

# **Aplikasi Metode *Self Potential* (SP) Untuk Menentukan Persebaran Zona Alterasi di Kompleks Candi Gedong Songo, Ungaran – Jawa Tengah**

**Badrun<sup>1\*</sup>, Sri Handayani<sup>1</sup>, Nanda Nur Aini<sup>1</sup>, Azha Amalia Pusvitasari<sup>1</sup>, Muhammad Faizal Zakaria<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Program Studi Fisika, Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga, Jl. Marsda Adisucipto 519739, Indonesia

<sup>2</sup> Teknik Geofisika, UPN Veteran Yogyakarta, Indonesia

\*E-mail: badrun2494@gmail.com

## **INTISARI**

Penelitian geofisika dengan metode *Self Potential* di area sistem geotermal telah dilakukan pada 18 – 20 November 2017 yang terletak di kompleks Candi Gedong Songo, Kabupaten Semarang. Target dari penelitian ini adalah menentukan persebaran zona alterasi hidrotermal berdasarkan nilai potensial alami dengan menggunakan metode *Self Potential*. Berdasarkan hasil dari pemetaan zona alterasi hidrotermal didapatkan dua zona alterasi yaitu disebelah utara kompleks candi empat dan disebelah barat kompleks candi lima. Zona alterasi hidrotermal di kompleks Candi Gedong Songo memiliki nilai -130 mV sampai -3 mV. Zona alterasi memiliki nilai potensial alami lebih rendah dibandingkan dengan area yang tidak teralterasi. Nilai rendah dipengaruhi oleh adanya mineral lempung akibat proses alterasi oleh intrusi air panas di kompleks sistem geotermal Candi Gedong Songo, Kabupaten Semarang.

**Kata Kunci** : Alterasi, Hidrotermal, *Self potential*

## **ABSTRACT**

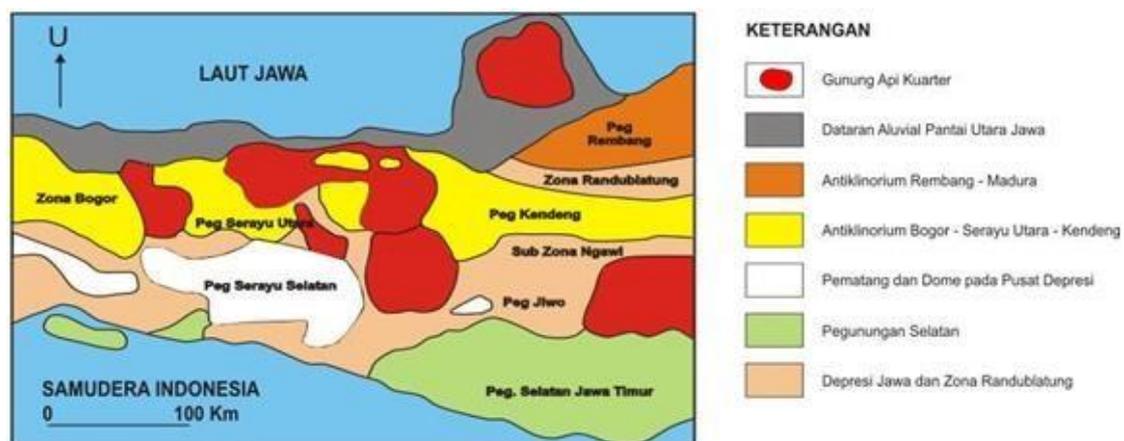
Geophysical research using the *Self Potential* method in the area of the geothermal system was conducted on 18<sup>th</sup> – 20<sup>th</sup> November 2017 in the Gedong Songo Temples area, Semarang Regency. The target of this study is to determine the distribution of hydrothermal alteration zones based on natural potential values using the *Self Potential* method. Based on the results of the mapping of hydrothermal alteration zones, there are two alteration zones, which are to the north of the temple complex four and to the west of the temple complex five. The hydrothermal alteration zone in the Gedong Songo Temple complex has values of -130 mV to -3 mV. The alteration zone has a lower natural potential value compared to the unaltered area. Low value is influenced by the presence of clay minerals due to alteration by hot water intrusion in the geothermal system complex of Gedong Songo Temple, Semarang Regency.

**Keywords** : Alteration, Hydrothermal, *Self Potential*

## Pendahuluan

Penelitian ini merupakan bagian dari Kuliah Lapangan Geofisika 2017 yang dilaksanakan pada 18 – 20 November 2017 di kompleks Candi Gedong Songo lereng Gunung Ungaran, Kecamatan Bandungan, Kabupaten Semarang, Jawa Tengah. Gunung Ungaran termasuk zona serayu utara merupakan gunung api kuarter yang menjadi bagian paling timur dari Pegunungan Serayu Utara (Gambar 1). Daerah Gunung Ungaran ini di sebelah utara berbatasan dengan dataran aluvial Jawa bagian utara, di bagian selatan merupakan jalur gunung api Kuarter (Sindoro, Sumbing, Telomoyo, Merbabu), sedangkan pada bagian timur berbatasan dengan Pegunungan Kendeng, bagian utara Pulau Jawa ini merupakan geosinklin yang memanjang dari barat ke timur [1].

Stratigrafi Satuan Endapan Vulkanik Ungaran Muda oleh Van Bammelen diberi nama *Young Ungaran* yang merupakan hasil endapan aktifitas Gunungapi Ungaran Muda, generasi ketiga dari pertumbuhan Gunung Ungaran, dimana pemunculannya berhubungan erat dengan proses *gravitational collapse*. Luas penyebaran Endapan Vulkanik Ungaran Muda secara umum meliputi sekitar pusat erupsi Gunung Ungaran yang membentuk kerucut Gunung Ungaran sampai lereng bawah, yang dibatasi oleh sesar melingkar (*ring fault*). Umur dari satuan batuan ini berdasarkan pertumbuhan dari Gunungapi Ungaran Muda berumur Kala Pliosen Atas-Holosen [1]. Gunungapi Ungaran Muda, seperti Gunungapi lainnya membentuk busur magmatik Jawa, merupakan gunungapi *sub-aerial*, yang terbentuk di atas busur kepulauan. Endapan-endapan yang dihasilkannya, seperti breksi laharik atau batupasir vulkanik diendapkan di darat. Ciri litologi dari satuan endapan vulkanik muda yaitu terdapat Breksi laharik berwarna abu, Batupasir vulkanik abu-abu keputihan, breksi piroklastik kelabu, dan tuff keabu-abuan.



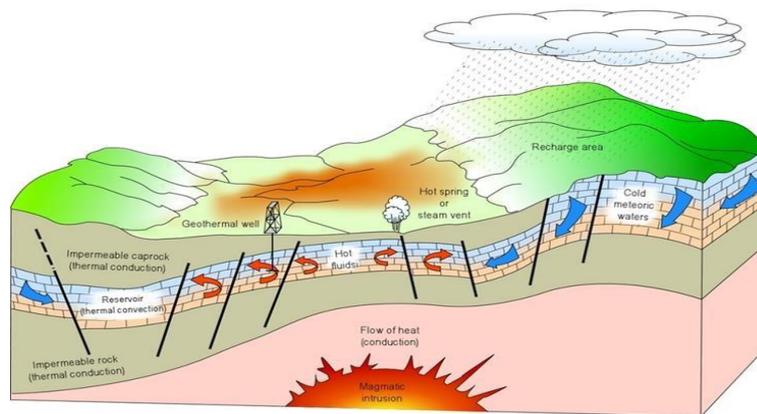
Gambar 1. Sketsa fisiografi Pulau Jawa bagian tengah [1]

Kecamatan Bandungan terkenal dengan prospek wisata alamnya seperti Candi Gedong Songo juga terdapat prospek geotermal. Seperti diketahui bahwa geotermal dapat dimanfaatkan sebagai energi pembangkit listrik tenaga panas bumi. Manifestasi panas bumi di kompleks Candi Gedong Songo ditandai dengan adanya sumber air panas yang dimanfaatkan sebagai pemandian kolam air panas. Selain itu terdapat juga manifestasi berupa zona alterasi hidrotermal yaitu zona dimana batuan disekitar sumber panas akan terubahkan menjadi mineral lempung. Munculnya mata air panas dan zona alterasi diikuti juga dengan adanya fumarol atau lubang didalam kerak bumi. Fumarol sering terdapat disekitar gunung berapi yang mengeluarkan uap dan gas seperti  $\text{CO}_2$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{HSO}_2$ . Penyelidikan mengenai persebaran zona alterasi hidrotermal dapat dilakukan dengan menggunakan metode *Self Potential* yang memanfaatkan potensial alami sebagai parameter utama pada metode ini. Indriana (2007) telah melakukan penyelidikan menggunakan metode *Self Potential* (SP) pada manifestasi panas bumi berupa *mudpool* Bleduk Kuwu, metode

SP terbukti dapat memetakan arah persebaran lumpur dari *mudpool* tersebut [2]. Pada penelitian ini diharapkan metode SP dapat digunakan untuk memetakan persebaran zona alterasi hidrotermal di kompleks Candi Gedongsongo berdasarkan anomali persebaran nilai potensial alami.

### 1. Sistem Geotermal

Panas bumi secara umum dapat diartikan sebagai jumlah kandungan panas yang tersimpan dalam bumi dan membentuk sistem panas bumi yang telah ada sejak bumi terbentuk. Sistem panas bumi tersebut mencakup sistem hidrotermal yang merupakan sistem tata air, proses pemanasan dan kondisi sistem dimana air yang terpanasi terkumpul sehingga sistem panas bumi mempunyai persyaratan seperti harus tersedianya air, batuan pemanas, batuan sarang, dan batuan penutup [3]. Pada sistem hidrotermal panas dapat berpindah secara konduksi dan konveksi. Gambaran umum sistem panas bumi seperti pada Gambar 2.



**Gambar 2.** Skema Sebuah Sistem Geotermal yang Ideal [4]

Proses transfer panas dari sumber panas bumi biasanya dikendalikan oleh adanya rekahan batuan alami yang berada di atas sumber panas. Air di dalam reservoir yang berasal dari permukaan kemudian bersentuhan dengan aliran panas sehingga akan naik kembali ke permukaan melalui celah-celah batuan menjadi uap panas atau mata air panas. Adanya aliran fluida panas dari reservoir ke permukaan mengakibatkan terjadinya manifestasi panas bumi. Djoko Santoso (1995) mengemukakan bahwa panas bumi di permukaan bisa berbentuk seperti *warm ground*, *steaming ground*, kolam lumpur panas, kolam air panas, fumarol, sumber air panas, rembesan, geyser, dan daerah alterasi hidrotermal selalu dikaitkan dengan proses geologi dan model sistem panas bumi [5].

### 2. Metode Self Potential (SP)

Metode *Self Potential* (SP) merupakan salah satu metode geofisika yang prinsip kerjanya adalah mengukur tegangan statis alam (*static natural voltage*) pada titik-titik di permukaan tanah [6]. Potensial diri umumnya berhubungan dengan pelapukan tubuh mineral sulfida (*weathering of sulphide mineral body*), perubahan dalam sifat-sifat batuan (kandungan mineral) pada daerah kontak - kontak geologi, aktifitas bioelektrik dari material organik, korosi, perbedaan suhu dan tekanan dalam fluida di bawah permukaan dan fenomena-fenomena alam lainnya [7]. Aktivitas elektrokimia dan mekanik adalah penyebab dari *Self Potential* di permukaan bumi. Faktor pengontrol dari semua kejadian ini adalah air tanah. Potensial ini juga berhubungan erat dengan pelapukan yang terjadi pada tubuh mineral, variasi sifat batuan (kandungan mineral), aktivitas biolistrik dari bahan organik, karatan (proses korosi), gradien tekanan, panas dalam permukaan cairan, serta fenomena lain dari alam yang proses kejadiannya mirip.

Prinsip mekanisme yang menghasilkan potensial diri ini adalah proses mekanik serta proses elektrokimia (lihat Tabel 1). Pertama adalah proses mekanik yang menghasilkan potensial elektrokinetik atau disebut dengan *streaming potential*. Sedang yang lainnya adalah proses elektrokimia, proses ini menghasilkan potensial *liquid junction*, potensial serpih dan potensial mineralisasi [7].

**Tabel 1.** Jenis-jenis Potensial alami

Jenis Potensial	Proses mekanisme SP	Respon terhadap waktu
<b>Elektrokinetik</b>	Mekanik	
○ Elektrofiltrasi		
○ Elektromekanik		
○ Aliran ( <i>Streaming</i> )		
<b>Potensial Difusi</b>		
○ <i>Liquid junction</i>		Berubah terhadap waktu
<b>Potensial Nerst</b>		
➢ Serpihan batu ( <i>Shale</i> )	Elektrokimia	
<b>Potensial Mineral</b>		Konstan
<b>Potensial Termoelektrik</b>		

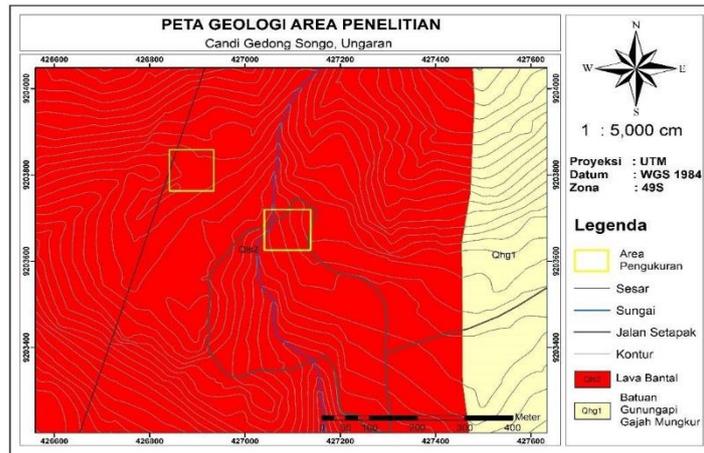
Beda potensial alami yang dihasilkan oleh suatu material geologi di suatu daerah survei diukur diantara dua titik elektroda di permukaan tanah. Beda potensial yang terukur mulai dari beberapa milivolt hingga lebih dari satu volt. Positif dan negatif harga beda potensial adalah faktor yang penting di dalam interpretasi anomali Potensial Diri. Tabel 2 merupakan perkiraan rentang nilai anomali SP berdasarkan sumber penyebabnya.

**Tabel 2.** Jenis dari anomali SP dan sumber geologinya [8]

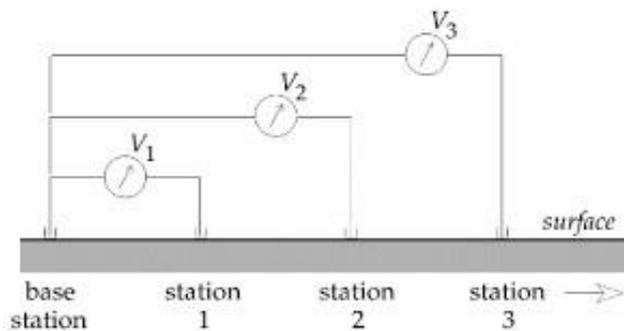
Sumber	Jenis Anomali
Sulfida-bijih besi	
Grafit-bijih besi	Negatif ~ ratusan mV
Magnetit, batu bara, mangan	
Lapisan Kuarsa Pegmatites	Positif ~ puluhan mV
Aliran fluida, reaksi geokimia, dll	Positif +/- negatif $\leq 100$ mV
Bioelektrik (tumbuh-tumbuhan)	Negatif, $\leq 300$ mV
Perpindahan air tanah	+/- ~ ratusan mV
Topografi	Negatif hingga 2 V

## Metode Penelitian

Akuisisi data metode SP dilakukan di dua area sampel yaitu area A dengan luas 3.600 m<sup>2</sup> dan area B dengan luas 6.000 m<sup>2</sup>, desain survei seperti pada Gambar 3. Jarak antar elektroda porouspot 10 m dan bentuk pengambilan datanya berupa lintasan yang kontinu dan waktu pengambilan data setiap 3 menit untuk *base*, serta 3 kali pengambilan data dalam satu titik untuk *rover*. Peralatan yang digunakan meliputi 4 elektroda *porouspot* lengkap dengan cairan CuSO<sub>4</sub>, 2 buah kabel dengan panjang 10 m, 2 buah multimeter digital dan GPS sebagai alat untuk plotting titik pengukuran. Proses pengambilan data dibagi menjadi *base* dan *rover*, *base* sebagai data untuk koreksi variasi harian dan *rover* sebagai data pada area yang akan diukur. Pada pengambilan data *rover* menggunakan konfigurasi *Leap frog*, dengan kutub positif selaku di belakang dan kutub negatif di depan dan perpindahannya seperti loncat katak seperti ilustrasi pada Gambar 4.



Gambar 3. Desain Survei akuisisi data SP



Gambar 4. Ilustrasi konfigurasi Leap frog [9]

Proses pengolahan data dilakukan dengan perhitungan di Ms Excel. Data dan waktu *base* di input dan diolah untuk mendapatkan variasi harian. Waktu pengambilan data *base* dan nilai variasi harian kemudian di plot ke dalam grafik untuk mendapatkan *trend* data tersebut, data variasi harian yang baik apabila membentuk pola parabola menghadap ke bawah. Persamaan grafik tersebut akan menghasilkan persamaan seperti berikut:

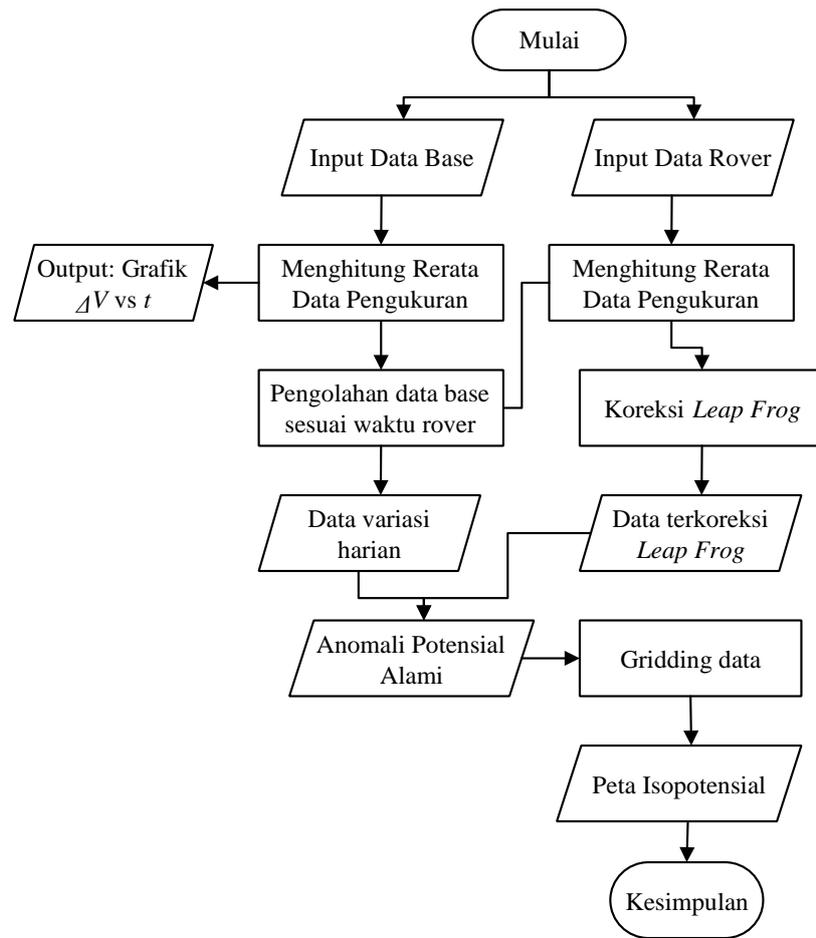
$$y = ax^2 + bx + c \tag{1}$$

dengan memasukkan nilai  $x$  sebagai waktu *rover* maka akan diperoleh nilai  $y$  sebagai nilai koreksi variasi harian.

Pada data *rover* diolah dengan menghitung rata-rata nilai pengukuran. Nilai potensial pada data *rover* merupakan nilai akibat dari perbedaan antar elektroda porouspot konfigurasi *Leap frog*, bukan nilai potensial dari *base station* terhadap setiap titik pengukuran. Untuk melakukan koreksi dari efek tersebut, kemudian dilakukan proses koreksi *Leap frog* untuk memperoleh nilai potensial alami yang sesungguhnya di setiap titik pengukuran terhadap *base station* pengukuran data *rover*. Koreksi *Leap frog* dapat dihitung dengan menganggap nilai *base station* adalah nol dan menambahkan nilai potensial setiap titik pengukuran. Anomali nilai SP dapat diperoleh dengan mengurangi nilai potensial yang sudah terkoreksi *Leap frog* dengan nilai koreksi variasi harian, atau dapat ditulis seperti persamaan berikut:

$$\text{Anomali SP} = \Delta V_{\text{terkoreksi Leap frog}} - \text{Nilai variasi harian} \tag{2}$$

Anomali SP yang telah diperoleh kemudian dilakukan *gridding* dengan aplikasi *Surfer v.15* untuk memperoleh peta isopotensial anomali *Self Potential*. Diagram alir proses penelitian dan pengolahan data metode SP seperti yang diperlihatkan pada Gambar 5. Proses interpretasi hanya menggunakan peta isopotensial anomali SP dengan korelasi berdasarkan kondisi di lapangan.



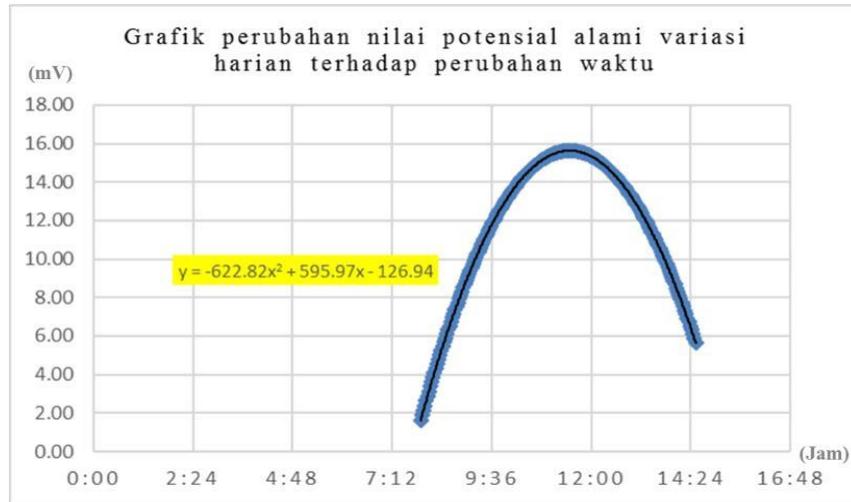
**Gambar 5.** Diagram Alir pengolahan metode Self Potential (SP)

## Hasil dan Pembahasan

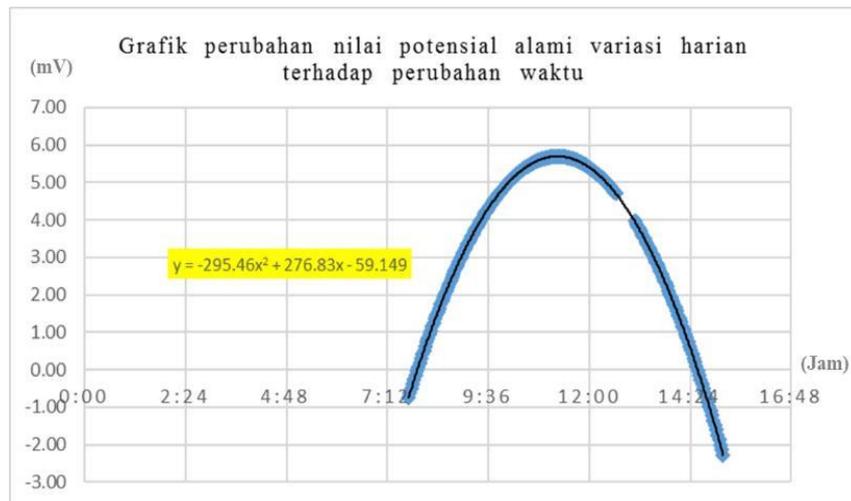
Metode SP adalah salah satu metode geoelektrik pasif yang memanfaatkan nilai potensial alami atau potensial diri dari dua elektroda berporos. Nilai potensial alami sangat bergantung pada aliran fluida di dalam tanah dan suhu di udara sekitar penelitian serta waktu pengambilan data. Hasil dari data lapangan berupa waktu dan nilai potensial dari data *base* sebagai koreksi harian dan waktu dan data potensial pada pengukuran *rover* di area target. Gambar 6 adalah grafik *trend* data dari pengukuran pada *base* yang akan digunakan untuk proses koreksi variasi harian. Berdasarkan grafik tersebut jika pengambilan nilai *base* dilakukan dari pagi hingga sore hari terlihat *trend* grafik yang membentuk parabola dengan nilai puncaknya sekitar 16 mV pada waktu sekitar jam 11.00 hingga 12.00 siang hari, hal ini terjadi karena kelembaban tanah cenderung berkurang dari pagi hingga siang hari kemudian kelembaban tanah kembali rendah di sore hari. Untuk menghindari pengaruh perubahan kelembaban tanah tersebut maka dilakukan proses variasi harian. Di lain sisi data *rover* juga dilakukan koreksi *Leap frog* untuk mendapatkan nilai potensial yang sesungguhnya.

Data *rover* yang sudah terkoreksi *Leap frog* kemudian di reduksi dengan data variasi harian sehingga diperoleh nilai anomali SP. Peta isopotensial dapat dibuat berdasarkan persebaran nilai anomali SP. Gambar 7 menunjukkan peta potensial alami di Area A dengan rentang nilai anomali -20 mV sampai dengan 20 mV dan peta isopotensial alami area B dengan rentang nilai antara -130 mV sampai dengan 50 mV. Keadaan cuaca pada saat melakukan pengukuran adalah cerah dari pagi hingga sore hari. Berdasarkan nilainya, peta isopotensial dapat dibedakan menjadi dua anomali yaitu anomali rendah dari -5 mV sampai dengan -130 mV yang ditandai

dengan warna biru hingga ungu dan anomali tinggi bernilai lebih dari -5 mV sampai dengan 50 mV yang ditandai dengan warna hijau hingga merah.

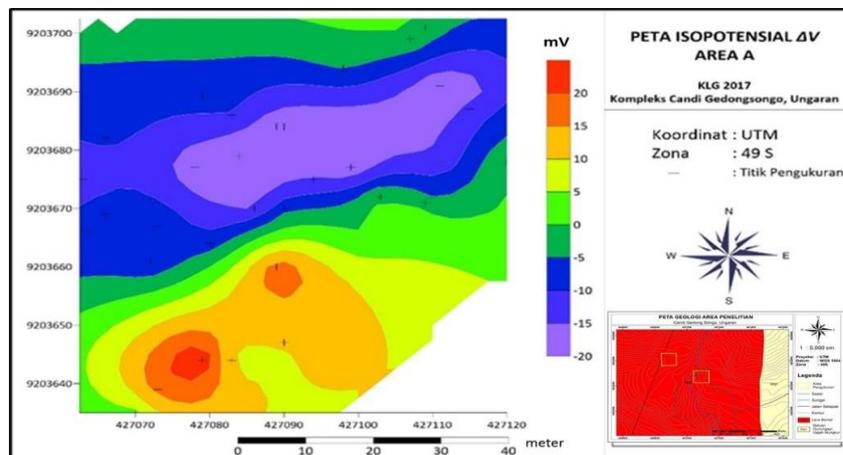


(a)

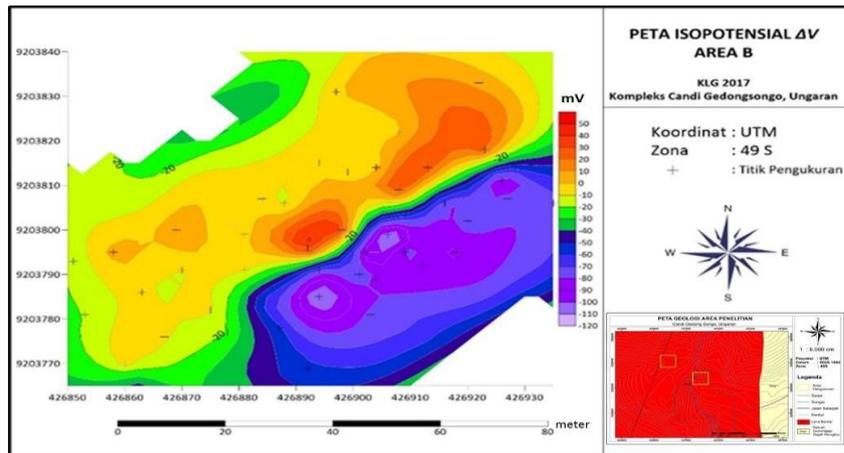


(b)

**Gambar 6.** Grafik waktu terhadap nilai variasi harian (a) Grafik area A (b) Grafik area B



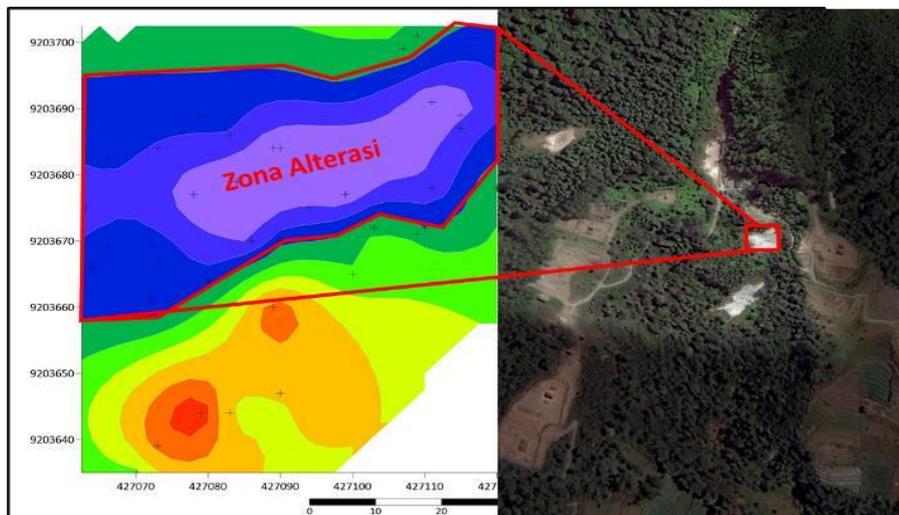
(a)



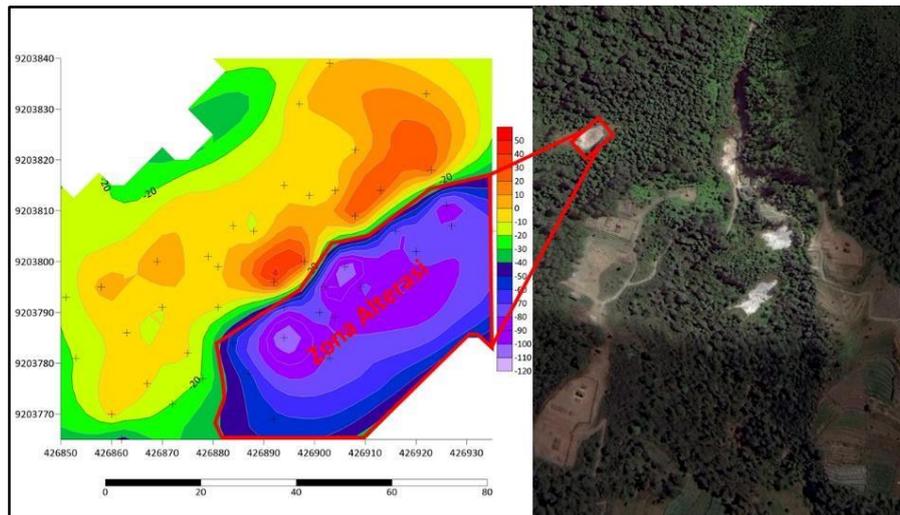
(b)

**Gambar 7.** (a) Peta Isopotensial, anomali area A (b) Peta Isopotensial, anomali area A

Apabila dilihat dari sumber nilai potensial alaminya, nilai anomali rendah diduga berasosiasi dengan adanya proses mineralisasi lempung dan aliran *hot spring*. Berdasarkan kondisi lapangan (Gambar 8) nilai anomali rendah berkorelasi dengan adanya zona alterasi dan *hot spring* atau mata air panas. Zona alterasi adalah zona dimana batuan di area tersebut terubahkan menjadi mineral lempung yang mengandung sulfur akibat dari proses geokimia karena adanya aliran panas dari dalam bumi sebagai manifestasi yang sering muncul apabila terdapat sistem geothermal yang berkembang di area tersebut. Zona alterasi atau ubahan ditandai dengan adanya perubahan warna permukaan tanah menjadi lebih terang akibat dari batuan yang terubahkan menjadi mineral lempung. Tidak adanya vegetasi yang tumbuh pada area hidrotermal juga menjadi tanda adanya zona alterasi. Pemetaan pada daerah mineralisasi lempung akibat aliran fluida panas dengan menggunakan metode SP akan memberikan respon nilai anomali negaif dibandingkan dengan daerah yang tidak terkena proses mineralisasi lempung.



(a)



(b)

**Gambar 8.** Korelasi respon anomali terhadap kondisi lapangan (a) Korelasi Anomali area A dengan citra satelit  
(b) Korelasi Anomali area B dengan citra satelit

### Kesimpulan dan Saran

Metode *Self Potential* (SP) dapat digunakan untuk memetakan persebaran zona alterasi. Berdasarkan pemetaan di permukaan menggunakan metode SP telah diperoleh peta isopotensial dengan rentang nilai  $-0,5$  mV sampai dengan  $-130$  mV, nilai potensial tersebut diperkirakan sebagai akibat dari adanya sisipan mineral lempung dan sulfur pada zona alterasi. Zona alterasi merupakan manifestasi yang sangat penting dari adanya sistem hidrotermal di area geothermal Gunung Ungaran. Pemetaan persebaran zona alterasi dengan menggunakan metode SP dapat menjadi rujukan awal untuk penelitian yang berkaitan dengan manifestasi panasbumi, namun dibutuhkan waktu yang lama untuk area yang lebih luas. Untuk analisis mengenai kedalaman sumber anomali dibutuhkan metode dan pemodelan yang lebih *advance*.

### Ucapan Terima Kasih

Terima kasih yang kami persembahkan kepada Dosen Lapangan dan Asisten serta pihak prodi Fisika yang telah memberi izin kuliah lapangan di kompleks Candi Gedongsongo, Kecamatan Bandungan, Kabupaten Semarang. Kami juga sangat berterima kepada Dinas Kebudayaan situs pengelola Candi Gedongsongo yang telah memberikan izin dan jaminan keamanan pada saat penelitian.

### Daftar Rujukan

- [1] Bemmelen, R.W. *The Geology of Indonesia: vol. I-A General Geology*. The Hague Netherland: Government Print, 1949.
- [2] Indriana, D. Rina, et all, "Interpretasi Bawah Permukaan Dengan Metode *Self Potential* Daerah Bledug Kuwu Kradenan Grobogan", *J. Berkala Fisika*, Vol 10 No. 3, pp. 155-167, Jul, 2007.
- [3] Alzwar, M., Samodra H., dan Tarigan, J. *Pengantar Dasar Ilmu Gunung api*. Bandung: Penerbit Nova, 1987.
- [4] Dickson, Mary H dan Mario, Fanelli. *What is Geothermal Energy?*. [www.iga.igg.cnr.it](http://www.iga.igg.cnr.it), diakses pada 7 Oktober 2018
- [5] Santoso, Djoko. *Catatan Kuliah "Eksplorasi Energi Geothermal"*. Bandung: ITB, 2004.
- [6] Sharma, P.V. *Environmental and Geophysics*. London: Cambridge University Press: London, 1997
- [7] Telford, W, M, Geldart, L, P, Sheriff, R, E, & Keys, D, A.. *Applied Geophysics*. London: Cambridge University Press, 1990.
- [8] Reynolds, J.M. *An Introduction to Applied and Environmental Geophysics*. England: John Wiley and Sons Inc., 1997.

Received 22 Februari 2020; Accepted 10 Mei 2020

Available online 15 Mei 2020

ISSN: 2715-0402

- [9] Wirnas, Marleni dan Mustopa, E.J, "Analisis kuantitatif pemodelan anomali self-potential: metode gradien numerik dan metode least-square", *Proc. SKF 2016*, 2016, pp. 262-270.