

INTERPRETASI POLA ALIRAN FLUIDA PANASBUMI MENGGUNAKAN METODE *SPONTANEOUS-POTENTIAL (SP)* DAN SUHU PERMUKAAN DANGKAL PADA SISTEM PANASBUMI PAGUYANGAN KABUPATEN BREBES

Yayan Yuliananto dan Agus Setyawan

Jurusan Fisika, Fakultas Sains dan Matematika, Universitas Diponegoro, Semarang

Email: yayannanto@st.fisika.undip.ac.id

ABSTRACT

Fluid flow and temperature researchs has been done in Paguyangan geothermal manifestation based on spontaneous-potential and shallow surface temperature methods. An aims of research is to determine the pattern of fluid flow and shallow surface temperature distribution in the Paguyangan area, Brebes.

Data acquisition for spontaneous potential measurement used fixed electrode configuration with 15 meters interval distance divided into 3 lines. Shallow surface temperature measurement which taken in 75 cm depth in around of Paguyangan manifestation area. Spontaneous potential anomaly and shallow surface temperature anomaly analyzed by correlated spontaneous potential, shallow surface temperature and rocks lithology in Paguyangan manifestation.

The Result shows that spontaneous potential values obtained has range between -11 to 11 mV and temperature range between 24° to 70° C. Fluid flow has a depth range between 13,42 to 28,75 meters and range between 8,21 to 30,33 meters with a tilt range between 46,06° to 12,60°. The pattern of fluid flow leads to the northwest.

Keywords: *Spontaneous-Potential, shallow surface temperature, Pattern of fluid flow, Paguyangan*

ABSTRAK

Penelitian suhu dan aliran fluida telah dilakukan di daerah manifestasi panasbumi Paguyangan menggunakan metode pengukuran suhu permukaan dangkal dan spontaneous potential. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan pola aliran fluida dan distribusi suhu permukaan dangkal di daerah Paguyangan, Brebes.

Pengambilan data pengukuran spontaneous potential menggunakan konfigurasi elektroda tetap dengan jarak interval 15 meter dibagi dalam 3 lintasan. Pengukuran suhu permukaan dangkal dengan kedalaman 75 cm dari permukaan yang diambil di daerah sekitar manifestasi Paguyangan. Anomali spontaneous potential dan anomali suhu permukaan dangkal dianalisis dengan menghubungkan nilai spontaneous potential, nilai suhu permukaan dangkal dan informasi litologi batuan setempat.

Hasil penelitian menunjukkan nilai spontaneous potential yang didapat berkisar antara -11 sampai 11 mV dan suhu berkisar antara 24° sampai 70° C. Aliran fluida mempunyai kedalaman berkisar antara 13,42 sampai 28,75 meter dan 8,21 sampai 30,33 meter dengan kemiringan berkisar 46,06° sampai 12,6°. Pola aliran fluida di daerah manifestasi Paguyangan mengarah dari Timur menuju Barat Laut.

Kata kunci: *Spontaneous-Potential, Suhu permukaan dangkal, Pola aliran fluida, Paguyangan*

PENDAHULUAN

Indonesia terletak pada pertemuan 3 lempeng kerak bumi yang besar yaitu lempeng-lempeng Indo-Australia, Eurasia dan Pasifik kaya sumber energi panas bumi [1]. Apabila sumber energi panas bumi yang ada dapat dimanfaatkan secara optimal sebagai pembangkit tenaga listrik, maka kita bisa melakukan penghematan sumber energi fosil untuk pembangkit tenaga listrik.

Gunung Slamet yang meliputi kabupaten Banyumas, Brebes, Pekalongan dan Tegal terletak di Provinsi Jawa Tengah merupakan salah satu daerah prospek panasbumi. Gunung Slamet merupakan salah satu gunung berapi yang memungkinkan sebagai sumber panas bumi yang potensial [2]. Potensi cadangan panas bumi di kawasan ini diperkirakan mencapai 175 Mw [3]. Secara regional daerah panasbumi Paguyangan termasuk pada Gunung Slamet Tua bagian barat

dengan mata air panas yang tersebar di tiga titik, dengan temperatur berkisar antara 69°C-70°C.

Fluida panas bawah permukaan yang membentuk sistem panas bumi berasal dari air magmatik yang naik ke permukaan melalui rekahan-rekahan batuan, sehingga untuk mengetahui pola aliran fluida, perlu adanya penelitian geofisika dengan menggunakan metode suhu permukaan dangkal dan metode *spontaneous potential*. Batasan dalam penelitian ini adalah pengambilan data pada daerah panas bumi Paguyangan dengan menggunakan metode *spontaneous potential* dan suhu permukaan dangkal dengan kedalaman 75cm.

KAJIAN PUSTAKA

Panas Bumi

Secara sederhana energi panasbumi adalah energi panas yang dipindahkan dari bagian dalam bumi. Energi tersebut dapat berupa uap atau air panas. Untuk menjadi sumber panasbumi memiliki persyaratan-persyaratan sebagai berikut [1]:

1. Memiliki batuan panasbumi berupa magma
2. Memiliki persediaan air tanah secukupnya yang sirkulasinya dekat dengan sumber magma, agar dapat terbentuk uap air panas.
3. Memiliki batuan berpori yang menyimpan sumber uap dan air panas
4. Memiliki batuan keras yang menahan hilangnya uap dan air panas
5. Memiliki gejala-gejala tektonik, dimana dapat terbentuk rekahan-rekahan di kulit bumi yang memberikan jalan keadaan uap dan air panas yang bergerak ke permukaan bumi
6. Panasnya harus mencapai suhu berkisar 180°-250° C.

Spontaneous Potential

Metode *spontaneous potential* merupakan salah satu metode geofisika yang prinsip kerjanya adalah pengukuran tegangan statis alam yang berada di kelompok titik-titik di permukaan tanah. Metode *spontaneous potential* pertama kali dikemukakan oleh Robert Fox tahun 1830 [4].

Spontaneous potential adalah potensial alami atau potensial spontan yang terukur di permukaan bumi yang diakibatkan oleh adanya aktifitas elektrokimia ataupun aktifitas mekanik yang dikontrol oleh air tanah. Aktifitas mekanis yang terjadi dalam tanah akan menghasilkan potensial elektrokinetik atau biasa disebut dengan potensial aliran atau potensial elektrofiltrasi, sedangkan proses kimia akan menimbulkan potensial elektrokimia dan potensial mineralisasi.

Data *spontaneous potential* yang diperoleh dari lapangan merupakan gabungan dari tiga komponen data dengan panjang gelombang yang berbeda, yaitu *spontaneous potential noise*, Efek topografi, dan *spontaneous potential residual*[5].

METODE PENELITIAN

Metode *spontaneous potential* digunakan untuk mengetahui aliran fluida di daerah penelitian. Metode *spontaneous potential* ini sangat responsif untuk target bawah permukaan yang bersifat konduktif. Target dari survei *spontaneous potential* adalah beda potensial yang terukur di permukaan. Variasi beda potensial dihasilkan oleh benda konduktif, umumnya reservoir panasbumi berisi fluida panas yang mengandung mineral sulfida bersifat konduktif.

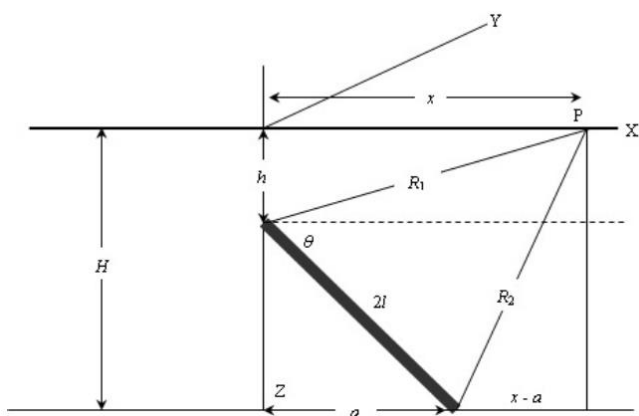
Penelitian dimulai dengan membuat desain survei mengacu informasi geologi daerah penelitian. Setelah membuat desain survei dilanjutkan dengan akuisisi data di lapangan. Pada penelitian ini menggunakan metode *spontaneous potential* dan suhu permukaan dangkal

Data yang diperoleh dari lapangan tersebut kemudian diolah dan dimodelkan. Pemodelan yang dibuat harus memperhatikan segi informasi geologi daerah penelitian. Pemodelan tersebut akan menghasilkan struktur bawah permukaan dari data anomali yang kemudian dilakukan interpretasi. Interpretasi secara kualitatif dilakukan dengan menganalisis kontur peta *spontaneous potential* dan suhu permukaan dangkal. Interpretasi kuantitatif dilakukan untuk mendapatkan batas kedalaman atas dan batas kedalaman bawah dari aliran fluida dengan

pemodelan yang di cocokkan berdasarkan informasi geologinya.

Penafsiran kuantitatif untuk menentukan parameter-parameter benda penyebab anomali *spontaneous potential* telah dikembangkan. Dalam perumusan anomali *spontaneous potential* yang disebabkan oleh mineral di bawah permukaan bumi, model penyebab anomali didekati dengan model lempeng dua dimensi.

Lempeng miring yang tertanam di tanah seperti terlihat pada Gambar 1 dianggap sebagai sumber anomali *spontaneous potential*, yang terletak pada kedalaman dari batas atas (h) hingga kedalaman batas 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 1 Penampang lintang model lempeng dua dimensi (3).

Mineral yang tertanam dalam tanah dianggap sebagai suatu mineral yang merupakan sumber anomali *spontaneous potential* terletak pada kedalaman batas atas (h) dengan panjang ($2l$) memiliki sudut kemiringan (θ). Anomali *spontaneous potential* di titik x yang sembarang ditunjukkan pada persamaan 1 [7].

$$V_{(x)} = M \ln \frac{x^2 + h^2}{(x-a)^2 + H^2} \quad (1)$$

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

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 batas atas, H adalah kedalaman batas bawah, dan θ adalah sudut kemiringan lempeng terhadap arah horizontal, a adalah jarak horizontal origin ke batas kedalaman bawah lempeng. Jika ditentukan x_o adalah setengah dari jarak x_{max} ke x_{min} , x_s adalah jarak titik origin ke titik yang mempunyai amplitudo sama tetapi berlainan tanda, x_{max} adalah jarak titik origin ke titik yang memiliki anomali *spontaneous potensial* maksimum, x_{min} adalah jarak titik origin ke titik yang memiliki anomali *spontaneous potensial* minimum. Parameter lempeng yang terdiri dari kedalaman batas bawah (H) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan-persamaan:

$$a = \frac{x_s^2 - h^2}{2x_o} \quad (2)$$

$$H = (x_s^2 - a^2)^{1/2} \quad (3)$$

Sumber anomali diperoleh dengan membuat garis sayatan pada peta kontur *spontaneous potential* yang diduga sebagai sumber anomali, diperoleh kurva profil *spontaneous potential*. Dari data profil yang diperoleh, selanjutnya dianalisis kedalaman benda anomali yang diperkirakan sebagai aliran fluida panasbumi berupa lapisan batuan yang berisi fluida panas pada daerah penelitian.

HASIL DAN PEMBAHASAN

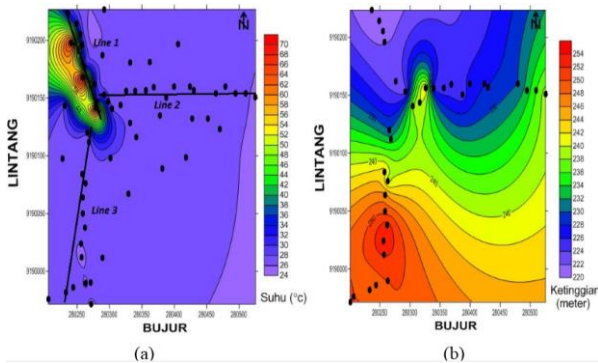
Pengukuran *spontaneous potential* dan suhu permukaan dangkal berada di sekitar area sistem panas bumi Paguyangan Kabupaten Brebes. Letak geografis daerah penelitian berada pada zona (109° 24' 31,98" BT 7° 19' 25,94" LS), (109° 0' 42,81" BT 7° 19' 15,03" LS). Daerah penelitian digambarkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Daerah penelitian (garis putih menunjukkan lintasan).

Permukaan Dangkal

Pengambilan data suhu dilakukan dengan pengambilan data suhu dengan kedalaman 75 cm, hasil penelitian data suhu terlihat pada peta kontur sebaran suhu (gambar 3a) ditunjukkan bahwa nilai suhu yang paling tinggi terletak pada *line 1* dan sekitarnya dengan suhu maksimum 70°C.



Gambar 3. (a) Peta kontur distribusi suhu permukaan dangkal, (b) peta kontur topografi.

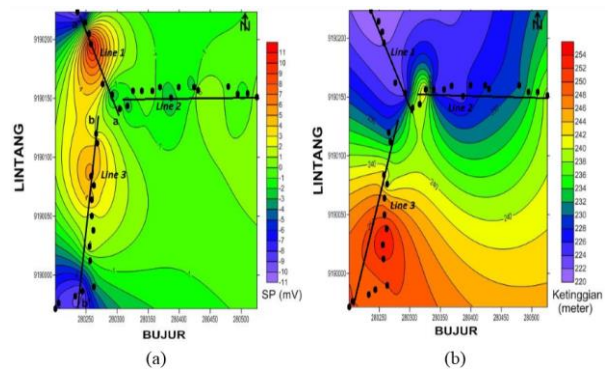
Hubungan suhu permukaan dangkal terhadap ketinggian (gambar 3b) adalah jika ketinggian tempat naik, maka suhu permukaan dangkal berkurang. Perbedaan jarak terhadap sumber panas akan mempengaruhi suhu permukaan dangkal, suhu pada letak yang dekat dengan sumber panas akan memiliki suhu permukaan lebih tinggi.

Gambar 3a merupakan peta kontur suhu dengan kedalaman 75 cm dari permukaan tanah. Anomali suhu permukaan dangkal berkisar 24°C sampai 70°C. *Line 1* terdapat nilai anomali suhu yang tinggi, yaitu mencapai 70°C. Pada *line 2* dan *line 3* tidak terdapat anomali suhu tinggi pada daerah tersebut cenderung bersuhu rendah karena perbedaan jarak terhadap sumber panas dan secara umum suhu turun terhadap ketinggian.

Hasil Spontaneous Potensial

Peta kontur *spontaneous potential* di daerah panasbumi paguyangan ditunjukkan pada gambar 4a dengan nilai anomali *spontaneous potential* berkisar -11mV sampai 11mV. *Line 1*

yang mengarah Tenggara - Barat Laut, *line 2* yang mengarah ke Barat - Timur, dan *line 3* yang mengarah ke Utara - Barat Daya. Pada *line 3* anomali *spontaneous potential* cenderung bernilai negatif, sedangkan pada *line 1* dan *line 2* anomali *spontaneous potential* bernilai positif dikarenakan pada daerah tersebut terdapat rekahan di struktur bawah permukaan yang mengindikasikan adanya aliran fluida panas pada daerah ini. Sebaran anomali *spontaneous potential* yang paling besar terdapat pada daerah rekahan [6]. Hal ini menunjukkan adanya aliran fluida panas daerah *line 1* dan *line 2*.

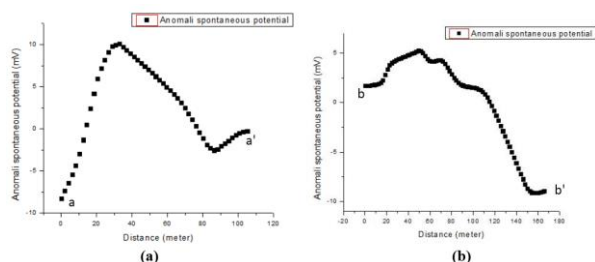


Gambar 3. (a) Peta kontur distribusi *spontaneous potential*. tanda (•) adalah titik-titik distribusi *spontaneous potential*, (b) peta kontur topografi daerah penelitian.

Anomali *spontaneous potential* yang didapatkan di daerah penelitian menunjukkan pada daerah tersebut terdapat efek termoelektrik dengan proses konduksi termal, karena pada *line 1* sampai *line ke 2* didapatkan nilai hasil berkisar beberapa puluh mV baik positif maupun negatif dengan ketinggian berkisar antara 220 meter sampai 238 meter, seperti ditunjukkan pada gambar 4b. Proses konduksi termal menyebabkan peningkatan nilai anomali *spontaneous potential* yang terdistribusi merata pada daerah tersebut dan mempengaruhi aliran lokal. Hal ini sesuai dengan efek termoelektrik, dimana daerah yang mengalami arus konduksi akan menunjukkan anomali nilai *spontaneous potential* bernilai positif. Efek topografi yang berkaitan dengan aliran fluida dari tempat tinggi menuju tempat rendah terlihat pada *line 3*.

Penambahan sayatan a-a dan b-b' yang diduga sebagai medium aliran fluida pada daerah penelitian. Pembuatan sayatan yang bertujuan mendapatkan nilai anomali dari sayatan yang dibuat pada peta anomali gambar 4a. Nilai anomali pada sayatan tersebut selanjutnya dilakukan analisis kedalaman.

Sayatan a-a' dilakukan di line 1 yang diduga terdapat medium aliran fluida panas di bawah permukaan yang diakibatkan oleh proses konduksi termal. Sayatan b-b' berada di line 2 diduga terdapat medium aliran fluida dari tempat tinggi menuju tempat rendah yang dianalisis sebelumnya dipengaruhi oleh efek topografi. Berdasarkan pemodelan parameter benda anomali dari sayatan a-a' dan b-b' diperoleh kurva anomali *spontaneous potential* terhadap jarak yang ditunjukkan pada gambar 5a dan 5b. Benda anomali bawah permukaan yang diperkirakan sebagai medium aliran fluida panas bumi adalah berupa lempeng miring dengan panjang lempeng diasumsikan "tak terhingga". Lempeng miring ini diinterpretasikan sebagai lapisan batuan dengan permeabilitas tinggi, sehingga dapat dilalui atau dialiri oleh fluida panas.



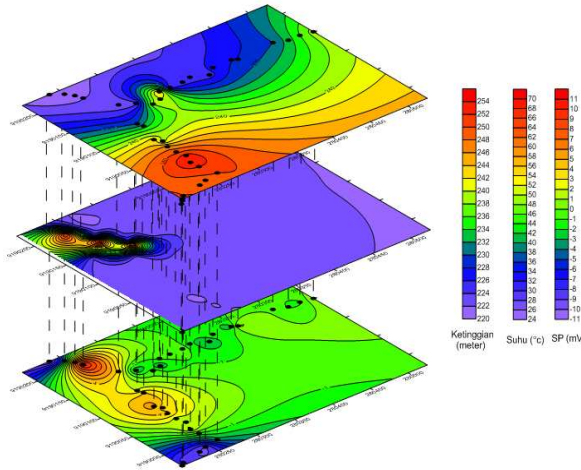
Gambar 5. (a) kurva anomali *spontaneous potential* terhadap jarak a-a' (b) kurva anomali *spontaneous potential* terhadap jarak b-b'

Gambar 5 merupakan kurva anomali *spontaneous potential* terhadap jarak, ditunjukkan pada gambar 5a hasil sayatan a-a' mendapatkan kurva *spontaneous potential* terhadap jarak berkisar antara 0 meter sampai 110. Kurva anomali *spontaneous potential* pada jarak berkisar antara 0 meter sampai 30 meter memiliki nilai anomali *spontaneous potential* bertambah positif karena berjarak semakin dekat dengan sumber panas, sedangkan pada jarak

berkisar antara 35 meter sampai 90 meter terjadi penurunan anomali *spontaneous potential* disebabkan jarak yang bertambah jauh dari sumber panas. Gambar 5b merupakan kurva anomali *spontaneous potential* terhadap jarak untuk hasil sayatan b-b' dengan jarak berkisar antara 0 meter sampai 170 meter (gambar 5b). Kurva anomali *spontaneous potential* dengan jarak berkisar antara 0 meter sampai 50 meter mengalami pertambahan anomali *spontaneous potential* dan jarak berkisar antara 50 meter sampai 180 meter terjadi penurunan anomali *spontaneous potential* disebabkan jarak yang berbeda dari sumber panas. Jarak yang memiliki letak yang paling dekat dengan sumber panas memiliki anomali *spontaneous potential* positif, sedangkan jarak yang jauh dari sumber panas memiliki anomali *spontaneous potential* negatif hal ini dipengaruhi oleh efek termoelektrik.

Hubungan nilai anomali suhu permukaan dangkal dan nilai anomali *spontaneous potential* yang berhubungan dengan topografi dari suatu tempat ditunjukkan gambar 6. Pada anomali suhu permukaan dangkal yang warna merah pada penampang tersebut menunjukkan daerah paling panas, yaitu cenderung pada daerah line ke 1 dengan arah Tenggara – Barat Laut yang memiliki nilai anomali *spontaneous potential* yang positif dengan tingkat ketinggian pada topografi rendah. Nilai anomali *spontaneous potential* pada line 3 terlihat pada ketinggian berkisar 242 meter sampai 254 meter memiliki nilai anomali yang negatif. Line 3 memiliki anomali suhu permukaan dangkal kecil disebabkan jarak titik pengukuran line 3 jauh dari manifestasi.

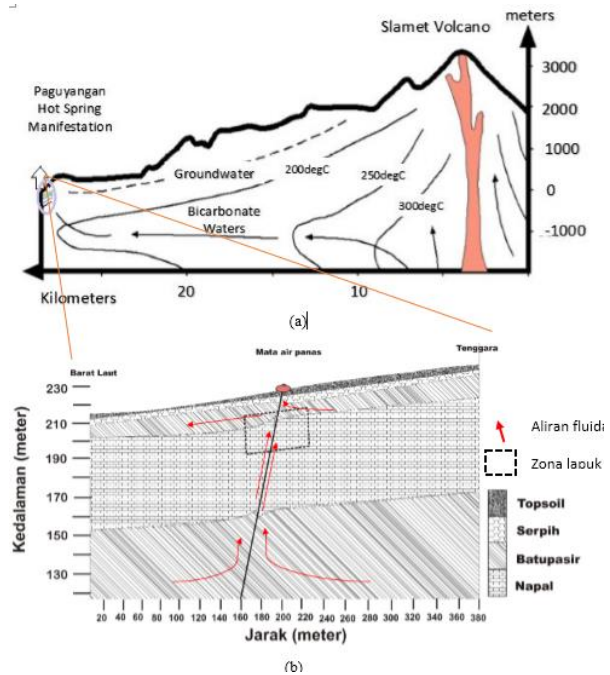
Pengaruh dari efek topografi yang menjelaskan bahwa fluida bawah permukaan yang mengalir dari tempat tinggi menuju tempat rendah. Hal ini dapat menunjukkan pola aliran fluida panas mengarah dari line 2 menuju line 1 dengan arah Tenggara – Barat Laut, sedangkan line 3 menuju line 1 menunjukkan aliran fluida yang disebabkan oleh topografi.



Gambar 6. Overlay peta kontur elevasi dengan sebaran *spontaneous potential* terhadap peta kontur sebaran suhu permukaan dangkal, (a) peta kontur elevasi, (b) peta kontur sebaran suhu permukaan dangkal kedalaman 75cm, (c) peta kontur sebaran *spontaneous potential*.

Pemodelan Daerah Paguyangan

Kedalaman benda anomali hasil perhitungan menggunakan persamaan 1 sampai persamaan 3 didapatkan pada gambar 5a berupa data kurva anomali *spontaneous potential* terhadap jarak a-a’ untuk kedalaman batas atas (h) sebesar 13,42 meter dan untuk kedalaman batas bawah (H) sebesar 28,76 meter, sedangkan kemiringan lempeng pada lintasan a-a’ ini adalah 46,06° terhadap bidang horizontal. Gambar 5b kurva anomali *spontaneous potential* lintasan b-b’ letak benda anomali untuk bagian atas (h) 8,21 meter sedangkan untuk bagian bawah benda (H) 30,33 meter dan kemiringan lempeng pada lintasan ini adalah 12,6° terhadap bidang horizontal. Berdasarkan nilai kedalaman dan kemiringan menunjukkan kedalaman dari sayatan b-b’ ke a-a’ semakin dalam.



Gambar 7. (a) Model konseptual panasbumi Gunung Slamet [8], (b) Pendugaan aliran fluida hasil *spontaneous potential* yang ditambahkan pada hasil litologi batuan bawah permukaan area manifestasi Paguyangan [9].

Proses geologi berupa pengangkatan lapisan batuan mengakibatkan terbentuknya jalur rekahan berdampak air panas atau uap naik ke permukaan menghasilkan manifestasi [10]. Model konseptual panasbumi Gunung Slamet pada gambar 7a menunjukkan aliran air bikarbonat ke arah manifestasi Paguyangan. Air bikarbonat merupakan ciri *zona outflow* dari sistem panasbumi.

Gambar 7a menunjukkan model konseptual manifestasi panasbumi Gunung Slamet [8]. Gambar 7b merupakan pemodelan litologi batuan bawah permukaan daerah Paguyangan yang ditambahkan pendugaan zona lapuk dan aliran fluida. Dari hasil pemodelan peta anomali *spontaneous potential* (gambar 7a dan 7b).

Aliran fluida terlihat mengarah kearah Barat Laut yang ditunjukkan oleh tanda arah panah. Didapatkan zona lapuk pada batuan napal di patahan yang dilalui oleh fluida panas, hal ini diinterpretasikan sebagai lapisan batuan dengan permeabilitas tinggi berdasarkan nilai kedalaman dan kemiringan benda anomali bawah

permukaan. Hasil ini sesuai dengan penelitian [2] bahwa manifestasi Paguyangan mengikuti pola patahan yang memotong tubuh Gunung Slamet Tua yang berarah Barat Laut - Tenggara.

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Distribusi suhu permukaan dangkal pada ketinggian 215 meter sampai 265 meter berkisar antara 24°C sampai 70°C.
2. Distribusi *spontaneous potential* untuk *line* 1 berkisar antara -10,3 sampai 10,6 mV, *line* 2 berkisar antara -3,2 sampai 1,2 mV dan *line* 3 berkisar antara -9,1 sampai 5,6 mV bergantung pada ketinggian dan jarak dari sumber panas.
3. Anomali *spontaneous potential* berkisar antara -11 sampai 11 mV menunjukkan pola aliran fluida dari Tenggara menuju Barat Laut.

SARAN

1. Data aliran fluida dangkal yang didapatkan dari penelitian ini dapat digunakan sebagai informasi awal aliran fluida pada daerah Paguyangan dan untuk mendeteksi letak adanya aliran pada daerah sistem panasbumi Paguyangan.
2. Perlu adanya pemodelan dengan menggunakan metode geofisika yang lain seperti geolistrik atau seismik untuk menentukan lapisan tanah ataupun metode *gravity* dalam menentukan densitas batuan di daerah ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Utami, P., 1999, *Energi: Energi Panasbumi*, Jurnal Energi, No.3, Februari 1999, 39-42.
- [2]. Widagdo, A., A. Candra, S. Iswahyudi dan Abdullah, C.I., 2013, *Pengaruh Struktur Geologi Gunung Slamet Muda dan Tua Terhadap Pola Sebaran Panas Bumi*, Proceeding 4th Industrial Research Workshop and National Seminar 2013., 204-207, Politeknik Negeri Bandung, Bandung
- [3]. Sehad, Raharjo, S. A., 2011, *Survei Metode Self-Potential Menggunakan Elektroda Berpori Untuk Mendeteksi Aliran Fluida Panas Bawah Permukaan Di Kawasan Baturaden Kabupaten Banyumas Jawa Tengah*, Jurnal Fisika FLUX, Vol.8 No.1, Februari 2011, 7-21.
- [4]. Reynolds, J.M., 1997, *An Introduction to Applied and Environmental Geophysics*, New York: John Welly & Sons.
- [5]. Ernston, K., Scherer, H.U., 1986, *Self-Potential Variations with Time and their Relation to Hydrogeologic and Meteorological Parameters*, Geophysics, vol. 51, no.10, 1967-1977
- [6]. Bhattacharya, B.B and Roy, N., 1981, *A Note on The Use of a Nomogram for Self Potential Anomalies*, Geophysical Prospecting, Vol.XXIX, 102-107
- [7]. Corwin, R.F. and Hoover D.B., 1979, *The Self-Potential Method in Geothermal Exploration*, Geophysics Vol.44, 226-245
- [8]. Iswahyudi, S., Widagdo, A. dan Subana, 2010, *Aplikasi Geokimia Mata Air Panas untuk Kajian Pendahuluan Sistem Panas Bumi Daerah Paguyangan dan Sekitarnya*, Laporan Penelitian Fakultas Sains dan Teknik Unsoed, 21-23.
- [9]. Triahadini, A., 2014, *Identifikasi Struktur Bawahpermukaan Area Manifestasi Panasbumi Air Panas Paguyangan Brebes Menggunakan Metode Geolistrik dengan Konfigurasi Schlumberger*, Skripsi, Undip, Semarang.
- [10]. Alzwar, M., Samodra. H., dan Tarigan, J.I., 1988, *Pengantar Dasar Ilmu Gunungapi*, Nova, Bandung