



## PENENTUAN ARAH FLUIDA PANAS BAWAH PERMUKAAN DI OBYEK WISATA GUCI MENGGUNAKAN METODE SELF POTENTIAL

Nadine Vaidila<sup>✉</sup>, Supriyadi, Suharto Linuwih

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

---

### Info Artikel

Diterima September 2015  
Disetujui oktober 2015  
Dipublikasikan November 2015

*Keywords:*

Obyek wisata Guci, Self potential, Arah aliran fluida Guci tourist destination, Self potential, Fluid flow direction

---

### Abstrak

Penelitian arah aliran fluida bawah permukaan telah dilakukan di daerah manifestasi panas bumi obyek wisata Guci Kabupaten Tegal menggunakan metode *self potential*. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan arah aliran fluida panas bawah permukaan di daerah obyek wisata Guci khususnya di pancuran 7. Pengambilan data pengukuran *self potential* menggunakan konfigurasi elektroda tetap dengan jarak interval elektroda 2 meter dan sebanyak 5 lintasan. Konfigurasi elektroda yang digunakan yaitu konfigurasi teknik basis tetap (*fixed base*). Pada teknik ini salah satu elektroda dibuat tetap berada pada satu titik yang disebut titik referensi, sementara elektroda yang lain dipindah-pindah untuk setiap pengukuran. Hasil penelitian menunjukkan nilai *self potential* yang didapat dengan nilai terendah -29,8 mV dan nilai yang tertinggi 47,3 mV. Dari nilai sebaran potensial tersebut dapat diprediksi arah aliran fluida di daerah obyek wisata Guci mengarah dari Utara menuju Selatan.

### Abstract

*Fluid flow research bottom surface has been conducted in geothermal manifestation tourist destination Guci Tegal using self potential method. This research aims to determine the pattern of fluid flow pattern bottom surface in Guci especially in shower 7. Data acquisition for self potential measurement used fixed electrode configuration with 2 meters interval distance divided into 5 lines. Electrode configuration technique used is the configuration of the fixed base. In this technique one of the electrodes is made to remain at one point called the reference point, while the other electrode be moved for each measurement. The result show the value of self potential obtained with the lowest value of -29,8 mV and the highest value of 47,3 mV. Of the value potential distribution can predicted the direction of fluid flow in the area a tourist destination Guci leads from North to the South.*

© 2015 Universitas Negeri Semarang

<sup>✉</sup> Alamat korespondensi:  
E-mail: nadine\_vaidila@ymail.com

ISSN 2252-6978

## PENDAHULUAN

Potensi energi panas bumi Indonesia berdasarkan survei yang dilakukan oleh kementerian ESDM, tercatat sebesar 29.038 MW dan merupakan 40% dari potensi energi panas bumi dunia sehingga Indonesia menjadi negara dengan potensi energi panas bumi terbesar dunia (Setiawan, 2013: 2). Berdasarkan survei geologis, Indonesia memiliki 299 prospek panas bumi yang tersebar di sepanjang jalur vulkanik yang dimulai dari bagian barat Sumatra, berlanjut ke Pulau Jawa, Bali, Nusa Tenggara, selanjutnya berbelok ke arah utara melalui Maluku dan Sulawesi (Royana, 2013: 18).

Kegiatan untuk mengidentifikasi sistem panas bumi memerlukan informasi kegeologian dan analisis manifestasi daerah prospek panas bumi. Menurut Royana (2013: 11), sistem panas bumi merupakan sistem penghantaran panas di dalam mantel atas dan kerak bumi dimana panas dihantarkan dari suatu sumber panas atau *heat source* menuju suatu tempat penampungan panas atau disebut *heat sink*. Karakterisasi sumber daya panas bumi dapat dilakukan dengan cara mempelajari ciri-ciri fisika dan kimia dari daerah prospek panas bumi.

Metode geofisika yang digunakan adalah metode *self potential* (SP) untuk mendapatkan informasi tentang tegangan statis alam yang berada di kelompok titik-titik di permukaan tanah. Metode SP ini didapatkan data bawah permukaan tanah yang nantinya dapat diketahui arah fluida panas bawah permukaan.

Metode Potensial Diri (*Self Potential* atau SP) merupakan suatu metode survei geofisika yang dapat dimanfaatkan untuk mengeksplorasi sumber daya alam bawah permukaan. Metode ini didasarkan pada

pengukuran potensial diri massa endapan batuan dalam kerak bumi tanpa harus menginjeksikan arus listrik ke dalam tanah, seperti metode geolistrik lainnya. Metode SP dapat digunakan untuk mendeteksi reservoir panas bumi (Ishido, 2010). Selain itu, metode ini juga dapat digunakan untuk mendeteksi rembesan limbah cair bawah permukaan dan analisis geokimia (Naudet *et. al.*, 2004).

Potensial diri merupakan tegangan statis alam yang terdapat di permukaan bumi, akibat proses mekanik dan elektrokimia di bawah permukaan. Pada dasarnya potensial diri merupakan tegangan listrik searah (DC) yang terjadi di permukaan bumi yang bervariasi secara lambat. Kemunculan potensial diri terkait dengan pelapukan batuan atau mineral, variasi mineral di dalam batuan, aktivitas biolistrik bahan organik, gradien tekanan dan temperatur pada permukaan cairan, serta gejala alam lainnya. Pada proses mekanik dihasilkan potensial elektrokinetik, sedangkan pada proses elektrokimia dihasilkan potensial difusi (*liquid junction*), potensial *shale* dan potensial mineralisasi (Telford *et. al.*, 1990; Grover, 2009).

Pada mulanya metode SP digunakan untuk menentukan daerah yang mengandung mineral logam. Selanjutnya metode ini digunakan untuk mencari mineral logam yang terkait dengan sulfida, grafit, dan magnetit. Berdasarkan hal ini, para ahli geofisika mengungkapkan mekanisme potensial diri pada daerah mineral. Mekanisme polarisasi listrik spontan pada daerah mineral dapat dipahami dari teori dikembangkan oleh Sato dan Mooney (1960). Mereka mengatakan bahwa di dalam tubuh mineral terjadi reaksi setengah sel elektrokimia, dimana

anodanya berada di bawah permukaan air tanah. Pada anoda terjadi reaksi oksidasi sehingga anoda merupakan sumber arus sulfida yang berada di bawah tanah. Sulfida mengalami oksidasi dan reduksi yang akibat reaksi  $H_2O$  dan  $O_2$  di dalam tanah. Teknis prinsip kerja metode SP adalah mengukur tegangan statis alam (*natural static voltage*) melalui dua buah elektroda yang ditancapkan di permukaan bumi, yang dihubungkan dengan Digital Milivoltmeter. Milivoltmeter ini harus mempunyai impedansi masukan yang besar untuk mengabaikan arus listrik yang berasal dari bumi selama pengukuran (Indriana, 2007).

Keunggulan metode SP daripada metode geolistrik lain adalah sangat responsif untuk target bawah permukaan yang bersifat konduktif seperti mineral logam dan mineral sulfida, serta dapat diterapkan untuk daerah yang topografinya tidak datar (Vichabian and Morgan, 2002). Jika sebuah elektroda ditancapkan ke tanah sebagai elektroda potensial, maka resultan gaya elektrokimia pada bidang kontak antara elektroda dengan tanah akan membentuk potensial palsu (*spurious*) meski tidak ada arus yang melaluinya. Potensial palsu ini mempunyai nilai berbeda-beda antara satu tempat dengan tempat yang lain, atau antara satu waktu terhadap waktu yang

lain, sehingga sangat sulit membuat faktor koreksinya untuk mereduksi nilai potensial ini. Konsekuensinya diperlukan elektroda yang bersifat non polarisasi, sehingga nilai potensialnya tidak dipengaruhi oleh arus yang melewatinya. Elektroda semacam ini dapat didesain dari logam penghantar yang dicelupkan ke dalam larutan jenuhnya, misalnya logam Cu dalam larutan  $CuSO_4$ , logam Zn dalam larutan  $ZnSO_4$  dan sebagainya. Logam dan larutan tersebut dikemas dalam sebuah *container* berbentuk pot berpori (*porous pot*). Penggunaan pot berpori dimaksudkan agar larutan dapat merembes secara perlahan sehingga membuat kontak dengan tanah (Raharjo dkk., 2010).

Metode SP yang didesain dengan elektroda pot berpori (*porous pot*) sangat tepat diterapkan untuk penelitian panas bumi, karena pada umumnya reservoir panas bumi berisi fluida panas yang mengandung mineral-mineral sulfida yang bersifat konduktif (Morgan, 2002).

Dalam penelitian ini, reservoir panas bumi yang diteliti adalah kawasan prospek panas bumi Gunungapi Slamet, yaitu di sekitar lokasi Pancuran Tujuh Obyek Wisata Guci Kabupaten Tegal. Adapun beberapa anomali dan sumber metode SP pada tabel 1 di bawah ini.

Tabel 1. Tipe anomali SP dan sumbernya

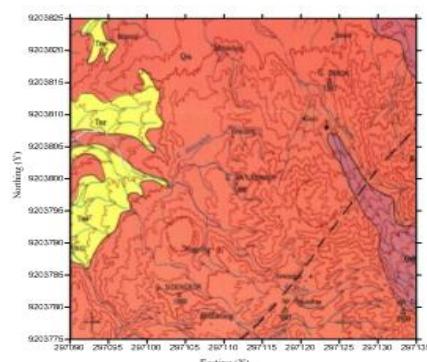
Sumber	Tipe anomali
<i>Mineral potential</i>	
<i>Sulphide ore bodies</i>	
(pyrite, chalcopyrite, pyrrhotite, sphalerite, galena)	
Graphite ore bodies	Negative $\approx$ hundreds of mV
Magnetite + other electronically (conducting minerals)	

Coal		
Manganese		
Quartz viens		
Pegmatites		Positive $\approx$ tens of mV
<i>Background potential</i>		
Fluid Streaming, geochemical reaction etc	mV	Positive +/- Negative $\leq$ 100 mV
Bioelectric (plants, trees)		Negative, $\leq$ 300 mV or so
Groundwater movement		Positive or Negative up to hundreds of mV
Topography		Negative up to 2 mV

## METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan dengan melakukan pengamatan lapangan dan pengukuran secara langsung di obyek

wisata Guci khususnya di sekitar pancuran tujuh. Lokasi penelitian dapat dilihat pada gambar 1 di bawah ini.



Gambar 1. Lokasi penelitian

Batuan yang mendasari lapangan panas bumi Guci adalah batuan sedimen

berumur Tersier, Formasi Rambatan, terdiri dari serpih, napal dan batu pasir gampingan. Batuan produk Gunungapi Slamet yang tertua adalah Aliran Lava Gunung Slamet, yang terdiri dari Lava Gunung Sembung, dan Lava Gunung Mingkrik.

Peralatan yang diperlukan dalam penelitian ini meliputi peralatan penelitian yang digunakan di lapangan maupun di laboratorium. Peralatan yang digunakan dapat dilihat pada tabel 2 di bawah ini.

Tabel 2. Daftar peralatan yang digunakan dalam penelitian

No	Nama Alat dan Bahan	Jumlah
1	Elektroda pot berpori, dari kawat tembaga yang dibungkus dalam keramik gerabah dengan ukuran diameter dalam 5 cm dan panjang 10 cm	30 buah
2	Kabel Konektor, panjang 50 cm	30 buah

3	Kabel Gulung, panjang 200 m	2 buah
4	Capit Buaya	30 buah
5	Kristal CuSO <sub>4</sub>	5 kilogram
6	Akuades	2 galon
7	Peta Geologi	1 set
8	Digital milivoltmeter (impedansi tinggi)	2 buah
9	Rol meter, panjang 100 m	1 buah
10	<i>Global Positioning System (GPS)</i>	1 buah
11	Laptop atau Personal Computer (PC)	1 set
12	<i>Software Ms. Excel</i>	1 paket
13	<i>Software Surfer 10</i>	1 paket
14	Alat Tulis	1 set

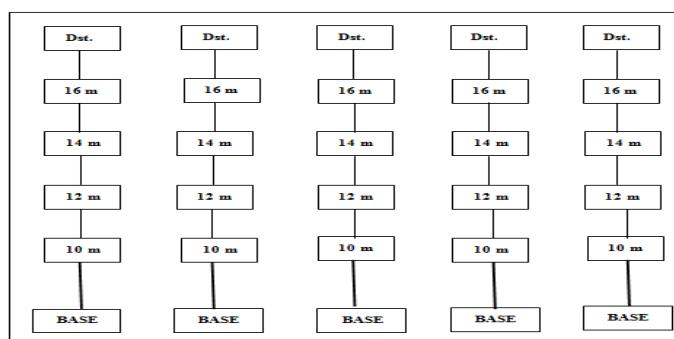
Pada pelaksanaan penelitian, kegiatan yang dilakukan adalah: desain survei penelitian, kalibrasi alat, pengukuran data di lapangan, pengolahan, dan interpretasi data. Secara

### 1. Desain Survei Penelitian

Sebelum melakukan penelitian kita harus membuat desain survei penelitian di lapangan pengukuran. Desain survei

lengkap uraian kegiatan dalam tahap pelaksanaan adalah sebagai berikut:

yang digambarkan pada penelitian ini pada gambar 2 di bawah ini.



Gambar 2. Desain survei penelitian

### 2. Kalibrasi Alat

Tujuan kalibrasi alat adalah untuk memperoleh data lapangan yang akurat.

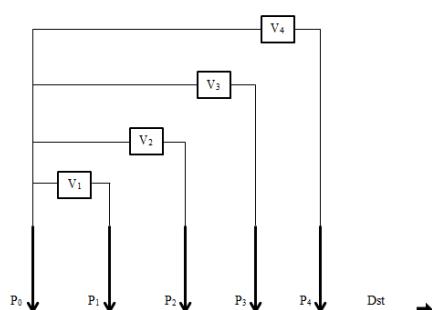
Kalibrasi elektroda non polarisasi dilakukan dengan cara menanam kedua elektroda ke tanah dengan jarak yang

relatif dekat (10 cm). Kemudian nilai potensial diukur dengan hasil yang diperoleh harus  $\leq$  2 millivolt. Apabila nilai potensial  $\geq$  2 millivolt, maka kedua elektroda pot berpori harus dibersihkan,

### 3. Pengukuran Data Lapangan

Pengukuran data pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan *digital milivoltmeter* yang memiliki impedansi masukan tinggi untuk mengabaikan arus dari bumi selama proses pengukuran. Jumlah titik pengukuran dalam daerah penelitian adalah 100 titik, dengan jarak rata-rata antar titik adalah 2 meter. Titik referensi diletakkan di luar daerah penelitian pada jarak kira-kira 10 meter.

Untuk memperoleh peta sebaran isopotensial di lokasi penelitian, maka titik pengukuran SP diusahakan disebar dalam bentuk grid atau lintasan yang teratur (Revil and Hubbard, 2009). Konfigurasi elektroda yang digunakan adalah model konfigurasi elektroda tetap yaitu dengan menjaga satu elektroda tetap di titik referensi, sedangkan elektroda lainnya bergerak setiap interval tertentu sesuai arah lintasan seperti gambar 3 di bawah ini.



Gambar 3. Teknis pengukuran data dalam metode *self potential* dengan konfigurasi elektroda tetap

kemudian diisi kembali dengan larutan CuSO<sub>4</sub> dengan konsentrasi yang sama di antara kedua elektroda tersebut. Hal ini akibat elektroda pot berpori tidak bersih atau larutan bocor.

### 4. Pengolahan Data

Pada setiap titik ukur di lapangan, data yang diperoleh adalah nilai potensial atau tegangan antara dua buah elektroda yang terbaca pada *digital milivoltmeter*. Data potensial ini belum menunjukkan nilai potensial diri pada titik ukur tersebut, karena ada perbedaan nilai di suatu titik ukur jika pengukuran diulang-ulang pada waktu yang berlainan. Oleh karena itu, data-data potensial hasil pengukuran harus dikoreksi, yang meliputi: koreksi pembacaan awal, koreksi topografi, koreksi harian, dan koreksi gangguan (*noise*). Data potensial yang telah terkoreksi diasumsikan sebagai data potensial diri benda anomali, dalam hal ini reservoir panas bumi yang menjadi target penelitian ini.

### 5. Interpretasi Data

Data potensial diri yang telah terkoreksi diinterpretasikan secara kualitatif. Interpretasi kualitatif dilakukan menggunakan *software Surfer 10* untuk mendapatkan peta kontur isopotensial. Berdasarkan peta kontur ini, maka dapat diinterpretasi sebaran panas bumi di daerah penelitian dan dapat ditentukan arah aliran fluida di daerah penelitian tersebut.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengukuran menggunakan metode SP telah dilakukan di daerah prospek panas bumi gunungapi Slamet. Lokasi yang dipilih adalah kawasan sekitar mata air panas pancuran tujuh obyek wisata Guci Kabupaten Tegal sebagai manifestasi

panas bumi gunungapi Slamet. Luas daerah yang diteliti  $\pm 75 \times 100$  meter. Jumlah titik pengukuran dalam daerah penelitian adalah 100 titik, dengan jarak antar titik 2 meter. Penelitian difokuskan untuk mendeteksi aliran fluida panas bawah permukaan di daerah penelitian.

Teknik pengukuran pada penelitian SP ini menggunakan teknik basis tetap (*fixed base*). Pada teknik ini salah satu elektroda (*porous pot*) dibuat tetap berada pada satu titik yang disebut titik referensi, sementara elektroda yang lain dipindah-pindah untuk setiap pengukuran.

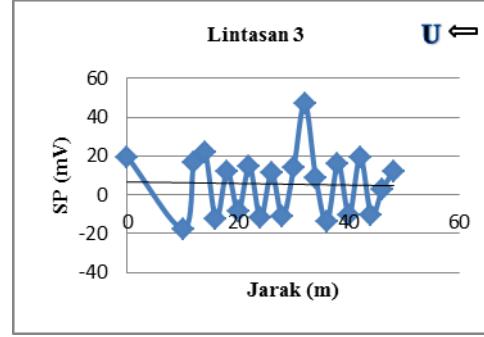
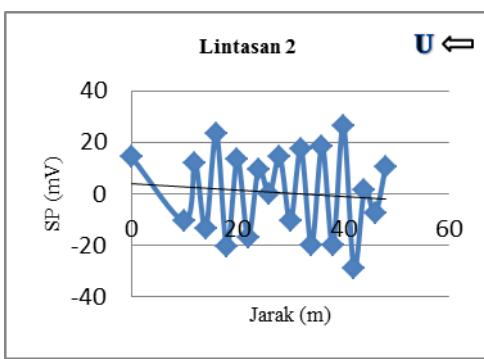
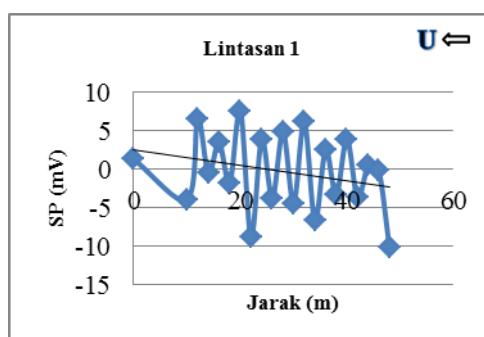
Berdasarkan hasil penelitian SP ini didapatkan nilai potensial tertinggi 47,3 mV dan nilai potensial terendah -29,8 mV. Potensial listrik alami ini bisa terjadi berbagai faktor, diantaranya proses elektrokinetik, proses difusi, dan proses mineralisasi.

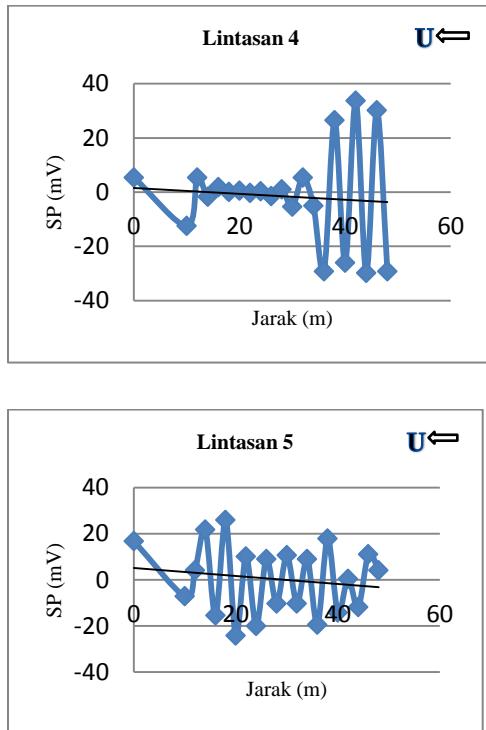
Interpretasi geologi bawah permukaan ini didasarkan pada data geologi dan berbagai informasi yang terkait dengan daerah penelitian ini. Topografi daerah pengukuran ternyata tidak datar betul. Dari data hasil pengukuran elevasi 21 elektroda sepanjang lintasan kabel yang dibentangkan dari Selatan ke Utara menunjukkan bahwa nilai elevasi yang terukur berbanding lurus dengan jarak titik pengukuran. Semakin jauh dari titik referensi nilai elevasinya semakin tinggi. Hal ini menyebabkan adanya aliran fluida dari daerah yang memiliki elevasi yang lebih tinggi (Utara) ke daerah yang memiliki elevasi yang lebih rendah (Selatan).

Aliran fluida karena pengaruh gravitasi ini bisa menimbulkan potensial elektrokinetik. Aliran fluida yang merupakan proses mekanis ini pula yang

menyebabkan terjadinya arus listrik konveksi per satuan luas dalam pori-pori batuan yang mengalir dari Utara ke Selatan di sepanjang lintasan pengukuran.

Hasil pengukuran SP di lima lintasan nampak pada gambar 5 berikut ini. Pada gambar tersebut Nampak sebaran nilai SP terhadap jarak elektroda. Data penelitian ini juga menunjukkan bahwa di ke-lima lintasan pengukurnya cenderung bersifat resistive yang ditunjukkan oleh nilai SP yang relatif kecil.





Gambar 4. Grafik nilai SP terhadap jarak elektroda pada ke-lima lintasan.

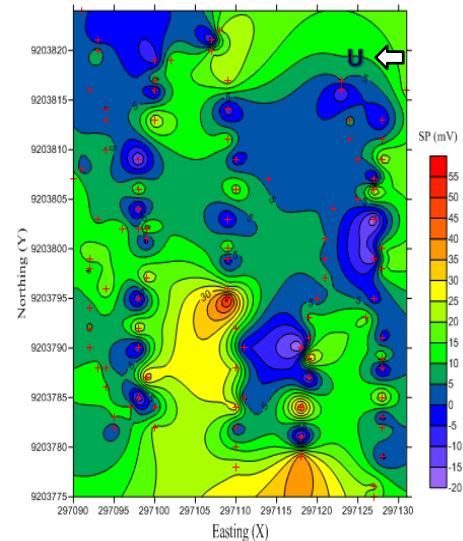
Berdasarkan pada gambar 4 di atas menunjukkan nilai potensial yang rendah yaitu -29,8 mV pada lintasan ke-empat dan nilai potensial yang tinggi pada lintasan ke-tiga yaitu 47,3 mV. Nilai tersebut relatif rendah. Hal ini menunjukkan bahwa daerah pengukuran merupakan daerah konduktif. Berdasarkan grafik nilai SP terhadap jarak elektroda nampak juga bahwa aliran fluida panas bawah permukaan diperkirakan berarah dari Utara ke Selatan.

Pada lintasan ke-empat terdapat beberapa elektroda yang nilai potensialnya relatif sama. Hal ini dapat disebabkan karena pada saat penelitian digital milivoltmeter berpindah terlalu cepat atau tanpa ada waktu jeda yang cukup. Berbeda dengan lintasan pertama, ke-dua, ke-tiga dan ke-lima, nilai potensialnya cenderung mengalami penurunan. Karena semakin nilai potensialnya menurun, maka aliran fluida akan berarah menuju nilai potensial yang rendah.

Dari hasil penelitian *self potential* yang telah dilakukan di obyek wisata Guci diperoleh data berupa nilai besaran potensial dalam satuan mV. Data tersebut kemudian diinterpretasikan menjadi peta kontur isopotensial yang

menggambarkan sifat kelistrikan daerah penelitian.

Peta kontur isopotensial yang dihasilkan dari data SP ditampilkan pada gambar 5 di bawah ini.



Gambar 5. Peta kontur isopotensial daerah penelitian dengan lima lintasan

Berdasarkan peta kontur isopotensial yang telah dibuat menggunakan *software Surfer 10* dapat diinterpretasikan bahwa daerah penelitian merupakan zona konduktif. Hal ini diindikasikan rendahnya nilai potensial diri yang terukur, yang secara numerik bernilai negatif (Kartini dan Danusaputro, 2005). Zona anomali potensial paling negatif mencapai - 29,8 mV. Hal ini mengindikasikan bahwa di zona daerah tersebut kemungkinan terdapat sumber aliran fluida panas bawah permukaan yang cukup dangkal.

Pada peta tersebut dapat terlihat aliran fluida panas bawah permukaan dari Utara ke Selatan, selain diperkirakan mengikuti perubahan topografi, ternyata juga sesuai dengan perubahan anomali potensial diri. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian Hamzah dkk. (2008), bahwa semakin kecil anomali potensial diri (bernilai negatif), maka akumulasi aliran air ke lokasi itu relatif besar.

## SIMPULAN

Penelitian penentuan arah aliran fluida panas bawah permukaan telah dilakukan di daerah Obyek Wisata Guci menggunakan metode *self*

*potential.* Berdasarkan peta kontur isopotensial, bahwa daerah penelitian merupakan zona konduktif, yang diduga berasal dari mineral sulfida dalam fluida panas. Hal ini terindikasi dengan rendahnya nilai potensial yang terukur secara numerik bernilai negatif. Nilai potensial yang tertinggi pada penelitian ini adalah 47,3 mV dan nilai potensial terendah -29,8 mV. Dari nilai sebaran potensial tersebut dapat diprediksi arah aliran fluida di daerah obyek wisata Guci mengarah dari Utara menuju Selatan mengikuti perubahan topografi daerah penelitian serta menyesuaikan dengan perubahan anomali potensial diri.

## SARAN

Saran untuk penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut:

1. Penggunaan metode *self potential* dalam pengukuran pada studi metode geofisika sebaiknya menggunakan pengolahan data secara kuantitatif supaya lebih detail dan teliti.
2. Pola aliran fluida panas dapat diteliti lebih lanjut dengan metode lain untuk mengetahui arah aliran pembawa air panas dan mendukung penelitian-penelitian sebelumnya.

## DAFTAR PUSTAKA

- Grover J. 2009. *The Spontaneous Potential Log. Petrophysics MSc Course Notes.*
- Hamzah, M., Djoko, S., Wahyudi, W.P., & Budi, S. 2008. Deteksi Aliran Air dalam Media Pori Pemodelan Fisik dengan Metode Self Potential, *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi-II 2008 Universitas Lampung.* 17-18 November 2008.
- Indriana, R.D., Nurwidhyanto, M.I., & Haryono, K.W. 2007. Interpretasi Bawah Permukaan dengan Metode *Self Potential* Daerah Bledug Kuwu Kradenan Grobogan, *Berkala Fisika.* ISSN : 1410 – 9662. Vol 10, No.3, Juli 2007, hal. 155-167.
- Ishido, T., Nishi, Y., Pritchett, J.W. 2010. Application of Self- Potential Measurements to Geothermal Reservoir Engineering: Characterization of Fractured Reservoirs. *Proceedings. Thirty-Fifth Workshop on Geothermal Reservoir Engineering Stanford University. Stanford. California. February 1-3, 2010.*
- Kartini dan Danusaputro, H. 2005. Estimasi Penyebaran Polutan dengan Metode Self Potential (Studi Kasus TPA Jatibarang Kecamatan Mijen Kabupaten Semarang). *Jurnal Ilmiah, Berkala Fisika* ISSN : 1410 – 9662. Vol.8, No.1, Januari 2005, hal. 27-32.
- Naudet, V., Revil, A., Rizzo, E., Bottero, J.Y., & Begassat, P. 2004. Groundwater Redox Conditions and Conductivity in a Contaminant Plume from Geoelectrical Investigations. *Journal of Hydrology and Earth Science.* 8(1), 8 – 22. France.
- Raharjo, S.A., Sugito, Hartono, Sehah. 2010. *Rancang Bangun dan Pengujian Elektroda Porous Pot Untuk Survei Metode Geolistrik Resistivitas.* Laporan Penelitian. Program Studi Fisika. MIPA. UNSOED. Purwokerto.
- Revil, A., Hubbard, S. 2009. *Self- Potential and Induced Polarization: Geophysical Tools to Map Flowpaths and monitor Contaminant Plumes,* Department of Geophysics. Colorado Schools of Mines, U.S.
- Royana, R. 2013. *Panduan Kelestarian Ekosistem untuk Pemanfaatan Panas bumi.* Jakarta: WWF-Indonesia.
- Sato and Money. 1960. *the Electrochemical Mechanism of Sulphida Self Potential.* *Geophysics.* Vol.XXV, p. 226- 246.
- Setiawan, S. 2013. Energi Panas Bumi Dalam Kerangka MP3EI: Analisis terhadap Prospek, Kendala, dan Dukungan Kebijakan. *Jurnal Ekonomi dan Pembangunan,* 10(1) 1-30.
- Telford, W.M., Gedaart, L.P., & Sheriff, R.E. 1990. *Applied Geophysics,* Cambridge. New York.
- Vichabian, Y. & Morgan, F.D. 2002. *Self Potentials in Cave Detection,* Massachusetts Institute of Technology. Cambridge. Massachusetts. U.S