

INTERPRETASI POLA ALIRAN FLUIDA PANAS BUMI DENGAN METODE SPONTANEOUS-POTENTIAL (SP) DAN SUHU PERMUKAAN DANGKAL DI LERENG UTARA GUNUNG TELOMOYO KABUPATEN SEMARANG

Maila Shofa¹⁾, Udi Harmoko¹⁾, dan Sugeng Widada²⁾

⁽¹⁾ Jurusan Fisika, Fakultas Sains dan Matematika, Universitas Diponegoro, Semarang

⁽²⁾ Jurusan Oseanografi, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Diponegoro, Semarang

Email: maila.shf@gmail.com

ABSTRACT

The model heat flow at Telomoyo Mountain Semarang District has measured and identified using spontaneous potential and shallow temperature surface methods.

Field data has proceed using Microsoft Excel which the result entered to Surfer11 with the result map contour of SP and temperature distribution.

The result showed that range anomaly SP about -40mV-70mV and distribution of temperature which has temperature range 23,5°-31°C. The direction of heat flow direct from South to North-East.

Key Words : Spontaneous-potential, shallow temperature surface, Sufer11, Model Heat Flow, Telomoyo Mountain

ABSTRAK

Pengambilan data dan identifikasi geolistrik dengan metode spontaneous-potensial (SP) dan metode suhu permukaan dangkal untuk mengetahui pola aliran fluida telah dilakukan di daerah Gunung Telomoyo Kabupaten Semarang..

Pengolahan data lapangan dilakukan menggunakan Microsoft excel yang kemudian hasilnya dimasukkan kedalam Surfer11 sehingga diperoleh peta kontur SP dan distribusi suhu..Hasil dari Surfer11 akan dianalisa sehingga dapat menggambarkan pola aliran fluida di Desa Doyong area Gunung Telomoyo..

Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai SP yang didapat berkisar -40 mv sampai 70 mv dan suhu yang bekisar antara 23,5°C sampai 31°C dengan pola aliran fluida mengarah dari arah selatan menuju ke arah timur laut.

Kata Kunci : Spontaneous-potential, Suhu permukaan dangkal, Surfer11, Pola aliran fluida, Gunung Telomoyo.

PENDAHULUAN

Indonesia yang terletak pada pertemuan 3 lempeng kerak bumi yang besar yaitu lempeng-lempeng Indo-Australia, Eurasia dan Pasifik kaya akan sumber energi panas bumi [20]. Berdasarkan hasil inventarisasi, diperkirakan potensi sumber energi panas bumi Indonesia setara 28 GWE (baru terbukti 2288 MWE). Akan tetapi pemanfaatan potensi panas bumi di Indonesia masih sangat sedikit. Penggunaan energi panas bumi untuk pembangkit tenaga listrik hanya sekitar 2,73% dari seluruh listrik yang dibangkitkan oleh PLN [18] Penggunaan energi panas bumi secara langsung masih belum optimal. Penggunaan panas bumi secara langsung adalah sebagai objek geowisata. 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 [18].

Gunung Telomoyo yang terletak di Provinsi Jawa Tengah merupakan salah satu daerah prospek panas bumi. Secara fisiografis daerah panas bumi Candi Umbul Telomoyo termasuk pada zona *North Serayu Range* bagian ujung timur. Pada zona ini terbentuk suatu kompleks gunung api yang memanjang berarah barat laut - tenggara yaitu rangkaian Gunung Ungaran - Gunung Telomoyo -Gunung Merbabu - Gunung Merapi yang berada pada lingkungan geologi vulkanik Kuartar. Kenampakan gejala panas bumi di daerah panas bumi Candi Umbul Telomoyo berupa mata air panas dan batuan ubahan yang pemunculannya tersebar di tiga

lokasi, yaitu mata air panas Candi Dukuh dengan temperatur berkisar antara 35°-36°C, serta mata air panas Candi Umbul dan Pakis Dadu dengan temperatur berkisar antara 35°-36°C [8].

Menurut hasil penelitian yang dilakukan beberapa peneliti sebelumnya, menunjukkan bahwa daerah yang mempunyai anomali kerapatan struktur geologi yang tinggi berpotensi sebagai daerah prospek bagi pengembangan panas bumi. Pada daerah Candi Umbul Telomoyo yang diperkirakan sebagai daerah prospek panas bumi adalah di bagian utara kerucut muda Gunung Telomoyo Anomali ini tersebar dari lereng barat laut kerucut muda Gunung Telomoyo ke utara – timur laut sampai daerah Keningar dan Candi Dukuh dengan luas 39 km serta di sekitar manifestasi Candi Umbul dan pada penelitian yang lainnya, disebutkan bahwa arah aliran air tanah di daerah panas bumi Candi Umbul - Telomoyo dan sekitarnya secara umum mengalir dari elevasi tinggi, yaitu dari puncak dengan mengisi lembah - lembah dan sungai. [18].

Hidrologi daerah penyelidikan secara umum terbagi menjadi zona resapan air (*recharge area*) tempat terjadinya penetrasi air meteorik di permukaan bumi, zona keluaran (*discharged area*) dan zona limpasan / aliran permukaan (*run-off area*).

Perubahan suhu permukaan dangkal akibat distribusi thermal. Fluida panas bawah permukaan yang membentuk sistem panas bumi berasal dari *magmatic waters (deep waters)* yang naik ke permukaan melalui rekahan-rekahan batuan.

Sehingga untuk mengetahui pola aliran fluida (*out flow*), perlu adanya penelitian geofisika dengan menggunakan metode suhu permukaan dangkal dan juga metode *Spontaneous-Potential (SP)*.

Batasan dalam penelitian ini adalah pengambilan data pada daerah lereng utara Gunung Telomoyo dengan menggunakan metode *Spontaneous-Potential (SP)* dan suhu permukaan dangkal dengan kedalaman 50cm dan 100cm. Data yang diperoleh diolah untuk menggambarkan peta kontur sebaran nilai SP dan suhu permukaan dangkal menggunakan *software Surfer versi 11*.

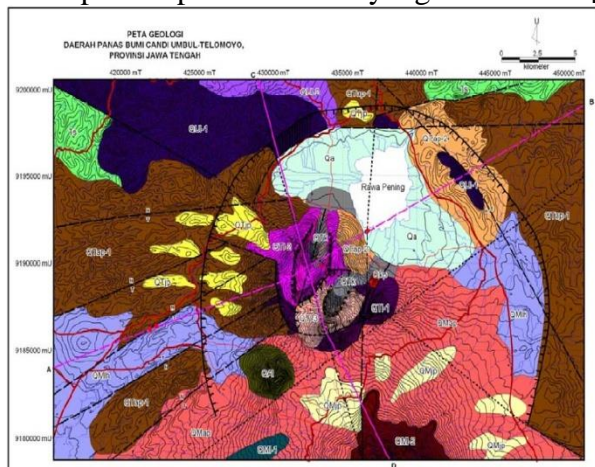
DASAR TEORI

Geologi Telomoyo

Secara geografis daerah panas bumi Candi Umbul - Telomoyo terletak pada koordinat antara 110° 14' 2,9" BT – 110° 33' 33,13" BT dan 7° 13' 55,25" LS - 7° 25' 46,62" LS atau 415.450 – 451.350 mT dan 9.178.733 – 9.200. 531 mS. Secara administratif sebagian besar termasuk dalam wilayah Kabupaten Semarang dan Kabupaten Magelang, serta sebagian kecil termasuk Kab.Temanggung, Kab. Boyolali dan Kota Salatiga, Propinsi Jawa Tengah, dan berjarak sekitar 34 km dari Kota Semarang.

Daerah panas bumi Candi Umbul - Telomoyo terletak pada zona Pegunungan Serayu Utara, dengan batuan tertua adalah batuan sedimen berumur Miosen Tengah dengan mekanisme pengendapan turbidit dalam lingkungan neritik. Pada Kala Pliosen Atas terjadi proses pengangkatan yang diikuti oleh erupsi efusif Ungaran Tua pada Kala Plistosen Awal yang menghasilkan satuan lava Ungaran-1. Selain itu di sebelah tenggara Ungaran terjadi aktivitas vulkanik Telomoyo-1 yang menghasilkan endapan lava dan piroklastik. Letusan besar Telomoyo-1 menyebabkan terjadinya runtuh (*collapse*) dan menghasilkan struktur kaldera yang diikuti oleh munculnya kembali aktivitas vulkanik post-kaldera Telomoyo-2 yang menghasilkan endapan lava dan piroklastik. Aktivitas vulkanik terus berlanjut hingga membentuk kerucut Telomoyo sekarang yang berkomposisi andesit - basaltik dan kerucut Andong. Fase akhir aktivitas vulkanik Telomoyo dicerminkan oleh pembentukan kerucut skoria (*scoria cone*). Saat itu di sebelah utara (Gunung Ungaran) dan sebelah selatan (Gunung Merbabu) juga terjadi aktivitas vulkanik yang menghasilkan endapan lava dan piroklastik. Endapan lahar dan alluvium terbentuk di sepanjang pedataran dan sungai-sungai besar. Struktur geologi yang berkembang terdiri dari struktur kaldera dan sesar-sesar normal berarah barat daya – timur

laut yang terbentuk akibat aktivitas Gunung Telomoyo, serta sesar-sesar mendatar berarah relatif utara - selatan dan barat laut - tenggara yang merupakan struktur regional dan sebagian sudah ditutupi oleh produk batuan yang lebih muda [18]



Gambar 1. Peta geologi daerah panas bumi Candi Umbul-Telomoyo [18]

Perpindahan Panas

Perpindahan panas didefinisikan sebagai perpindahan energi dari suatu tempat ke tempat lain akibat adanya perbedaan suhu. Secara umum proses perpindahan panas dibagi menjadi tiga proses yaitu konduksi, radiasi, dan konveksi

1. Konduksi

Konduksi adalah proses mengalirnya panas dari daerah bersuhu tinggi ke daerah bersuhu rendah dalam satu medium (padat, cair atau gas) yang sama atau antar medium-medium berlainan yang bersinggungan secara langsung. Pada aliran panas secara konduksi, perpindahan energi panas terjadi akibat hubungan molekul secara langsung tanpa ada perpindahan molekul yang cukup besar

2. Radiasi

Radiasi adalah proses mengalirnya panas dari daerah bersuhu tinggi ke daerah bersuhu lebih rendah melalui medium tembus cahaya atau ruang hampa. Semua benda memancarkan panas radiasi secara terus menerus, dimana intensitas pancarannya bergantung pada suhu dan sifat permukaan. Energi radiasi bergerak dengan kecepatan cahaya 3×10^8 m/s.

3. Konveksi

Perpindahan panas secara konveksi berlangsung dalam beberapa tahap. Pertama, panas akan mengalir dengan cara konduksi di permukaan partikel-partikel fluida yang berbatasan. Energi yang berpindah dengan cara demikian akan menaikkan energi dalam partikel fluida sehingga berakibat kenaikan suhu pada fluida yang berbatasan dengan sumber panas. Pada tahap kedua, partikel-partikel fluida akan bergerak ke daerah yang berenergi lebih rendah di dalam fluida. Pada daerah ini, mereka akan bercampur dan memindahkan sebagian energinya kepada partikel-partikel fluida lainnya.

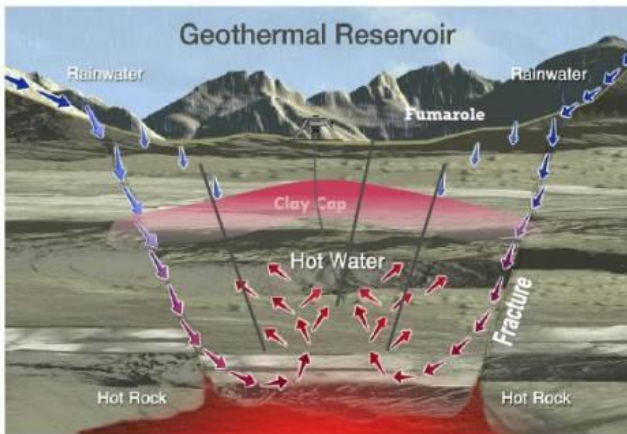
Konduktivitas panas batuan adalah salah satu sifat fisis batuan yang berkaitan dengan aliran panas yang terjadi di dalamnya. Sifat ini menentukan cepat lambatnya panas mengalir dalam medium [11].

Panas Bumi

Secara sederhana energi panas bumi adalah energi panas yang dipindahkan dari bagian dalam bumi [20]. Energi tersebut dapat berupa uap atau air panas. [7].

Untuk menjadi sumber panas bumi diperlukan persyaratan-persyaratan sebagai berikut:

1. Adanya batuan panas bumi berupa magma
2. Adanya persediaan air tanah secukupnya yang sirkulasinya dekat dengan sumber magma, agar dapat terbentuk uap air panas.
3. Adanya batuan berpori (*porous*) yang menyimpan sumber uap dan air panas (*reservoir rock*)
4. Adanya batuan keras yang menahan hilangnya uap dan air panas (*cap rock*)
5. Adanya 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 tertentu minimum sekitar 180° - 250° C



Gambar 2. Sistem Panas Bumi [4]

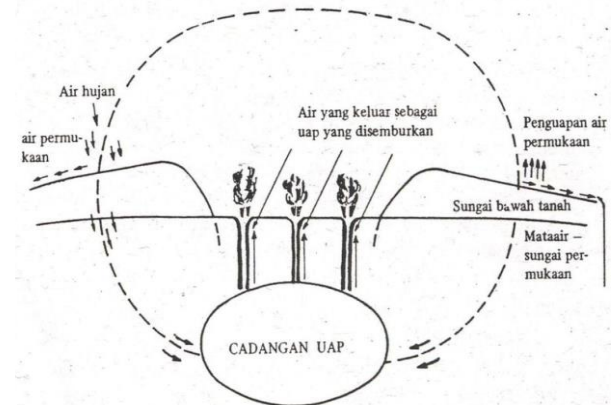
Proses Terbentuknya Sistem Panas Bumi

Perpindahan panas secara konduksi terjadi melalui batuan, sedangkan perpindahan panas secara konveksi terjadi karena adanya kontak antara air dengan suatu sumber panas. Perpindahan panas secara konveksi pada dasarnya terjadi karena gaya apung (*bouyancy*). Air karena gaya gravitasi selalu mempunyai kecenderungan untuk bergerak kebawah, akan tetapi apabila air tersebut kontak dengan suatu sumber panas maka akan terjadi perpindahan panas sehingga temperatur air menjadi lebih tinggi dan air menjadi lebih ringan. Keadaan ini menyebabkan air yang lebih panas bergerak ke atas dan air yang lebih dingin bergerak turun ke bawah, sehingga terjadi sirkulasi air atau arus konveksi.

Air yang terpanasi dan terkumpul di dalam batuan cadangan karena terapit oleh lapisan-lapisan kedap air (uap) menyebabkan air atau uap dalam batuan cadangan berada dalam kondisi tekanan hidrostatik tinggi. Karena tekanan hidrostatik yang sangat tinggi ini uap jenuh di dalam batuan cadangan akan berubah kefasa cairan, sehingga di dalam sistem batuan cadangan terdapat dua fasa uap, yaitu fasa cair dan fasa uap yang terkondensasi. Pengurangan atau pelepasan tekanan hidrostatik tersebut, seperti misalnya pemboran, menyebabkan air yang bersuhu sangat tinggi berubah lagi dalam bentuk uap.

Perubahan bentuk dari air ke uap yang kemudian naik ke permukaan melalui retakan

batuan dan dihembuskan keluar yang terkumpul di udara, terkondensasi menjadi air hujan, turun dan meresap kedalam tanah, membentuk suatu daur hidrologi [1].



Gambar 3. Daur Hidrologi Panas Bumi [1]

Spontaneous-Potential (SP)

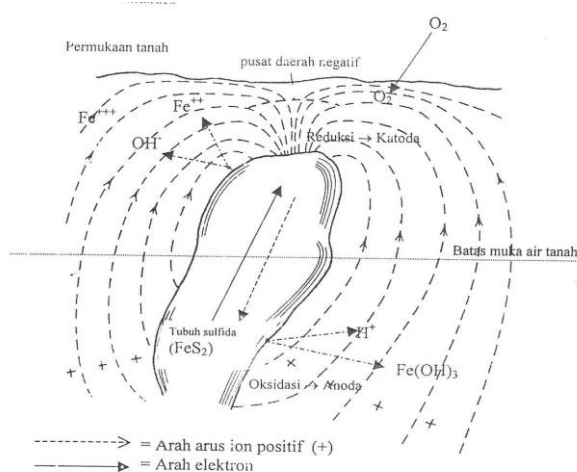
Metode potensial diri (SP) merupakan salah satu metode geofisika yang prinsip kerjanya adalah mengukur tegangan statis alam (*static natural voltage*) yang berada di kelompok titik-titik di permukaan tanah. Metode Potensial Diri dapat digunakan untuk mengetahui aliran fluida bawah permukaan, dan mineral logam [9].

Metode Potensial Diri digunakan untuk menentukan daerah yang mengandung mineral logam. 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 [15].

Secara umum anomali SP muncul dari berbagai sumber, antara lain :

1. Potensial Difusi

Nilai SP dalam hal ini, diakibatkan oleh perbedaan konsentrasi dari ion-ion yang terdapat di dalam tanah.



Gambar 4. Mekanisme polarisasi pada tubuh mineral [15]

2. Potensial Bioelektrik

Proses penarikan dan penyerapan ion oleh membran-membran pada akar tumbuhan, dapat menghasilkan efek potensial listrik.

3. Potensial Mineral

Potensial mineral muncul akibat adanya proses reaksi oksidasi reduksi (redoks) pada mineral tersebut di zona batas muka airtanah. sumber potensial ditimbulkan oleh endapan mineral

4. Streaming Potential

Aliran fluida yang bergerak di dalam tanah melalui pori-pori dan rekahan pada batuan, akan membangkitkan potensial elektrokinetik atau juga disebut SP

Terdapat 2 metode pengambilan data SP yaitu:

1. Metode gradien potensial

Pada metode potential gradient elektroda yang digunakan sebanyak dua buah, Untuk mendapatkan nilai beda potensial pada titik selanjutnya, kedua elektroda tersebut dipindahkan seperti lompat kodok (*leap-frogged*) sepanjang jalur yang akan diukur.

2. Metode potensial *amplitude*

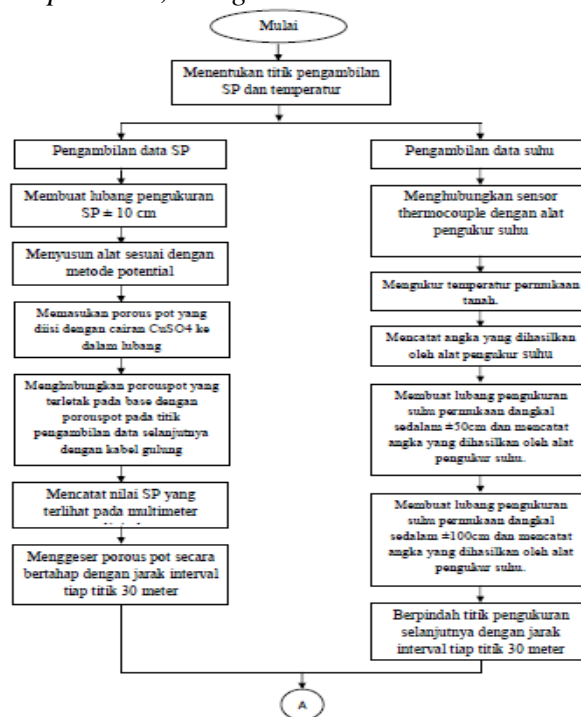
Pada metode potential ampilitude ini satu elektroda disimpan di suatu tempat sebagai titik acuan (*base*), sedangkan elektroda yang lain dipindahkan dengan jarak tertentu sepanjang jalur yang akan diukur.

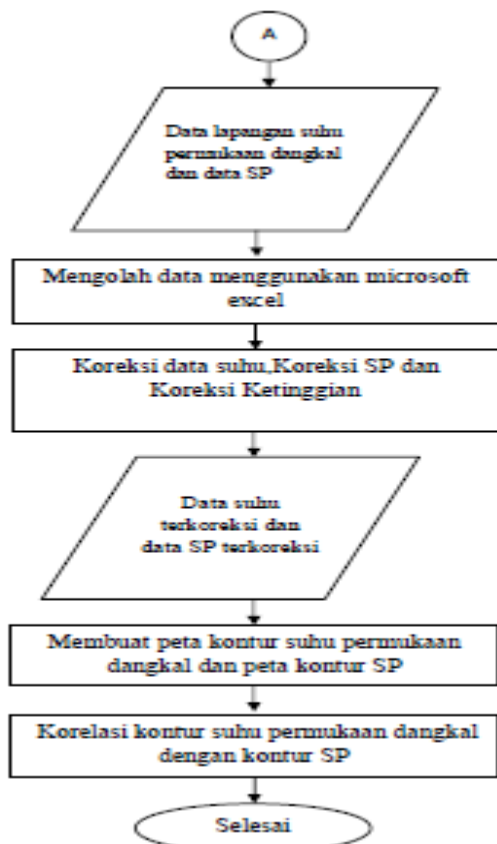
Metode SP sangat murah untuk digunakan dalam eksplorasi geofisika. Metode SP termasuk metode pasif yaitu perbedaan potensial tanah secara alami diukur diantara dua titik di permukaan.

METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian dilaksanakan di daerah Rawa Pening, tepatnya di Desa Doyong sebelah utara Gunung Telomoyo, Jawa Tengah pada bulan Oktober-November 2013

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah Palu, Bor suhu, Bor SP, Peta Topografi, Sensor suhu, GPS, Buku Pencatat data, Multimeter digital, Kabel Gulung, PorousPot. Sedangkan untuk pengolahan data pengukuran dapat dilakukan menggunakan Laptop yang dilengkapi *software Surfer 11, Microsoft Excel, Map Source, Google Earth.*





Gambar 5. Diagram alir penelitian hubungan antara suhu permukaan dangkal dan SP di daerah sistem panas bumi Gunung Telomoyo.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengukuran SP dan suhu permukaan dangkal berada disekitar Desa Doyong area sistem panas bumi Gunung Telomoyo Kabupaten Semarang, Daerah penelitian berada dari zona 49, koordinat 435830,9191219 UTM berarah barat laut sampai zona 49, koordinat 435880,9191311 UTM berarah timur laut dan zona 49, koordinat 435590 9190760 UTM berarah selatan sampai zona 49, koordinat 435770 9191232 UTM berarah barat daya.

Gambar 6. terdapat lintasan daerah pengukuran dimana pada *line 1* mengarah ke bagian timur laut, *line 2* mengarah ke bagian barat daya, *line 3* mengarah ke bagian selatan, dan *line 4* mengarah ke bagian barat laut.

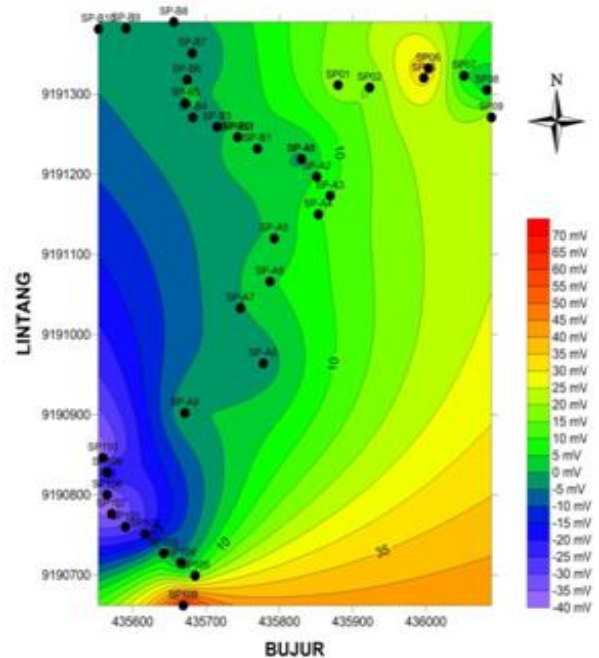
Hasil Spontaneous-Potensial (SP)

Pengambilan data SP dilakukan dengan mengambil 40 titik pengamatan, dengan tiap 10 titik pengamatan dengan arah yang berbeda.



Gambar 6. Daerah Penelitian

Jarak interval pengukurannya adalah 30 meter dari titik ikat. Pengambilan data SP digunakan untuk menentukan daerah anomali yang menunjukkan adanya aliran fluida panas dari sistem hidrotermal. Gambar 7 memperlihatkan nilai SP di daerah gunung telomoyo dengan nilai antara -40mV sampai 70mV dengan nilai rata-rata berkisar 10mV.



Gambar 7. Peta kontur sebaran SP, tanda (•) adalah titik-titik sebaran pengukuran SP

Pada daerah *line 2*, *line 3* dan *line 4* memiliki sebaran nilai SP yang cenderung bernilai negatif. Hal ini mengindikasikan kemungkinan adanya aliran fluida bawah

permukaan dari bagian tengah menuju ke barat daya dan barat laut. Aliran fluida tersebut selain karena efek topografi ternyata sesuai dengan perubahan anomali SP. Hal ini sesuai dengan penelitian yang telah dilakukan [16] bahwa semakin kecil nilai anomali SP (bernilai negatif) maka aliran air ke lokasi itu relatif besar.

Pada daerah *line 1* terdapat sebaran anomali SP bernilai positif yang dikarenakan pada daerah tersebut terdapat suatu rekahan pada struktur bawah permukaan yang mengindikasikan adanya aliran fluida panas pada daerah ini. Hal ini sesuai dengan penelitian [3] yang menjelaskan bahwa sebaran anomali SP yang paling besar terdapat pada daerah rekahan.

Hubungan antara elevasi ketinggian dengan nilai SP sangat berpengaruh mengingat bahwa efek topografi juga mempengaruhi nilai SP.. Pada daerah panas bumi nilai SP akan dipengaruhi efek termoelektrik, dimana daerah yang mengalami arus konveksi akan menunjukkan anomali nilai SP.

Hasil Suhu Permukaan Dangkal

Pengambilan data suhu permukaan dangkal dilakukan dengan mengambil 40 titik pengamatan, dengan tiap 10 titik pengamatan dengan arah yang berbeda. Dan jarak interval pengukurannya adalah 30 meter. Pengambilan data suhu permukaan dangkal bertujuan untuk mengetahui distribusi suhu pada daerah sistem panas bumi Gunung Telomoyo dan hubungan antara perubahan ketinggian dengan temperatur.

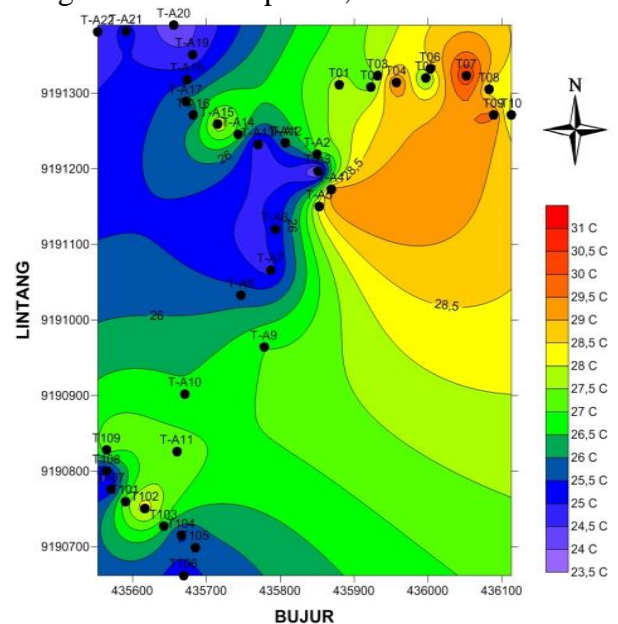
Suhu permukaan dangkal merupakan data suhu yang diperoleh dari sistem panas bumi yang ada dibawah permukaan.

Pengambilan data suhu dilakukan yang pertama dengan pengambilan data suhu pada permukaan tanah sebagai kontrol (Gambar 8). dari hasil peta sebaran tersebut menunjukkan bahwa nilai suhu yang paling tinggi didapatkan pada area *line 1* yang mengarah ke utara-timur laut dengan kisaran suhu mencapai 30°C.

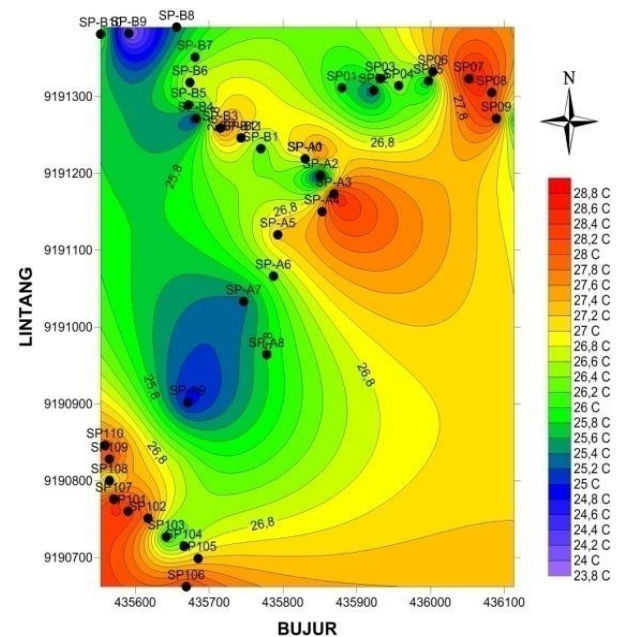
Selanjutnya dilakukan pengambilan data dengan kedalaman 50 cm. Pada (Gambar 9) menunjukkan gambaran kontur suhu dengan kedalaman 50 cm dari permukaan tanah. Nilai

suhu yang didapat dari hasil tersebut antara 23,8°C sampai 28,8°C.

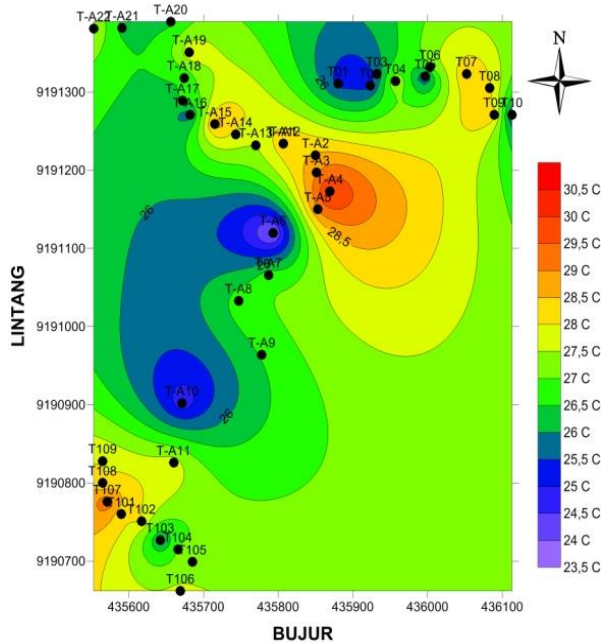
Selanjutnya pada (Gambar 10) terlihat peta kontur sebaran suhu permukaan dangkal dengan kedalaman 100cm. hasil penelitian data ditunjukkan bahwa nilai suhu yang paling tinggi terletak pada *line 3* yang berarah utara dengan suhu mencapai 30,5°C.



Gambar 8. Peta kontur sebaran suhu permukaan dangkal dengan kedalaman 0cm (permukaan tanah).



Gambar 9. Peta kontur sebaran suhu permukaan dangkal dengan kedalaman 50cm.



Gambar 10. Peta kontur sebaran suhu permukaan dangkal dengan kedalaman 100cm.

Peta sebaran distribusi suhu menunjukkan bahwa semakin dalam pengukuran, maka didapatkan nilai suhu yang semakin besar dan adanya aliran fluida menunjukkan pada area *line 1* dan *line ke 3*. Menurut penelitian [13] dan penelitian dari [18] yang menyatakan bahwa hubungan antara ketinggian tempat dengan suhu permukaan dangkal adalah jika ketinggian tempat naik, maka temperatur permukaan dangkal akan berkurang. Hal ini sesuai dengan daerah penelitian pada area *line 3* menuju ke topografi lebih tinggi pada kontur yang ditandai dengan warna biru (Gambar 10) dimana semakin naik maka suhu permukaan dangkalnya berkurang. Berdasarkan aktivitas magmatis kenaikan nilai temperatur pada daerah tersebut kemungkinan diakibatkan oleh proses transformasi fluida. Proses transformasi fluida panas berasal dari reservoir yang mengarah ke permukaan karena adanya perbedaan temperatur.

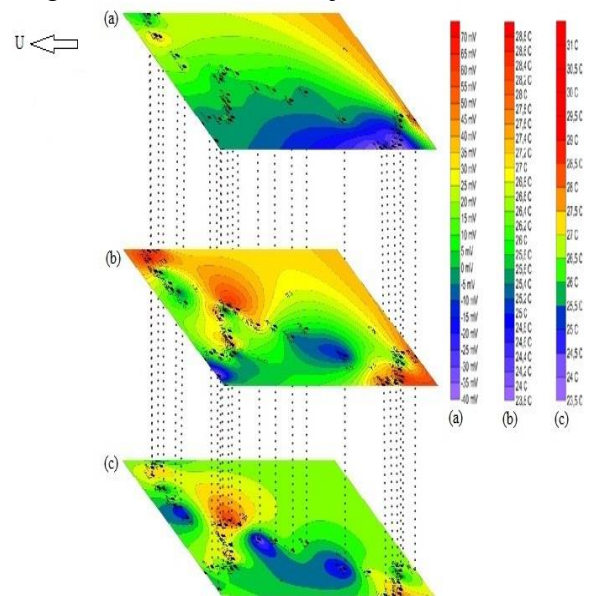
Gambar 11 menunjukkan hubungan dari peta kontur SP dan suhu permukaan dangkal pada kedalaman 50cm dan 100cm.

Pada hasil penampang SP sebaran anomali terletak pada area *line 1* berarah ke timur laut yang bernilai positif.

Pada gambar tersebut menunjukkan bahwa kontur suhu permukaan dangkal pada kedalaman 50 dan 100 cm yang berwarna merah pada penampang tersebut menunjukkan daerah yang memiliki temperatur tinggi, yaitu cenderung pada daerah *line ke 3* yang berarah ke selatan.

Menurut penelitian yang dilakukan oleh [21] hubungan antara nilai SP dan suhu permukaan dangkal adalah makin besar nilai anomali suhu, maka nilai SP juga akan makin besar. Hal ini terlihat pada daerah *line 1* yang pada titik ke 7 terdapat nilai anomali positif pada SP dan suhu permukaan dangkal yang bernilai tinggi.

Pengaruh dari efek topografi menjelaskan bahwa fluida bawah permukaan yang mengalir melalui struktur pada umumnya menaikkan nilai potensial dalam arah aliran fluida. Maka dari itu dapat dijelaskan bahwa pola aliran fluida mengarah dari *line 3* sampai *line 1* dengan arah selatan menuju arah timur laut.



Gambar 11. Overlay peta kontur sebaran SP terhadap peta kontur sebaran suhu permukaan dangkal, (a) kontur sebaran SP, (b) kontur sebaran suhu permukaan dangkal kedalaman 50cm dan 100cm.

50cm, (c) kontur sebaran suhu permukaan dangkal kedalaman 100cm.

KESIMPULAN

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

1. Pola aliran fluida mengarah dari arah selatan menuju ke arah timur laut yang ditunjukkan pada line 3 menuju line 1. Nilai pengukuran dari metode SP antara -40 mV sampai 70 mv. Pengaruh anomali SP adalah efek termoelektrik.
2. Distribusi nilai suhu permukaan dangkal diperoleh antara 23,5°C sampai 31°C. daerah yang semakin tinggi topografinya maka nilai suhu akan semakin berkurang.
3. Hubungan antara suhu permukaan dangkal dan SP terhadap daerah sistem panas bumi di Gunung Telomoyo menunjukkan semakin besar nilai anomali suhu maka semakin besar nilai SP, dimana pada daerah bawah permukaan tersebut diduga adanya pola aliran fluida panas.

SARAN

1. Data aliran fluida dangkal yang didapatkan dari penelitian ini dapat digunakan sebagai informasi awal aliran fluida pada daerah utara Gunung Telomoyo dan untuk mendeteksi letak adanya reservoir pada daerah sistem panas bumi Gunung Telomoyo.
2. Bor suhu dalam penelitian ini dapat digunakan sebagai pembuatan lubang kedalaman suhu permukaan dangkal berkisar 100cm.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Alzwar, M., Samodra. H., dan Tarigan, J.I., 1988, *Pengantar Dasar Ilmu Gunungapi*, Nova, Bandung
- [2]. Bemmelen, V.R.W., 1949, *The Geology of Indonesia*. The Hague Martinus Nijhoff, Vol. IA
- [3]. Corwin, R.F. and Hoover D.B., 1979, *The Self-Potential Method in Geothermal Exploration*, Geophysics Vol.44 P 226-245
- [4]. Daud, Y., 2010, *Introduction to Geothermal System and Technology*, Workshop International Climate Change Wisma Makara , Universitas Indonesia, Jakarta.
- [5]. Fagerlund, F. and Heinson. G., 2003, *Detecting Subsurface Groundwater Flow in Fractured Rock Using Self-potential (SP) Method*, Australia: School of Environmental Sciences, University of Adelaide.
- [6]. Hermawan, D., Sulaeman, B., Mulyadi, E. -. *Penyelidikan Terpadu Geologi Dan Geokimia Daerah Panas Bumi Candi Umbul-Telomoyo, Provinsi Jawa Tengah*. Prosiding Hasil Kegiatan Pusat Sumber Daya Geologi
- [7]. Hermawan, D., dan Rezky, Y. 2011. *Delineasi Daerah Prospek Panas Bumi Berdasarkan Analisis Kelurusan Citra Landsat Di Candi Umbul - Telomoyo, Provinsi Jawa Tengah*. Buletin Sumber Daya Geologi. Volume 6 Nomor 1 – 2011.
- [8]. Hermawan, D., Widodo, S., Mulyadi, E. 2012. *Sistem Panas Bumi Daerah Candi Umbul-Telomoyo Berdasarkan Kajian Geologi Dan Geokimia*. Buletin Sumber Daya Geologi Volume 7 Nomor 1 – 2012.
- [9]. Ilfa, A., 2011. *Studi Korelasi Antara Suhu dan Aliran Fluida terhadap Aktifitas Panas Bumi di Daerah Manifestasi Gedongsongo, Gunung Ungaran Kabupaten Semarang, Jawa Tengah*, Jurusan Fisika FMIPA, Universitas Diponegoro, Semarang
- [10]. Kasbani, 2009, *Tipe Sistem Panas Bumi di Indonesia dan Estimasi Potensi Energinya*, Badan Geologi hal 64-73
- [11]. Kreith, F., Prijono, A., 1997, *Prinsip-prinsip Perpindahan Panas*, Edisi Ketiga, Erlangga, Jakarta
- [12]. 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.

- [13]. Nugraha,S. I.,Udi H.,Indriana R.D.,2008,*Pengukuran Temperatur Permukaan dan Emisi Gas Karbondioksida (CO2) untuk Menkaji Kebolehdian Adanya Panas Bumi di Lereng Utara Gunung Merbabu Jawa Tengah*, Fisika Universitas Diponegoro, Semarang
- [14]. Overbeek, J.T.G., 1952, Electrochemistry of the Double Layer, *Colloid Science*, 1, 115-193.
- [15]. Sato and Money, 1960, *The Electrochemical Mechanism of Sulphida Self Potential*, *Geophysics*, Vol.XXV, p. 226-246.
- [16]. 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*, Unsoed, Purwokerto.
- [17]. Telford, W.M., Gedaart, L.P., Sheriff,R.E., 1990, *Applied Geophysics*,Cambridge, New York.
- [18]. Tim Survei Terpadu Geologi dan Geokimia. 2010. *Laporan Survei Terpadu Geologi dan Geokimia Daerah Panas Bumi Candi Umbul-Telomoyo, Provinsi Jawa Tengah. (unpublished report)*. Bandung : Pusat Sumber Daya Geologi
- [19]. Ulumiyah I.,Supriyadi,Yulianto A.,2013, *Analisis Kelembaban dan Temperatur Permukaan Dangkal di Daerah Gonoharjo*, Unnes Physics Journal, Semarang
- [20]. Utami, P., 1998, *Energi : Energi PanasBumi*, pp 39-42
- [21]. Zlotnicki, J. and Nishida Y.,2003, *Review On Morphological Insight Of Self-Potential Anomalies On Volcanoes*, Survey in Geophysics 24 page 291-338