

ANALISIS KARAKTERISTIK PANASBUMI DAERAH *OUTFLOW* GUNUNG ARJUNO-WELIRANG BERDASARKAN DATA GEOLOGI, GEOKIMIA, DAN GEOFISIKA (3G)

Ferra Nidya¹, Prof. Dr. Suharno, MS., M.Sc., Ph.D¹, Ahmad Zarkasyi, S.Si, M.T², Asep Sugianto, S.Si²

¹Jurusan Teknik Geofisika Universitas Lampung dan ²Pusat Sumber Daya Geologi Bandung

Abstract - The research has been done to analyzed characteristics of geothermal *outflow* at Mt. Arjuno-Welirang area, based on geology, geochemistry, and geophysics data. Geochemistry data is used to determine type of fluid, temperature of reservoir, and framer of reservoir rocks. Geochemistry data in *outflow* area produces bicarbonate water (HCO_3) with the temperature of reservoir in this area about 145°C to 175°C and the framer of reservoir rock is basaltics. Analysis of characteristics geothermal system components (*caprock* and *reservoir*) based on physical properties i.e. resistivity and density. Resistivity value is resulted from 2D magnetotellurics model and density value is resulted from 3D gravity model. From these results, *impermeable (caprock)* area have a resistivity value about ≤ 10 Ohm.m with curve pattern in which side is thicker and density values is between 1,49 gr/cm³ and 2,4 gr/cm³ with distribution patterns from west to east and the depth of top layer from *caprock* is about 500 to 1000 m, and type of material is secondary clay mineral and controlled by Fault Puncung. For the *permeable (reservoir)* in this area have a resistivity values at between 10 and 60 Ohm.m and density value is between 2,4 gr/cm³ and 2,67 gr/cm³ with the depth about $\geq 1,5$ km and type of material rock is andesit-basaltic lava that produce of old lava bodies Mt.Arjuno-Welirang complex that spread out at west to south which earlier Kuarter age.

Key words: Type of Fluid, Temperature, Reservoir Rock, Resistivity and Density Value.

PENDAHULUAN

Indonesia memiliki sekitar 250 daerah kenampakan panasbumi dengan potensi sekitar 27.000 MWe, yang sebagian besar tersebar sepanjang jalur gunungapi Sunda-Banda yang terentang mulai dari Sumatera, Jawa, Bali, Nusatenggara, Banda, Maluku, Sulawesi Utara dan kepulauan Sangir.

Gunung Arjuno-Welirang yang terletak di provinsi Jawa Timur dan berjenis *stratovolcano* dengan ketinggian yaitu 3,339 m (10,955 ft) untuk Arjuno dan 3,156 m untuk Welirang.

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui kondisi sistem panasbumi daerah *outflow* yang terdiri dari komposisi fluida, temperatur reservoir dan pendugaan batuan reservoir

berdasarkan pengolahan data geokimia.

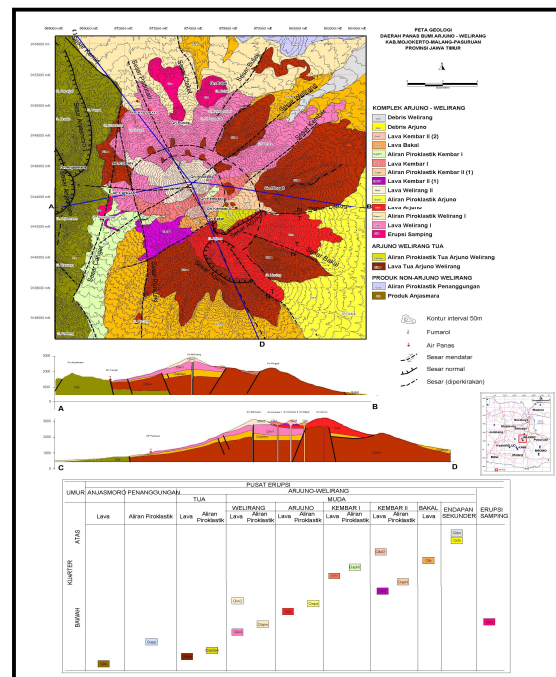
2. Menganalisis komponen penyusun panasbumi yaitu *caprock* dan *reservoir* berdasarkan sifat fisika dari hasil model inversi 2D magnetotellurik dan model inversi 3D gravity
3. Membuat model konseptual sistem panasbumi daerah *outflow* Gunung Arjuno-Welirang

GEOLOGI REGIONAL

Hampir seluruh daerah panasbumi Gunung Arjuno-Welirang merupakan batuan produk vulkanik Kuartir. Beberapa produk gunungapi di daerah ini terdiri dari aliran lava dan piroklastik. Komponen stratigrafi dan struktur geologi diperlihatkan pada Gambar 1.

Struktur geologi yang berkembang di daerah ini cukup kompleks diantaranya berupa sesar normal, sesar mendatar, rim kaldera, dan amblasan. Sesar-sesar ini secara umum memotong kompleks Gunung Arjuno-Welirang dan berarah utara selatan, baratlaut-tenggara, baratdaya timurlaut, dan barat-timur. Rim kaldera terletak bagian tengah kompleks Gunung Arjuno-Welirang, sedangkan sektor amblasan berada di bagian selatan puncak

Gunung Arjuno-Welirang dengan bukaan ke arah tenggara dan timurlaut.



Gambar 1. Peta geologi daerah panasbumi kompleks Gunung Arjuno-Welirang (Tim Survey Geologi PSDG, 2010)

DATA DAN METODA

A. Data

Data yang diolah pada penelitian ini adalah data geokimia dan geofisika. Data geokimia terdiri dari data hasil analisis contoh air dan hasil analisis gas. Data geofisika yang diolah yaitu data magnetotellurik dan gravity. Selain kedua data tersebut digunakan juga data pendukung yaitu Peta Geologi.

B. Metoda

1. Geokimia

Data hasil analisis contoh air dan hasil analisis gas diolah kemudian di plot pada diagram ternary setelah itu dilakukan proses perhitungan pendugaan temperatur bawah permukaan dengan menggunakan geotermometer air dan geotermometer gas.

2. Magnetotellurik

Input data berupa data *Raw Time Series*, *Calibration*, dan *Site Parameter*. Kemudian data tersebut diolah dengan menggunakan software SSMT2000 dengan output data yaitu resistivitas semu dan fasa yang berbanding dengan frekuensi tinggi dan rendah. Kemudian dilanjutkan dengan menggunakan software MT-Editor yang digunakan untuk memperbaiki data. Output dari software ini adalah kurva resistivitas semu dan fasa hasil *smoothing* serta data dalam format EDI file (.EDI) lalu dilanjutkan proses pemodelan dengan software WinGLink dengan beberapa langkah yaitu membuat *database properties*, membuat *project*, *sounding* dan *smoothing*, membuat *maps*, lalu running inversi dengan menggunakan parameter inversi yaitu tau, data *smoothing* TE&TM, *error floor* fase dan rho untuk TE&TM dengan iterasi sebanyak 100 kali. Output program ini adalah model 2D

3. Gayabarat (Gravity)

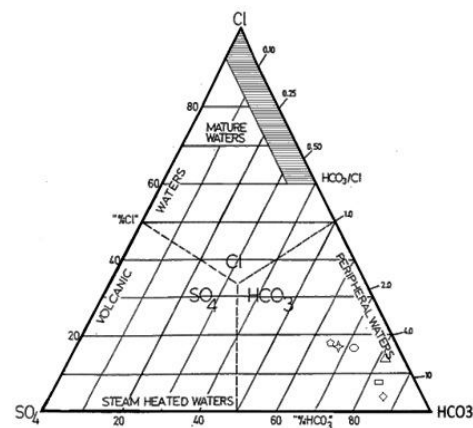
Proses *grid* data anomali bouguer lengkap lalu membuat peta kontur Anomaly

Bouguer Lengkap dengan menggunakan software Surfer 2010, setelah itu dilakukan proses pemodelan dengan cara membuat *grav observation* dan *mesh* sebagai input data lalu dilakukan proses *running* dengan menggunakan software Grav3D kemudian input data topografi daerah penelitian.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Geokimia

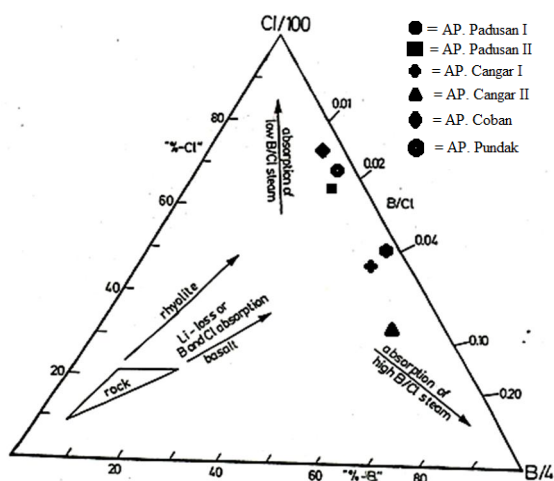
Dari hasil dan analisis geokimia menggunakan geoindikator dan geotermometer maka :



Gambar 2. Diagram ternary geoindikator Cl-SO₄-HCO₃

Berdasarkan diagram ternary Cl-SO₄-HCO₃ pada Gambar 2 untuk tipe fluida air panas yang terdapat pada daerah penelitian yaitu tipe fluida air panas bikarbonat. Hal ini dikarenakan dari hasil analisis kimia diketahui bahwa unsur HCO₃ (bikarbonat) merupakan unsur yang paling dominan (anion utama) dan mengandung gas CO₂. Pada sistem yang di dominasi oleh batuan

vulkanik, air HCO_3 umumnya terbentuk di daerah marginal dan dekat permukaan, dimana gas CO_2 bersama dengan uap air terkondensasi ke dalam air tanah, kondensasi uap tersebut dapat memanaskan air tanah atau terpanaskan oleh uap (*steam heated*) sehingga membentuk larutan HCO_3 . Air HCO_3 terbentuk di bawah muka air tanah dan umumnya bersifat asam lemah, tetapi dengan hilangnya CO_2 terlarut, derajat keasaman air ini dapat meningkat menjadi netral atau sedikit basa.

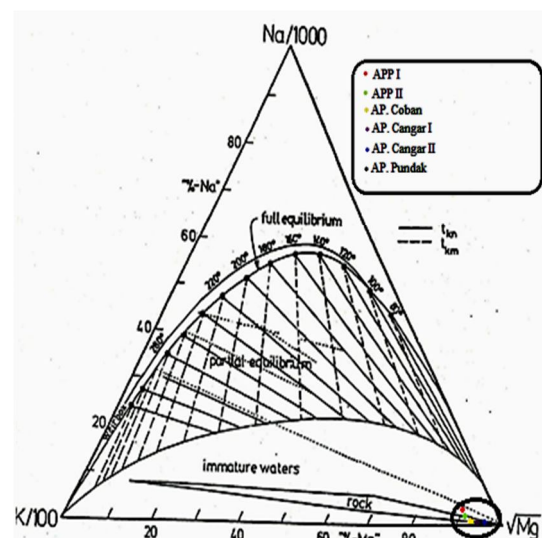


Gambar 3. Diagram ternary geoindikator Cl/100–Li-B/4

Berdasarkan Gambar 3 diagram ternary geoindikator Cl/100–Li-B/4 untuk pola aliran air panas dan proses bawah permukaan berdasarkan hasil pengeplotan pada Gambar 3 menunjukkan bahwa air panas pada lokasi penelitian dan sekitarnya mempunyai nilai perbandingan B/Cl, Li/Cl dan Li/B yang sangat rendah.

Hal ini menandakan bahwa air panas di daerah penelitian umumnya merupakan aliran ke samping atau *outflow* (Ninieki dan Tri, 2007)

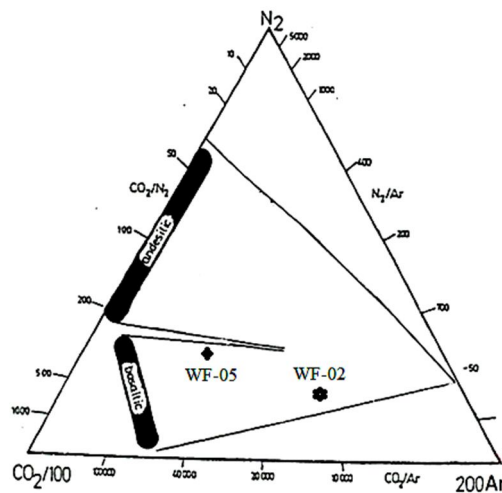
Berdasarkan diagram ternary geoindikator Na–K–Mg pada Gambar 4 maka semua mata air panas terletak pada *immature water*. Kondisi *immature water* ini menunjukkan bahwa adanya pengaruh air permukaan (*metoric water*) yang tercampur dengan fluida panas pada pembentukan mata air panas. Selain itu air panas dipengaruhi interaksi antara fluida dengan batuan dalam keadaan panas.



Gambar 4. Diagram ternary geoindikator Na–K–Mg

Berdasarkan diagram ternary pada Gambar 5 dapat dilihat bahwa manifestasi WF-02 dan WF-08 termasuk kedalam zona basalt, hal ini dikarenakan konsentrasi unsur CO_2 relatif lebih tinggi. Tipe batuan

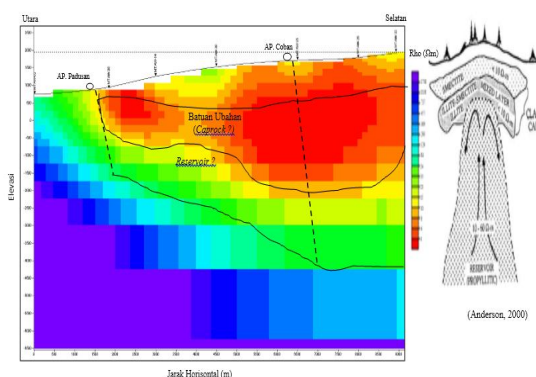
reservoir berdasarkan hasil plotting pada diagram ternary adalah batuan basalt.



Gambar 5. Diagram ternary geointikator CO₂/N₂, N₂/Ar dan CO₂/Ar

Dari perhitungan dengan menggunakan beberapa jenis geotermometer maka untuk pendugaan suhu reservoir di daerah *outflow* ini kemungkinan berkisar antara 145°C s.d 175°C.

2. Magnetotellurik



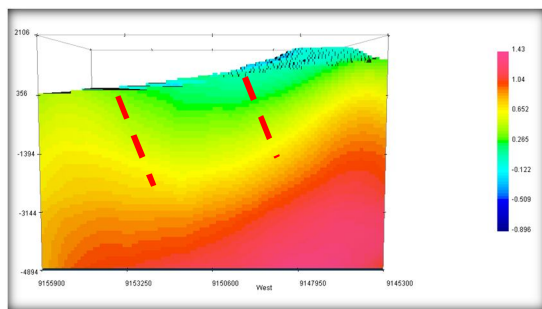
Gambar 6. Penampang resistivitas bawah permukaan

Berdasarkan hasil pemodelan 2D pada Gambar 6 dan kondisi geologi maka nilai tahanan jenis batuan (Anderson et al. 2000) hasil pemodelan 2D MT dapat ditafsirkan sebagai berikut: lapisan batuan dengan nilai resistivitas (sekitar $\leq \pm 10$ Ohm.m) mempunyai pola melengkung dimana sisinya lebih tebal dibandingkan bagian tengahnya (warna orange-merah) yang berasosiasi dengan lapisan batuan berupa lava basal yang terdiri dari mineral lempung sekunder hasil ubahan (*alteration*) akibat interaksi fluida dengan batuan yang dilewati. Mineral lempung sekunder yang membentuk lapisan penutup pada lokasi penelitian ini adalah mineral *montmorilonit* yang diakibatkan pengaruh fluida panas pada daerah ubahan sekitar Gunung Pundak, sehingga diduga lapisan ini merupakan *caprock* (batuan penutup) yang *impermeable*. Daerah *impermeable* ini juga dipengaruhi oleh sesar berarah barat laut – tenggara yaitu Sesar Kemiri dan mengontrol munculnya manifestasi mata Air Panas Padusan.

Lapisan batuan dengan nilai resistivitas antara ± 10 s.d 60 Ohm.m (warna kuning sampai hijau) kemungkinan berasosiasi dengan batuan lava andesit-basaltis pada bagian selatan, dimana untuk litologi ini merupakan produk dari tubuh lava tua kompleks Gunung Arjuno-Welirang yang tersebar di bagian barat s.d selatan yang

berumur kuartar awal. Untuk pembentukan reservoir pada daerah ini dipengaruhi oleh manifestasi Air Panas Padusan, dimana kandungan konsentrasi Cl tinggi pada hasil analisis kimia air sehingga diindikasikan adanya hubungan langsung dengan reservoir dan zona *permeable*.

3. Gayaberat (Gravity)

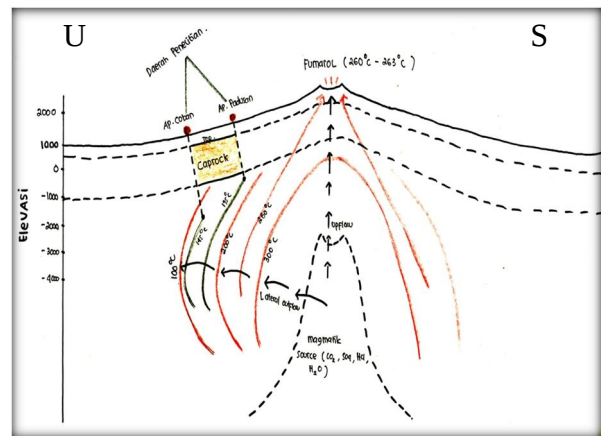


Gambar 7. Hasil model inversi 3D gravity

Berdasarkan Gambar 7 dan mengacu pada nilai resistivitas dari hasil pemodelan 2D magnetotellurik maka nilai densitas *caprock* yaitu $1,49 \text{ gr/cm}^3$ s.d $2,4 \text{ gr/cm}^3$ berada pada kedalaman 900 m sampai dengan 2100 m DBMTS dengan tipe material yaitu lempung (*clay*) dan *reservoir* berada pada densitas $2,4 \text{ gr/cm}^3$ s.d $3,0 \text{ gr/cm}^3$ berada pada kedalaman sekitar $\geq 1,5 \text{ km}$ DBMTS dengan tipe batuan material yaitu lava basaltis.

Dari hasil analisis sifat fisis berdasarkan nilai resistivitas dan nilai densitas serta hasil pendugaan suhu reservoir maka dapat dibuat model konsep sistem panasbumi

daerah topografi tinggi seperti diperlihatkan pada Gambar 8.



Gambar 8. Model sistem panasbumi daerah *outflow* Gunung Arjuno-Welirang

KESIMPULAN

Adapun kesimpulan dari penelitian ini adalah:

1. Berdasarkan hasil analisis geokimia untuk daerah *outflow* maka jenis fluida adalah air bikarbonat (HCO_3) dengan suhu reservoir kemungkinan berkisar antara 145°C s.d 175°C dan diduga batuan penyusun reservoir yaitu batuan basal.
2. Berdasarkan hasil analisis komponen panasbumi (*caprock* dan *reservoir*) terhadap sifat fisika yaitu nilai resistivitas dan densitas menunjukkan bahwa:
 - a. Daerah *impermeable* (*caprock*) daerah penelitian berada pada nilai resistivitas yaitu sekitar $\leq \pm 10 \text{ Ohm.m}$

dengan pola melengkung dimana sisinya lebih tebal dan nilai densitas sekitar $1,49 \text{ gr/cm}^3$ s.d $2,4 \text{ gr/cm}^3$ dengan pola persebaran dari arah barat menuju arah timur. Untuk lapisan top pada *caprock* daerah ini kemungkinan berada pada kedalaman ± 500 hingga kedalaman 1000 m dengan komponen mineral lempung sekunder serta dikontrol oleh Sesar Puncung .

- b. Untuk daerah *permeable (reservoir)* panasbumi berada pada nilai resistivitas yaitu antara ± 10 s.d 60 Ohm.m dan nilai densitas sekitar $2,4 \text{ gr/cm}^3$ s.d $2,67 \text{ gr/cm}^3$ dengan kedalaman reservoir sekitar $\geq 1,5 \text{ km}$ dan tipe batuan yaitu lava andesit-basaltis produk dari tubuh lava tua komplek Gunung Arjuno-Welirang yang tersebar di bagian barat sampai ke selatan yang berumur kuartar awal.
3. Untuk model konseptual sistem panasbumi daerah *outflow* Gunung Arjuno-Welirang ditunjukkan pada Gambar 8.

UCAPAN TERIMA KASIH

saya mengucapkan terima kasih terutama kepada keluarga yang selalu mendo'akan, kepada Pak Suharno, Pak Reza dan Pak Asep yang telah meluangkan waktu untuk membimbing di dalam penyelesaian penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Andórson S., D'Amore F., and Gerardo J. 2000. Isotopic and chemical techniques in geothermal exploration (ed. S. Arnórsson). Vienna, *International Atomic Energy Agency*. 351p.
- Giggenbach and Goguel. 1989. *Chemical Techniques in Geothermal Exploration*. Chemistry Division, DSIR, Private Bag. New Zealand.
- Hochstein, M.P. dan Browne, P.R.L. 2000. Surface Manifestation of Geothermal Systems with Volcanic Heat Sources, In *Encyclopedia of Volcanoes*, H. Sigurdsson, B.F.. Houghton, S.R., McNutt, H., Rymer dan J. Stix (eds.), Academic Press.
- Ninie, R.H dan Tri J. 2007. Hidrologi Air Panasbumi Daerah Cidanau dan Sekitarnya, Anyer, Provinsi Banten Berdasarkan Manifestasi Permukaan *Jurnal Geoaplika*, vol.2, no.3, hlm.105-119.
- Telford, W. M., Geldart, L. P., Sheriff, R.E., and Keys, D. A. 1990. *Applied Geophysics*, Cambridge University Press. London
- Tim Survey Terpadu Geologi dan Geokimia PSDG, 2010. Laporan Akhir Survey Geologi Dan Geokimia Daerah Panas bumi Arjuno-Welirang Kabupaten Mojokerto dan Malang Provinsi Jawa Timur. (Laporan Akhir). Bandung