



Struktur Bawah Permukaan Di Daerah Geothermal Menggunakan Seismik Refraksi

Alda Sulistiani, Yohana Christy Sinaga, Muhammad Siaman, Arif Setiawan, Geri

Budianto, Halauddin, Budi Harlianto, Nanang Sugianto

Program Studi Geofisika, Universitas Bengkulu, Jl. WR. Supratman, Kandang Limun, Kec.

Muara Bangka Hulu, Sumatera, Bengkulu 38371, Indonesia

** Corresponding author. E-mail: nanang.s@unib.ac.id (Nanang Sugianto),*

No. hp/WA: +62-853-8116-1825

ABSTRAK

Delineasi struktur dan lapisan penyusun batuan bawah permukaan lapangan geothermal dan hidrothermal telah dilakukan dengan menerapkan metode seismik refraksi (pengukuran waktu tempuh) untuk mendapatkan nilai dan profil kecepatan gelombang seismic fungsi kedalaman. Pengambilan data sebanyak 3 lintasan dengan panjang lintasan 46 meter. Data penelitian yang didapatkan diolah menggunakan *software* Seismager. Hasilnya berupa profil 2D penampang dengan 3 lapisan yang menunjukkan kecepatan gelombang setiap lapisan. Kecepatan gelombang sebesar 168 m/s hingga 469 m/s merupakan lapisan *top soil* yang diduga berupa lempung kerikil. Kecepatan gelombang sebesar 611 m/s hingga 1525 m/s merupakan lapisan *alluvium*. Kecepatan gelombang sebesar 696 m/s hingga 1867 m/s merupakan lempung, pasir dan kerikil tersaturasi, sedangkan untuk kecepatan gelombang sebesar 2430 m/s merupakan lempung pasiran tersaturasi.

Kata Kunci: Panas bumi; Seismik Refraksi; Kekerasan Batuan; Kecepatan gelombang



ABSTRACT

Delineation of the structure and constituent layers of subsurface rocks in geothermal and hydrothermal fields has been carried out by applying the refraction seismic method (travel time measurement) to obtain the value and profile of seismic wave velocity as a function of depth. Data were collected in 3 passes with a track length of 46 meters. The research data obtained was processed using Seismager software. The result is a 2D cross-sectional profile with 3 layers showing the wave velocity of each layer. Wave velocities of 168 m/s to 469 m/s represent the top soil layer which is thought to be gravelly clay. Wave speed of 611 m/s to 1525 m/s is the alluvium layer. Wave velocities of 696 m/s to 1867 m/s are saturated clays, sands and gravels, while wave velocities of -2430 m/s are saturated passive clays.

Keywords: *Geothermal; Seismic Refraction; rock hardness; Wave velocity*

1. Pendahuluan

Indonesia memiliki tatanan tektonik yang kompleks. Secara geografis Indonesia berada pada pertemuan lempeng Eurasia, Hindia-Australia dan Pasifik. Proses subduksi menghasilkan proses peleburan magma dalam bentuk *partial melting*. Proses ini membentuk kantong magma pada batuan mantel yang akan menjadi jalur gunung api. Proses inilah menjadi konseptual pembentukan sistem panas bumi di Indonesia [1].

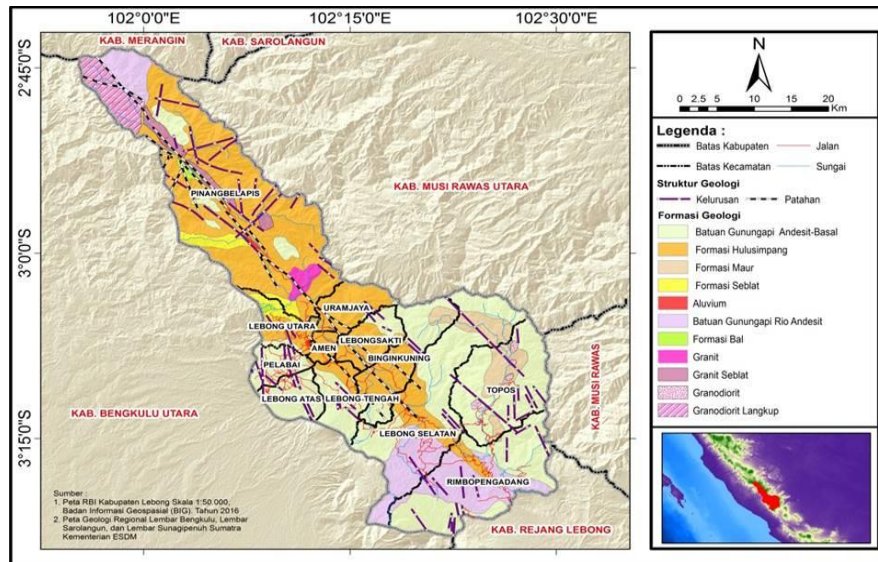
Provinsi Bengkulu berada pada zona pertemuan lempeng Indo-Australia dan lempeng Eurasia. Kondisi ini menyebabkan provinsi Bengkulu mengalami aktivitas tektonik yang tinggi [2], sehingga terbentuknya gunung api, sistem hidrotermal, aktivitas geothermal, dan gempa bumi.

Salah satu daerah yang memiliki potensi geothermal dan hidrotermal berada pada wisata Air Putih, Tambang Saweak, Kecamatan Pinang Belapis, Kabupaten Lebong, Bengkulu. Potensi geothermal sebesar 173 Mwe, pada posisi 3°LS dan 102°BT [3]. Lebong dilalui oleh Sesar Ketahun dan adanya gunung api yang masih aktif (Bukit Daun) sehingga

besarnya keberadaan cadangan geothermal pada Lebong.

Geothermal adalah panas bumi yang terbentuk secara alami dibawah permukaan bumi [4]. Geothermal dapat dihasilkan dari aktivitas magmatis menghasilkan proses konveksi bawah permukaan. Proses ini akan memanaskan batuan disekitarnya, termasuk batuan reservoir yang menyimpan fluida atau air. Air yang terpanaskan akan menerobos kepermukaan melalui rekahan atau patahan pada struktur bawah permukaan akibat adanya tekanan yang tinggi [5]. Air yang muncul kepermukaan disebut manifestasi. Parameter dalam menentukan potensi cadangan geothermal dibatasi oleh geologi lokal, vulkanisme, karakteristik batuan serta struktur bawah permukaan dari geothermal.

Wisata Air Putih, Lebong menjadi salah satu wilayah yang memiliki manifestasi air panas yang muncul kepermukaan. Dengan adanya potensi ini menjadi tujuan untuk dilakukan kajian ilmiah mengenai karakteristik struktur bawah permukaan dengan menentukan densitas batuan pada lapangan geothermal dan hidrotermal.



Gambar 1. Peta Geologi Kabupaten Lebong

Geologi daerah Tambang Saweak dan Muara Aman umumnya termasuk pada busur magmatik sunda-banda yang berumur miosen-plioesen dan merupakan cekungan Bengkulu (busur depan) berumur tersier. Dalam peta geologi daerah Tambang Saweak dan Muara Aman memiliki jenis batuan yang berumur miosen bawah sampai holosen. Struktur umum yang dapat ditemukan berupa sesar, ciri-cirinya berupa lembah-lembah dan tebing curam yang dapat diketahui dari kelurusan sungai [6].

Umumnya, batuan pada sistem hidrotermal merupakan batuan rekah alam. Air mengalir melalui rekahan atau batuan permeable dan mengalami

perubahan fasa saat perjalanan ke permukaan. Perubahan fasa terjadi karena temperature air mencapai titik didihnya sehingga terbentuk manifestasi yang beragam. Manifestasi ini berupa *hot spring, fumarol, ground warm, mud pools* yang letaknya berdekatan namun masing-masing mempunyai karakteristik berbeda. Karena, karakteristik manifestasi yang berbeda mengakibatkan konduktivitas batuan juga berbeda [7].

Peranan konduktivitas, resistivitas dan suhu sangat penting pada suatu sistem geotermal dan hidrotermal. Hal ini digunakan sebagai penghantar panas dari batuan sumber panas ke batuan lain yang melewati lapisan *impermeable*. Nilai

konduktivitas termal batuan yang tinggi akan dimanfaatkan untuk melihat potensi reservoir dari panas bumi sebagai energi panas bumi [8].

Salah satu sifat fisik reservoir tersebut adalah batuan yang poros, atau mempunyai porositas. Hubungan antara porositas batuan dengan kecepatan gelombang seismik dapat menghasilkan sebaran batuan bawah permukaan pada lapisan dangkal dengan proses estimasi baik gelombang primer (gelombang P) maupun gelombang sekunder (gelombang S). Sifat elastisitas batuan mempengaruhi perambatan gelombang seismik. Perambatan gelombang pada struktur batuan bawah permukaan dapat dikaji menggunakan metode seismik refraksi.

Seismik refraksi merupakan metode geofisika yang digunakan untuk menentukan kekerasan batuan, litologi batuan, kedalaman batuan dasar, dan sesar [9]. Gelombang pada seismik refraksi akan dipantulkan atau dibiaskan. Gelombang mengalami pembiasan terhadap sudut kritis. Sudut kritis merupakan perambatan gelombang melalui bidang batas yang memisahkan setiap lapisan bawah permukaan [10]. Kecepatan gelombang berbeda-beda

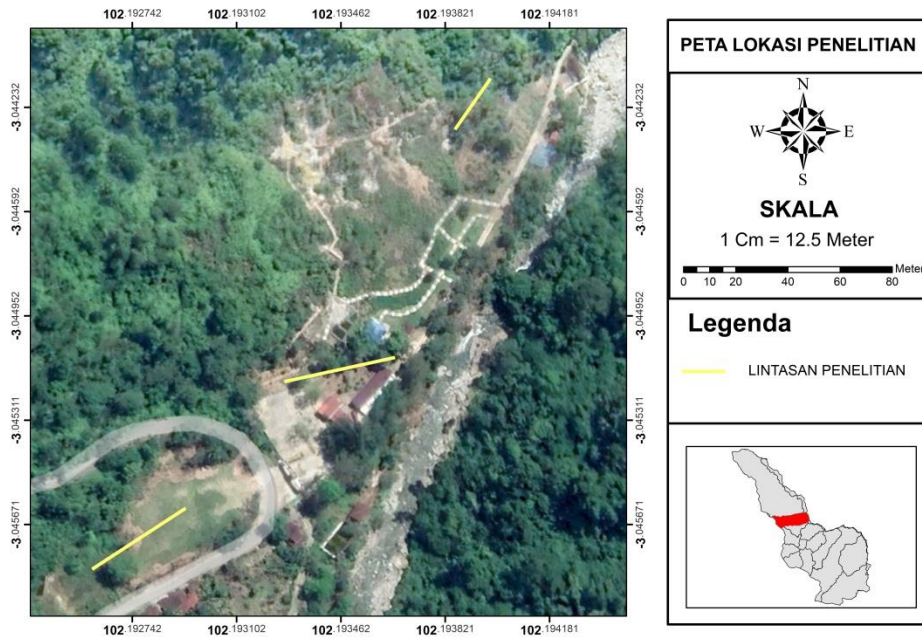
tergantung pada setiap perlapisan batuan [11,12].

Dalam metode seismik refraksi hal yang diukur adalah waktu tempuh gelombang. Waktu yang diperlukan gelombang untuk merambat bergantung pada medium yang dilewatinya. Berdasarkan perhitungan waktu tempuh gelombang antara geophone (penerima) dan source (sumber getaran) akan memberikan nilai kecepatan dan kedalaman batuan yang digunakan untuk menentukan kekerasan pada batuan atau densitas batuan.

Semakin kebawah densitas batuan akan semakin padat karena adanya tekanan dari atas maka kecepatan gelombang juga semakin besar. Batuan dangkal akan memiliki kecepatan lebih kecil karena belum terpadatkannya batuan tersebut [13].

2. Bahan dan Metode

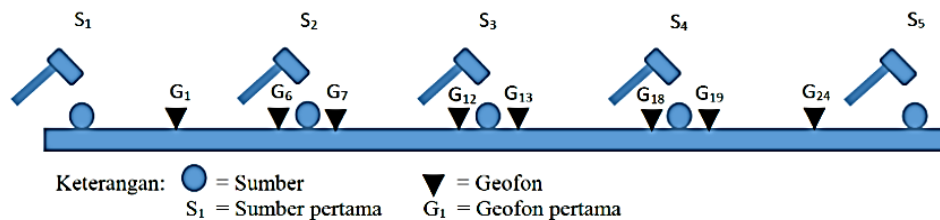
Lokasi penelitian dilakukan di Objek Wisata Air Putih, Tambang Saweak Kec. Pinang Belapis, Kab. Lebong, Bengkulu. Pengambilan data sebanyak 3 lokasi titik pengukuran. Lokasi pertama berada di lapangan depan gerbang masuk objek wisata. Titik kedua berada di dekat masjid objek wisata. Titik ketiga berada di dekat gazebo pengunjung bagian atas objek wisata.



Gambar 2. Peta Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian adalah seismik refraksi. Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah Seismograph 24 Channels Model 16S24P.

Titik pengambilan data sebanyak 3 lintasan dengan panjang lintasan 46 meter, spasi antar geophone pada pengambilan data tersebut yaitu 2 meter.



Gambar 3. Ilustrasi pengambilan data di lapangan menggunakan teknik *Refraction Tomography* [14]

Metode seismik refraksi dihitung berdasarkan waktu tempuh gelombang saat merambat pada batuan dari sumber seismik

menuju penerima pada berbagai jarak tertentu. Interpretasi data seismik dilakukan untuk menerjemahkan setiap data menjadi

model geologi yang dapat menggambarkan struktur bawah permukaan bumi.

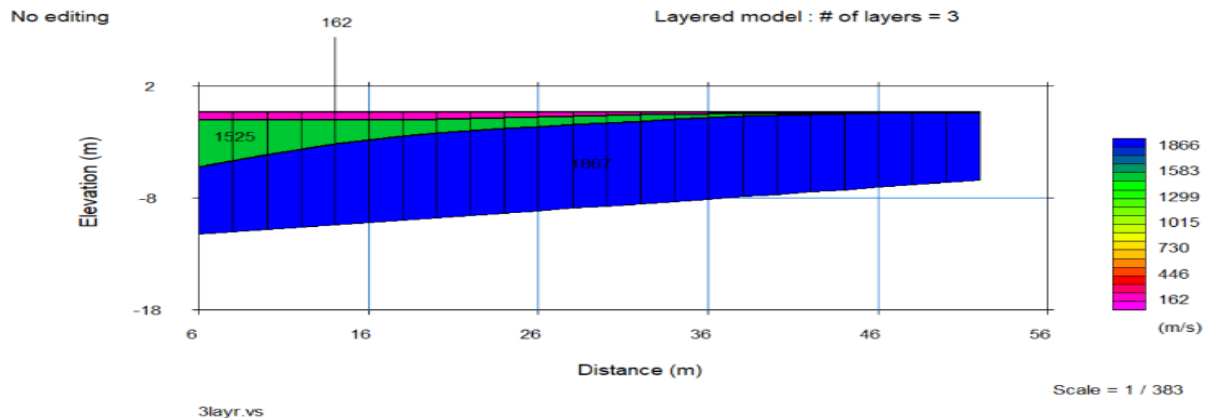
Data penelitian yang telah didapatkan diolah menggunakan *software* Seismager dengan format data dari lapangan yaitu (.dat). Dalam *software* Seismager ini memiliki beberapa bagian yaitu *pickwin* (*Pick First Breaks or Dispersion Curves*) untuk mengolah data di lapangan dan *first break* pada gelombang. Selanjutnya data diolah menggunakan plotrefa (*Refraction Analysis*) yang datanya berupa grafik jarak terhadap waktu.

Kurva travel time didapat dari plot nilai *firstbreak* terhadap jarak yang diolah

di plotrefa. Selanjutnya dilakukan inversi untuk dengan mendapatkan layer dan arahnya, untuk mengetahui kecepatan gelombang pada setiap lapisan. setelah itu di inversi dan menghasilkan penampang 2 lapisan, hasil inversinya akan menghasilkan penampang dua lapisan.

3. Hasil dan Pembahasan

Pada setiap lintasan dapat dilihat lapisan batuan yang teridentifikasi terlihat dari *slope* pada kurva *travel time*. Kurva *travel time* diolah untuk memodelkan kecepatan lapisan bawah permukaan berupa model penampang 2-D kecepatan seismik.



Gambar 4. Penampang 2-D kecepatan seismik pada lintasan pertama

Lintasan pertama pada Gambar 4 dengan panjang lintasan 52 meter dengan jarak antar geophone 2 meter memiliki 4 sumber. Hasil yang ditunjukkan pada

pengukuran ini terdapat 3 lapisan kecepatan batuan yang nilainya 162 m/s sampai 1866 m/s. Pada lapisan pertama untuk nilai kecepatan batuan yang dihasilkan yaitu 162

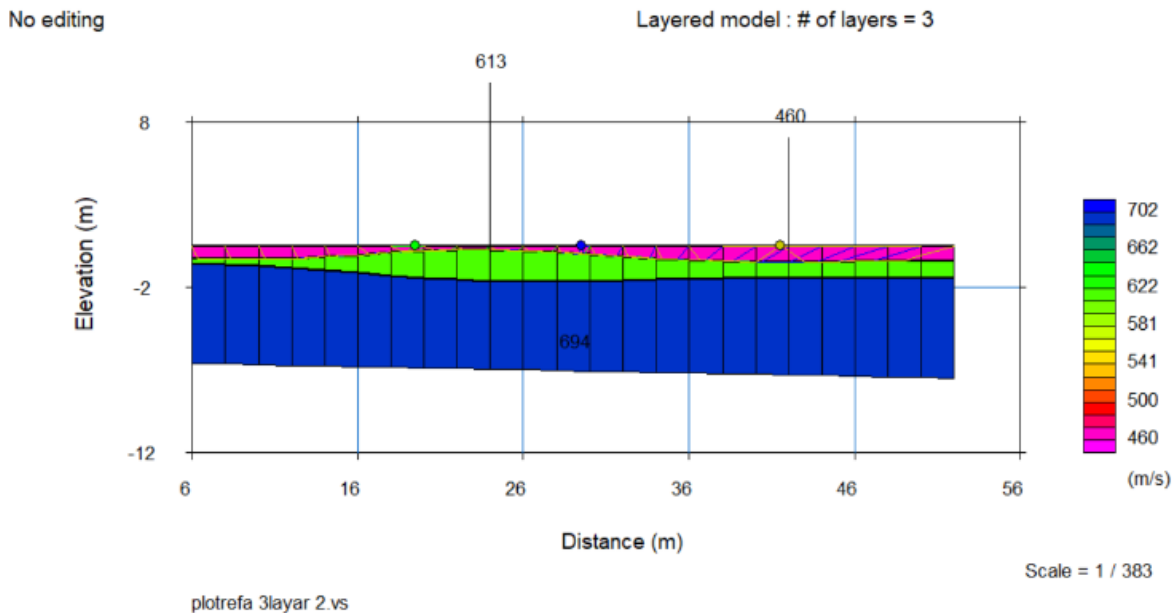
m/s. Lapisan kedua nilai kecepatan batuanya sebesar 1015 m/s sampai 1583 m/s. Untuk lapisan yang ketiga nilai kecepatan batuanya sebesar 1866 m/s.

Berdasarkan hasil pengolahan data pada lintasan pertama di lapisan pertama nilai kecepatan batuan yang dihasilkan yaitu 162 m/s yang diinterpretasikan sebagai batuan jenis *top soil*. Dilapisan kedua nilai kecepatan batuanya sebesar 1015 m/s sampai 1583 m/s diinterpretasikan

sebagai material *Alluvium*. Untuk lapisan yang ketiga nilai kecepatan batuanya sebesar 1866 m/s diinterpretasikan batuan lempung pasir.

Tabel 1. Jenis Batuan Lintasan Pertama

| Layer | V_P | Jenis Batuan |
|-------|----------|--------------------------------------|
| 1 | 162 m/s | <i>Top Soil</i> (lempung kerikil) |
| 2 | 1525 m/s | <i>Alluvium</i> |
| 3 | 1867 m/s | Lempung Pasiran |



Gambar 5. Penampang kecepatan seismic 2-D Lintasan 2

Hasil yang ditunjukkan pada lintasan kedua pada Gambar 5 dimana pengukuran ini terdapat 3 lapisan kecepatan batuan yang nilainya 424 m/s sampai 831 m/s. Pada lapisan pertama untuk nilai kecepatan batuan

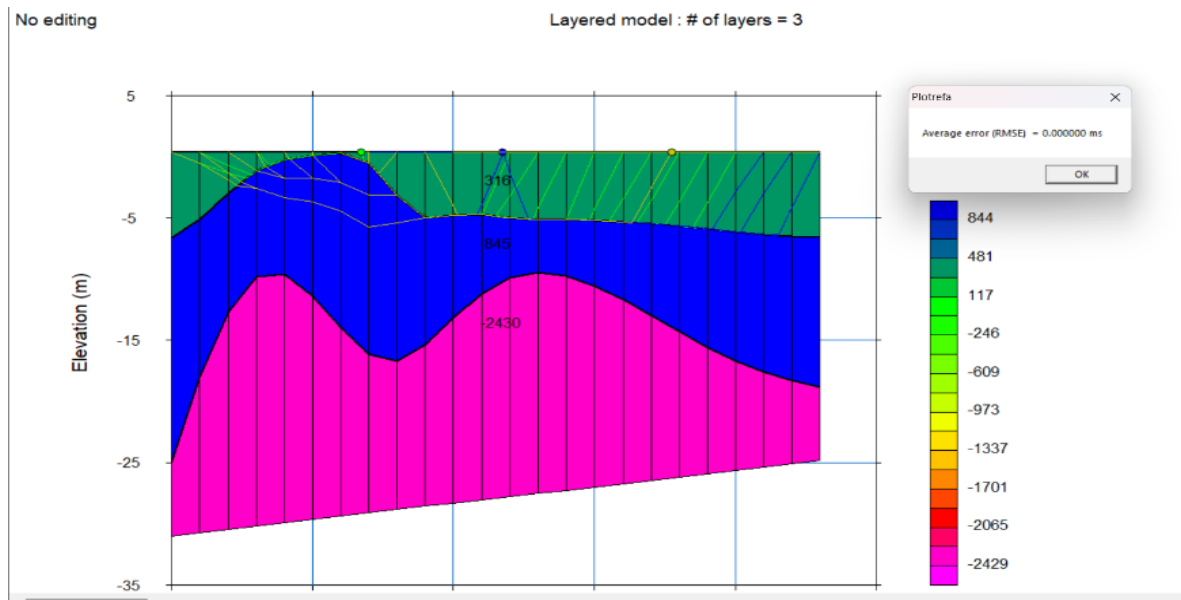
yang dihasilkan yaitu 469 m/s. Lapisan kedua nilai kecepatan batuanya sebesar 611 m/s. Untuk lapisan yang ketiga nilai kecepatan batuanya 696 m/s sampai 741 m/s.

Tabel 2. Jenis Batuan Lintasan Kedua

| Layer | V_P | Jenis Batuan |
|-------|---------------|-------------------------------|
| 1 | 469 m/s | Top Soil(lempung) |
| 2 | 611 m/s | Alluvium |
| 3 | 696 – 741 m/s | Pasir dan Kerikil Tersaturasi |

Berdasarkan hasil pengolahan data pada lintasan kedua di lapisan pertama

nilai kecepatan batuan yang dihasilkan yaitu 469 m/s yang diinterpretasikan sebagai batuan jenis *top soil*. Dilapisan kedua nilai kecepatan batumannya sebesar 611 m/s sebagai lapisan material *alluvium*. Untuk lapisan yang ketiga nilai kecepatan batumannya 696 m/s hingga 741 m/s diinterpretasikan batuan pasir dan kerikil tersaturasi



Gambar 6. Penampang kecepatan seismik 2-D Lintasan 3

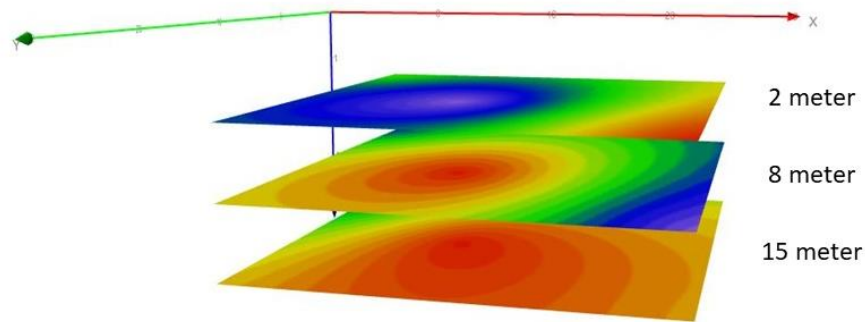
Lintasan ketiga pada Gambar 6 dengan panjang lintasan 52 meter dengan jarak antar geophone 2 meter memiliki 4 sumber. Hasil yang ditunjukkan pada pengukuran ini terdapat 3 lapisan kecepatan batuan yang nilainya -2430 m/s sampai 845 m/s. Pada lapisan pertama untuk nilai

kecepatan batuan yang dihasilkan yaitu 316 m/s. Lapisan kedua nilai kecepatan batumannya sebesar 845 m/s. Untuk lapisan yang ketiga nilai kecepatan batumannya sebesar -2430 m/s.

Tabel 3. Jenis Batuan Lintasan Ketiga

| Layer | V_P | Jenis Batuan |
|-------|-----------|-----------------------------|
| 1 | 316 m/s | Top Soil(lempung) |
| 2 | 845 m/s | Alluvium |
| 3 | -2430 m/s | Lempung Pasiran tersaturasi |

Pada lintasan ke-3 bawah permukaan pada kedalaman 10-30 meter menunjukkan nilai -2430 m/s diduga lapisan ini telah tersaturasi dengan hidrotermal. Lintasan ini diduga terdapat aliran hidrotermal yang mengalir ke dalam kawasan wisata air putih.



Gambar 7. Pemodelan lapisan 3-D pada penggabungan setiap lintasan.

4. Simpulan

Hasil penelitian mengenai karakteristik bawah permukaan kawasan wisata Air Putih, Lebong dengan menentukan nilai V_p pada batuan. Tiga lintasan yang telah diolah digabungkan menjadi pemodelan 3-D untuk memudahkan dalam karakteristik bawah permukaan. Pada kedalaman 0-2 meter merupakan *top soil* yang berada

dipermukaan. Kedalaman 8 meter merupakan lapisan *Alluvium*. Pada kedalaman 15 meter merupakan lempung pasiran dan diduga tersaturasi oleh air serta terbentuk aliran hidrotermal. Untuk penelitian selanjutnya dapat menggunakan metode magnetic untuk menentukan potensi geotermal dengan melihat distribusi data secara horizontal.

5. Ucapan Terima Kasih

Penelitian ini didukung oleh Program studi geofisika FMIPA Universitas Bengkulu. Terima kasih kepada teman-teman angkatan 2019 yang ikut kebersamai dalam pengambilan data lapangan.

6. Referensi

1. A. Basid, N. Andriani, and S. Arfiyaningsih, "Pendugaan Reservoir Sistem Panas Bumi Dengan Menggunakan Survey Geolistrik, Resistivitas Dan Self Potensial (Studi Kasus: Daerah Manifestasi Panas Bumi di Desa Lombang, Kecamatan Batang-Batang, Sumenep)," *J. Neutrino*, vol. 7, no. 1, p. 57, 2014, doi: 10.18860/neu.v7i1.2640.
2. D. H. Natawidjadja, Gempabumi dan Tsunami di Sumatra dan Upaya Untuk Mengembangkan Lingkungan Hidup Yang Aman Dari Bencana Alam, vol. 1-3, no. December. 2007.
3. Hendriadi and A. Pagalo, "Gunungapi dan Penanggulangannya. Dinas Energi dan Sumber Daya Mineral Propinsi Bengkulu, Bengkulu.," *Sumber Daya Miner.*, vol. 6, 2004.
4. S. Arifin, "Interpretasi Geologi Bawah Permukaan Daerah Potensi Panas Bumi Lombang Sumenep Berdasarkan Pemodelan Electrical Resistivity Tomography (ERT)," Universitas Islam Negeri (UIN) Maulana Malik Ibrahim Malang, 2013.
5. S. Juhri, "Sistem Panasbumi: Komponen Dan Klasifikasinya," Kyushu University, 2016.
6. Z. Tain, "Evaluasi Sumber Daya Dan Cadangan Bahan Galian Untuk Pertambangan Sekala Kecil Di Daerah Lembar Pulau Alor, Provinsi Nusa Tenggara Timur," *DIM*, pp. 1-13, 2005.
7. N. M. Saptadji, "Karakterisasi Reservoir Panas Bumi," *Bandung Inst. Teknol. Bandung*, vol. Juli, pp. 6-17, 2009.
8. R. Endovani and A. Putra, "Analisis Konduktivitas Termal dan Porositas Sinter Silika Sumber Mata Air Panas di Sapan Maluluang, Kecamatan Alam Pauh Duo, Kabupaten Solok Selatan," *J. Fis. Unand*, vol. 5, no. 1, pp. 65-72, 2016.
9. N. Nurcandra, Darsono, and S. Koesuma, "Penentuan Tingkat Kekerasan Batuan Menggunakan Metode Seismik Refraksi di Jatikuwung Karanganyar," *J. Meteorol. dan Geofis.*, vol. 12, no. 3,

- pp. 5–11, 2011, doi: 10.31172/jmg.v12i3.103.
10. S. N. Hudha, U. Harmoko, S. Widada, Y. D. H, G. Yulianto, and Sahid, “Penentuan Struktur Bawah Permukaan dengan Menggunakan Metode Seismik Refraksi di Lapangan Panas Bumi Diwak dan Derekan, Kecamatan Bergas, Kabupaten Semarang,” *Ejournal3.Undip.Ac.Id*, vol. 3, no. 3, pp. 263–268, 2014.
11. B. Nurdiyanto, E. Hartanto, D. Ngadmanto, B. Sunardi, and P. Susilanto, “Penentuan Tingkat Kekerasan Batuan Menggunakan Metode Seismik Refraksi,” *J. Meteorol. dan Geofis.*, vol. 12, no. 3, 2011, doi: 10.31172/jmg.v12i3.103.
12. Erfani, S. (2021). Analisis Model Struktur Bawah Permukaan Berdasarkan Tomografi Seismik Wilayah Sumatera Barat Menggunakan LOTOS12. *Wahana Fisika Jurnal Fisika dan Terapannya*, 6(1), 59-70.
13. N. Muhlisah, R. A. Magfirah, I. N. Mutiah, and A. Pratama, “Analisis Litologi Bawah Permukaan Teluk Liukang Menggunakan Metode Seismik Refraksi,” *Dewantara J. Technol.*, vol. 1, no. 1, pp. 34–37, 2020.
14. A. I. Hadi, L. Lidiawati, and P. Edo, “Interpretasi Tingkat Kekerasan Batuan Bawah Permukaan di Daerah Rawan Gempa Bumi Kota Bengkulu,” *Indones. J. Appl. Phys.*, vol. 11, no. 1, pp. 11–24, 2021.