaan antara nilai suseptibilitas magnetik endapan sinter terhadap nilai suseptibilitas hematit berdasarkan literatur. Perbedaan ini dapat disebabkan oleh proses demagnetisasi oleh temperatur saat mineral berada di reservoir panas bumi.

3.2 Resistivitas Listrik Tidak Jenuh Air Endapan Sinter

Hasil perhitungan nilai resistivitas listrik tidak jenuh air sampel untuk setiap lokasi adalah seperti pada Tabel 2. Nilai resistivitas listrik yang didapatkan berkisar di antara $35 \Omega\text{m}$ dan $2510 \Omega\text{m}$. Nilai resistivitas listrik terendah dan tertinggi yaitu $35,632 \Omega\text{m}$ dan $2509,569 \Omega\text{m}$ didapatkan pada sampel SS_001_02 dan SS_003_03. Terdapat perbedaan yang sangat jauh antara nilai resistivitas listrik terendah dan tertinggi. Nilai rata-rata resistivitas listrik yang didapatkan bernilai $550,276 \Omega\text{m}$. Terdapat 37,5 % (15 buah) sampel memiliki nilai resistivitas listrik di antara $10 \Omega\text{m} - 100 \Omega\text{m}$, 25 % (10 buah) sampel memiliki nilai resistivitas listrik di antara $100 \Omega\text{m}$ dan $200 \Omega\text{m}$, 20 % (8 buah) sampel memiliki nilai resistivitas listrik di antara $200 \Omega\text{m}$ dan $1000 \Omega\text{m}$ dan 17,5 % (7 buah) sampel memiliki nilai resistivitas di atas $1000 \Omega\text{m}$. Endapan dengan nilai resistivitas listrik di bawah $100 \Omega\text{m}$, tegangan listriknya masih memiliki hubungan yang linear terhadap kuat arus. Hubungan linear antara dua parameter tersebut masih dapat ditemukan pada sampel yang memiliki nilai resistivitas listrik diantara $100 \Omega\text{m} - 200 \Omega\text{m}$. Ketidaklinearan antara dua parameter ini mulai terjadi saat nilai resistivitas listrik berada di atas $200 \Omega\text{m}$. Semakin besar nilai resistivitas listrik yang didapatkan dari sampel, hubungan antara tegangan dan kuat arus listrik semakin jauh menjadi linear.

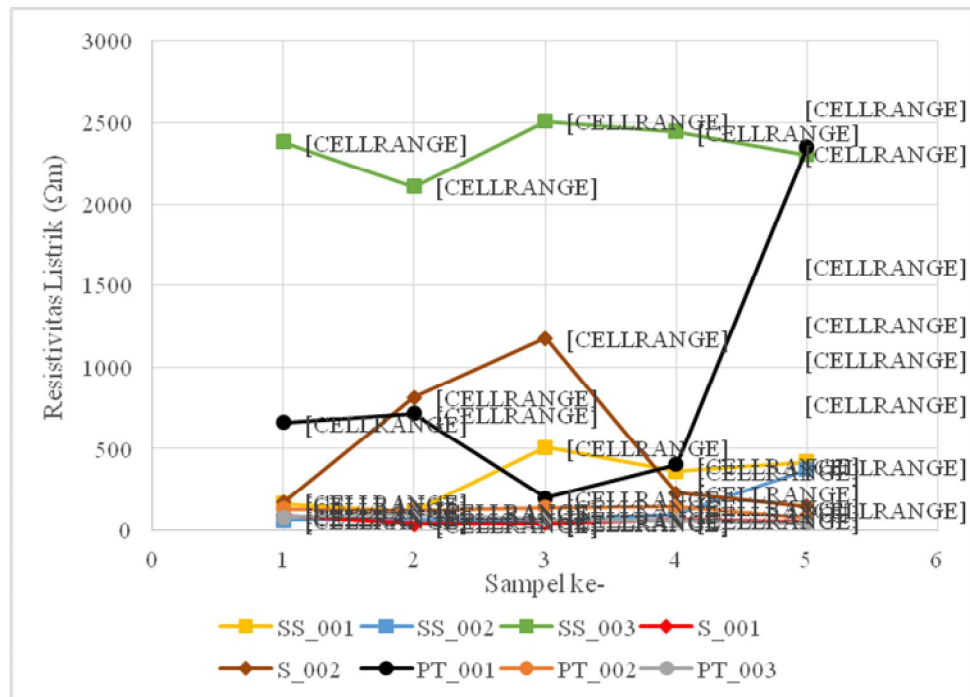
Tabel 2 Nilai resistivitas listrik tidak jenuh air endapan sinter

Lokasi Mata Air Panas	Temperatur Mata Air Panas ($^{\circ}\text{C}$)	Resistivitas Listrik (Ωm)				
		1	2	3	4	5
SS_001	87	158,683	112,843	508,891	361,100	420,460
SS_002	80	59,682	61,239	49,508	98,158	372,438
SS_003	91	2383,036	2108,411	2509,569	2444,666	2305,539
S_001	44	84,306	35,632	42,156	59,581	45,481
S_002	45	167,661	816,396	1178,091	225,706	143,435
PT_001	85	660,515	716,178	195,343	402,356	2353,371
PT_002	45	126,735	116,984	136,949	140,884	70,798
PT_003	67	76,505	97,057	64,802	58,608	41,286

Ketidaklinearan tegangan dan kuat arus listrik ini dapat disebabkan oleh bahan-bahan isolator yang terdapat di dalam sampel. Berdasarkan Endhovani dan Putra (2015) dan Dona dan Putra (2016), di dalam endapan sinter didominasi oleh bahan-bahan isolator dan keberadaan bahan konduktor hanya menjadi minoritas. Keadaan inilah yang menyebabkan didapatkannya nilai resistivitas yang sangat tinggi pada beberapa endapan sinter dengan nilai diatas $500 \Omega\text{m}$.

Grafik hubungan resistivitas listrik tidak jenuh air terhadap posisi dari sumber mata air panas ditampilkan pada Gambar 2. Dari Gambar 2 dapat dilihat bahwa nilai resistivitas listrik tidak jenuh air berubah secara acak terhadap perubahan temperatur sampel. Secara teori, nilai resistivitas listrik bersifat sebanding terhadap perubahan temperatur. Contohnya adalah resistivitas listrik yang didapatkan dari SS_003 dengan temperatur mata air panas tertinggi, nilai resistivitas listrik di titik pertama harus memiliki nilai resistivitas listrik tertinggi. Keadaan ini tidak terpenuhi karena nilai tertinggi didapatkan dari titik ketiga. Nilai resistivitas terendah juga

tidak didapatkan oleh titik kelima, namun dimiliki oleh titik kedua. Keanehan pada umumnya didapatkan oleh setiap sampel endapan. Keanehan ini kemungkinan disebabkan oleh keberadaan mineral konduktif yang terdapat di dalam endapan sinter.



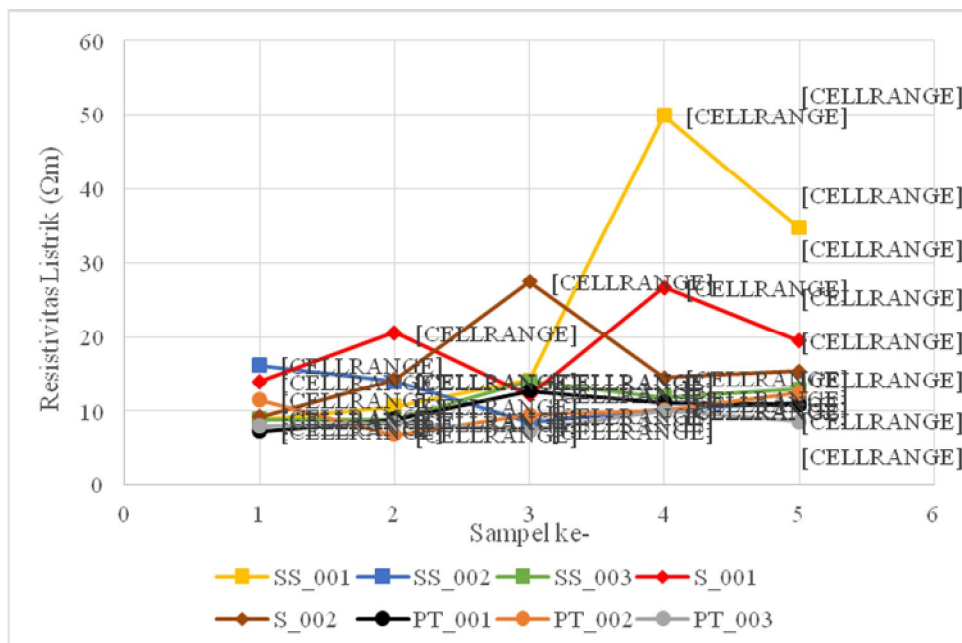
Gambar 2 Hubungan nilai resistivitas listrik tidak jenuh air endapan sinter terhadap posisi sampel untuk 8 mata air panas dengan temperatur yang berbeda

3.3 Resistivitas Listrik Jenuh Air Endapan Sinter

Hasil perhitungan nilai resistivitas listrik tidak jenuh air sampel untuk setiap lokasi adalah seperti pada Tabel 3. Nilai resistivitas listrik jenuh air yang didapatkan berkisar di antara 6,829 Ωm dan 49,333 Ωm . Nilai rata-rata resistivitas listrik jenuh air yang didapatkan bernilai 13,817 Ωm . Terdapat perbedaan yang sangat jauh antara nilai resistivitas listrik jenuh air terendah dan tertinggi. Terdapat 32,5 % (13 buah) sampel memiliki nilai resistivitas listrik jenuh air di bawah 10 Ωm , 55 % (22 buah) sampel memiliki nilai resistivitas listrik jenuh air diantara 10 Ωm dan 20 Ωm dan 12,5 % (5 buah) sampel memiliki nilai resistivitas jenuh air diantara 20 Ωm dan 50 Ωm .

Tabel 3 Nilai resistivitas listrik jenuh air endapan sinter

Lokasi Mata Air Panas	Temperatur Mata Air Panas ($^{\circ}\text{C}$)	Resistivitas Listrik (Ωm)				
		1	2	3	4	5
SS_001	87	8,819	10,671	14,164	49,933	34,639
SS_002	80	16,188	13,992	8,525	10,253	11,16
SS_003	91	8,909	8,917	13,966	11,813	12,972
S_001	44	14,038	20,559	12,202	26,636	19,463
S_002	45	9,279	14,243	27,436	14,526	15,389
PT_001	85	7,353	8,895	12,725	11,12	10,915
PT_002	45	11,504	6,829	9,479	10,132	12,491
PT_003	67	8,002	8,465	7,446	10,015	8,635



Gambar 3 Hubungan nilai resistivitas listrik jenuh air endapan sinter terhadap posisi sampel untuk 8 mata air panas dengan temperatur yang berbeda

Grafik hubungan resistivitas listrik jenuh air terhadap posisi dari sumber mata air panas dapat dilihat pada Gambar 3. Dari Gambar 3 dapat dilihat bahwa perubahan nilai resistivitas listrik jenuh air memiliki pola acak terhadap perubahan temperatur permukaan mata air panas. Secara teori, nilai resistivitas listrik jenuh air bersifat berbanding terbalik terhadap naiknya temperatur (Hersir dan Arnasson, 2010). Contohnya adalah resistivitas listrik yang didapatkan dari SS_001, nilai resistivitas listrik bertambah terhadap turunnya temperatur permukaan pada endapan. Peningkatan nilai resistivitas listrik didapatkan hingga sampel keempat. Nilai resistivitas pada sampel kelima didapatkan menurun dibandingkan sampel sebelumnya. Sampel SS_001 didapatkan dua sampel yang memiliki selisih nilai resistivitas listrik sangat jauh, yaitu sampel keempat dan sampel kelima. Secara fisik, sampel SS_001_04 dan SS_001_05 didominasi oleh serpihan-serpihan kayu dimana kayu merupakan salah satu bahan isolator. Keadaan ini dapat menyebabkan tingginya nilai resistivitas listrik sampel dan membentuk anomali karena banyaknya jumlah sinter silika yang mengalami pengendapan.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil karakterisasi sifat magnetik dan sifat listrik endapan sinter didapatkan beberapa intisari berupa nilai susceptibilitas magnetik yang didapatkan dari seluruh endapan sampel adalah $6 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg} - 15 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$. Diperkirakan mineral magnetik yang berkontribusi di dalam nilai susceptibilitas magnetik adalah hematit. Bentuk variasi nilai susceptibilitas magnetik di dalam endapan sinter dikarenakan oleh komposisi mineral magneti (hematit) yang terkandung di dalam endapan sinter.

Nilai resistivitas listrik tidak jenuh air didapatkan pada kisaran 35,632 Ωm dan 2509,569 Ωm . Besarnya rentang nilai resistivitas listrik yang didapatkan karena pada beberapa sampel bersifat resistif disebabkan oleh ketiadaan mineral konduktif di dalam endapan sinter.

Nilai resistivitas listrik jenuh air didapatkan pada kisaran 6,829 Ωm sampai 49,333 Ωm . Tingginya nilai resistivitas listrik ini dikarenakan terdapatnya material-material pengotor yang tidak berasal dari reservoir panas bumi.

Nilai susceptibilitas magnetik endapan sampel pada ketiga lokasi meningkat terhadap penurunan temperatur permukaan atau bila menjauhi mata air panas, sedangkan resistivitas listrik memiliki bentuk perubahan yang acak terhadap penurunan temperatur.

DAFTAR PUSTAKA

- Arnasson, K., Karlsdottir, R., Eysteinnsson, H., Flovenz, O. G. dan Gudlaugsson, T., 2000, The Resistivity Structure of High-Temperatur Geothermal Systems in Iceland, *Proceedings World Geothermal Congress 2000*, June 2010, Japan.
- Dona, R. M. dan Putra, A., 2016, Hubungan Karakteristik Sinter Silika dan Temperatur Permukaan Mata Air Panas (Studi Kasus: Mata Air Panas Bawah Kubang, Garara dan Bukik Gadang di Kabupaten Solok), *Jurnal Fisika Unand (JFU)*, Vol.5, No.3, Jur. Fisika Unand.
- Endhovani, R. dan Putra, A., 2015, Analisa Konduktivitas Termal dan Porositas Sinter Silika Sumber Mata Air Panas di Sapan Malulung, Kecamatan Alam Pauh Duo, Kabupaten Solok Selatan, *Jurnal Fisika Unand (JFU)*, Vol.5, No.1, Jur. Fisika Unand.
- Hersir, G. P. dan Arnasson, K., 2010, Resistivity of Rocks, *Short Course V on Exploration for Geothermal Resources*, UNU-GTP, GDC dan KenGen, Kenya.
- Kagel, A., Bates, D. dan Gawell, K., 2007, *A guide to Geothermal Energy and The Enviroment*, Geothermal Energy Association, United States of America.
- Kebede, Y., 2001, Application of The Resistivity Method in the Krisuvik Geothermal Area, Reykjanes Peninsula SW-Iceland, *Geothermal Training Programme*, The United Nations University, Iceland.
- Lagat, J., 2009, Hydrothermal Alteration Mineralogy in Geothermal Fields with Case Examples from Olkaria Domes Geothermal Field, Kenya, *Short Course IV on Exploration for Geothermal Resources*, UNU-GTP, Kengen and GDC.
- Masrayanti, I., Syukri, M. dan Jalil, Z., 2014, Analisa Sifat Suseptibilitas Magnetik Batuan pada Daerah Geotermal di Kawasan Ie Jue, Aceh Besar, *Skripsi*, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh.
- Pentecost, A., 2005, *Travertine*, Springer, Netherland.
- Rimstidt, J., D. dan Cole, D., R., 1982, The Mechanism of Formation of The Beowawe, Nevada Siliceous Sinter Deposit, *Geothermal Mineralization I*, U.S Department Of Energy: Division of Geothermal Energy, Nevada.
- Schön, J.H., 2011, *Physical Propoerties of Rocks*, Elsevier Ltd, Netherlands.
- Tarling, D.H. dan Hrouda, F., 1993, *The Magnetic Anisotropy of Rocks*, Chapman & Hall, London, Inggris.
- Wohletz, K. dan Heiken, G., 1992, *Volcanology and Geothermal Energy*, University of California Press, Barkeley, United States of America.