

## Interpretasi Tingkat Kekerasan dan Rippability Lapisan Batuan Bawah Permukaan Menggunakan Metode Seismik Refraksi Tomografi

### *Interpretation of the Hardness Level and Rippability Layers of Rock under the Surface Using Method of Refraction Seismic Tomography*

Rony Octa Prabowo<sup>1</sup>, Piter Lepong<sup>2</sup>,

<sup>1</sup>Laboratorium Geofisika, Jurusan Fisika, FMIPA, Universitas Mulawarman

<sup>2</sup>Jurusan Fisika, FMIPA, Universitas Mulawarman

\*Corresponding Author: [ronyoctaprabowo@yahoo.com](mailto:ronyoctaprabowo@yahoo.com)<sup>1</sup>

**Abstract.** *The exploitation of the coal mine was generally used the drilling and coring techniques, while needed expensive of cost and longer times. Applied of refraction seismic method could be give the process rapidly to determine the hardness level and the device to using for ripping process. The research to determine the hardness level of rocks in the mine areas of PT. KMIA, PT. BBE in post and previous mine by using the method of refraction seismic. Measurements in this research using an In Line technique, by means of shot point in path of the refraction seismic. This method recorded of the trace (wave) under the surface of the earth associated with the picking first time break of distance and time of wave propagation and have been gave the velocity value of rocks types under the surface of the earth and associated with hardness level of the rocks and the strength classification of device. The PT. KMIA mine area on the line 1 by the thickness of 0 - 25 meters be on a level violence very soft soil - very hard rock needs the excavation equipment with exertion minimum 350 horsepower. The post mine of PT. BBE on the line 1 by the thickness of 0 - 25 meters be on a level violence very soft soil - hard rock needs the excavation equipment with exertion minimum 250 horsepower. The mine area of PT. BBE on the line 1 by the thickness of 0 - 30 meters be on a level violence very soft soil - extremely hard rock needs excavation equipment with exertion minimum 500 horsepower.*

**Keyword** Seismic refraction, The degree of hardness rock, Ripping (Rippability)

#### Pendahuluan

Penyelidikan lapisan batuan bawah permukaan yang memadai biasanya perlu dilakukan sebelum melakukan pembangunan proyek. Kegagalan melakukan pembangunan mengenai persyaratan pembangunan yang mengakibatkan perlunya membuat rancangan relokasi yang teramat mahal atau pengeluaran biaya tambahan untuk menggunakan tempat yang kurang baik untuk pembangunan. Penyelidikan lapisan tanah di bawah permukaan memberikan beragam informasi yang dibutuhkan dalam membuat keputusan-keputusan desain pada berbagai situasi proyek pembangunan [3].

Lapisan batuan bawah permukaan bumi memiliki sifat fisis yang variatif. Salah satu sifat fisis yang terdapat di bawah permukaan adalah tingkat kekerasan batuan. Tingkat kekerasan batuan merupakan istilah geologi yang digunakan untuk menandakan kekompakan suatu batuan dan biasanya dinyatakan dalam bentuk *compressive fracture strength*. *Compressive fracture strength* merupakan tekanan maksimum yang mampu ditahan oleh batuan untuk mempertahankan diri dari terjadinya rekahan

(fracture). Besarnya *fracture strength* dipengaruhi oleh densitas dan kekompakan batuan, sedangkan besarnya densitas dan kekompakan batuan dipengaruhi oleh elastisitas batuan [1].

Dengan demikian penalaran gelombang seismik dapat diperoleh menggunakan metode seismik. Metode seismik merupakan salah satu metode yang sangat penting dan banyak dipakai di dalam teknik geofisika. Hal ini disebabkan metode seismik mempunyai ketepatan serta resolusi yang tinggi di dalam memodelkan struktur geologi di bawah permukaan bumi. Dalam menentukan struktur geologi, metode seismik dikategorikan ke dalam dua bagian yang besar yaitu seismik bias dangkal (*head wave or refracted seismic*) dan seismik refleksi (*reflected seismic*). Seismik refraksi efektif digunakan untuk penentuan struktur geologi yang dangkal sedang seismik refleksi untuk struktur geologi yang dalam [5].

Metode seismik merupakan metode geofisika aktif yang memanfaatkan gelombang mekanika yang merambat ke dalam bumi. Metode seismik yang digunakan untuk mengetahui kondisi lapisan di bawah

permukaan bumi terdiri dari dua yaitu metode seismik refleksi dan metode seismik refraksi. Metode seismik refleksi digunakan untuk mengetahui kedalaman lapisan bawah permukaan yang relatif cukup dalam, sedangkan metode seismik refraksi digunakan untuk mengetahui kedalaman yang relatif dangkal.

Metode ini didasarkan pada sifat penjalaran gelombang yang mengalami pembiasan dengan sudut kritis dalam perambatannya, gelombang tersebut melalui bidang batas yang memisahkan suatu lapisan dengan lapisan lain dibawahnya, yang mempunyai kecepatan gelombang lebih besar. Parameter yang diamati adalah karakteristik dan waktu tiba gelombang pada masing-masing *geophone* [4].

Dengan mengetahui waktu tiba gelombang seismik maka kecepatan rambat gelombang seismik pada setiap batuan dan kedalaman refraktor dapat diketahui. Nilai cepat rambat gelombang seismik pada setiap batuan inilah yang memberikan informasi lapisan batuan bawah permukaan. Tingkat kekerasan batuan (*hardness*) merupakan salah satu informasi lapisan bawah permukaan yang dapat diketahui dengan metode seismik refraksi. Interpretasi ini dilakukan terhadap kurva waktu tempuh gelombang yang menyatakan hubungan linier antara nilai waktu tiba gelombang dengan jarak *offset geophone*.

Manfaat yang dapat diperoleh dengan mengetahui tingkat kekerasan batuan bawah permukaan sangat banyak, diantaranya dengan mengetahui tingkat kekerasan suatu batuan (*hardness*) maka dapat diperkirakan ukuran peralatan minimum yang dibutuhkan untuk menggali (*excavate*) batuan tersebut. Tingkat kekerasan suatu batuan bawah permukaan berhubungan dengan sulit mudahnya suatu batuan untuk dihancurkan (*ripping*). Semakin keras suatu batuan dapat ditandai dengan semakin besarnya nilai *ripping index*. Dengan mengetahui kedalaman dan ketebalan lapisan batuan keras yang diharapkan dan peralatan penggalian yang digunakan maka biaya pun dapat diperkirakan dengan teliti.

Berdasarkan adanya hubungan antara keadaan lapangan dengan litologi bawah permukaan. Untuk mengetahui tingkat kekerasan batuan, maka perlu mengetahui nilai *velocity* berdasarkan gelombang seismik yang menjalar didalamnya, dimana besar gelombang dapat diketahui dengan menggunakan metode seismik refraksi.

Adapun tujuan dari penelitian ini, untuk menentukan seberapa ketebalan dan tingkat kekerasan batuan di bawah permukaan bumi yang berkaitan dengan distribusi kecepatan gelombang seismik (*velocity*) untuk proses *ripping* dan *blasting* dengan menggunakan metode seismik refraksi tomografi.

### Metode Penelitian Gelombang Sesimik

Gelombang seismik merupakan gelombang yang merambat melalui lapisan di bawah permukaan bumi. Perambatan gelombang ini bergantung pada sifat elastisitas batuan. Gelombang seismik secara umum dibagi menjadi dua jenis yaitu gelombang badan dan gelombang permukaan [6].

Suatu sumber energi dapat menimbulkan bermacam-macam gelombang, masing-masing merambat dengan cara yang berbeda. Gelombang seismik dapat dibedakan menjadi dua tipe yaitu :

1. Gelombang badan (*body wave*) yang terdiri dari gelombang longitudinal (gelombang P) dan gelombang transversal (gelombang S). Gelombang ini merambat ke seluruh lapisan bumi.
2. Gelombang permukaan (*surface wave*) yang terdiri dari gelombang Love, gelombang Rayleigh dan gelombang Stoneley dan gelombang transversal (gelombang S). Gelombang ini merambat ke seluruh lapisan bumi.

### Metode Sesimik Refraksi

Prinsip utama metode seismik refraksi adalah penerapan waktu tiba pertama gelombang P, baik gelombang langsung maupun gelombang refraksi. Mengingat kecepatan gelombang P lebih besar daripada gelombang seismik lainnya maka kita hanya memperhatikan gelombang P.

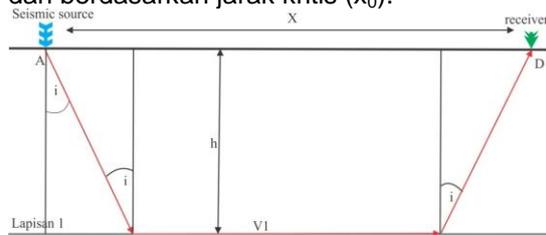
Untuk memahami penjalaran gelombang seismik di bawah permukaan bumi digunakan beberapa asumsi. Asumsi yang digunakan antara lain :

1. Medium bumi dianggap berlapis-lapis dan setiap lapisan menjalarkan gelombang seismik dengan kecepatan yang berbeda-beda.
2. Semakin bertambahnya kedalaman lapisan bumi, maka batuan akan semakin kompak.
3. Perambatan gelombang seismik dapat dipandang sebagai sinar, sehingga memenuhi hukum Snellius dan Prinsip Huygens.

ISBN: 978-602-72658-1-3

4. Pada bidang batas antar lapisan, gelombang seismik merambat dengan kecepatan gelombang pada lapisan dibawahnya.
5. Kecepatan gelombang bertambah dengan bertambahnya kedalaman [5].

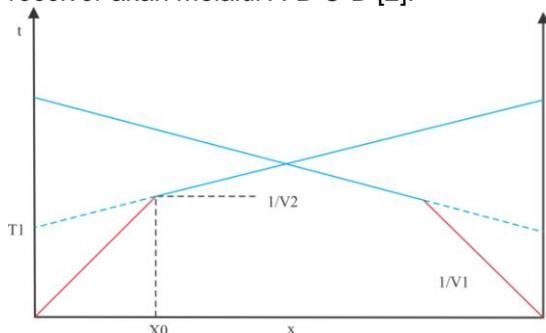
Perhitungan yang digunakan dalam metode seismik refraksi ini adalah dengan menghitung waktu pertama kali gelombang yang berasal dari sumber seismik diterima oleh setiap receiver. Dengan mengetahui jarak setiap receiver dengan sumber seismik dan waktu penjarangan gelombang yang pertama kali sampai ke receiver kemudian dibuatlah grafik hubungan antara jarak dengan waktu. Dengan mengetahui kemiringan atau gradien dari grafik tersebut maka akan didapatkan nilai kecepatan. Kedalaman lapisan batuan dapat ditentukan dengan menggunakan dua cara yaitu berdasarkan waktu penggal (*intercept time*  $t_1$ ) dan berdasarkan jarak kritis ( $x_0$ ).



**Gambar 1.** Lintasan penjarangan gelombang bias [5]

Pada titik A diadakan getaran sehingga timbul gelombang seismik yang menjalar ke arah penerima (*geophone*) di titik D. Dengan mengamati waktu tiba dapat dibuat grafik hubungan jarak dengan waktu tiba sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1.

Jika di bawah permukaan bumi terdapat dua lapisan batuan yang dibatasi oleh *interface* datar (horizontal) maka waktu tempuh gelombang refraksi ( $t$ ) untuk merambat dari sumber seismik untuk menuju receiver akan melalui A-B-C-D [2].



**Gambar 2.** Grafik hubungan jarak dengan waktu tiba [5]

Waktu rambat gelombang bias pada gambar 1 dapat diperoleh dengan persamaan 1

$$t = \frac{1}{V_1} AB + \frac{1}{V_2} BC + \frac{1}{V_1} CD \quad (1)$$

Dengan menggunakan *intercept time* didapatkan kedalaman *interface* 1 untuk 2 lapisan :

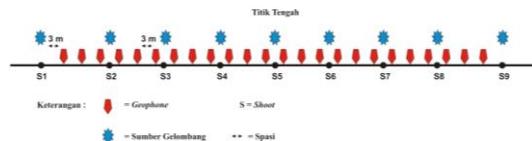
$$h_1 = \frac{t_1 V_1 V_2}{2\sqrt{(V_2)^2 - (V_1)^2}} \quad (2)$$

Dengan cara yang hampir sama didapatkan kedalaman *interface* 2 untuk 3 lapisan :

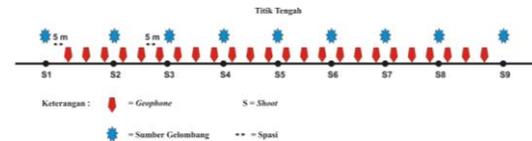
$$h_2 = \left[ t_{i2} - \frac{2h_1}{V_1 V_3} \sqrt{(V_2)^2 - (V_1)^2} \right] \frac{V_2 V_3}{2\sqrt{(V_3)^2 - (V_2)^2}} \quad (3)$$

Akuisisi data seismik refraksi menggunakan alat *Seismograph* DAQlink III. *Seismograph* DAQlink III merupakan salah satu instrumentasi yang digunakan dalam pengukuran metode seismik refraksi yang dimana sumber pengambilan data terletak pada hentakan palu yang mengalami perambatan gelombang pada medium di bawah permukaan bumi yang terekam oleh *geophone* yang dipasang di permukaan bumi.

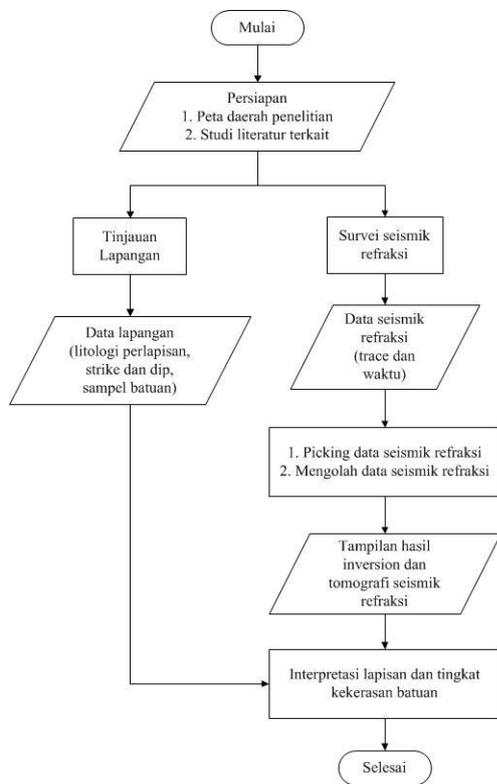
Penelitian ini diawali dengan tahap persiapan yaitu menyiapkan peta geologi daerah penelitian dan melakukan kajian kepustakaan mengenai teori-teori yang mendukung penelitian, survei geologi dan survei seismik refraksi ke daerah pengukuran atau lokasi pengambilan data untuk menentukan lintasan pengukuran yang akan dilakukan, menentukan panjang lintasan dan koordinat geografis lintasan menggunakan *GPS* (*Global Positioning System*), serta mengetahui struktur geologi daerah pengukuran. Tahap survei geologi ini dilakukan untuk mengetahui jenis formasi dan lapisan jenis batuan apa yang ada pada daerah penelitian agar mampu menginterpretasi jenis batuan dari nilai *velocity* yang diperoleh dari data geolistrik yang telah diolah, juga untuk memperoleh arah *strike* dan *dip* dalam menentukan arah lintasan pengukuran geolistrik. Selain itu, pada tahap ini penulis juga mempersiapkan semua instrumentasi dan alat yang dibutuhkan pada saat pengukuran nantinya.



**Gambar 3.** Akuisisi data seismik refraksi menggunakan jarak spasi antar geophone 3 meter



**Gambar 4.** Akuisisi data seismik refraksi menggunakan jarak spasi antar geophone 5 meter



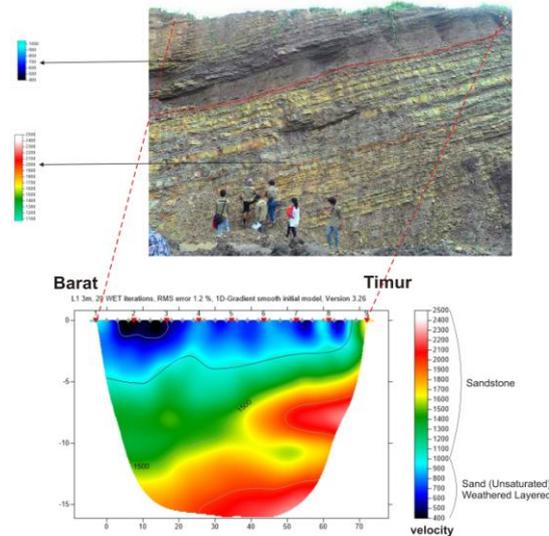
**Gambar 5.** Diagram alir penelitian

**Hasil dan Pembahasan**

Daerah penelitian yang digunakan sebagai lintasan survei seismik refraksi termasuk dalam wilayah Kecamatan Loabahu, Kota Samarinda, Provinsi Kalimantan Timur. Dari data lapangan maka didapatkan data trace (gelombang) jarak terhadap waktu. Data tersebut kemudian diolah menggunakan *software* (perangkat lunak) dan dianalisa nilai *velocity*-nya.

Berdasarkan data hasil survei geologi berupa singkapan dilapangan secara geografis terletak pada 117° 4' 42.2191" BT dan 00° 29' 12.5748" LS, maka jenis batuan

yang terdapat di daerah penelitian pada singkapan ini didominasi oleh batupasir dengan warna kuning dan berselingan dengan batulempung walaupun tidak mendominasi perlapisan namun cukup terlihat dengan warna abu-abu dengan sisipan batulanau. Arah jurus perlapisan (*strike/dip*) yang didapatkan dari hasil pengukuran dilapangan adalah N 190° E/31°. Dengan *strike* mengarah ke selatan dan *dip* mengarah ke barat. Berikut adalah singkapan lapisan batuan di lokasi penelitian.



**Gambar 6.** Singkapan dan penampang model 2D pengukuran sesimik refraksi tomografi bawah permukaan

Agar dapat memetakan lapisan batuan bawah permukaan yang dapat memberikan gambaran cepat rambat gelombang yang kontinu pada setiap lapisan batuan maka tomografi perlu dilakukan. Hasil tomografi pada gambar 6 menunjukkan rentang nilai *velocity* dari 400 m/s sampai dengan 2500 m/s dengan nilai persentase kesalahan sebesar 1.2 %. Pengukuran pada lintasan ini diperkirakan mencapai kedalaman hingga 16 meter.

Dari hasil tomografi diperkirakan lapisan pertama pada kedalaman kurang dari 5 meter memiliki nilai cepat rambat gelombang P sekitar 400 m/s sampai dengan 1000 m/s, lapisan kedua pada kedalaman 5 meter sampai dengan 16 meter memiliki nilai cepat rambat gelombang P sekitar 1000 m/s sampai dengan 2500 m/s.

Lapisan pertama diinterpretasikan sebagai lapisan *sand (unsaturated)* sebagai zona pelapukan (*weathered layered*). Lapisan kedua diinterpretasikan sebagai lapisan *sandstone* (batupasir). Ketebalan

*sandstone* pada lapisan kedua belum diketahui ketebalannya. Untuk mengetahui ketebalan semuanya diperlukan interval *geophone* yang lebih jauh dan jarak *shoot point* yang jauh juga dengan energi *source* yang besar.

Untuk mengetahui tingkat kekerasan batuan, penulis membutuhkan data klasifikasi kekerasan material bumi [7]. Dengan mengetahui tingkat kekerasan (*hardness*) suatu lapisan batuan bawah permukaan maka dapat pula diketahui mudah atau tidaknya suatu lapisan batuan digali (*excavatability*) dan peralatan yang dibutuhkan untuk menggali [1].

Lapisan pertama berada pada tingkat kekerasan *very soft soil* sampai dengan *firm cohesive soil*, untuk melakukan penggalian lapisan ini hanya membutuhkan *hand tools* [7]. Sedangkan untuk lapisan kedua dengan nilai *velocity* 610 m/s sampai dengan 1525 m/s berada pada tingkat kekerasan *stiff cohesive soil* sampai dengan *very soft rock*, untuk lapisan ini membutuhkan peralatan penggalian dengan tenaga minimum 100 tenaga kuda (100 *horse power*) atau setara dengan 74.5 kiloWatt.

Pada lapisan kedua berada pada nilai 1525 m/s sampai dengan 2135 m/s dengan tingkat kekerasan *very soft rock* sampai dengan *moderately soft rock*, untuk lapisan ini membutuhkan peralatan penggalian dengan tenaga minimum 150 tenaga kuda (150 *horse power*) atau setara dengan 112 kiloWatt. Sedangkan, untuk lapisan dengan nilai 2135 m/s sampai dengan 2900 m/s berada pada tingkat kekerasan *moderately soft rock* sampai dengan *hard rock*, untuk lapisan ini membutuhkan peralatan penggalian dengan tenaga minimum 250 tenaga kuda (250 *horse power*) atau setara dengan 186.4 kiloWatt.

### Kesimpulan

Interpretasi ketebalan zona *ripping* areal pasca tambang PT. BBE kecamatan Loabahu lintasan 1 pada ketebalan 0 sampai dengan 16 meter dengan nilai cepat rambat gelombang 400 m/s sampai dengan 2500 m/s berada pada tingkat kekerasan *very soft soil* sampai dengan *hard rock* membutuhkan peralatan penggalian dengan tenaga minimum 250 tenaga kuda (250 *horse power*) atau setara dengan 186.4 kiloWatt, [8]

dengan unit penggalian menggunakan alat berat Dozer diatas model D8R dengan kekuatan penggalian 305 tenaga kuda (305 *horse power*) atau setara dengan 228 kiloWatt.

### Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada orang tua atas dukungan dan doa yang diberikan selama penelitian. Kepada Laboratorium Geofisika FMIPA Universitas Mulawarman atas fasilitas yang diberikan untuk melakukan penelitian ilmiah. Kepada bapak Piter Lepong atas diskusi dan bimbingannya yang bermanfaat sampai sekarang. Kepada pasukan Lab. Batu dan Teman-teman GNG 2011 yang senantiasa terus membantu dalam menyelesaikan penelitian.

### Daftar Pustaka

- [1] Budi. 2008. *Investigasi Sub-Permukaan Tanah Untuk Perencanaan Jalan Menggunakan Survei Pembiasan Seismik*. Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
- [2] Dobrin, M. B., dan Savit, C. H., 1988, *Introduction To Geophysical Prospecting*, Newyork : McGraw-Hill, Inc.
- [3] Dunn, I. S., 1992. *Dasar-dasar Analisis Geoteknik*. IKIP : Semarang Press.
- [4] Fenti, 2006. *Penentuan Kedalaman dan Ketebalan Akuifer Menggunakan Metode Seismik Bias (Studi Kasus Endapan Alluvial Daerah Sioux Park, Rapid Creek, South Dakota, United State of America)*. Vol. 9 No. 3 Juli 2006, hal 109-113. ISSN : 1410-9662. Laboratorium Geofisika Jurusan Fisika : Universitas Diponegoro.
- [5] Susilawati, 2004. *Seismik Refraksi (Dasar Teori dan Akuisisi Dat a)*. FMIPA : Universitas Sumatra Utara.
- [6] Telford, Geldart dan Sheriff, 1990. *Applied Geophysics Second Edition*. United States Of America : Cambridge University Press.
- [7] United States Departement Of Agriculture (USDA), 2002. *Rock Material Field*, Chapter 12 of Part 631 Of The National Engginering Handbook Washington, DC : Natural Resources Conservation Service.