

Tomografi Geolistrik Daerah Sumber Air Panas Cangar, Batu Kompleks Arjuno-Welirang

Fajar Rakhmanto^{1)*}, Sukir Maryanto¹⁾, Adi Susilo¹⁾

¹⁾ Jurusan Fisika, Fakultas MIPA, Universitas Brawijaya, Malang

Diterima tanggal 13 September 2011, direvisi tanggal 10 Oktober 2011

ABSTRAK

Telah dilakukan penelitian panas bumi Arjuno Welirang Jawa Timur dengan menggunakan tomografi geolistrik resistivitas. Tomografi geolistrik dilakukan dengan VES (Vertical Electrical Sounding) dan Mapping. Akusisi data berjumlah 7 titik VES dan 4 lintasan Mapping terletak melingkupi sumber air panas.

Hasil dari pemodelan geolistrik resistivitas tersebut menunjukkan nilai resistivitas lapisan batuan pembawa fluida (air) panas < 10 Ohm.meter, sementara lapisan pembawa fluida (air) bernilai 10-100 Ohm.meter. Fluida panas tersebut berasal dari arah CR4 dan CR3 yang terletak di selatan dari sumber mata air panas dengan kedalaman 24,7 meter dari permukaan tanah CR3 yang diduga lapisan pasir, dengan lapisan sumber panas berupa batuan lava pada kedalaman 34 meter. Hasil dari pemodelan Mapping yang terdiri dari 4 lintasan menunjukkan disekitar sumber mata air panas terdapat retakan/crack yang diduga sebagai media aliran air panas untuk keluar kepermukaan tanah, tepatnya berada pada CANGAR_LINE1.

Kata kunci: Tomografi, geolistrik, panas bumi, Arjuno-Welirang, Cangar, VES, mapping

ABSTRACT

Have been research geothermal of Arjuno Welirang area of East Java with geoelectric resistivity tomography. Geoelectric tomography was performed by VES (Vertical Electrical Sounding) and Mapping. Acquisition of data totaled 7 points of VES and 4 tracks Mapping was located surrounding the hot springs.

Results of geoelectric resistivity modeling showed the resistivity of rock layers the carrier fluid (water) heat <10 Ohm.meter, while a layer of carrier fluid (water) was worth 10-100 Ohm.meter. The hot fluid coming from the direction of CR4 and CR3 are located in the south from the hot springs with a depth of 24.7 meters from the ground CR 3 (see Figure 5) which alleged a layer of sand, with layers of lava rock in the form of heat source at depth 34 meters. Mapping the results of modeling that consists of 4 tracks show around hot springs artifacts crack / crack is suspected as a medium to hot water flow out of the ground surface, precisely located at CANGAR_LINE1.

Key word: Tomography, geoelectric, geothermal, Arjuno-Welirang, Cangar, VES, Mapping

PENDAHULUAN

Dalam Undang-undang Nomor 27 Tahun 2003, panas bumi didefinisikan sebagai sumber energi panas yang terkandung di dalam

*Corresponding author :
E-mail: phajar.geoub@gmail.com

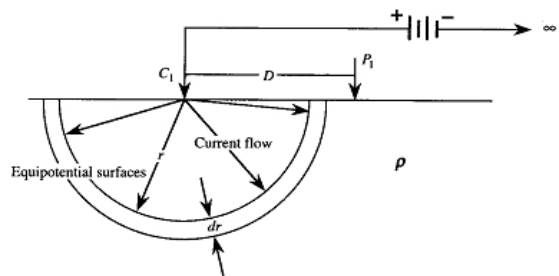
air panas, uap air dan batuan bersama mineral ikutan dan gas lainnya yang secara genetik semuanya tidak dapat dipisahkan dalam suatu sistem panas bumi dan untuk pemanfaatannya diperlukan proses pengembangan [1]. Setiap penurunan 1 km secara vertikal ke perut bumi temperatur naik sebesar 25°–30° C, atau setiap bertambahnya kedalaman sebesar 100 meter temperatur naik sekitar 2,5° sampai 3° C [3].

Pertambahan panas tersebut dikenal sebagai gradien geotermal. Untuk tempat-tempat tertentu di sekitar daerah vulkanik memiliki gradien geotermal dapat lebih besar antara $1^{\circ} - 25^{\circ}\text{C}/100\text{m}$. Reservoir panas bumi diklasifikasikan dalam dua golongan yaitu yang bersuhu rendah ($<150^{\circ}\text{C}$) dan yang bersuhu tinggi ($>150^{\circ}\text{C}$). Untuk sumber pembangkit tenaga listrik dan dikomersialkan adalah yang masuk kategori *high temperature* ($>150^{\circ}\text{C}$). Dengan perkembangan teknologi, sumber panas bumi dengan kategori *low temperature* juga dapat digunakan dengan suhu yang relatif rendah yaitu berkisar antara 50° s/d 250°C [1],[2].

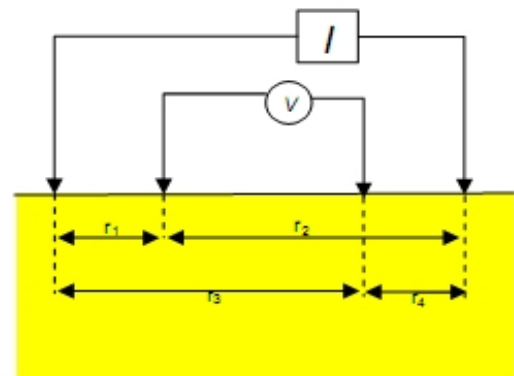
Potensi energi panas bumi yang terdapat di Indonesia diperkirakan 27.441 MW pada tahun 2007. Jumlah masing-masing daerah prospek panas bumi Indonesia antara lain terdapat di 84 daerah Sumatera, 76 daerah di Jawa, 51 daerah di Sulawesi, 21 daerah di Nusa Tenggara, 3 daerah di Irian, 15 daerah di Maluku dan 5 prospek di Kalimantan. Terdapat 159 lokasi (62,1%) daerah panas bumi pada tahap penyelidikan pendahuluan dan 82 lokasi (32,04%) telah disurvei secara rinci melalui eksplorasi permukaan tanpa pengeboran kelandaian suhu. Saat ini Indonesia memproduksi panas bumi sebesar 1.189 MW (4.3%) dari total panas bumi yang dimiliki dan telah dimanfaatkan energinya untuk pembangkit tenaga listrik, dan yang terbesar berada di daerah Jawa Barat yaitu sebesar 1057 MW (20% dari cadangan), kemudian diikuti oleh Jawa Tengah 60 MW, Sulawesi Utara 60 MW dan Sumatera Utara 12 MW [3].

Ditinjau dari sistem panas bumi di Indonesia, reservoir panas bumi ditandai dengan kemunculan gas dan mata air panas. Air panas cenderung berada didalam batuan dengan porositas dan permeabilitas tinggi atau biasa disebut dengan zona permiabel. Nilai anomali resistivitas pada zona permiabel daerah panas bumi mempunyai karakteristik yang cenderung rendah [4]. Hal ini dibuktikan dengan penelitian panas bumi Salavatli [5], panas bumi Jaboi [4], panas bumi Sapuraga [6], panas bumi Oxarfjordur [7]. Nilai resistivitas panas bumi daerah Salavatli menghasilkan nilai anomali resistivitas rendah. Indikasi dari

peta resistivitas, resistivitas rendah 5 ohm m dimulai pada kedalaman 300 m pada area kecil, dan meluas pada kedalaman 500 dan 700 m. Pada panas bumi Negara Mandares, resistivitas 5 ohm m merupakan karakter yang menunjukkan panas bumi. Pengeboran yang ditunjukan pada resistivitas 5-10 ohm m memiliki anomaly panas dengan temperature tinggi dengan panas bumi berupa fluida [5].



Gambar 1. Sumber arus satu titik [8]



Gambar 2. Beda potensial dua elektroda dari dua elektroda sumber arus

Resistivitas (hambatan jenis) batuan adalah daya hambat dari batuan terhadap aliran listrik (kebalikan dari konduktivitas batuan) dengan satuan unit: ohm-meter. Untuk keadaan bumi yang dianggap homogen isotropis, maka bumi mempunyai bentuk setengah simetri bola, besarnya beda potensial merupakan fungsi jarak (r). Satu sumber arus yang mengalir pada medium homogen isotropis seperti yang dijelaskan seperti pada Gambar 1[8], maka nilai V untuk setengah bola dapat diltuliskan

$$V = \frac{I\rho}{2\pi r} \quad (1)$$

Jika terdapat dua arus elektroda dan dua elektroda potensial, maka beda potensial pada P_1 dipengaruhi C_1 dan C_2 dengan jarak r_1 dan r_2 . Hal ini juga terjadi pada titik P_2 yang dipengaruhi arus pada elektroda C_1 dan C_2 dengan jarak r_3 dan r_4 seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.

Beda potensial yang terjadi pada elektroda P_1 dan P_2 adalah:

$$V_{P1} = \frac{I\rho}{2\pi} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) \quad (2)$$

$$V_{P2} = \frac{I\rho}{2\pi} \left(\frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} \right) \quad (3)$$

Beda potensial antara P_1 dan P_2 adalah :

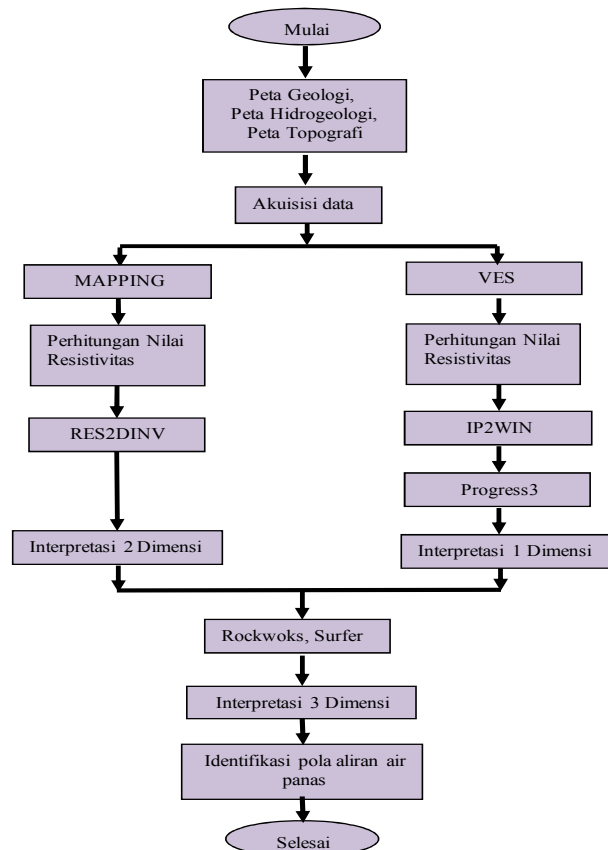
$$\Delta V = \frac{I\rho}{2\pi} \left\{ \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) - \left(\frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} \right) \right\} \quad (4)$$

Terdapat dua jenis akuisisi data pada metode geolistrik resistivitas, yaitu Vertical Electrical Sounding (VES) dan Mapping. VES merupakan gambaran geologi secara vertikal dari nilai resistivitas batuan. VES memberikan informasi detail dari perubahan zona konduktif, nilai resistivitas yang sebenarnya dan ketebalan. Metode ini merupakan metode yang konvensional dan populer digunakan dalam survey geofisika termasuk gas, minyak dan eksplorasi batubara [10],[11]. Selain itu, Mazac dkk (1990) menggunakan teknik *VES* untuk estimasi konduktivitas hidrolik dan tekstur [12],[11] dari stratifikasi soil dan sedimen, sedangkan Barker 1990 mengaplikasikan *VES* untuk mendeteksi timbunan tanah pada kedalaman 40 meter. Metode *VES* mempunyai kelemahan, yaitu tidak akurat untuk ketebalan lapisan soil 3 – 30 cm [11], namun efektif untuk evaluasi bawah permukaan secara vertikal pada umumnya. Mapping merupakan metode untuk menggambarkan bawah permukaan secara horizontal dari nilai resistivitas batuan. Metode ini memiliki resolusi tinggi dalam mendeteksi sebaran geologi secara horizontal, namun kurang detail dalam menggambarkan kondisi geologi secara vertikal.

ERT (Electrical Resistivity Tomography) merupakan bentuk 2D atau 3D dengan resolusi tinggi dari nilai resistivitas geologi bawah

permukaan. ERT merupakan gabungan antara metode *VES* dan Mapping *ERT*. sering digunakan dalam memecahkan masalah geologi, antara lain mengetahui posisi patahan aktif dan pergeseran formasi sebelum menggunakan studi paleoseismologi [13], [14], [15], [16], [17],[18],[19] mengetahui karakteristik zona patahan, mengetahui adanya fluida dan estimasi lebar area yang diselidiki [20],[19], penggambaran dari struktur geologi cekungan sedimentasi [21] dan area vulkanik [22],[23],[19].

METODE PENELITIAN



Gambar 3. Diagram alur penelitian

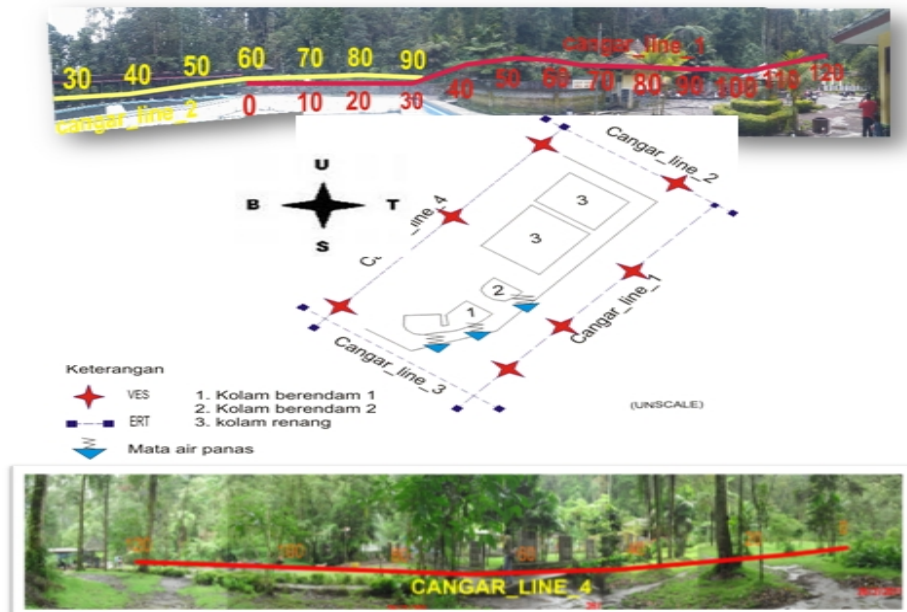
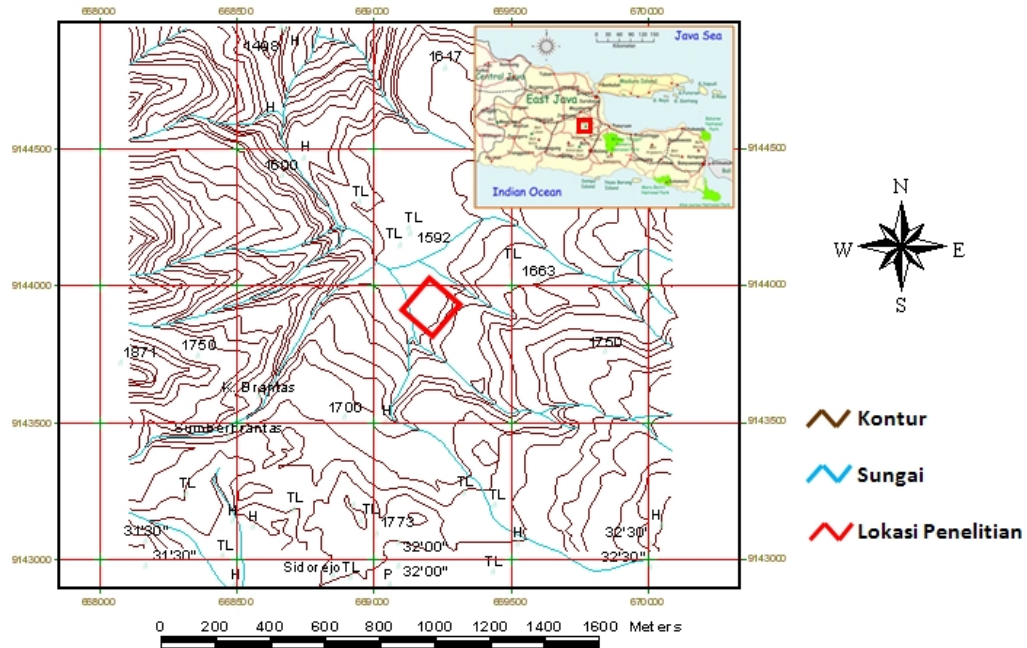
Penelitian dilakukan pada bulan Februari – Mei 2011 bertempat di daerah sumber air panas Cangar desa Tulungrejo Kec. Bumiaji, Kodya Batu dan pengolahan data dilakukan di Laboratorium Geofisika Jurusan Fisika Universitas Brawijaya Malang. Lokasi

penelitian dapat dilihat pada Gambar 4 yaitu terdapat pada wilayah yang ditandai kontak merah.

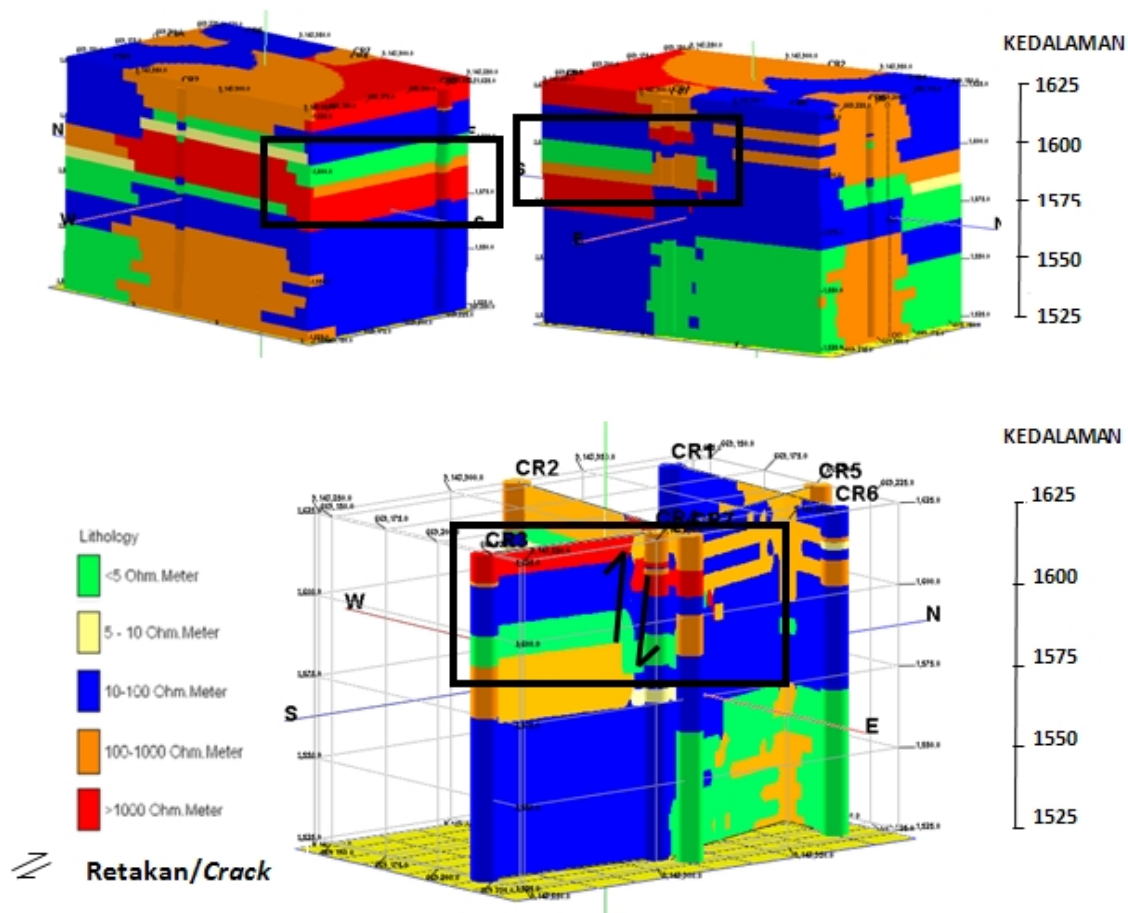
Proses akusisi dilakukan dengan *VES* dan *mapping* dengan konfigurasi Wenner dengan panjang bentangan AB antara 100-150 meter. Jumlah titik *VES* sebanyak 7 titik dan *mapping*

4 line yang tersebar disekitar sumber air panas seperti yang ditunjukkan pada gambar 4. Pada gambar 4 menunjukkan lokasi sumber air panas terbesar terdapat disekitar kolam berendam yang menjadi objek penelitian. Adapun skema penelitian dapat dilihat pada bagan Gambar 3.

PETA LOKASI PENELITIAN



Gambar 4. Lokasi dan Desain Survey Penelitian



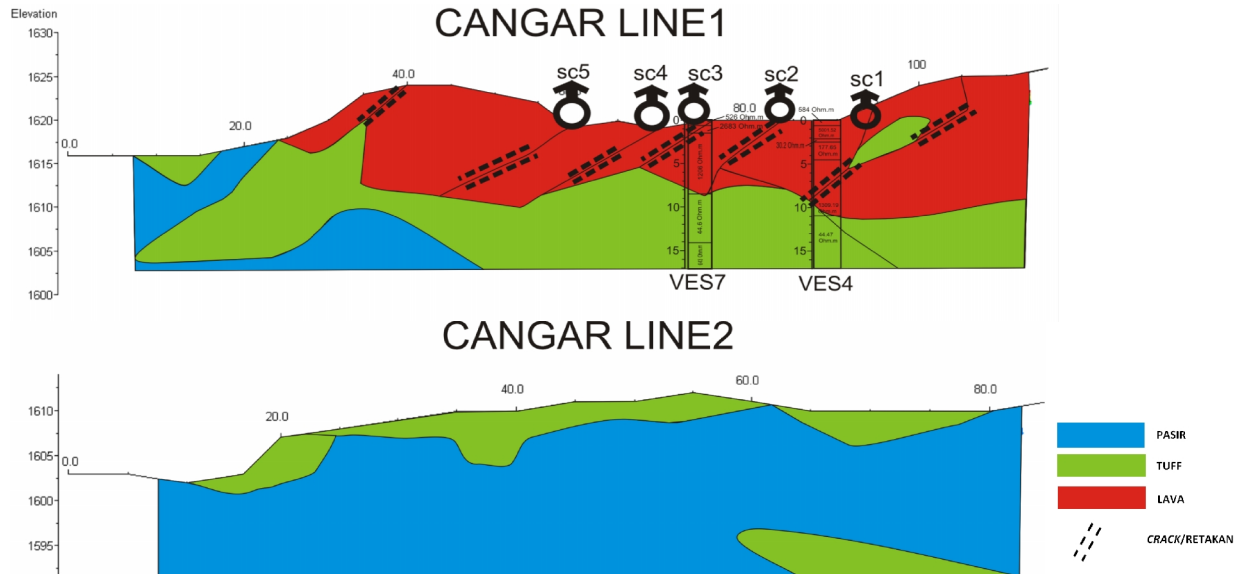
Gambar 5. Model 3 dimensi lapisan batuan daerah sumber mata air panas Cangar

HASIL DAN PEMBAHASAN

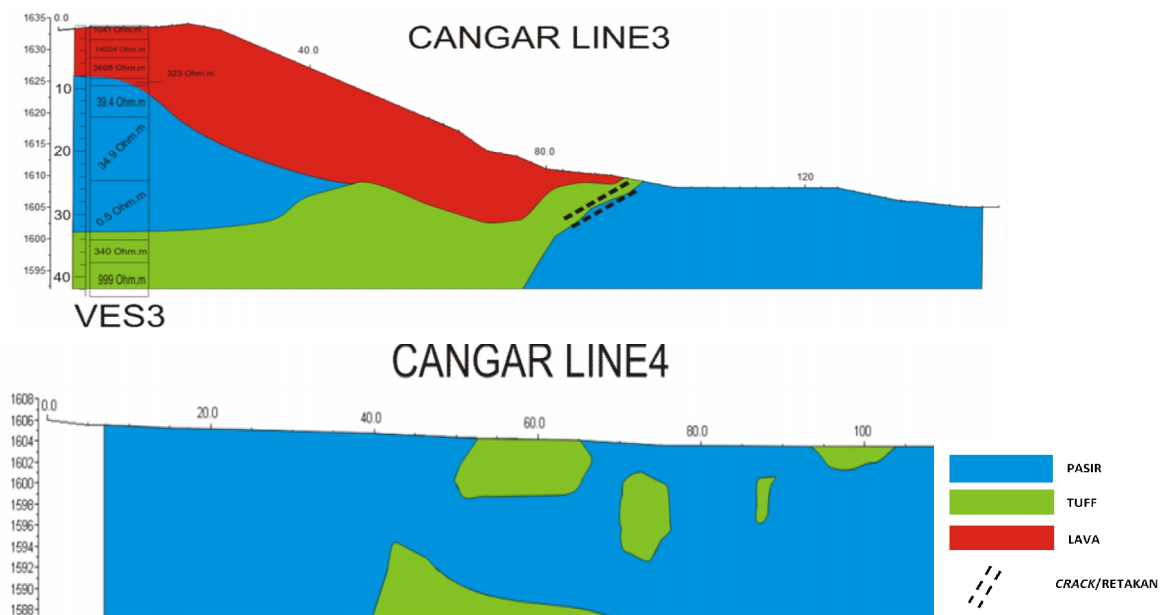
Pemodelan ERT dari titik VES didapatkan bahwa manifestasi fluida panas terdapat disekitar titik CR 3, CR4 dan CR 7 (Gambar 5). Gambar tersebut menunjukkan adanya nilai resistivitas rendah dengan nilai < 5 Ohm.meter pada kedalaman 24.7 meter dari ketinggian CR3 dan 22.6 meter dari ketinggian CR4.

Bersamaan dengan posisi CR 4 dan CR 7 terdapat pula CANGAR_LINE1. Hasil pemodelan CANGAR_LINE1 (Gambar 6) bahwa didaerah tersebut terdapat beberapa retakan/crack pada batuan lava serta terdapat lapisan *tuff* dan sebagian pasir. Pada CANGAR_LINE2 (Gambar 7) menunjukkan sebagian besar lapisan pasir yang tertutup batuan *tuff*. Dimungkinkan pada bagian CANGAR_LINE2 merupakan sisa dari proses

erosi yang terdapat disekitar lereng pegunungan welirang. Hal ini terbukti dengan adanya lapisan batuan lunak seperti pasir dan *tuff* yang tidak terikat oleh batuan lava. Sementara pada CANGAR_LINE3 terdapat pula CR3 yang menunjukkan anomali resistivitas rendah pada kedalaman 24.7 meter dari ketinggian CR3 sedangkan pada CANGAR_LINE3 (Gambar 8) terdapat tiga jenis lapisan batuan dengan perbedaan yang mencolok antara bagian atas dan bawah. Pada bagian atas terdapat lapisan batuan lava, diikuti lapisan pasir dengan bagian dasar berupa *tuff*, sedangkan pada bagian bawah hanya terdapat lapisan pasir. CANGAR_LINE3 menunjukkan gradasi batuan pegunungan Welirang dan hasil sedimentasi dari lereng pegunungan yang didominasi oleh pasir. Hasil sedimentasi dapat dibuktikan dengan gambaran lapisan batuan pada CANGAR_LINE4 (Gambar 9) yang



Gambar 6. Interpretasi mapping Line 1 dan Line 2

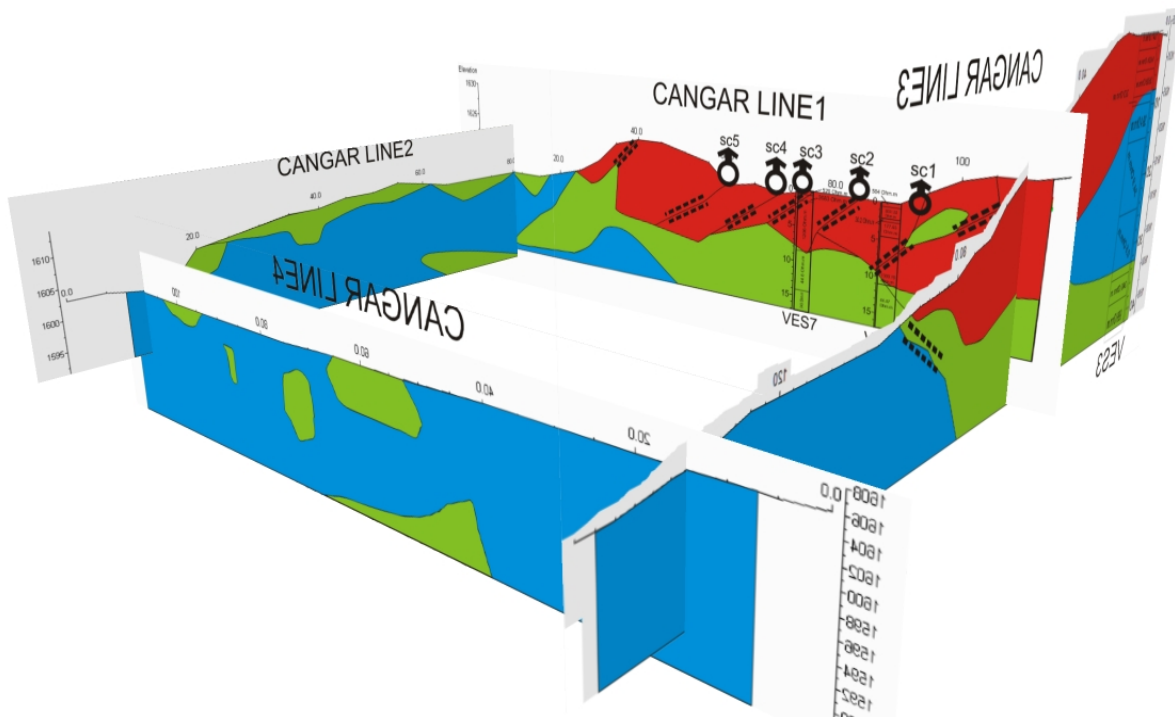


Gambar 7. Interpretasi mapping Line 3 dan Line 4

didominasi batuan pasir dengan sebagian kecil batuan *tuff*.

Keempat gambaran geologi tersebut dapat membentuk model ERT seperti yang ditunjukkan pada gambar 10. Hasil ERT tersebut menunjukkan sebaran batuan lava terdapat dibagian selatan dari daerah penelitian sementara pasir lebih mendominasi dibagian utara. Batuan lava dibagian selatan memiliki

beberapa retakan/*crack* pada bagian permukaan. Dalam batuan beku lava mengandung banyak retakan yang menjadi ruang untuk mengalir fluida (air). Retakan/*crack* tersebut merupakan media saluran air untuk keluar kepermukaan. Air yang terdapat pada lapisan akuifer (pasir) tersebut bersinggungan dengan lapisan lava pembawa energi panas. Persinggungan tersebut



Gambar 8. Interpretasi tomografi hasil pengolahan data geolistrik resistivitas

mengakibatkan perpindahan energi panas dari batuan lava kepada lapisan akuifer (pasir). Sesuai dengan sifat material bahan, dimana bahan dengan suhu lebih tinggi lebih mudah melepaskan mineral-mineral yang terkandungnya, sehingga mineral tersebut

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih yang tak terhingga kepada semua pihak yang telah membantu dalam tercapainya laporan penelitian tesis ini, terutama kepada rekan-rekan fisika tim akusisi geolistrik panas bumi Cangar (Afandi, Badar, Ika, Hana, Agung, Azizi) beserta teman-teman lain yang mungkin tidak tersebut namanya

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Citrosiswoyo, W. 2008. Geothermal: Dapat mengurangi ketergantungan bahan bakar fosil dalam menyediakan listrik negara. [http://www.migas-](http://www.migas-indonesia.com/files/article/Geothermal,Submer_Energi_Masa_Depan.pdf)
- [2] Santoso, D. 2002. *Pengantar Teknik Geofisika*. ITB. Bandung.
- [3] Kasbani, E. S., Dahlan. 2007. *Kesiapan Data Potensi Panas Bumi Indonesia dalam Mendukung Penyiapan Wilayah Kerja*. Pemaparan Hasil kegiatan Lapangan dan Non Lapangan Tahun 2007.
- [4] Suhanto, E. dan Kasbani. 2007. *Delination of Propest Ares and Reservoir Structure of Jaboi Geothermal Area as Mapped from Resistivity Data*. 32th HAGI, 36th IAGI, 29th IATMI Annual Conference and Exhibition Nusa Dua.
- [5] Serpen, U., E. K. and dan N. Aksoy. 2005. *3D Visualization of Geothermal Features*. Proceedings World Geothermal Congress 2005 Antalya, Turkey. 1-6.
- [6] Sugianto, A. dan Bakrun. 2010. *Interpretation of DC Resistivity Data to Recognized Geothermal Prospect at Sampuraga, North Sumatera, Indonesia*.

[indonesia.com/files/article/Geothermal,Submer_Energi_Masa_Depan.pdf](http://www.migas-indonesia.com/files/article/Geothermal,Submer_Energi_Masa_Depan.pdf). Akses tanggal 8 Februari 2011

- Proceedings World Geothermal Congress 2010 25-29 April 2010. Bali, Indonesia. 1-5.
- [7] Karlsdottir, R. dan O. G. Flovenz. 2010. *How the Use of Tem Changed the Resistivity Model of Oxarfjordur Temperature Field from an Earlier Dc Survey - a Case History* Proceedings World Geothermal Congress 2010 25-29 April 2010. Bali, Indonesia. 1-12.
- [8] Anonymous. 2008. *Resistivity Methods: Earth Properties and Basic Theory*. Lab. Geofisika Unibraw. Malang.
- [9] Telford, Geldart dan Sheriff. 1976. *Applied Geophysics 2nd edition*. Cambridge University Press. New York.
- [10] Verma, R. K. dan T. K. Bandyopadhyay. 1983. *Use of the resistivity method in geological mapping*.
- [11] Pozdnyakova, L. 1999. *Electrical Properties of Soils Desertasi*. Department of Renewable Resources. University of Wyoming. Laramie.
- [12] Banton, O., M. K. Seguin dan M. A. Cimon. 1997. *Mapping field-scale physical properties of soil with electrical resistivity*. Soil Science Society of America Journal. 61: 1010-1017.
- [13] Storz, H., W. STORZ dan F. JACOBS. 2000. *Electrical Resistivity Tomography to Investigate Geological Structures of The Earth's Upper Crust*. Geophysical Prospecting. 48: 455-471.
- [14] Suzuki, K., S. Toda, K. Kusunoki, Y. Fujimitsu, T. Mogi dan A. Jomori. 2000. *Case Studies of Electrical and Electromagnetic Methods Applied to Mapping Active Faults Beneath the Thick Quaternary*. Engineering Geology. 56: 29-45.
- [15] Demanet, D., E. Pirard, F. Renardy dan D. Jongmans. 2001. *Application and processing of geophysical images for mapping faults*. Computers & Geosciences. 27: 1031-1037
- [16] Caputo, R., S. Piscitelli, A. Oliveto, E. Rizzo dan V. Lapenna. 2003. *The Use of Electrical Resistivity Tomographies in Active Tectonics: Examples from the Tyrnavos Basin, Greece*. Journal of Geodynamics. 36: 19-35
- [17] Nguyen, F., S. Garambois, D. Jongmans, E. Pirard dan M. H. Loke. 2005. *Image Processing of 2D Resistivity Data for Imaging Faults*. Journal of Applied Geophysics. 57: 260-277.
- [18] Galli, P., V. Bosi, S. Piscitelli, A. Giocoli, V. Scionti, I. J., Earth Sci. (Geol Rundsch), 855-870, doi: dan 10.1007/s00531-005-0066-2. 2006. *Late Holocene Earthquakes in Southern Apennines: Paleoseismology of the Caggiano Fault*. Earth Science Internal Journal. 95: 855-870
- [19] Giocoli, A., C. Magri, p. Vannoli, S. Pascitelli, E. Rizzo, A. Siniscalchi, P. Burrato, C. Basso dan S. D. Nocera. 2008. *Electrical Resistivity Tomography Investigation in the Ufita Valley (Southern Italy)* Annals of Geophysics. 51 (1): 213-223. Februari 2008.
- [20] Diaferia, T., T. Barchi, M. Loddo, D. Schiavone dan A. Siniscalchi. 2006. *Detailed Imaging of Tectonic Structures by Multiscale Earth Resistivity Tomographies: the Colfiorito Normal Faults (Central Italy)*. Geophysical Research Letters: 33.
- [21] Rizzo, E., A. Colella, V. Lapenna dan S. Piscitelli. 2004. *High-resolution Images of The Fault-controlled High Agri Valley Basin (Southern Italy) with Deep and Shallow Electrical Resistivity Tomographies*. Physics and Chemistry of the Earth. 29: 321-327
- [22] Maio, R. D., P. Mauriello, D. Patella, Z. Petrillo, S. Piscitelli dan A. Siniscalchi. 1998. *Electric and Electromagnetic Outline of the Mount Somma-Vesuvius Structural Setting*. Journal Volcanology Geothermal Research. 82 (1-4): 219-238.
- [23] Finizola, A., A. Revil, E. Rizzo, S. Piscitelli, T. Ricci, J. Morin, B. Angeletti, L. Mocochain dan F. Sortino. 2006. *Hydrogeological Insights at Stromboli Volcano (Italy) from Ggeoelectrical, Temperature, and CO2 Soil Degassing Investigations*. Geophysic Research Letter. 33.