



Estimasi Porositas Batuan Menggunakan Gelombang Seismik Refraksi di Desa Lengkeka Kecamatan Lore Barat Kabupaten Poso

Estimation of Rock Porosity Using Refractive Seismic Wave in Lengkeka Village, Sub District of West Lore, District of Poso

Khairul Anam Triat Mojo¹, Rustan Efendi^{2*} Abdullah²

¹Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Tadulako

²Lab. Fisika Bumi Jurusan Fisika FMIPA, Universitas Tadulako

ABSTRACT

The research on the estimation of rock porosity using refractive seismic wave has been done in the hot geothermal Lengkeka Village, West Lore Sub-district, Poso District. The purpose of this research is to know the distribution of porosity of rock in this hot geothermal location. In this method, the waves generated on the surface of the earth will be detected by a geophone of 24 pieces on each measurement path consisting of 4 trajectories. The result of this data processing is the description of the wave velocity and the profile of porosity of subsurface rocks in the geothermal location. From the paths 1, 2, 3 and 4, the velocities of the respective trajectories are 1,177-2,388 m/s, 690-890 m/s, 1,550- 2,220 m/s and 1,396-2,075 m/s respectively. The distribution value of porosity of rocks ranged from 20.5% to 28.5% with the largest porosity value lies on track 2 at an altitude of 800 m to 822 m above sea level. The location of this trajectory is suspected to be close to the geothermal reservoir, so weathering frequently occurs in the rock around the site.

Keywords: *Refraction Seismic Method, Rock Porosity, Geothermal.*

ABSTRAK

Penelitian tentang estimasi porositas batuan menggunakan gelombang seismik refraksi telah dilakukan di Desa Lengkeka, Kecamatan Lore Barat, Kabupaten Poso. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui sebaran porositas batuan di lokasi panasbumi Desa Lengkeka Kecamatan Lore Barat Kabupaten Poso. Pada metode ini, gelombang yang dibangkitkan pada permukaan bumi akan dideteksi oleh *geophone* yang berjumlah 24 buah pada setiap lintasan pengukuran yang berjumlah 4 lintasan. Hasil akhir dari pengolahan data ini adalah gambaran kecepatan rambat gelombang dan profil sebaran porositas batuan bawah permukaan di lokasi panasbumi tersebut. Dari lintasan 1, 2, 3 dan 4 didapatkan kecepatan rambat gelombang pada masing-masing lintasan berkisar antara 1.177-2.388 m/s, 690-890 m/s, 1.550-2.220 m/s dan 1.396-2.075m/s sedangkan nilai sebaran porositas batuan berkisar antara 20,5 % sampai 28,5 % dengan nilai porositas terbesar berada di lintasan 2 pada ketinggian 800 m dpl sampai 822 m dpl, diduga lokasi lintasan ini berdekatan dengan reservoir panasbumi sehingga sering terjadi pelapukan pada batuan di sekitar lokasi tersebut.

Kata kunci: *Metode Seismik Refraksi, Porositas Batuan, Panasbumi.*

Corresponding Author : rst_efendi@yahoo.com (ph/fax: 081322963707)

LATAR BELAKANG

Salah satu daerah di Indonesia yang memiliki cadangan panasbumi adalah Provinsi Sulawesi Tengah. Daerah ini menyimpan potensi panasbumi yang tersebar di berbagai tempat, salah satunya adalah manifestasi panasbumi yang terdapat di Desa Lengkeka, Kecamatan Lore Barat, Kabupaten Poso. Di lokasi manifestasi panas bumi tersebut, air panas keluar dari bawah permukaan ke 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. Salah satu sifat fisik reservoir tersebut adalah batumannya yang porous, atau mempunyai porositas. Permasalahannya adalah bagaimana sebaran porositas batuan bawah permukaan pada lapisan dangkal di daerah tersebut. Sebaran porositas batuan bawah permukaan pada lapisan dangkal dapat diketahui melalui proses estimasi dengan menggunakan hubungan antara porositas batuan dan kecepatan gelombang seismik, baik gelombang primer (gelombang P) maupun gelombang sekunder (gelombang S). Berdasarkan kecepatan gelombang seismik maka estimasi porositas batuan bawah permukaan khususnya pada lapisan dangkal dapat dilakukan.

Gelombang seismik adalah gelombang elastik yang merambat dalam bumi. Perambatan gelombang ini bergantung pada sifat elastisitas batuan. Gelombang seismik ada yang merambat melalui interior bumi yang disebut *body wave* dan ada juga yang merambat melalui permukaan bumi yang disebut *surface wave*. *Body wave* dibedakan menjadi 2 berdasarkan arah getarnya yaitu gelombang longitudinal (gelombang P) dan gelombang transversal (gelombang S). Sedangkan *surface wave* terdiri atas *Raleigh wave (ground roll)* dan *Love wave* (Telford, 1976). Gelombang seismik dapat diketahui dengan melakukan penelitian metode seismik baik itu metode seismik refraksi atau metode seismik lainnya.

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. Metode seismik refraksi digunakan pada lapisan dangkal, sebagai cara untuk menentukan kedalaman batuan dasar dan tidak memerlukan sumber energi yang besar atau peralatan yang lengkap. Sumber energinya sangat mudah, contohnya palu yang dipukulkan pada papan landasan yang diletakkan di permukaan tanah (Telford, *et al.* 1990).

Metode waktu tunda merupakan salah satu metode untuk menginterpretasikan

hasil dari metode seismik refraksi. Metode waktu tunda (*delay time method*) pertama kali diperkenalkan oleh Gardner pada tahun 1939. Sering digunakan untuk interpretasi metode seismik refraksi, karena variasi utama untuk penyusunan yang didasarkan pada penggunaan metode waktu tunda tidak akan menemui kesulitan ketika mengerjakan persamaan dan kurva yang sulit. (Telford, *et al.* 1990).

Metode seismik refraksi dapat digunakan untuk menginterpretasikan batuan bawah permukaan, patahan atau rekahan batuan serta reservoir panas bumi. Panas bumi merupakan sumber daya panas alami yang terdapat di dalam bumi. Merupakan hasil interaksi antara panas yang dipancarkan batuan panas (magma) dan airtanah yang berada di sekitarnya, dimana cairan yang terpanasi terperangkap di dalam batuan yang terletak dekat permukaan sehingga secara ekonomis dapat dimanfaatkan. Wilayah panas bumi (*geothermal area*) atau medan panas bumi (*geothermal field*) adalah suatu wilayah dipermukaan bumi dalam batas tertentu dimana terdapat energi panas bumi dalam suatu kondisi hidrologi-batuan tertentu atau disebut sistem panas bumi. Energi panas bumi umumnya banyak terdapat di sekitar gunung berapi baik yang masih aktif maupun yang sudah nonaktif. Panas bumi dapat keluar ke permukaan melalui rekahan-rekahan batuan

akibat adanya patahan yang memiliki nilai porositas yang besar. (Wahyu, 2013).

Menurut Nurwidyanto, dkk (2006), porositas (Φ) adalah perbandingan volume pori-pori batuan dengan volume total seluruh batuan. Perbandingan ini biasanya dinyatakan dalam persen:

$$\Phi = \frac{\text{Volume pori-pori}}{\text{Volume keseluruhan batuan}} \times 100$$

..... (3)

Menurut Nurwidyanto, dkk (2006), pori merupakan ruang di dalam batuan yang selalu terisi oleh fluida, seperti air tawar/asin, udara atau gas bumi. Porositas efektif yaitu apabila bagian rongga pori-pori di dalam batuan berhubungan. Porositas efektif biasanya lebih kecil daripada rongga pori-pori total yang biasanya berkisar dari 10% sampai 15%. Porositas efektif dinyatakan sebagai berikut:

$$\Phi = \frac{\text{Volume pori-pori bersambungan}}{\text{Volume keseluruhan batuan}} \times 100$$

..... (4)

Porositas batu pasir dihasilkan dari proses proses geologi yang berpengaruh terhadap proses sedimentasi. Proses-proses ini dapat dibagi menjadi 2 kelompok, yaitu proses pada saat pengendapan dan proses setelah pengendapan (Nurwidyanto, dkk, 2006).

Menurut Sismanto (2013), sifat-sifat fisis batuan akan dipengaruhi secara signifikan oleh porositas dan retakan mikro

pada tekanan rendah. Secara umum, jika batuan magmatik atau batuan metaforik yang mengandung pori, retakan, atau rekahan, ia akan mempunyai kecepatan yang lebih rendah daripada batuan yang sama dalam keadaan utuh. Untuk batu gabro hubungan kecepatan V_p (km/s) terhadap porositas Φ_c (%) secara empiris dapat diberikan sebagai:

$$V_p = 7,121 - 0,227 \Phi_c \text{ pada tekanan } 10 \text{ Mpa} \dots (5)$$

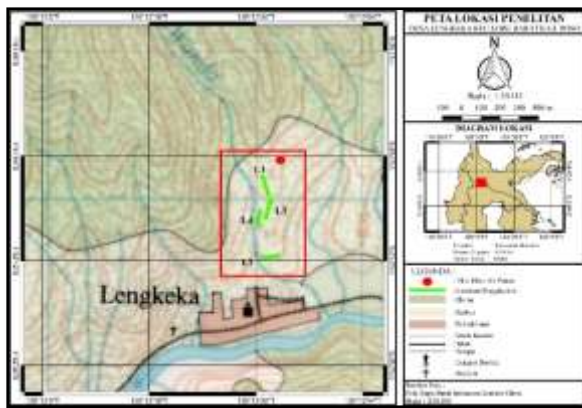
$$V_p = 8,227 - 0,253 \Phi_c \text{ pada tekanan } 1000 \text{ Mpa} \dots (6)$$

Persamaan (5) digunakan pada pengolahan data porositas batuan di lapisan dangkal karena pada lapisan ini hanya memiliki tekanan yang relatif rendah yakni 10 Mega pascal (Mpa) sedangkan Persamaan (6) digunakan pada pengolahan data porositas batuan di lapisan dalam karena lapisan ini memiliki tekanan yang relatif besar yakni sekitar 1000 Mpa. (Sismanto, 2013).

BAHAN DAN METODE

Penelitian ini dilakukan di Lokasi Panasbumi, Desa Lengkeka, Kecamatan Lore Barat, Kabupaten Poso, Provinsi Sulawesi Tengah dengan menggunakan Metode Seismik Refraksi. Metode penelitian ini dilakukan dengan menggunakan beberapa alat penelitian yakni seismograf PASI MD 16S24-P, detektor *geophone* 24 buah, kabel

penghubung (*trigger, extension, conector*), sumber arus (*accu*), palu, papan landasan, *roll meter* (100 meter), *Global Positioning System* (GPS), peta geologi Lembar Poso dan peta RBI Lembar Gintu. Pengukuran dalam penelitian ini dilakukan sebanyak 4 lintasan, lintasan pertama berada di dekat sumber mata air panas dengan posisi $01^{\circ} 51' 58''$ LS dan $120^{\circ} 12' 37''$ BT. Lintasan kedua berada pada perkebunan coklat dengan posisi $01^{\circ} 52' 11''$ LS dan $120^{\circ} 12' 37''$ BT. Lintasan ketiga juga berada pada perkebunan coklat dengan posisi $01^{\circ} 52' 00''$ LS dan $120^{\circ} 12' 37''$ BT dan lintasan keempat juga berada pada perkebunan coklat dengan posisi $01^{\circ} 52' 01''$ LS dan $120^{\circ} 12' 36''$ BT, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1. Masing-masing lintasan pada pengukuran ini memiliki panjang 69 meter dan menggunakan *geophone* yang berjumlah 24 buah yang dibentangkan sepanjang lintasan pengukuran, dengan jarak antar *geophone* sepanjang 3 m sesuai dengan kondisi di daerah penelitian. Secara umum metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah waktu tempuh penjalaran gelombang. Data waktu tempuh penjalaran gelombang merupakan data terukur yang diperoleh dari proses akuisisi data, selanjutnya dilakukan pengolahan data, dimulai dari proses picking dengan menggunakan program *Pickwin* untuk mendapatkan kurva waktu tempuh penjalaran gelombang, kemudian data dari



Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian.

Ket. Lokasi pengambilan data ditunjukkan dengan kotak berwarna merah

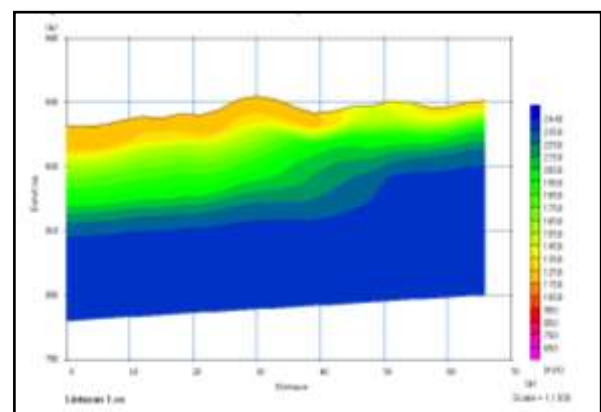
kurva tersebut ditambahkan dengan data ketinggian lokasi penelitian yang digunakan sebagai data input pada program *Plotrefa* untuk mendapatkan profil kecepatan gelombang seismik refraksi 2-D dan profil struktur lapisan batuan bawah permukaan. Selanjutnya dilakukan inversi kecepatan rambat gelombang seismik refraksi dan diolah menggunakan program *Rockwork* untuk mendapatkan profil sebaran porositas batuan bawah permukaan. Selanjutnya dilakukan proses analisis dan interpretasi profil yang diperoleh.

HASIL

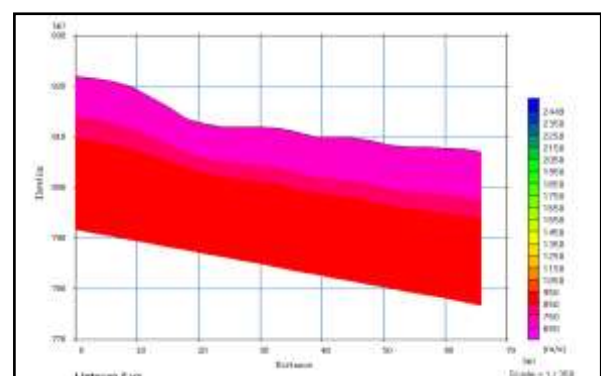
Dari pengukuran yang telah dilakukan, diperoleh data rekaman seismik refraksi yang memperlihatkan grafik hubungan antara waktu penjalaran gelombang dan jarak antar *geophone* yang terekam pada alat seismograf PASI.

Dari hasil pengolahan data pengukuran gelombang seismik refraksi,

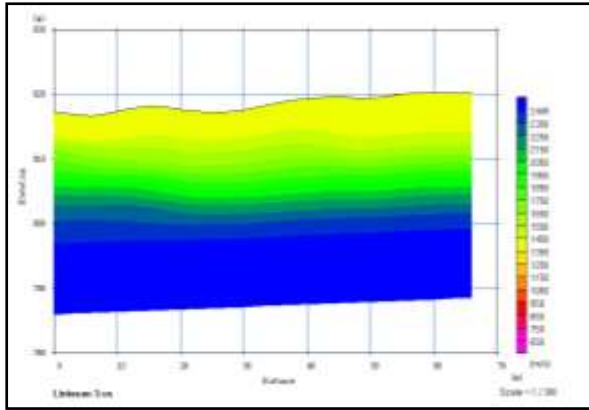
didapatkan profil penampang kecepatan gelombang seismik 2-D pada Lintasan-1, 2, 3 dan 4 dengan nilai kecepatan gelombang yang bervariasi, nilai kecepatan seismik dari setiap lintasan yaitu berkisar 1.200 - 2.450 m/s, 650 - 900 m/s, 1.370 - 2.400 m/s dan 1.400 - 2.050 m/s. Nilai tersebut menunjukkan bahwa kecepatan gelombang akan semakin bertambah seiring dengan bertambahnya kedalaman. Selain itu, dapat diketahui pula kedalaman yang dapat dicapai oleh gelombang seismik juga bervariasi yakni sekitar 33 m, 30,5 m, 28 m dan 50 m di setiap lintasannya. Hal ini dapat ditunjukkan pada Gambar 2 – Gambar 5.



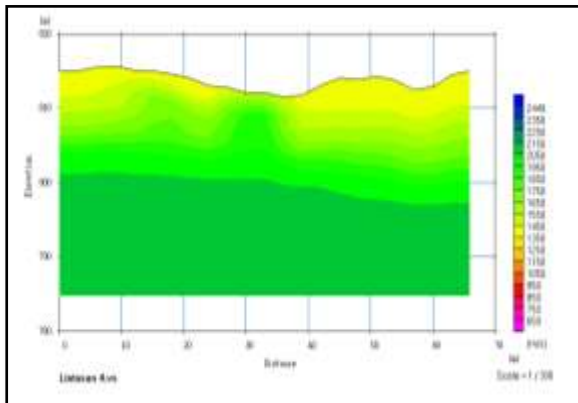
Gambar 2. Penampang kecepatan gelombang seismik 2-D pada Lintasan-1



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

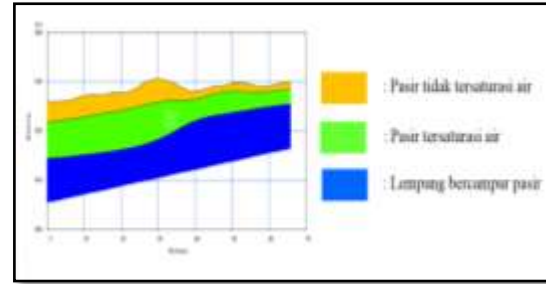


Gambar 4. Penampang kecepatan gelombang seismik 2-D pada Lintasan-3

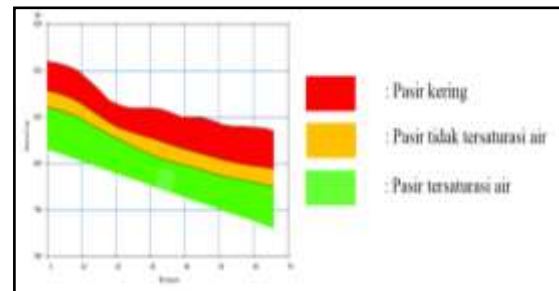


Gambar 5. Penampang kecepatan gelombang seismik 2-D pada Lintasan-4

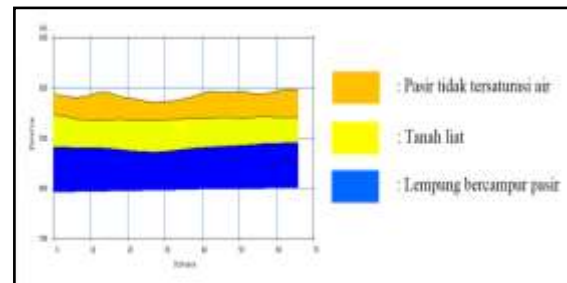
Setelah mendapatkan profil penampang kecepatan gelombang seismik 2-D, selanjutnya dilakukan interpretasi data untuk memperkirakan jumlah lapisan batuan bawah permukaan. Interpretasi ini dilakukan dengan menginversi nilai-nilai kecepatan kedalam bentuk struktur lapisan batuan bawah permukaan.



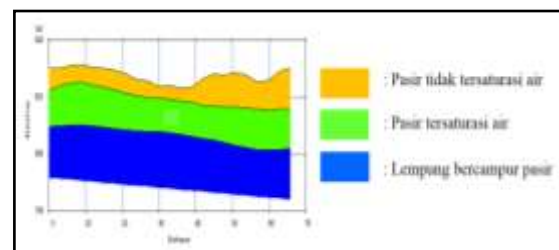
Gambar 6. Profil penampang lapisan struktur batuan bawah permukaan pada Lintasan-1



Gambar 7. Profil penampang lapisan struktur batuan bawah permukaan pada Lintasan-2



Gambar 8. Profil penampang lapisan struktur batuan bawah permukaan pada Lintasan-3



Gambar 9. Profil penampang lapisan struktur batuan bawah permukaan pada Lintasan-4

Profil penampang struktur lapisan batuan bawah permukaan pada Lintasan-1, 2, 3 dan 4 dapat dilihat pada Gambar 6 - Gambar 9. Gambar tersebut menunjukkan bahwa struktur lapisan batuan bawah permukaan pada lokasi penelitian ini didominasi oleh pasir tersaturasi air, pasir tidak tersaturasi air, lempung bercampur pasir. Ketiga struktur batuan ini lebih mendominasi daripada struktur batuan lainnya, namun ada pula struktur batuan lain yang terdeteksi yaitu pasir kering pada Lintasan-2 dan tanah liat pada Lintasan-3. Hal ini didasari oleh data kecepatan gelombang P pada material bawah permukaan pada Tabel 1.

Tabel 1 Kecepatan gelombang P pada material bawah permukaan

| No | Jenis Batuan | Kecepatan (m/s) |
|----|---|-----------------|
| | <u>Uncosolidated Material</u> | |
| 1 | Pasir kering | 200 – 1.000 |
| 2 | Pasir (Tersaturasi air) | 1.500 – 2.000 |
| 3 | Pasir (Tidak tersaturasi air) | 1000 – 1500 |
| 4 | Tanah liat | 1.000 – 2.500 |
| 5 | Lempung bercampur pasir | 1.500 – 2.500 |
| 6 | Permafrost | 3.500 – 4.000 |
| | <u>Batuan Sedimen</u> | |
| 7 | Batu pasir | 2.000 – 6.000 |
| 8 | Batu pasir tersier | 2.000 – 2.500 |
| 9 | <i>Pennantsandstone (Carboniferous)</i> | 4.000 – 4.500 |
| 10 | <i>Cambrian quartzite</i> | 5.500 – 6.000 |
| 11 | Batu kapur | 2.000 – 6.000 |
| 12 | <i>Cretaceous Chalk</i> | 2.000 – 2.500 |
| 13 | <i>Jurassic oolites and bioclastic limestones</i> | 3.000 – 4.000 |
| 14 | <i>Carboniferous limestones</i> | 5.000 – 5.500 |
| 15 | <i>Dolomites</i> | 2.500 – 6.500 |
| 16 | Salt / garam | 4.500 – 5.000 |
| 17 | <i>Anhydrite</i> | 4.500 – 6.500 |
| 18 | <i>Gypsum</i> | 2.000 – 3.500 |

Sumber : Zaruba, 1969 dalam Pratiwi, 2012

Profil penampang porositas batuan menggambarkan sebaran nilai porositas batuan yang berada di bawah permukaan tanah pada setiap lintasan pengukuran.

Berdasarkan penampang sebaran porositas batuan pada Lintasan-1, 2, 3 dan 4 seperti ditunjukkan pada Gambar 10 – Gambar 13, dapat diketahui bahwa lapisan tanah pada daerah tersebut memiliki nilai porositas yang bervariasi, nilai porositas untuk lintasan 1, 2, 3 dan lintasan 4 adalah berturut-turut 20,5 - 26,5 %, 27,0 - 28,3 %, 20,5 - 25,5 % 22,2 - 25,5 % dengan porositas terbesar berturut-turut berada pada ketinggian ± 822 m dpl, ± 800 m dpl, ± 808 m dpl dan ± 806 m dpl.

PEMBAHASAN

Setelah dilakukan pengukuran sebanyak 4 lintasan dapat diketahui bahwa setiap lintasan memiliki nilai kecepatan yang bervariasi dengan nilai terendah terdapat pada bagian permukaan tanah dan semakin bertambah besar seiring dengan bertambahnya kedalaman, hal ini membuktikan asumsi dasar yang menyatakan bahwa batuan pada medium bawah permukaan semakin kompak penyusunnya seiring dengan bertambahnya kedalaman. Hal tersebut berpengaruh pula pada porositas batuan, semakin tinggi nilai porositas yang terkandung di dalam suatu material batuan maka semakin rendah kekompakan batuan tersebut sehingga

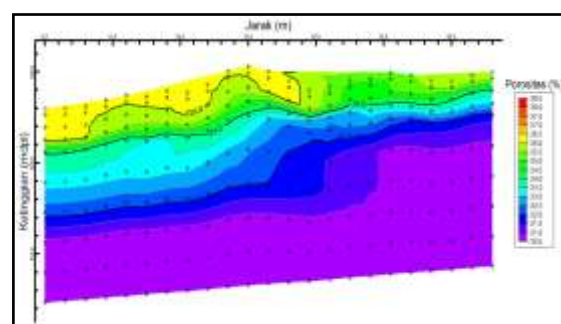
semakin rendah pula kecepatan rambat gelombang pada batuan tersebut dan begitu pula sebaliknya.

Dari profil kecepatan gelombang seismik 2-D dapat diketahui bahwa Lintasan-2 memiliki nilai kecepatan yang lebih rendah daripada lintasan lainnya, hal ini diduga karena lokasi lintasan ini berdekatan dengan reservoir panasbumi sehingga lapisan struktur batuan bawah permukaannya sering mengalami pelapukan yang diakibatkan faktor temperatur yang tinggi pada bagian bawah permukaan dan menyebabkan densitas batuan menjadi berkurang dan juga kecepatan gelombang seismik menjadi rendah.

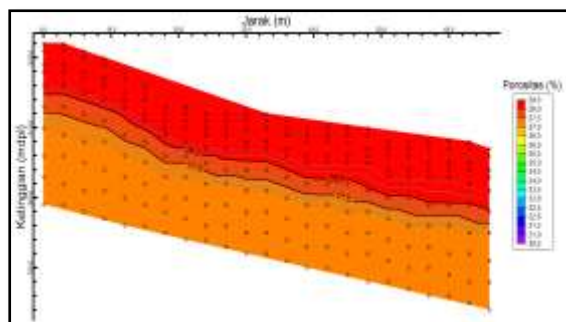
Berdasarkan hasil pengolahan data pada profil penampang lapisan struktur batuan dari semua lintasan menunjukkan setiap lintasan memiliki jenis lapisan struktur batuan yang berbeda-beda, dimana semua struktur batuan merupakan jenis batuan yang tidak terkonsolidasi. Batuan yang tidak terkonsolidasi merupakan batuan yang tidak mengalami pepadatan, sehingga batuan ini memiliki ruang pori yang besar.

Berdasarkan hasil pengolahan data pada profil penampang porositas batuan dari setiap lintasan, dapat diketahui nilai porositas batuan pada daerah tersebut memiliki nilai yang berbeda-beda, hal ini dikarenakan pelapukan batuan yang terjadi pada setiap lapisan juga berbeda tergantung

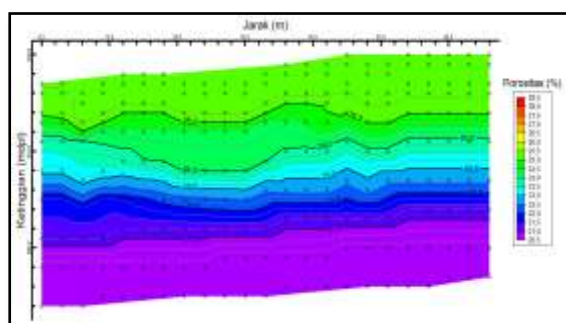
dari faktor pelapukan yang mempengaruhinya, salah satunya adalah faktor temperatur di bawah permukaan. Gambar 10 sampai Gambar 13 memperlihatkan bahwa nilai porositas dari semua lintasan memiliki nilai yang berkisar antara 20,5% sampai 28,5%, dimana lintasan yang memiliki nilai porositas terbesar adalah pada Lintasan-2 hal ini dikarenakan lintasan ini diduga berdekatan dengan reservoir panasbumi sehingga lapisan batuan bawah permukaannya lebih sering mengalami pelapukan karena temperatur yang tinggi. Sedangkan dari peta lokasi penelitian dapat dilihat bahwa lokasi mata air panas berdekatan dengan Lintasan-1, sehingga diduga bahwa terjadi rekahan batuan pada lokasi yang berdekatan dengan lintasan tersebut yang menyebabkan air panas dari reservoir panasbumi dapat keluar ke permukaan tanah.



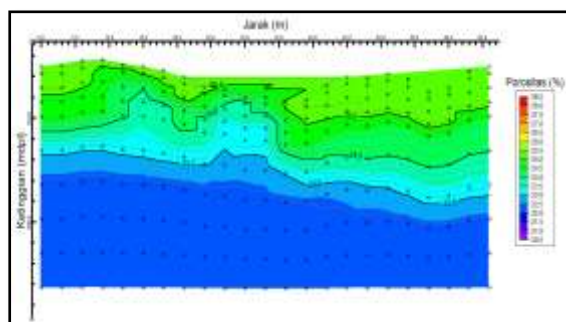
Gambar 10. Profil penampang porositas batuan pada Lintasan-1



Gambar 11. Profil penampang porositas batuan pada Lintasan-2



Gambar 12. Profil penampang porositas batuan pada Lintasan-3



Gambar 13. Profil penampang porositas batuan pada Lintasan-4

Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa Sebaran porositas batuan di lokasi panasbumi Desa Lengkeka Kecamatan Lore barat Kabupaten Poso memiliki nilai yang berbeda di setiap lintasannya, yaitu pada Lintasan-1 memiliki nilai porositas yang berkisar antara 20,5 % sampai 26,5 %, pada Lintasan-2 memiliki nilai porositas

yang berkisar antara 27,0 % sampai 28,3 %, pada Lintasan-3 memiliki nilai porositas yang berkisar antara 20,5 % sampai 25,5 %, pada Lintasan-4 memiliki nilai porositas yang berkisar antara 22,2 % sampai 25,5 %. Sehingga dapat diketahui Lintasan-2 memiliki nilai porositas yang lebih besar dibandingkan dengan lintasan lainnya dan diduga lintasan ini berdekatan dengan reservoir panasbumi karena pelapukan batuan lebih sering terjadi pada batuan di lintasan tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

- Nurwidyanto M. I., Meida Y., dan Widada S., 2006, *Pengaruh Ukuran Butir Terhadap Porositas Dan Permeabilitas Pada Batupasir (Studi Kasus: Formasi Ngrayong, Kerek, Ledok Dan Selorejo) Volume 9 No. 4 Hal. 191-195*, Berkala Fisika, Semarang.
- Pratiwi, D. 2012, *Identifikasi Potensi Gerakan Tanah dengan Menggunakan Metode Seismik Refraksi di Daerah Palu Barat*, Universitas Tadulako, Palu.
- Sismanto, 2013, *FISIKA BATUAN: Pendekatan Estimasi Permeabilitas dan Saturasi Air Berbasis Data Seismik*, Graha Ilmu, Jakarta.
- Telford, M.W., Geldart, L.P., Sheriff, R.E, & Keys, D.A, 1976, *Applied geophysics*, Cambridge University Press, New York.
- 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
Panasbumi Gedongsongo Sebagai
Sumber Energi Alternatif Dan
Penunjang Perekonomian Wilayah
Volume 8 No. 1, Unnes, Semarang.