

Penentuan Tingkat Kekerasan Batuan Menggunakan Metode Seismik Refraksi di Jatikuwung Karanganyar

Nakif Nurcandra, Darsono, Sorja Koesuma

Jurusan Fisika FMIPA Universitas Sebelas Maret, Surakarta
nakief@gmail.com

Received 08-01-2013, Revised 04-02-2013, Accepted 11-02-2013, Published 25-04-2013

ABSTRACT

It has been done a research about the determination of rock hardness level by using refraction seismic method in Jatikuwung Karanganyar. The research is done by using *Seismograph PASI 16S24-P* with the path length of 48 meters, distance between *geophone* 2 meters, 5 shots in each spread and there are four surveys part totally. The processing data is done by using *SeisImager* software with *Plotrefa* and *Pickwin95* program. We use *intercept time* method for data processing. The determination of rock hardness use *Gardner's relationship* formula. Based on interpretation, there are three layers lithology structure with P wave propagation velocity of 200-1800 m/s and its density of 1.17–1.93 gr/cc. Based on velocity analysis we determine the velocity of first layer is 200-700 m/s, second layer 700-1500 m/s, and third layer 1500-1800 m/s. The subsurface hardness lithology consists of *top soil*, sands and unsaturated pebble (1.17–1.59 gr/cc) with the depth 2–4 meters in the first layer, saturated sands, saturated pebble, and alluvium (1.59–1.93 gr/cc) with the depth 9.5–11.5 meters in the second layer, and clay and sands (1.93–2.02 gr/cc) with the depth of 5.5–6 meters in the third layer. The rock hardness is located at the depth between 12 – 20 meters.

Keywords: refraction seismic, *intercept time*, velocity, *Gardner's relationship*, density.

ABSTRAK

Telah dilakukan penelitian mengenai penentuan tingkat kekerasan batuan dengan menggunakan metode seismik refraksi di Jatikuwung, Karanganyar. Penelitian dilakukan dengan menggunakan alat *Seismograph PASI 16S24-P* dengan panjang lintasan 48 meter, jarak antar *geophone* 2 meter, dan menggunakan 5 shot dalam 1 bentangan serta terdapat 4 lintasan survai. Pengolahan data dilakukan dengan menggunakan *software SeisImager* dengan program *Pickwin95* dan *Plotrefa*. Metode pengolahan data dengan *intercept time*. Penentuan kekerasan batuan menggunakan rumus empiris *Gardner's relationship*. Hasil interpretasinya didapatkan struktur litologi tiga lapis dengan kecepatan rambat gelombang P adalah 200-1800 m/s dan densitasnya 1,17–1,93 gr/cc. Pengelompokan lapisan berdasarkan kecepatan rambat gelombang P adalah lapisan pertama 200-700 m/s, lapisan kedua 700-1500 m/s, dan lapisan ketiga 1500-1800 m/s. Litologi batuan bawah permukaan terdiri dari *top soil*, pasir dan kerikil tak jenuh (1,17–1,59 gr/cc) dengan ketebalan 2–4 meter pada lapisan pertama, pasir jenuh, kerikil jenuh dan alluvium (1,59–1,93 gr/cc) dengan ketebalan 9,5–11,5 meter pada lapisan kedua, dan lempung dan pasir (1,93–2,02 gr/cc) dengan ketebalan 6 meter pada lapisan ketiga. Batuan keras terdapat pada kedalaman 12 meter hingga kedalaman 20 meter.

Kata kunci: seismik refraksi, *intercept time*, kecepatan, *Gardner's relationship*, kekerasan batuan.

PENDAHULUAN

Di daerah perkotaan yang sudah padat penduduknya, dimana keterbatasan lahan kosong di perkotaan sekarang ini semakin menyempit. Untuk menanggulangi keterbatasan lahan di perkotaan, pembangunan dilakukan ke arah vertikal dengan kata lain pembuatan gedung bertingkat untuk memenuhi permintaan/kebutuhan yang terjadi di daerah perkotaan. Dalam pembangunan gedung bertingkat maka diperlukan pondasi yang kuat dan kokoh agar efek dari bencana dapat diminimalisir. Mengingat fungsi pondasi yang sangat penting sehingga diperlukan pengujian tingkat kekerasan batuan untuk mendapatkan daya dukung terhadap bangunan yang ada di atasnya. Adapun teknologi yang digunakan untuk mengetahui tingkat kekerasan batuan di dalam bumi yaitu dengan menggunakan metode geofisika. Metode ini merupakan salah satu metode yang digunakan untuk mengukur ketebalan dan daya dukung yang diinginkan berdasarkan pada gelombang primer yang merambat dalam profil berlapis yang sering dikenal dengan metode seismik refraksi^[1].

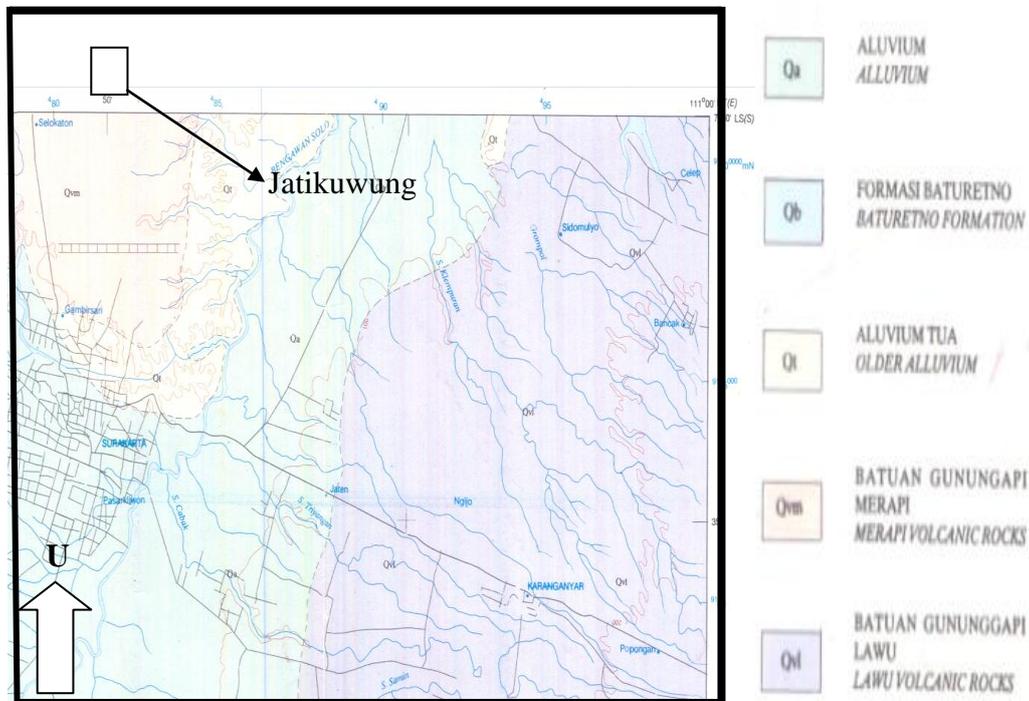
Metode seismik refraksi merupakan teknik umum yang digunakan dalam survai geofisika untuk menentukan kedalaman batuan dasar, litologi batuan dasar (*bed rock*), sesar, dan kekerasan batuan. Berdasarkan penelitian sebelumnya bahwa besarnya cepat rambat gelombang P (longitudinal) dalam lapisan batuan dipengaruhi oleh elastisitas dan densitas batuan, sehingga dengan mengetahui cepat rambat gelombang P pada lapisan batuan maka akan diketahui tingkat kekerasan lapisan atau densitas batuan tersebut^[2-5]. Metode yang digunakan ini merupakan salah satu metode *non destructive* yang efektif dan efisien karena memerlukan tenaga yang sedikit, biaya yang lebih murah dan waktu yang relatif singkat. Pada prinsipnya metode ini memanfaatkan perambatan gelombang seismik yang merambat ke dalam bumi. Gelombang seismik merupakan gelombang elastik dan perambatannya bergantung pada sifat elastisitas batuan. Ketika gelombang seismik yang menjalar menemui bidang batas antar lapisan, sebagian gelombang ini ada yang direfleksikan (dipantulkan) dan ada juga yang direfraksikan (dibiaskan) kemudian gejala fisisnya diamati dengan menangkap gelombang tersebut melalui *geophone*^[6]. Hal tersebut akan diketahui nilai kecepatan dan kedalaman lapisan berdasarkan penghitungan waktu tempuh gelombang antara sumber getaran (*source*) dan penerima (*geophone*). Waktu yang diperlukan oleh gelombang seismik untuk merambat pada lapisan batuan bergantung pada besar kecepatan yang dimiliki oleh medium yang dilaluinya.

Pada survai seismik refraksi hukum dasar yang digunakan yaitu dasar pemantulan dan pembiasan diantaranya: hukum Snellius, azas Fermat, dan hukum Huygens. Menurut hukum Snellius menjelaskan hubungan antara sinus sudut datang dan sudut bias terhadap kecepatan gelombang dalam medium. Azas Fermat yang menyatakan dalam penjalaran gelombang dari satu titik ke titik selanjutnya yang melewati suatu medium tertentu akan mencari suatu lintasan dengan waktu tempuh yang paling sedikit. Sedangkan untuk hukum Huygens menyatakan bahwa suatu gelombang yang melewati suatu titik akan membuat titik tersebut menjadi sumber gelombang baru dan akan begitu seterusnya^[7,8].

Survai seismik refraksi ini dilakukan dengan studi kasus di Desa Jatikuwung, Kecamatan Godangrejo, Kabupaten Karanganyar. Tempat tersebut merupakan lokasi yang akan dilakukan pembangunan gedung bertingkat sehingga perlu dilakukan survai geologi untuk mengetahui daya dukung tanah tempat berdirinya bangunan tersebut. Survai ini digunakan untuk mengetahui kecepatan rambat dan densitas batuan tersebut.

METODE

Penelitian ini dilaksanakan di Desa Jatikuwung, Gondangrejo, Karanganyar. Titik koordinat survai terletak $7^{\circ} 31' 142''$ LS dan $110^{\circ} 50' 776''$ BT yang berada pada formasi geologi batuan gunungapi Merapi. Berikut merupakan peta lokasi survai seismik refraksi yang dapat dilihat pada Gambar 1 di bawah ini:



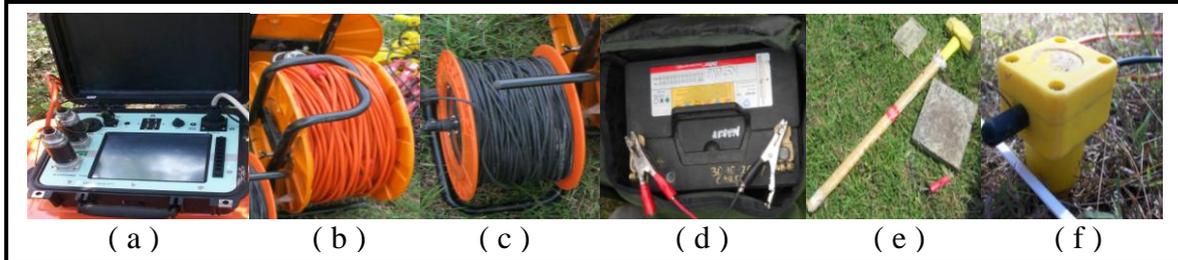
Gambar 1. (color online) Peta lokasi survai seismik refraksi skala 1:100.000^[9].

Data Jatikuwung terdiri dari 4 lintasan dengan panjang bentangan 48 meter dan jarak antar *geophone* 2 meter. Gambar 2 menunjukkan posisi lintasan seismik refraksi di Desa Jatikuwung:



Gambar 2. (color online) Posisi lintasan survai seismik refraksi di Jatikuwung.

Peralatan utama yang digunakan dalam survai dapat dilihat pada Gambar 3 yang terdiri dari *Seismograph PASI 16S24-P*, *geophone cable*, *trigger cable*, *power supply* 12 Volt, palu dan landasan, *geophone* 24 buah, dan untuk peralatan lainnya antara lain meteran, *Handy Talk*, *Global Positioning System (GPS)*, *software SeisImager (Processing Data)*, sarung tangan, payung, peta geologi, peta topografi, *flasdisk*, dan *log book*.



Gambar 3. (color online) Peralatan utama seismik refraksi yang terdiri dari: (a) *Seismograph*, (b) Kabel *geophone*, (c) Kabel *trigger*, (d) *Power supply*, (e) Palu dan landasan, (f) *Geophone*.

Akuisisi data seismik refraksi dilakukan dengan menggunakan model bintang segaris (*in line*). Pengolahan data seismik refraksi menggunakan *software SeisImager* dengan program *Pickwin95* dan *Plotrefa*. Metode pengolahan dengan *intercept time*. Untuk mendapatkan nilai kecepatan terlebih dahulu dilakukan proses editing geometri kemudian ditampilkan dalam penampang seismik. Dari data penampang seismik ini sebelumnya difilter terlebih dahulu menggunakan *Low Pas Filter (LP Filter)* sebesar 0-250 Hz untuk menampilkan data yang jelas dan mengurangi *noise*. Setelah itu, data *dipicking* pada gelombang pertamanya (*firstbreak*) sehingga akan didapatkan nilai waktu tiba (*time break*) dan ditampilkan dalam kurva waktu tempuh (*travel time*), kemudian diinterpretasikan.

Interpretasi Seismik Refraksi

Pada interpretasi data seismik refraksi, untuk mendapatkan tingkat kekerasan batuan dengan menggunakan hubungan antara densitas dan kecepatan perambatan gelombang diperlihatkan pada Persamaan (1) yang dikenal sebagai hukum Gardner^[10]

$$\rho = \alpha V^{1/4} \tag{1}$$

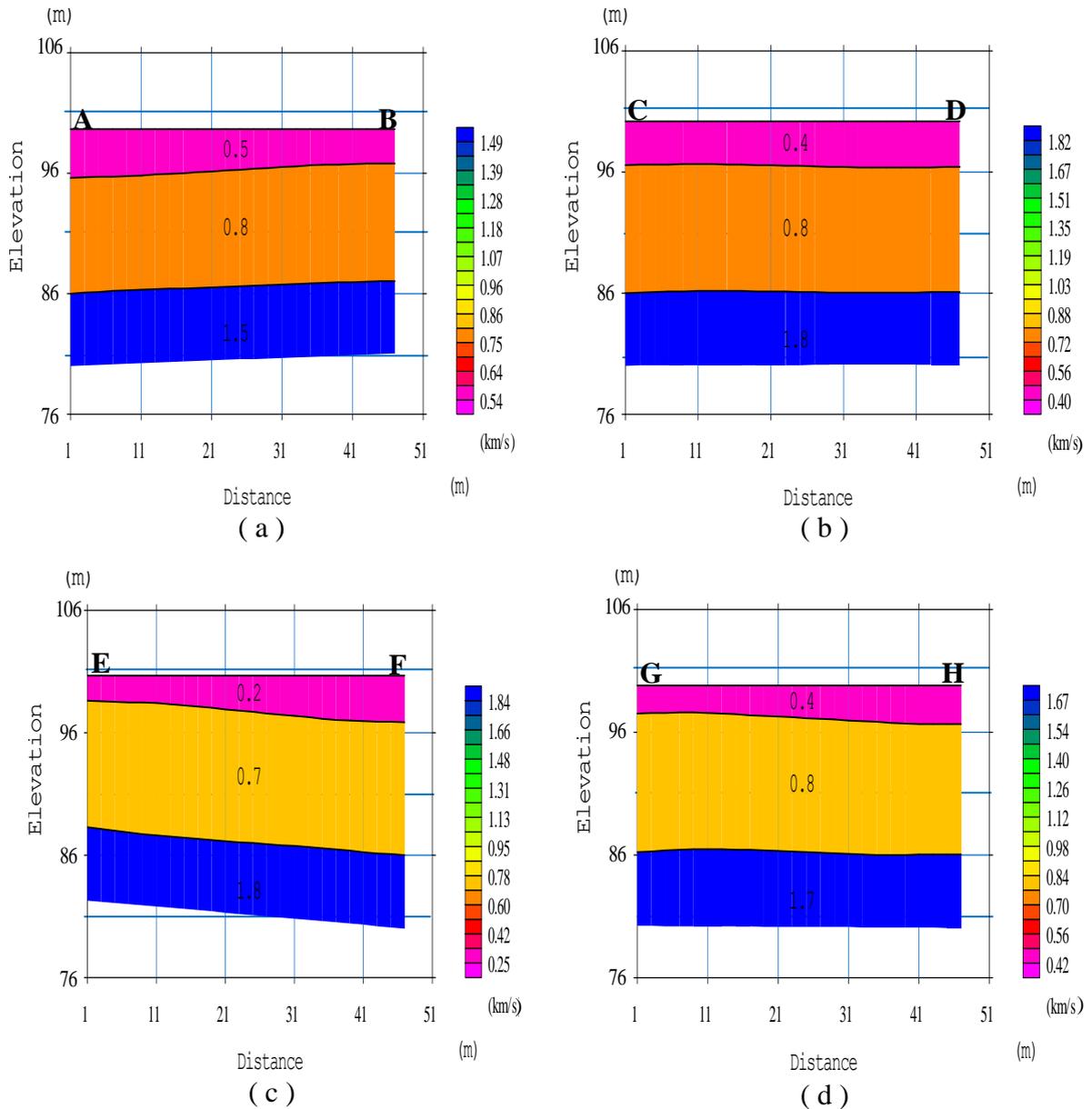
Dimana : ρ = densitas dalam gr/cm^3
 α = konstanta yang besarnya 0,31
 V = kecepatan dalam m/s

Metode pengolahan yang digunakan dengan metode *intercept time*. Pada perhitungan yang digunakan dengan menghitung waktu pertama kali gelombang yang berasal dari sumber seismik diterima oleh setiap *receiver*. Dengan mengetahui jarak setiap *receiver* dengan sumber seismik dan waktu penjalaran gelombang yang pertama kali sampai *receiver* kemudian dibuat grafik hubungan antara jarak dengan waktu. Untuk mengetahui kedalaman lapisan pertama dituliskan dengan persamaan sebagai berikut^[6]:

$$z_1 = \frac{T_i V_1}{2 \cos \alpha} = \frac{T_i V_1}{2 \cos \left(\sin^{-1} \frac{V_1}{V_2} \right)} \quad \text{atau} \quad z_1 = \frac{T_i V_1 V_2}{2 \sqrt{V_2^2 - V_1^2}} \tag{2}$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berikut ini merupakan hasil interpretasi seismik refraksi di Jatikuwung:



Gambar 4. (color online) Nilai kecepatan dan ketebalan lapisan batuan (a) Lintasan A-B, (b) Lintasan C-D, (c) Lintasan E-F, dan (d) Lintasan G-H.

Analisis Interpretasi Seismik Refraksi

Lintasan pertama (Gambar 4a) dilakukan pengukuran dengan panjang lintasan 48 meter dengan jarak antar *geophone* 2 meter. Hasil interpretasinya menunjukkan bahwa terdapat tiga lapisan dalam pengukuran ini. Untuk nilai kecepatan batuan yang didapatkan dari 500 m/s hingga 1500 m/s dengan kedalaman sampai 20 meter. Untuk lapisan pertama dengan nilai kecepatan (v_1) = 500 m/s dengan ketebalan lapisan 3-4 meter, lapisan kedua dengan nilai kecepatan (v_2) = 800 m/s dengan ketebalan lapisan 9,5–10 meter, dan untuk lapisan

ketiga didapatkan nilai kecepatan (v_3) = 1500 m/s dengan ketebalan lapisan 6 meter. Hasil ini menunjukkan nilai kecepatan dan ketebalan lapisan berbeda-beda sesuai jenis litologinya.

Pada lintasan kedua (Gambar 4b) dilakukan pengukuran dengan lintasan memotong lintasan A-B dan lintasan G-H dengan panjang lintasan 48 meter. Titik potong ini, berada pada posisi *geophone* pertama (1 meter). Dari hasil interpretasi yang didapatkan bahwa struktur litologinya terdapat 3 lapis. Untuk lapisan pertama didapatkan nilai kecepatan (v_1) = 400 m/s dengan ketebalan lapisan 3 meter dan untuk lapisan kedua didapatkan nilai kecepatan (v_2) = 800 m/s dengan ketebalan lapisan 10,5 meter. Sedangkan untuk lapisan yang ketiga mempunyai nilai kecepatan (v_3) = 1800 m/s dengan ketebalan 6 meter. Dari hasil titik potong lintasan tersebut menunjukkan nilai yang serupa (Gambar 4a dan 4d) baik untuk nilai kecepatan maupun ketebalan lapisan.

Pada pengukuran di lintasan ketiga (Gambar 4c) dengan panjang lintasan 48 meter. Lintasan ini memotong lintasan A-B dan C-D dengan posisi titik potong pada *geophone* 17 (37 meter lintasan E-F). Dari hasil interpretasi yang didapatkan bahwa lapisan pertama didapatkan nilai kecepatan (v_1) = 200 m/s dengan ketebalan 2-3,5 meter dan untuk nilai kecepatan lapisan kedua dengan kecepatan (v_2) = 700 m/s dengan ketebalan 10,5 meter. Sedangkan untuk lapisan ketiga didapatkan nilai kecepatan (v_3) = 1800 m/s dengan ketebalan 6 meter. Untuk nilai kecepatan dan ketebalan diperpotongan lintasan tersebut didapatkan hasil yang serupa (Gambar 4a dan 4b).

Lintasan keempat (Gambar 4d) dilakukan pengukuran dengan panjang lintasan 48 meter. Lintasan ini digunakan untuk mengkorelasikan hasil dari lintasan pertama (lintasan A-B). Hasil yang didapatkan untuk lapisan pertama dengan kecepatan (v_1) = 400 m/s dengan ketebalan 2-3 meter dan untuk lapisan kedua didapatkan nilai kecepatan (v_2) = 800 m/s dengan ketebalan 10,5-11,25 meter. Sedangkan untuk lapisan ketiga didapatkan kecepatan (v_3) = 1700 m/s dengan ketebalan lapisan 6 meter. Hasil tersebut jika dikorelasikan dengan hasil lintasan pertama juga mempunyai nilai kecepatan dan ketebalan lapisan yang serupa (Gambar 4a dan 4d).

Hasil Analisis dan Perhitungan Densitas

Secara umum dari hasil interpretasi seismik refraksi diatas diketahui bahwa lintasan A-B, C-D, E-F, dan G-H memiliki struktur litologi tiga lapis.

Tabel 1. Tingkat kekerasan litologi batuan hasil seismik refraksi di Jatikuwung.

| Ketebalan (m) | Vp (m/s) | ρ (gr/cc) | Jenis Batuan |
|---------------|-------------|----------------|---|
| 2 – 4 | 200 – 700 | 1,17-1,59 | <i>top soil</i> , pasir dan kerikil tak jenuh |
| 9,5 – 11,5 | 700 – 1500 | 1,59-1,93 | pasir jenuh, kerikil jenuh dan alluvium |
| 6 | 1500 – 1800 | 1,93-2,02 | lempung dan pasir |

Didasarkan pada literatur kecepatan untuk lapisan pertama mempunyai nilai kecepatan sebesar 200–700 m/s dengan kedalaman lapisan 0–4 meter yang menunjukkan lapisan pertama merupakan lapisan lapuk yang berupa *top soil*, pasir dan kerikil tak jenuh. Untuk lapisan kedua mempunyai nilai kecepatan sebesar 700–1500 m/s dengan kedalaman lapisan 2–13,5 meter yang menunjukkan lapisan kedua merupakan pasir jenuh, kerikil jenuh dan alluvium. Lapisan ketiga mempunyai nilai kecepatan sebesar 1500–1800 m/s dengan kedalaman lapisan 12-20 meter yang menunjukkan bahwa lapisan ketiga merupakan

lempung dan pasir. Berdasarkan dari peta geologi menunjukkan bahwa daerah penelitian tersebut berada pada formasi batuan gunung api. Dari hasil perhitungan densitas batuan yang dilakukan dengan menggunakan perumusan empiris dari hubungan Gardner pada Persamaan (1), maka diperoleh densitasnya mulai dari 1,17 gr/cc hingga 2,02 gr/cc. Litologi batuan bawah permukaan untuk lapisan pertama terdiri dari *top soil*, pasir dan kerikil tak jenuh (1,17–1,59 g/cc) dengan ketebalan 2-4 meter, lapisan kedua terdiri dari pasir jenuh, kerikil jenuh dan alluvium (1,59–1,93 gr/cc) dengan ketebalan 9,5–11,5 meter, dan lapisan ketiga terdiri dari lempung dan pasir (1,93–2,02 gr/cc) dengan ketebalan 6 meter. Untuk kedalaman lapisan batuan keras berada pada kedalaman 12 meter hingga 20 meter.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengolahan dan interpretasi dapat diambil kesimpulan bahwa nilai kecepatan litologi batuan pada interpretasi seismik refraksi di Jatikuwung adalah 200-1800 m/s dan densitasnya 1,17–2,02 gr/cc. Pengelompokan lapisan berdasarkan nilai kecepatannya terdiri atas lapisan pertama dengan kecepatan sebesar 200-700 m/s, lapisan kedua dengan kecepatan sebesar 700-1500 m/s, dan lapisan ketiga dengan kecepatan sebesar 1500-1800 m/s. Jika dikelompokkan berdasarkan jenis litologi batuan bawah permukaan untuk lapisan pertama terdiri dari *top soil*, pasir dan kerikil tak jenuh (1,17–1,59 gr/cc) dengan ketebalan 2-4 meter, lapisan kedua terdiri dari pasir jenuh, kerikil jenuh dan alluvium (1,59–1,93 gr/cc) dengan ketebalan 9,5–11,5 meter, dan lapisan ketiga terdiri dari lempung dan pasir (1,93–2,02 gr/cc) dengan ketebalan 6 meter. Hasil tingkat kekerasan batuan (*density*) yang didapatkan semakin bertambah kedalamannya maka batuan tersebut semakin kompak. Untuk batuan keras terdapat pada kedalaman 12 meter hingga kedalaman 20 meter.

DAFTAR PUSTAKA

- 1 Atmaja. 2008. *Investigasi Sub-Permukaan Tanah Untuk Perencanaan Jalan Menggunakan Survai Pembiasan Seismik*. Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
- 2 Nurdiyanto, B. 2011. Penentuan Tingkat Kekerasan Batuan Menggunakan Metode Seismik Refraksi. *Jurnal Meteorologi dan Geofisika*, Vol. 12 No. 3, pp. 211–220.
- 3 Refrizon. 2009. Visualisasi Struktur Bawah Permukaan dengan Metode Hagiwara. *Jurnal Gradien*, pp. 30–33.
- 4 Lubis, A.M. 2005. Analisis Kecepatan Gelombang Seismik Bawah Permukaan Di Daerah Yang Terkena Dampak Gempa Bumi 4 Juni 2000 (Studi Kasus: Kampus Universitas Bengkulu). *Jurnal Gradien*, Vol. 1 No. 2, pp. 69–73.
- 5 Priyantari, N. 2009. Penentuan Kedalaman *Bedrock* Menggunakan Metode Seismik Refraksi di Desa Kemuning Lor Kecamatan Arjasa Kabupaten Jember. *Jurnal ILMU DASAR*, Vol. 10 No. 1, pp. 6–12.
- 6 Sismanto. 1999. *Eksplorasi dengan Menggunakan Seismik Refraksi*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- 7 Geldard, L. P., Sheriff, R. E., and Telford, W. M. 1995. *Applied Geophysics*, New York, Cambridge University Press, London.
- 8 Susilawati. 2004. *Seismik refraksi (dasar teori dan akuisisi data)*, USU Digital Library.
- 9 Toha, B. 1992. *Peta Geologi Lembar Surakarta – Giritontro, Jawa*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.
- 10 Gardner, G.H.F., Gardner, L.W., and Gregory, A.R. 1974. Formation Velocity and Density—the Diagnostic Basics for Stratigraphic Traps. *Jurnal Geophysics*, Vol. 39, pp. 770–780.