

ESTIMASI KONDUKTIVITAS TERMAL LAPISAN BATUAN MENGGUNAKAN METODE SEISMIK REFRAKSI DI AREA PANASBUMI BORA KABUPATEN SIGI

Aina Mardia¹⁾, Rustan Effendi¹⁾, Abdullah¹⁾

¹⁾ Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Tadulako

Email: ainamardia899@gmail.com

ABSTRAK

Telah dilakukan Estimasi Konduktivitas Termal Batuan dengan menggunakan metode seismik pada area panasbumi Bora, di Desa Bora, Kecamatan Sigi Biromaru, Kabupaten Sigi. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui sebaran konduktivitas termal batuan. Pengukuran kecepatan gelombang menggunakan 12 *geophone* dengan melakukan pengukuran pada 5 lintasan. Hasil yang diperoleh memberikan nilai kecepatan rambat gelombang dan sebaran konduktivitas termal batuan bawah permukaan di lokasi penelitian. Kecepatan rambat gelombang pada masing-masing lintasan 1, 2, 3, 4, dan 5 berturut-turut adalah 389-858 m/s, 178-530 m/s, 221-660 m/s, 340-688 m/s, dan 314-815 m/s. Nilai sebaran konduktivitas termal batuan berkisar antara 0,075 W/m^oK sampai 0,113 W/m^oK. Tinggi rendahnya nilai konduktivitas termal batuan dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti keberadaan alterasi, serta manifestasi air panas atau tempat keluarnya uap panas.

Kata Kunci: *Metode Seismik Refraksi, Konduktivitas Termal Batuan, Panasbumi.*

ABSTRACT

Estimation of Rock Thermal Conductivity has been carried out using the seismic method in the Bora geothermal area, in Bora Village, Sigi Biromaru Sub-District, Sigi District. The purpose of this study was to determine the distribution of rock thermal conductivity. Wave velocity measurement uses 12 *geophone* by doing measurements on 5 tracks. The results obtained provide wave velocity velocity and distribution of subsurface rock thermal conductivity at the study site. Wave propagation velocity in tracks 1, 2, 3, 4, and 5 tracks respectively is 389-858 m/s, 178-530 m/s, 221-660 m/s, 340-688 m/s, and 314-815 m/s. The distribution of rock thermal conductivity ranges from 0.075 W/m^oK to 0.113 W/m^oK. The high and low values of thermal conductivity of rocks are influenced by several factors such as the existence of alteration, as well as manifestations of hot water or hot steam discharge.

Keywords: *Refraction Seismic Method, Rock Thermal Conductivity, Geothermal.*

I. PENDAHULUAN

Provinsi Sulawesi Tengah memiliki sumberdaya panasbumi nonvolkanik yang melipah. Daerah ini menyimpan potensi panasbumi yang tersebar di berbagai tempat, salah satunya adalah sumber panasbumi yang terdapat di Desa Bora, Kecamatan Sigi Biromaru, Kabupaten Sigi. Hal ini dibuktikan dengan adanya manifestasi panasbumi berupa mata air panas. Di lokasi manifestasi panasbumi tersebut, air panas keluar dari bawah permukaan ke atas permukaan tanah melalui rekahan batuan yang terhubung dengan wadah air panas. Wadah tersebut dikenal sebagai reservoir panasbumi yang merupakan tempat terkumpulnya fluida, misalnya air panas.

Panasbumi (*geothermal*) merupakan sumber energi panas yang sangat potensial untuk dikembangkan sebagai energi alternatif untuk memenuhi kebutuhan manusia. Energi panasbumi juga merupakan energi yang terbarukan dan ramah lingkungan. Energi panasbumi berasal dari magma yang ada di dalam bumi. Karena adanya proses konveksi (perambatan melalui fluida) maupun konduksi (perambatan melalui batuan) yang berasal dari energi panas yang ada didalam bumi maka akan muncul ke permukaan berupa air panas atau uap panas. Panasbumi banyak dimanfaatkan sebagai pembangkit listrik tenaga uap maupun sebagai tenaga pariwisata dan pertanian (Broto dkk., 2011).

Konduktivitas termal adalah suatu besaran intensif bahan yang menunjukkan kemampuannya untuk menghantarkan panas. Setiap batuan memiliki tingkat konduktivitas yang berbeda-beda tergantung dari struktur batuanya. Data konduktivitas, resistivitas, dan suhu berperan penting dalam suatu sistem panasbumi. Pada sistem panas bumi, konduktivitas atau konduksi digunakan untuk menghantarkan panas yang melewati batuan dari batuan sumber panas melalui lapisan batuan impermeable hingga ke permukaan. Konduktivitas termal batuan mengindikasikan seberapa cepat panas dalam reservoir mengalir sampai ke permukaan bumi. Tinggi rendahnya nilai konduktivitas termal batuan dapat dimanfaatkan untuk menentukan potensi reservoir dari panas bumi sebagai energi panas bumi baru (Endovani, 2016).

Sistem panasbumi dapat ditentukan dengan dasar estimasi parameter terbatas, untuk dibuktikan menjadi potensi cadangan. Parameter terbatas antara lain struktur geologi, vulkanis, umur batuan, jenis batuan, sifat fluida, parameter fisis batuan dan struktur bawah permukaan dari sistem panasbumi. Estimasi potensi panasbumi didasarkan pada kajian ilmu geologi, geokimia, dan geofisika (Wahyu, 2013).

Perambatan gelombang seismik ini bergantung pada sifat elastisitas batuan. Gelombang seismik dapat ditimbulkan dengan dua metode yaitu metode aktif dan metode pasif. Metode

aktif adalah metode penimbulkan gelombang seismik secara aktif atau disengaja menggunakan gangguan yang dibuat oleh manusia, biasanya digunakan untuk eksplorasi. Metode pasif adalah gangguan yang muncul terjadi secara alamiah, contohnya gempa. Gelombang seismik termasuk dalam gelombang elastik karena medium yang dilalui yaitu bumi bersifat elastik. Oleh karena itu sifat penjalaran gelombang seismik bergantung pada elastisitas batuan yang dilewatinya (Telford, *et al.* 1990).

Gelombang seismik adalah gelombang elastik yang merambat dalam bumi. Bumi sebagai medium gelombang terdiri dari beberapa lapisan batuan yang antar satu lapisan dengan lapisan lainnya mempunyai sifat fisis yang berbeda. Ketidakkontinuan sifat medium ini menyebabkan gelombang seismik yang merambatkan sebagian energinya akan diteruskan ke medium dibawahnya (Telford, 1990).

Berdasarkan arah getarnya, gelombang seismik dibedakan menjadi dua tipe yaitu:

- a. Gelombang longitudinal adalah gelombang yang arah getarnya searah dengan arah penjalaran gelombangnya. Gelombang ini disebut juga gelombang-P karena datang paling awal dibanding dengan gelombang-gelombang yang lain.
- b. Gelombang transversal adalah gelombang yang arah getarnya tegak lurus terhadap arah penjalarnya. Gelombang ini disebut

juga gelombang-S karena datangnya setelah gelombang-P.

Gelombang primer dan gelombang sekunder memiliki persamaan kecepatan seperti berikut:

$$\alpha = \{(\lambda + 2\mu) / \rho\}^{1/2} \quad (1)$$

$$\beta = (\mu/\rho)^{1/2} \quad (2)$$

Bagian mendasar dari metode seismik refraksi adalah tembakan gelombang refraksi yang kembali ke *geophone*. Panjang dari jarak antar *geophone* yang saling berhubungan dari setiap akhir tembakan, didominasi dengan jarak yang cukup besar (Telford, *et al.*, 1990).

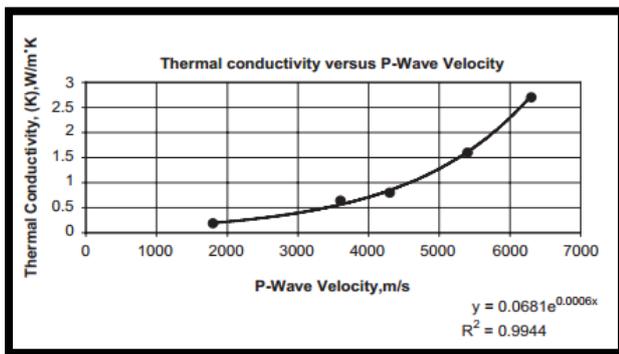
Konduktivitas panas adalah sifat termal suatu benda untuk merambatkan panas dalam suatu unit waktu melalui luas penampang tertentu yang diakibatkan oleh adanya perbedaan suhu (Jangam dan Mujumdar, 2010). Menurut Raina (1993), nilai konduktivitas batuan sekitar 0,05 W/m°C sampai 3,0 W/m°C.

Hubungan dasar untuk perpindahan panas dengan cara konduksi dikemukakan oleh ilmuwan Prancis J.B.J Fourier. Hubungan ini menyatakan bahwa laju aliran panas dengan cara konduksi dalam suatu bahan sama dengan hasil kali dari tiga buah besaran, yaitu:

- a. Konduktivitas termal bahan (k).
- b. Luas penampang melalui magma panas mengalir dengan cara konduksi, yang harus diukur secara tegak lurus terhadap arah aliran panas (A).

c. Gradien suhu pada penampang tersebut yaitu laju perubahan suhu T terhadap jarak dalam arah aliran panas ($\frac{\partial T}{\partial z}$).

Menurut Ozkahraman (2004), hubungan konduktivitas termal terhadap kecepatan gelombang-P memiliki korelasi $R^2 = 0,9944$ hal ini bahwa untuk konduktivitas termal batuan apapun dapat mudah dihitung.



Gambar 1. Grafik hubungan konduktivitas termal terhadap kecepatan gelombang-P (Ozkahraman,2004).

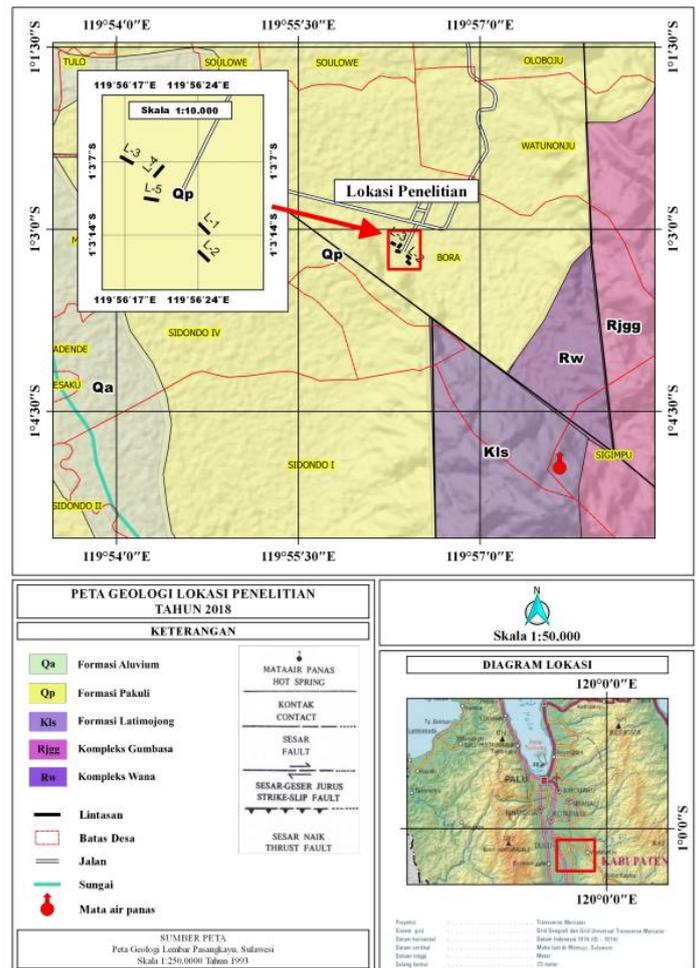
Nilai konduktivitas termal batuan diperoleh dengan memasukkan nilai kecepatan gelombang-P pada persamaan (1).

$$Y = 0,0681e^{0,0006x} \tag{3}$$

II. METODE PENELITIAN

Lokasi Penelitian

Lokasi Penelitian ini berada di Desa Bora Kecamatan Sigi Biromaru Kabupaten Sigi Propinsi Sulawesi Tengah. Adapun koordinat wilayah penelitian ini berada pada 119° 54' 0" - 119° 55' 30" BT dan 1° 1' 30" - 1° 3' 0" LS.



Gambar 2. Peta Geologi Lokasi Penelitian

Alat dan Bahan

- Geometry ES-3000.
- Detektor geophone 12 buah .
- Kabel penghubung (trigger, extension, conector).
- Palu.
- Papan landasan.
- Sumber arus (accu).
- Roll meter (100 m).
- Global Positioning System (GPS).
- Kompas.
- Laptop.
- Peta geologi lembar pasang kayu.

1. Alat tulis menulis.

Pengolahan Data

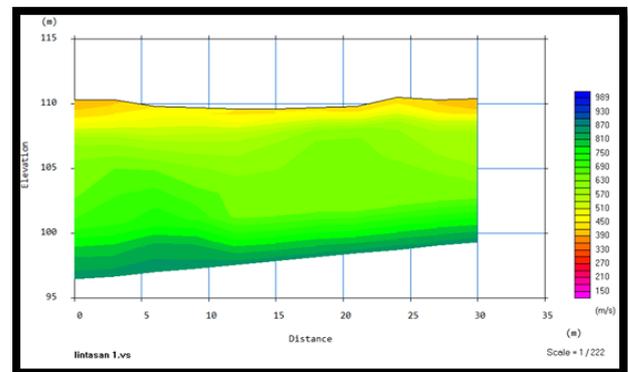
Adapun prosedur pengolahan data dan interpretasi data adalah sebagai berikut:

- a. Data yang terekam dilaptop, kemudian disimpan kedalam folder.
- b. Memilih beberapa data yang terbaik untuk setiap lintasan.
- c. Mengolah data menggunakan *software Pickwin* untuk mendapatkan garfik *travel time* yang menggambarkan hubungan antara waktu penjalaran gelombang dan jarak antara *geophone*.
- d. Mengolah hasil kurva *travel time* menggunakan *software plotrefa* untuk mendapatkan profil kecepatan rambat gelombang bawah permukaan dalam bentuk 2-D (2 Dimensi).
- e. Menentukan sebaran Konduktivitas termal batuan bawah permukaan dengan menggunakan persamaan (3).
- f. Melakukan interpretasi data menggunakan *software Rockwork* untuk mendapatkan gambaran sebaran penampang konduktivitas termal batuan bawah permukaan.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

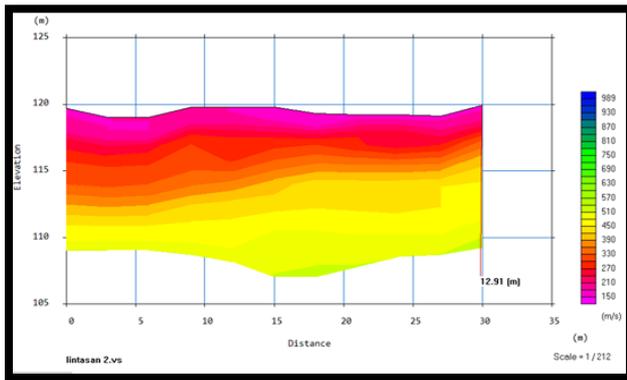
Pengambilan data dilakukan pada 5 lintasan yang masing-masing memiliki panjang 33 meter. *Geophone* yang digunakan sebanyak 12 buah dan jarak interval antar *geophone* adalah

3 meter. Dalam pengukuran di lapangan tiap-tiap lintasan diberikan 3 *shoot point (trigger)*, *trigger I* terletak 3 meter dibelakang *geophone 1*, *trigger II* antara *geophone 6* dan *7*, dan *trigger III* terletak 3 meter di depan *geophone 12*.



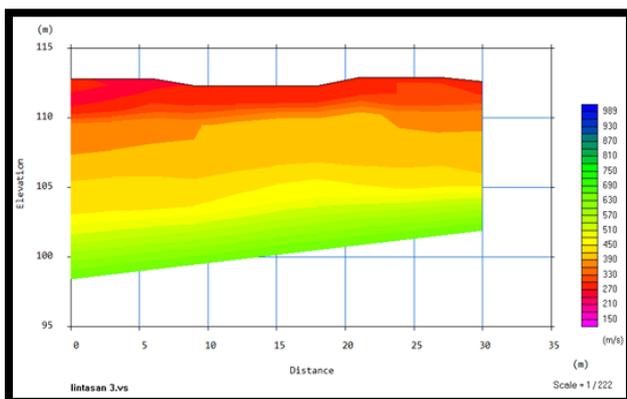
Gambar 3. Penampang kecepatan gelombang seismik 2-D pada Lintasan-1

Gambar 3 merupakan model penampang kecepatan gelombang seismik 2D dengan kecepatan yang bervariasi dari 389 m/s sampai 858 m/s. Tampak bahwa kecepatan terendah 389 m/s terletak disekitaran permukaan dan kecepatannya bertambah dengan bertambahnya kedalaman. Presentasi kesalahan pemodelan pada lintasan ini sebesar 1,7 %. Lintasan-1 ini hanya terdapat satu lapisan dengan kecepatan rambat gelombang seismik sebesar 389 m/s sampai 858 m/s dengan ketebalan lapisan ± 14 meter. Kecepatan gelombang seismik yang berbeda ini masih berada dalam satu litologi yang sama dan diduga lapisan penyusunnya adalah pasir kering.



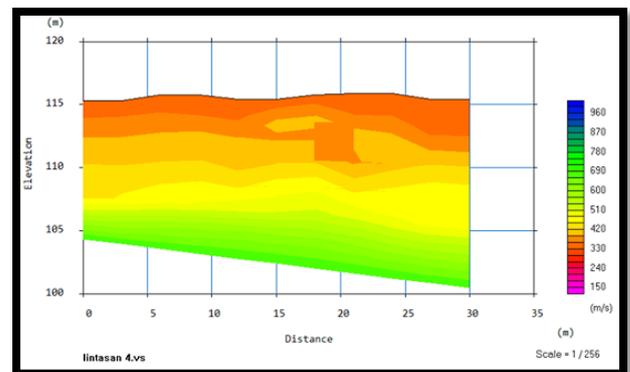
Gambar 4. Penampang kecepatan gelombang seismik 2-D pada Lintasan-2

Model penampang kecepatan gelombang seismik 2D dilihat pada gambar 4 dengan kecepatan yang bervariasi dari 178 m/s sampai 530 m/s. Tampak bahwa kecepatan terendah 178 m/s terletak disekitaran permukaan dan kecepatannya bertambah dengan bertambahnya kedalaman. Presentasi kesalahan pemodelan pada lintasan ini sebesar 2,9 %. Lintasan-2 ini hanya terdapat satu lapisan dengan kecepatan rambat gelombang seismik sebesar 178 m/s sampai 530 m/s dengan ketebalan lapisan ± 12 meter. Kecepatan gelombang seismik yang berbeda ini masih berada dalam satu litologi yang sama dan diduga lapisan penyusunnya adalah pasir kering.



Gambar 5. Penampang kecepatan gelombang seismik 2-D pada Lintasan-3

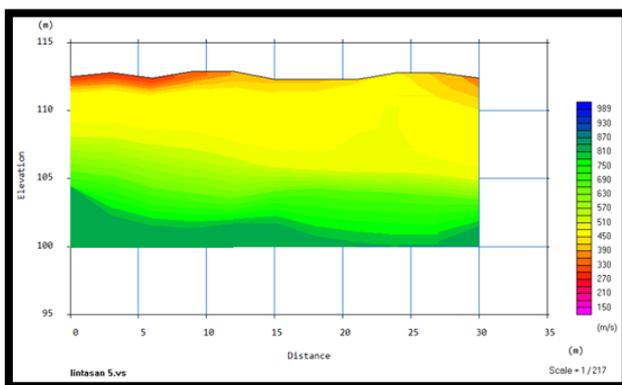
Gambar 5 merupakan model penampang kecepatan gelombang seismik 2D dengan kecepatan yang bervariasi dari 221 m/s sampai 660 m/s. Tampak bahwa kecepatan terendah 221 m/s terletak disekitaran permukaan dan kecepatannya bertambah dengan bertambahnya kedalaman. Presentasi kesalahan pemodelan pada lintasan ini sebesar 2,7 %. Lintasan-3 ini hanya terdapat satu lapisan dengan kecepatan rambat gelombang seismik sebesar 221 m/s sampai 660 m/s dengan ketebalan lapisan ± 14 meter. Kecepatan gelombang seismik yang berbeda ini masih berada dalam satu litologi yang sama dan diduga lapisan penyusunnya adalah pasir kering.



Gambar 6. Penampang kecepatan gelombang seismik 2-D pada Lintasan-4

Model penampang kecepatan gelombang seismik 2D dapat dilihat pada gambar 6 dengan kecepatan yang bervariasi dari 340 m/s sampai 688 m/s. Tampak bahwa kecepatan terendah 340 m/s terletak disekitaran permukaan dan kecepatannya bertambah dengan bertambahnya kedalaman. Presentasi kesalahan pemodelan pada lintasan ini sebesar 1,2 %. Lintasan-4 ini hanya terdapat satu

lapisan dengan kecepatan rambat gelombang seismik sebesar 340 m/s sampai 688 m/s dengan ketebalan lapisan ± 16 meter. Kecepatan gelombang seismik yang berbeda ini masih berada dalam satu litologi yang sama dan diduga lapisan penyusunnya adalah pasir kering.



Gambar 7. Penampang kecepatan gelombang seismik 2-D pada Lintasan-5

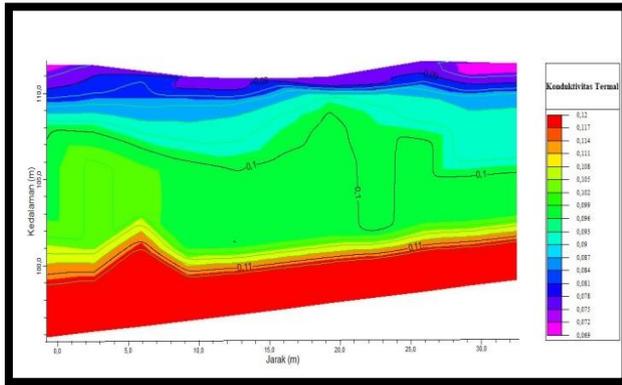
Gambar 4.10 merupakan model penampang kecepatan gelombang seismik 2D dengan kecepatan yang bervariasi dari 314 m/s sampai 815 m/s. Tampak bahwa kecepatan terendah 314 m/s terletak disekitaran permukaan dan kecepatannya bertambah dengan bertambahnya kedalaman. Presentasi kesalahan pemodelan pada lintasan ini sebesar 1,9 %. Lintasan-5 ini hanya terdapat satu lapisan dengan kecepatan rambat gelombang seismik sebesar 314 m/s sampai 815 m/s dengan ketebalan lapisan ± 14 meter. Kecepatan gelombang seismik yang berbeda ini masih berada dalam satu litologi yang sama dan diduga lapisan penyusunnya adalah pasir kering.

Setelah dilakukan pengukuran sebanyak 5 lintasan dapat diketahui bahwa setiap lapisan memiliki kecepatan rambat gelombang yang berbeda-beda dengan kecepatan terendah terdapat pada bagian permukaan tanah, dan semakin bertambahnya kecepatan seiring bertambahnya kedalaman. Hal ini membuktikan asumsi dasar yang menyatakan bahwa batuan pada permukaan semakin kompak dan semakin cepat menghantar panas sampai ke permukaan. Hal ini berpengaruh pada konduktivitas termal batuan, semakin besar kecepatan rambat gelombang suatu batuan maka semakin besar konduktivitas termal yang di peroleh.

Untuk memperoleh bentuk perlapisan bawah permukaan (mdpl) dan mengetahui seberapa cepat panas mengalir sampai ke permukaan, maka semua penampang kecepatan gelombang seismik digunakan dalam perhitungan untuk mendapatkan penampang konduktivitas termal sebagai berikut:

a. Lintasan-1

Lintasan-1 terletak di sebelah selatan dari Desa Bora dengan arah bentangan 312° barat laut. Hasil interpretasi menunjukkan bahwa Lintasan-1 terdapat satu lapisan saja dengan lapisan ini di dominasi dengan pasir kering.

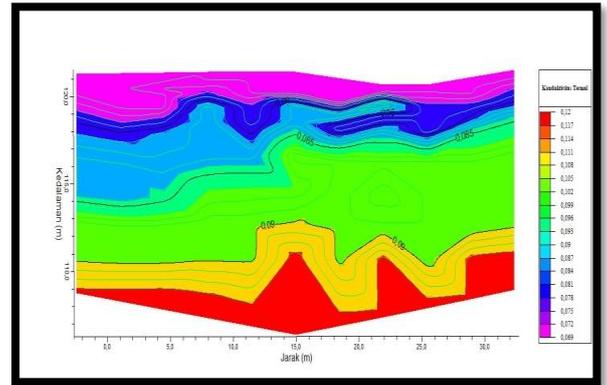


Gambar 8. Penampang nilai konduktivitas termal Lintasan-1

Gambar 8 menunjukkan nilai konduktivitas termal di bawah permukaan. Gambar tersebut menunjukkan bahwa tiap lapisan memiliki nilai konduktivitas termal yang berbeda-beda. Pada lapisan ini diperoleh nilai konduktivitas termal sebesar 0,086 W/m²K sampai 0,113 W/m²K. Dimana semakin besar kecepatan gelombang seismiknya maka nilai konduktivitas termal yang diperoleh akan bertambah besar pula dan semakin cepat mengantarkan panas hingga ke permukaan.

b. Lintasan-2

Lintasan-2 terletak di sebelah selatan dari Dari Bora dengan arah bentangan 312° barat laut. Hasil interpretasi menunjukkan bahwa Lintasan-2 terdapat satu lapisan saja dengan lapisan ini di dominasi dengan pasir kering.

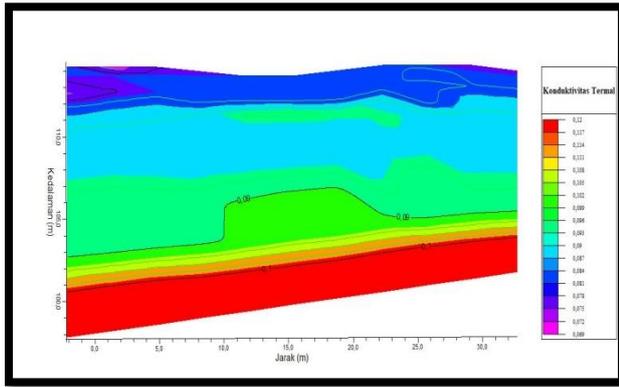


Gambar 9. Penampang nilai konduktivitas termal Lintasan-2

Model Penampang konduktivitas termal pada Lintasan-2 dapat dilihat pada Gambar 9. Gambar tersebut menunjukkan bahwa tiap lapisan memiliki nilai konduktivitas termal yang berbeda-beda. Pada lapisan ini diperoleh nilai konduktivitas termal sebesar 0,075 W/m²K sampai 0,093 W/m²K. Dimana semakin besar kecepatan gelombang seismiknya maka nilai konduktivitas termal yang diperoleh akan bertambah besar pula dan semakin cepat mengantarkan panas hingga ke permukaan.

c. Lintasan-3

Lintasan-3 terletak di sebelah selatan dari Kota Palu dengan arah bentangan 292° barat. Hasil interpretasi menunjukkan bahwa Lintasan-3 terdapat satu lapisan saja dengan lapisan ini di dominasi dengan pasir kering.

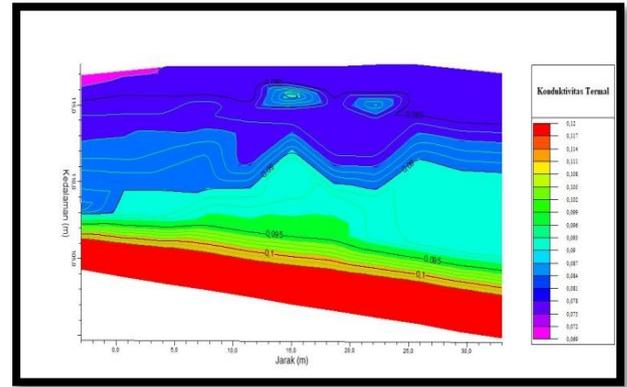


Gambar 10. Penampang nilai konduktivitas termal Lintasan-3

Gambar 10. menunjukkan nilai konduktivitas termal di bawah permukaan. Gambar tersebut menunjukkan bahwa tiap lapisan memiliki nilai konduktivitas termal yang berbeda-beda. Pada lapisan ini diperoleh nilai konduktivitas termal sebesar $0,076 \text{ W/m}^\circ\text{K}$ sampai $0,101 \text{ W/m}^\circ\text{K}$. Dimana semakin besar kecepatan gelombang seismiknya maka nilai konduktivitas termal yang diperoleh akan bertambah besar pula dan semakin cepat mengantarkan panas hingga ke permukaan.

d. Lintasan-4

Lintasan-4 terletak di sebelah selatan dari Kota Palu dengan arah bentangan 221° barat daya. Hasil interpretasi menunjukkan bahwa Lintasan-4 terdapat satu lapisan saja dengan lapisan ini di dominasi dengan pasir kering.

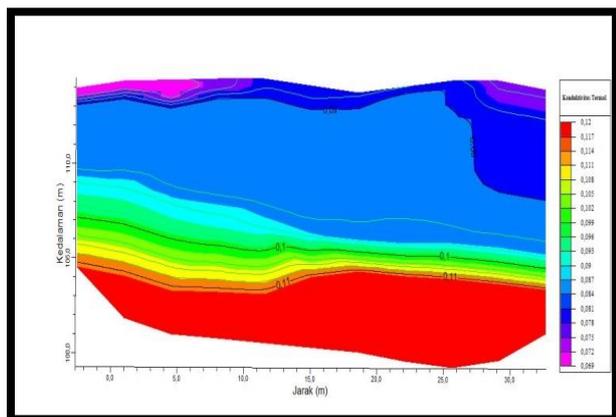


Gambar 11. Penampang nilai konduktivitas termal Lintasan-4

Model Penampang konduktivitas termal pada Lintasan-4 dapat dilihat pada Gambar 11. Gambar tersebut menunjukkan bahwa tiap lapisan memiliki nilai konduktivitas termal yang berbeda-beda. Pada lapisan ini diperoleh nilai konduktivitas termal sebesar $0,083 \text{ W/m}^\circ\text{K}$ sampai $0,102 \text{ W/m}^\circ\text{K}$. Dimana semakin besar kecepatan gelombang seismiknya maka nilai konduktivitas termal yang diperoleh akan bertambah besar pula dan semakin cepat mengantarkan panas hingga ke permukaan.

e. Lintasan-5

Lintasan-5 terletak di sebelah selatan dari Kota Palu dengan arah bentangan 280° barat. Hasil interpretasi menunjukkan bahwa Lintasan-5 terdapat satu lapisan saja dengan lapisan ini di dominasi dengan pasir kering.



Gambar 12. Penampang nilai konduktivitas termal Lintasan-5

Gambar 12 menunjukkan nilai konduktivitas termal di bawah permukaan. Gambar tersebut menunjukkan bahwa tiap lapisan memiliki nilai konduktivitas termal yang berbeda-beda. Pada lapisan ini diperoleh nilai konduktivitas termal sebesar 0,082 W/m[°]K sampai 0,111 W/m[°]K. Dimana semakin besar nilai konduktivitas termal maka kecepatan gelombang seismik yang diperoleh akan bertambah besar pula dan semakin cepat mengantarkan panas hingga ke permukaan.

Dari hasil interpretasi data, terlihat bahwa kondisi geologi bawah permukaan untuk masing-masing lintasan sesuai dengan kondisi geologi wilayah Bora. Dimana berdasarkan kondisi geologinya Desa Bora berada pada formasi pakuli yang terdiri dari batuan pasir dan konglomerat. Sedangkan nilai konduktivitas termal batuan setiap lintasan diperoleh berbeda-beda, hal ini dikarenakan keberadaan alterasi serta manifestasi air panas atau tempat keluarnya uap air panas.

Berdasarkan hasil pengolahan data pada profil penampang konduktivitas termal batuan dari setiap lintasan, diketahui nilai konduktivitas termal batuan pada daerah tersebut memiliki nilai yang berbeda-beda. Hal ini dikarenakan kerapatan batuan pada setiap lapisan juga berbeda, sehingga mempengaruhi daya hantar panas batuan. Dari gambar 8 sampai 12 dapat dilihat bahwa nilai konduktivitas termal batuan memiliki nilai yang berkisar antara 0,075 W/m[°]K sampai 0,113 W/m[°]K. Pada setiap lintasan menunjukkan bahwa kecepatan rambat gelombang berbanding lurus dengan konduktivitas termal batuan, telah sesuai dengan yang dikemukakan oleh (Ozkharman, 2004), dimana semakin besar nilai kecepatan rambat gelombang maka nilai konduktivitas termal batuan juga semakin besar. Lintasan yang memiliki nilai konduktivitas termal batuan terbesar adalah pada Lintasan-1 dan Lintasan-5. Lintasan tersebut berdekatan dengan sumber panas bumi sehingga lapisan batuan lebih cepat menghantarkan panas sampai ke permukaan. Sedangkan lintasan yang nilai konduktivitas termal terkecil terdapat pada Lintasan-2 diduga memiliki tingkat kerapatan batuan yang lebih rendah dan berada jauh dari sumber panas bumi. Lintasan yang memiliki nilai konduktivitas termal batuan yang cukup besar juga terdapat di sekitar lapangan sepak bola yaitu pada Lintasan-3 dan Lintasan-4, dimana kedua lintasan ini hanya berjarak kurang lebih 7

meter, sehingga nilai konduktivitas termal batuan yang dihasilkan relatif sama.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

Adapun kesimpulan dari penelitian ini yaitu:

1. Berdasarkan hasil interpretasi data dapat diketahui bahwa setiap lintasan memiliki nilai kecepatan rambat gelombang yang berbeda-beda berkisar antara 178 m/s sampai 858 m/s, dikarenakan faktor kerapatan batuan yang berbeda-beda. Batuan penyusunnya adalah pasir kering.
2. Nilai konduktivitas termal batuan yang diperoleh dari hasil interpretasi setiap lintasan berbeda-beda berkisar antara 0,075 W/m[°]K sampai 0,113 W/m[°]K. Pada setiap lintasan menunjukkan bahwa semakin besar nilai kecepatan rambat gelombang maka nilai konduktivitas termal batuan semakin besar. Dimana Lintasan-1 dan Lintasan-5 memiliki nilai konduktivitas termal batuan yang terbesar dibandingkan lintasan lainnya, diduga lintasan ini berdekatan dengan sumber panas bumi. Dan Lintasan-2 memiliki nilai konduktivitas termal batuan terkecil diduga berjauhan dari sumber panas bumi.

DAFTAR PUSTAKA

Broto, S. dan Putrato, T.T. 2011. Aplikasi Metode Geomagnet Dalam Eksplorasi Panas bumi. Universitas Diponegoro. Semarang.

Endovani, R., 2016. Analisis Konduktivitas Termal dan Porositas Silika Sinter Sumber Mata Air Panas di Sapan Maluluang, Kecamatan Alam Pauh Duo, Kabupaten Solok Selatan. *Jurnal Fisika Unand*. Vol 4. No 1. Hal. 65

Jangam, S.V., dan Mujumdar, A.S., 2010. *Basic Concepts and Definitions. Drying of Foods, Vegetables, and Fruits*. Singapore.

Ozkahraman, H.T., R. Selver., E.C Isik, 2004, Determination of the thermal conductivity of rock from P-wave velocity, *International journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*.

Raina, V. K., 1993. *Concrete for Construction, Facts and Practic*, Tata McGrawHill Publishing Company, Ltd., New Delhi.

Telford, M.W., Geldart, L.P., Sheriff, R.E, & Keys, D.A, 1990, *Applied geophysics Second Edition*, Cambridge University Press, New York.

Wahyu, S, 2013, *Potensi Lapangan Panas bumi Gedongsongo Sebagai Sumber Energi Alternatif Dan Penunjang Perekonomian Wilayah Volume 8 No. 1*, Unnes, Semarang.