

SURVEI METODE *SELF POTENTIAL* MENGUNAKAN ELEKTRODA POT BERPORI UNTUK MENDETEKSI ALIRAN FLUIDA PANAS BAWAH PERMUKAAN DI KAWASAN BATURADEN KABUPATEN BANYUMAS JAWA TENGAH

Sehah dan Sukmaji Anom Raharjo

Abstract: Self Potential research has been done in the area of geothermal prospects of Slamet Volcano, with locations is at around the hot water sources of Pancuran Tujuh Baturaden, District of Banyumas, Central Java. Tools used in this study were porous pot electrodes and digital milivoltmeter that have very high input impedance. Dimension of research area are 24 x 24 square meters, with the number of measurement points are 112 point. The electrode configuration used is the fixed model that is by keeping one electrode fixed at the reference point, while the other electrode moved at any interval in accordance with the direction of trajectory in the research area. According to the results obtained is known that the highest potential data obtained is -2.20 mV, the lowest data is -40.83 mV, and then the average data is -16.40 mV. According to the contour map of iso-potential obtained is known that the study area is a conductive zone, which probably contains of sulfide minerals in the subsurface hot fluid. This is indicated by the low value of the measured self potential (its value are negative). According to qualitative and quantitative interpretation, known that the flow of subsurface hot fluid in following the change of research area topography and self potential anomalies. The subsurface hot fluid in research area is predicted flow from southern to northern.

Keywords: *self potential, porous pot electrode, subsurface hot fluid, Pancuran Tujuh Baturaden*

PENDAHULUAN

Metode Potensial Diri (*Self Potential*, SP) merupakan suatu metode survei Geofisika yang dapat dimanfaatkan untuk mengeksplorasi sumberdaya 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 Potensial Diri dapat digunakan untuk mendeteksi

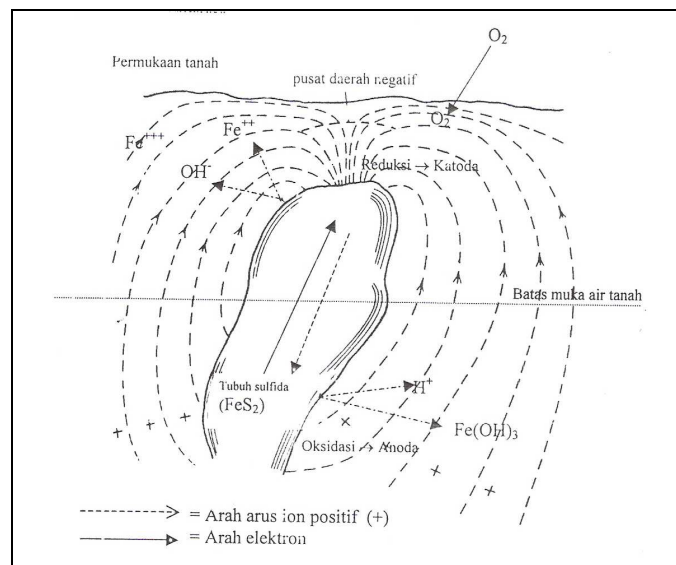
reservoir panas bumi (Ishido, 2010), mineral logam (Adeyemi *et. al.*, 2006), air bawah tanah (Satao *et. al.*, 2004) dan sebagainya. Selain itu, metode ini juga dapat digunakan untuk mendeteksi rembesan limbah cair bawah permukaan dan analisis geokimia (Naudet *et. al.*, 2004).

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/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; Glover, 2009).

Pada mulanya metode Potensial Diri 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 (**Gambar 1**).



Gambar 1. Mekanisme polarisasi pada tubuh mineral.

Secara teknis prinsip kerja metode Potensial Diri 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 Potensial Diri 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).

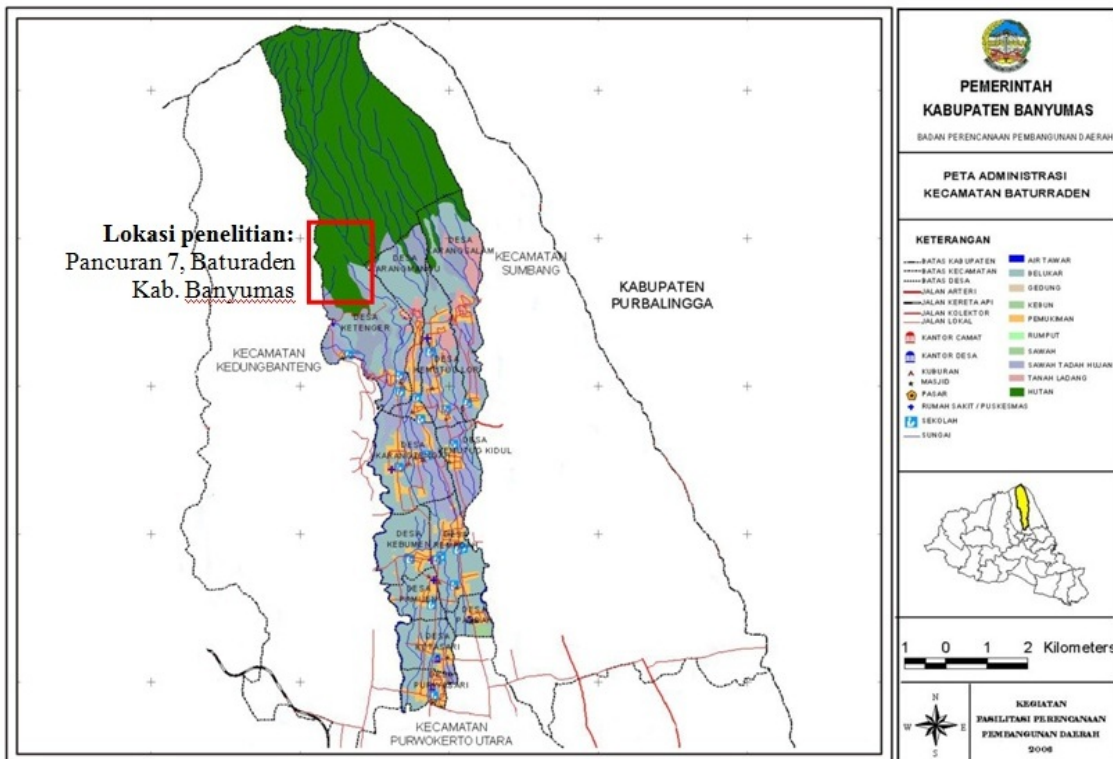
Metode Potensial Diri yang didesain dengan elektroda pot berpori (*porous pot*) sangat tepat diterapkan untuk penelitian panas bumi, karena pada umumnya reservoir panas bumi berisi fluida panas yang mengandung mineral-mineral sulfida yang bersifat konduktif (Morgan, 2002). Dalam penelitian ini, reservoir panas bumi yang diteliti adalah kawasan prospek panas bumi Gunungapi Slamet, yaitu di sekitar lokasi Pancuran Tujuh, Baturaden Kabupaten Banyumas Jawa Tengah. Kawasan ini terletak di lereng selatan Gunungapi Slamet, yaitu gunungapi tertinggi di Jawa Tengah (3.432 meter) dan memiliki empat lubang kawah di puncak (Anonim, 2010). Potensi panas bumi di kawasan

ini diperkirakan sangat besar, karena berdasarkan survei, potensi panas bumi di kawasan ini mencapai 175 MWE, jauh lebih besar dari Pegunungan Dieng yang hanya 50 MWE (Republika Online, 2009).

METODE PENELITIAN

Pelaksanaan penelitian dilaksanakan selama 3 (tiga) bulan yaitu dari bulan September – Nopember 2010.

Desain instrumen metode Potensial Diri dengan elektroda pot berpori (*porous pot*) dilakukan pada Laboratorium Fisika Eksperimen, UNSOED. Pengukuran data potensial di lapangan, dilakukan di kawasan prospek panas bumi Pancuran Tujuh Baturaden Kabupaten Banyumas (**Gambar 2**). Adapun pengolahan dan interpretasi dilakukan di Laboratorium Fisika Komputasi, UNSOED.



Gambar 2. Peta lokasi penelitian; kawasan mata air panas Baturaden Kabupaten Banyumas (Gambar diunduh dari www.bappeda-banyumas.net).

Peralatan yang diperlukan dalam penelitian ini, meliputi peralatan

penelitian yang digunakan di lapangan maupun di laboratorium (**Tabel 1**).

Tabel 1. Daftar peralatan yang digunakan dalam penelitian

No.	Nama Alat	Jumlah
1	Elektroda pot berpori, dari kawat tembaga yang dibungkus dalam keramik gerabah dengan ukuran diameter dalam 5 cm dan panjang 10 cm.	13 buah
2	Kabel konektor, panjang 50 cm	13 buah
3	Kabel gulung, panjang 200 m	2 buah
4	Capit buaya	30 buah
5	Kristal CuSO ₄ dan	5 kilogram
6	Akuades (H ₂ O)	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</i> (GPS)	1 buah
11	Laptop atau <i>Personal Computer</i> (PC)	1 unit
12	<i>Software</i> Excel 2003	1 paket
13	<i>Software</i> Surfer versi 8	1 paket
14	<i>Software</i> Matlab for Windows versi 7	1 paket
15	Buku catatan dan alat tulis	1 set

Pada pelaksanaan penelitian, kegiatan yang dilakukan adalah: kalibrasi alat, pengukuran data di lapangan, pengolahan, dan interpretasi. Secara lengkap uraian kegiatan dalam tahap pelaksanaan adalah sebagai berikut:

A. 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 ≤ 2 millivolt. Apabila nilai potensial ≥ 2

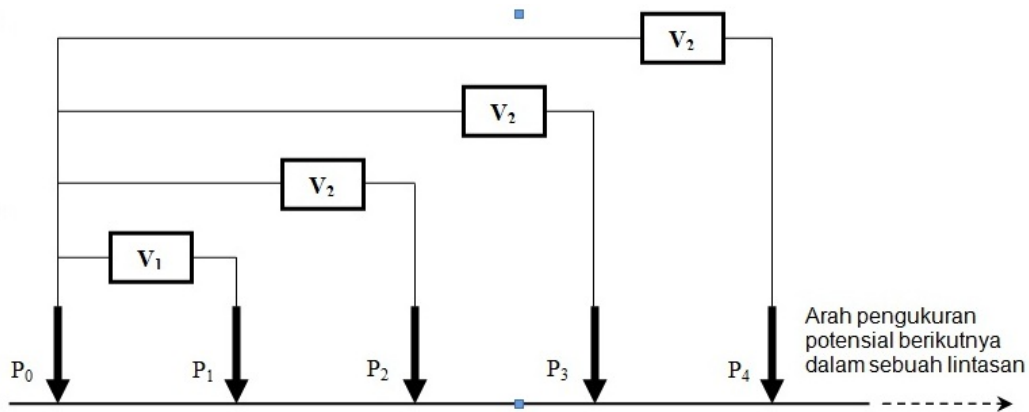
millivolt, maka kedua elektroda pot berpori harus dibersihkan, kemudian diisi kembali dengan larutan CuSO₄ dengan konsentrasi yang sama di antara kedua elektroda tersebut. Hal ini akibat elektroda pot berpori tidak bersih atau larutan bocor (Indriana, 2007).

B. 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. Konfigurasi elektroda yang dipergunakan 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**. Keuntungan konfigurasi ini adalah potensial yang terukur selalu kontinu terhadap titik referensi, sehingga kesalahan nol (*zero error*) antara kedua elektroda tidak

terjadi. Untuk memperoleh peta sebaran iso-potensial di lokasi penelitian, maka titik pengukuran Potensial Diri diusahakan disebar dalam bentuk grid atau lintasan yang teratur (Revil and Hubard, 2009)



Gambar 3. Teknis pengukuran data dalam metode Potensial Diri Dengan konfigurasi elektroda tetap.

C. 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.

D. Interpretasi Data

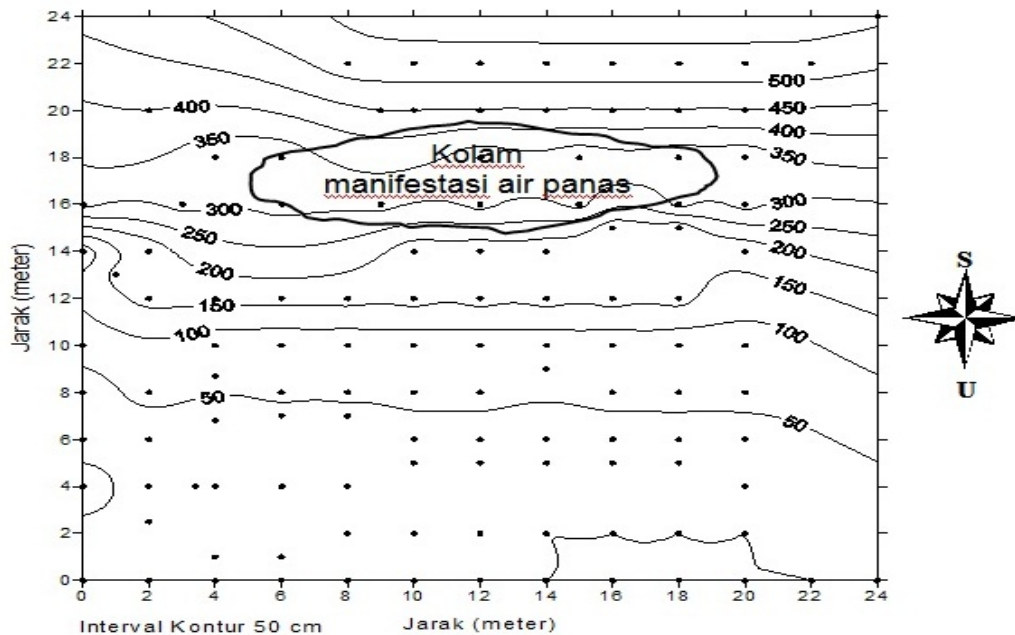
Data potensial diri yang telah terkoreksi diinterpretasikan secara kualitatif dan kuantitatif. Interpretasi kualitatif dilakukan menggunakan *software* Surfer versi 8 untuk mendapatkan peta kontur isopotensial. Berdasarkan peta kontur ini, maka dapat diinterpretasi sebaran panas

bumi di daerah penelitian. Adapun interpretasi kuantitatif dilakukan dengan cara membuat beberapa garis di atas *closure* peta kontur yang diduga sebagai posisi reservoir panas bumi, hingga diperoleh beberapa kurva profil potensial. Kurva yang diperoleh, selanjutnya dihitung menggunakan metode **Lempeng Miring** untuk mengestimasi kedalaman dan bentuk geologis dari benda anomali bawah permukaan, yang diduga sebagai reservoir panas bumi di daerah penelitian (Rao and Ram Babu, 1983).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengukuran Potensial Diri (*self potential*) telah dilakukan di daerah prospek panas bumi Gunungapi

Slamet. Lokasi yang dipilih adalah kawasan sekitar mata air panas Pancuran Tujuh Baturaden Kabupaten Banyumas sebagai manifestasi panas bumi Gunungapi Slamet. Karena terkendala kondisi topografi dan vegetasi alam yang luar biasa ekstrim, maka luas daerah yang diteliti hanya 24 meter x 24 meter. Jumlah titik pengukuran dalam daerah penelitian adalah 112, dengan jarak rata-rata antar titik adalah 2 meter. Titik referensi diletakkan di luar daerah penelitian pada jarak kira-kira 10 meter ke arah timur. Penelitian difokuskan untuk mendeteksi aliran fluida panas bawah permukaan di daerah penelitian. Sebaran titik pengukuran di daerah penelitian dapat dilihat pada **Gambar 4**

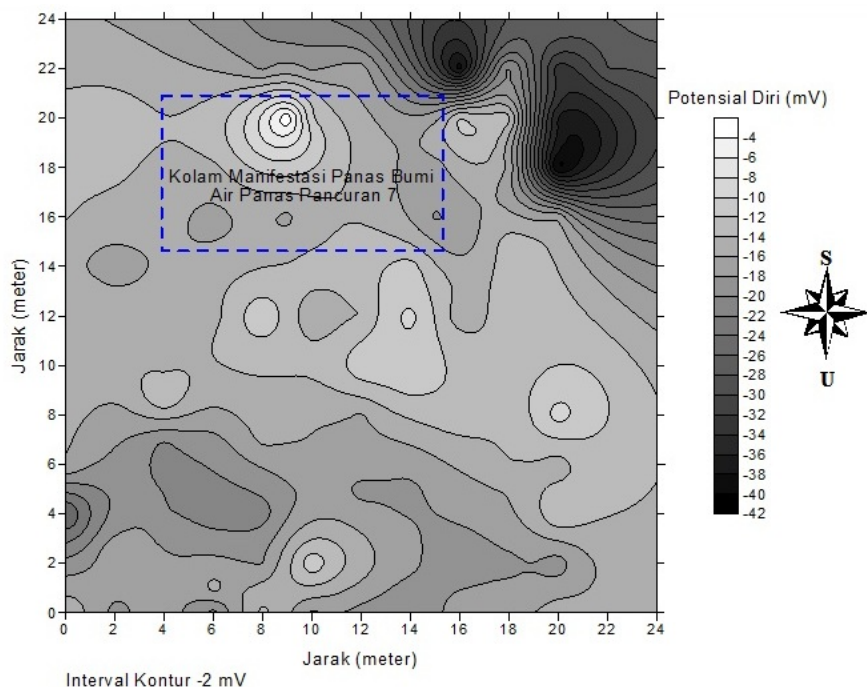


Gambar 4. Sebaran titik-titik pengukuran di atas peta topografi daerah penelitian.

A. Interpretasi Kualitatif

Berdasarkan hasil pengukuran potensial diri, diperoleh data-data potensial dengan sebaran seperti terlihat pada **Gambar 5**. Data potensial diri tertinggi yang diperoleh di daerah penelitian adalah $-2,20$ mV, data terendah adalah $-40,83$ mV, dan data rata-ratanya adalah $-16,40$ mV. Berdasarkan peta kontur isopotensial yang telah dibuat dapat diinterpretasi bahwa daerah penelitian adalah zona konduktif. Hal ini diindikasikan dengan

rendahnya nilai potensial diri yang terukur, yang secara numerik bernilai negatif (Kartini dan Danusaputro, 2005). Zona anomali potensial paling negatif ditemukan di kawasan selatan hingga barat daya daerah penelitian dengan nilai potensial diri mencapai $-40,83$ mV. Hal ini mengindikasikan bahwa di zona tersebut kemungkinan terdapat sumber aliran fluida panas bawah permukaan yang cukup dangkal.



Gambar 5. Peta kontur hasil pengukuran potensial diri di daerah penelitian.

Sementara itu, di bagian utara hingga timur laut daerah penelitian yang nilai elevasinya lebih rendah memiliki sebaran nilai potensial diri yang relatif lebih negatif daripada

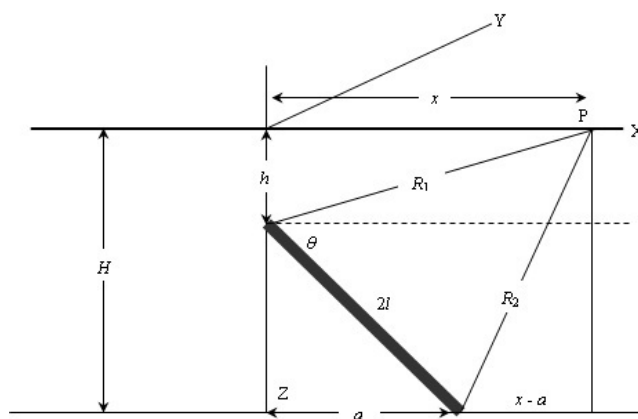
bagian tengah. Hal ini mengindikasikan kemungkinan terjadinya akumulasi aliran fluida panas bawah permukaan dari bagian tengah menuju ke utara dan timur laut. Aliran fluida panas dari

selatan dan barat daya, 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 semakin besar.

B. Interpretasi Kuantitatif

Model lempeng dua dimensi digunakan untuk interpretasi data potensial diri (*Self potential*, SP). Metode interpretasi anomali SP model lempeng dikembangkan oleh Rao and Ram Babu (1983). Dengan melihat data geologi lapangan maka

interpretasi SP pada penelitian yang telah dilakukan didasarkan pada teori Rao and Ram Babu model lempeng dua dimensi dengan asumsi panjang *strike*-nya tak berhingga. Lempeng miring yang tertanam di tanah seperti terlihat pada **Gambar 7** dianggap sebagai sumber anomali SP, yang terletak pada kedalaman dari ujung atas (*h*) hingga kedalaman ujung bawah (*H*) dengan panjang lempeng (*2l*). Dalam sistem koordinat kartesian, O tepat di ujung batas lempeng, sumbu Y terletak pada arah *strike*, adapun sumbu Z adalah arah vertikal. Sudut kemiringan lempeng atau *dip* (θ) diukur searah jarum jam terhadap sumbu X positif.



Gambar 7. Penampang lintang model lempeng dua dimensi.

Selanjutnya untuk kasus model lempeng ini nilai potensial diri yang terukur di setiap titik P sepanjang profil yang sejajar dengan sumbu X, dirumuskan dengan persamaan:

$$V_x = M \operatorname{Ln} \frac{R_1^2}{R_2^2} \quad \dots (1)$$

Jika R_1 dan R_2 pada persamaan (1) dinyatakan dalam x , maka didapatkan:

$$V_x = M \operatorname{Ln} \frac{x^2 + h^2}{(x-a)^2 + H^2} \quad \dots (2)$$

dimana $M = \frac{I \rho}{2\pi}$ dan $a = \frac{H-h}{\tan \theta}$

dengan I adalah rapat arus per satuan panjang, r adalah resistivitas medium batuan, x adalah jarak titik origin (0,0) ke titik P, h adalah kedalaman ujung atas lempeng, H adalah kedalaman ujung bawah lempeng, dan θ adalah sudut kemiringan lempeng terhadap arah horisontal.

Jika ditentukan x_0 adalah $\frac{1}{2}$ jarak dari V_{\max} ke V_{\min} , x_s adalah jarak simetris yaitu jarak dari titik *origin* ke titik yang mempunyai amplitudo sama tetapi berlainan tanda, x_{\max} adalah jarak titik origin ke titik yang memiliki nilai potensial maksimum, x_{\min} adalah jarak titik origin ke titik yang mempunyai potensial minimum, sehingga parameter-parameter dari lempeng yang terdiri dari kedalaman atas (h), kedalaman bawah (H), serta kemiringan benda anomali (θ) dapat dihitung dari parameter x_0 , x_s , x_{\max} , dan x_{\min} , dengan menggunakan persamaan-persamaan:

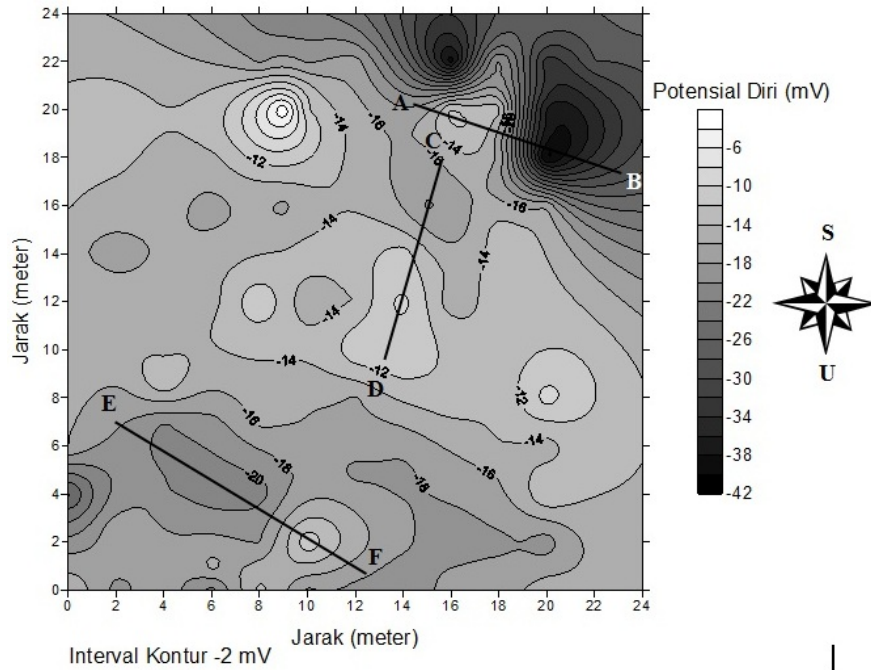
$$H = \left(|x_{\max} - x_{\min}| \right)^{1/2} \quad \dots (3)$$

$$a = \frac{x_s^2 - h^2}{2x_0} \quad \dots (4)$$

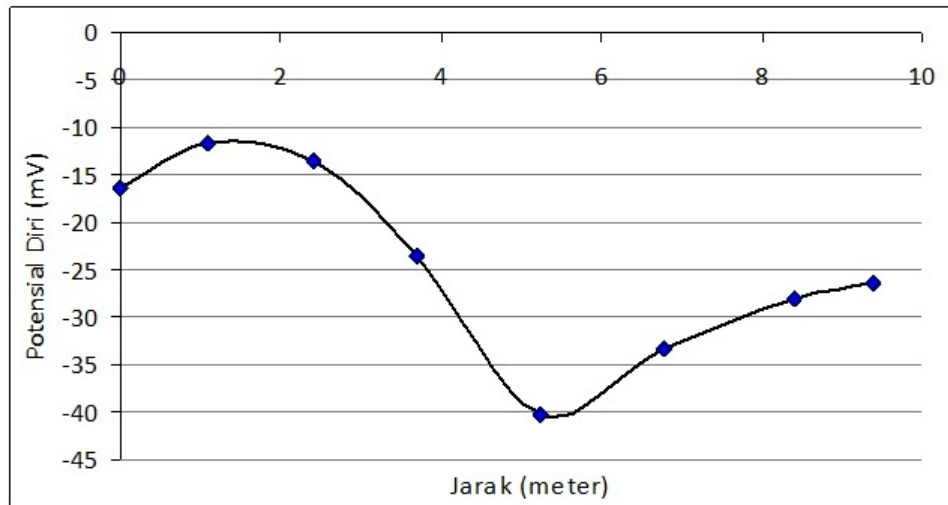
$$H = \left(x_s^2 - a^2 \right)^{1/2} \quad \dots (5)$$

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{H-h}{a} \right) \quad \dots (6)$$

Dari uraian di atas, dibuat beberapa garis di atas *closure* peta kontur yang diduga sebagai sumber anomali, hingga diperoleh beberapa kurva profil potensial diri. Dari data profil yang diperoleh, selanjutnya dihitung kedalaman benda anomali yang diperkirakan sebagai reservoir panas bumi berupa lapisan batuan yang berisi fluida panas di daerah penelitian menggunakan teori Rao dan Ram Babu (1983). Jumlah lintasan yang dibuat adalah tiga buah, yaitu lintasan AB, CD, dan EF. Model benda anomali berupa lempeng miring yang dapat diasumsikan sebagai lapisan batuan bawah permukaan yang berisi fluida panas. Pemilihan model benda anomali berupa lempeng didasarkan atas hasil interpretasi kualitatif dan keadaan geologi setempat. Letak lintasan pemodelan pada peta kontur isopotensial dapat dilihat pada **Gambar 7**. Perhitungan parameter benda anomali (lempeng miring) dilakukan berdasarkan persamaan (1) hingga (6) menggunakan *software Matlab for Windows* versi 7. Sedangkan kurva profil lintasan dan hasil perhitungan parameter benda anomali dapat dilihat pada **Gambar 8**, **Gambar 9**, dan **Gambar 10**.



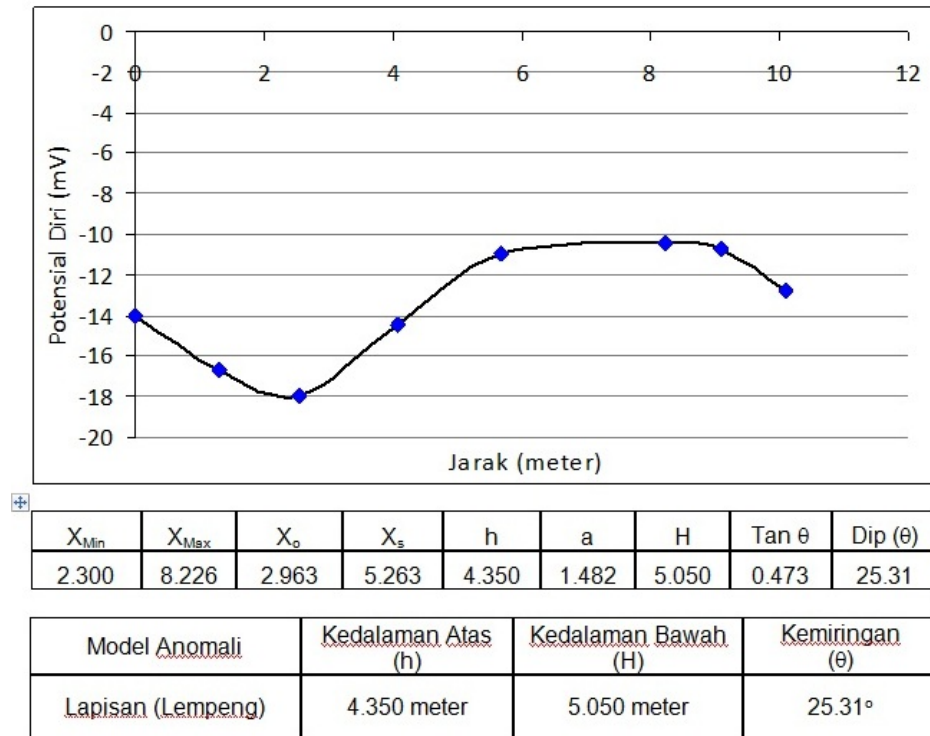
Gambar 7. Peta kontur isopotensial daerah penelitian dengan beberapa lintasan interpretasi (peta dibuat menggunakan *software Surfer 8*).



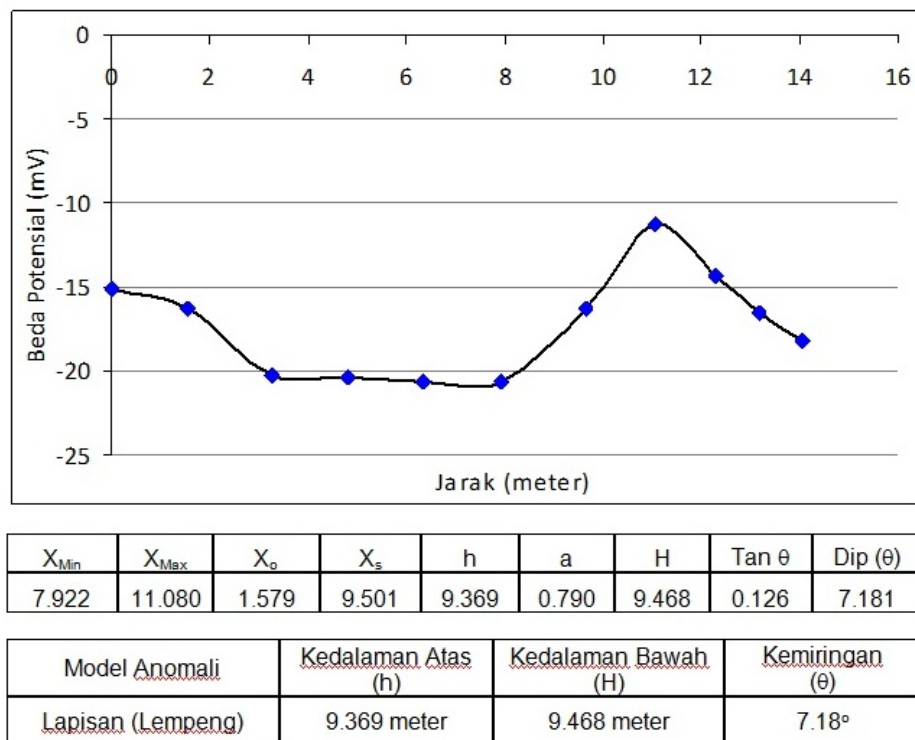
X_{Min}	X_{Max}	X_0	X_s	h	a	H	$\tan \theta$	Dip (θ)
5.229	1.082	2.074	3.156	2.379	1.037	2.980	0.580	30.114

Model Anomali	Kedalaman Atas (h)	Kedalaman Bawah (H)	Kemiringan (θ)
Lempeng	2.379 meter	2.980 meter	149.87°

Gambar 8. Kurva profil AB dan data hasil perhitungan parameter model anomali.



Gambar 9. Kurva profil CD dan data hasil perhitungan parameter model anomali.



Gambar 10. Kurva profil EF dan data hasil perhitungan parameter model anomali.

Berdasarkan hasil pemodelan dan perhitungan parameter benda anomali yang diperoleh untuk lintasan AB, CD, dan EF, diketahui bahwa benda anomali bawah permukaan yang diperkirakan sebagai reservoir panas bumi adalah berupa lempeng miring dengan panjang strike diasumsikan "tak terhingga". Lempeng miring ini diinterpretasi sebagai lapisan batuan dengan permeabilitas tinggi sehingga dapat dilalui atau dialiri oleh fluida panas. Kedalaman benda anomali hasil perhitungan berturut-turut dari lintasan AB, CD, dan EF adalah 2,379 meter, 4,350 meter, dan 9,369 meter untuk bagian atas; serta 2,980 meter, 5,050 meter, dan 9,468 meter untuk bagian bawah. Sedangkan kemiringan lempeng berturut-turut adalah $149,87^\circ$, $25,31^\circ$, dan $7,18^\circ$ terhadap bidang horisontal. Berdasarkan data-data tersebut dapat dibuktikan bahwa posisi lempeng-lempeng tersebut dari selatan ke utara, semakin dalam. Dengan demikian arah aliran fluida panas bawah permukaan diperkirakan berasal dari selatan menuju ke utara melalui lempeng-lempeng atau lapisan-lapisan batuan tersebut.

KESIMPULAN

Berdasar hasil penelitian metode potensial diri (*self potential*) menggunakan elektroda pot berpori untuk mendeteksi aliran fluida panas bawah permukaan di kawasan Baturaden Kabupaten Banyumas Jawa Tengah dapat disimpulkan:

1. Diperoleh sebaran data potensial di daerah penelitian dengan nilai tertinggi yang diperoleh adalah -2,20 mV, nilai terendah adalah -40,83 mV, dan nilai rata-rata adalah -16,40 mV.
2. Berdasarkan peta kontur isopotensial yang diperoleh dapat diinterpretasi bahwa daerah penelitian merupakan zona konduktif, yang diduga berasal dari mineral sulfida dalam fluida panas. Hal ini terindikasi dengan rendahnya nilai potensial yang terukur, yang secara numerik bernilai negatif.
3. Aliran fluida panas bawah permukaan berarah dari selatan ke utara mengikuti perubahan topografi daerah penelitian serta menyesuaikan dengan perubahan anomali potensial diri. Hal ini didasarkan pada hasil interpretasi kualitatif serta interpretasi kuantitatif.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih disampaikan kepada Rektor UNSOED serta Ketua Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat UNSOED atas disetujuinya usul penelitian ini dan dana yang disediakan. Selain itu, terima kasih disampaikan kepada Kepala Laboratorium Fisika Eksperimen UNSOED atas peralatan yang disediakan, serta beberapa mahasiswa Program Studi Fisika UNSOED pecinta Geofisika yang ikut berjerih payah membantu akuisisi data di lapangan.

DAFTAR PUSTAKA

- Adeyemi, A.A., Idornigie, A.I., Olorunfemi, M.O.,** 2006, Spontaneous Potential and Electrical Resistivity Response Modelling for a Thick Conductor, *Journal of Applied Sciences Research*, 2(10): 691-702, 2006.
- Anonim,** 2010, *Gunung Slamet*, Wikimedia Project, Sumber: <http://id.wikipedia.org>.
- Grover J.,** 2009, *The Spontaneous Potential Log*, Petrophysics MSc Course Notes.
- Hamzah, M., S., 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., Nurwidyanto, 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, Sehad,** 2010, *Rancang Bangun dan Pengujian Elektroda Porous Pot Untuk Survei Metode Geolistrik Resistivitas*, Laporan Penelitian, Program Studi Fisika, MIPA, UNSOED, Purwokerto.
- Rao, Atchuta, D., and Ram Babu, H.V.,** 1983, *Quantitative Interpretation of Self-potential Anomalies due to Two-dimensional Sheet-like Bodies*, Geophysics 48, 1659–1664.

- Republika Online**, 2009, Banyumas akan Miliki PLTU Panas Bumi, Senin, 25 Mei 2009, sumber: <http://koran.republika.co.id>.
- 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.
- Satou, S., Shimada, J., Goto, T.N.**, 2004, Use of Self-potential (SP) Method to Understand the Regional Groundwater flow System, *Poster*, Kumamoto University, Japan.
- Sato and Money**, 1960, *the Electrochemical Mechanism of Sulphida Self Potential*, *Geophysics*, Vol.XXV, p. 226-246.
- 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.