INTERPRETASI KECEPATAN GELOMBANG SEISMIK REFRAKSI TOMOGRAFI DALAM PENENTUAN LITOLOGI BAWAH PERMUKAAN DI DESA BHUANA JAYA (STUDI KASUS : PT. KHOTAI MAKMUR INSAN ABADI)

[*1]Fitria Nova Linda, [1,2]Piter Lepong, [1,2]Djayus

[1]*Jurusan Fisika, Fakultas MIPA, Universitas Mulawarman*
[2]*Laboratorium Geofisika, Fakultas MIPA, Universitas Mulawarman*

**Email: Fitrianovalinda97@gmail.com*

ABSTRACT

Research has been carried out to determine the subsurface lithology including rock type, rock layer thickness, weathered layer, and rock hardness level based on wave velocity seismic refraction tomography at Bhuana Jaya Village, PT. Khotai Makmur Insan Abadi by using the seismic refraction method. The measurement in this study uses the In Line technique, where geophone equipment is arranged in a straight line with 3 and 5 meters spacing between the geophone. Based on the results of study, there are two types of morphology namely hill and rice field areas. Hill area is interpreted which have lithology, the first layer has a thickness of less than 3 m with lithology in the form is soil as a weathered layer, the second layer has a thickness of less than 2 m with lithology in the form is siltstone, the third layer has a thickness is less than 9 m with lithology in the form is mudstone, and the fourth layer has a thickness of less than 9 m with lithology in the form is sandstone, where this area is located at very hard rock. While rice field areas are interpreted which have lithology, the first layer has a thickness of less than 10 m with lithology in the form is alluvium as a weathered layer and the second layer has a thickness of less than 10 m with lithology in the form is siltstone with sandstone inserts, where these areas are located at an easy to medium level of hardness.

Keywords: Seismic Refraction Tomography, Lithology, Weathered Layer, Level of Rock Hardness

1. PENDAHULUAN

Bidang keilmuan geofisika merupakan salah satu bidang keilmuan yang mempelajari sifat fisis bumi dan atmosfer di sekitarnya (Telford, 1990). Variasi sifat fisis yang tersebar secara heterogen pada bumi menjadi salah satu parameter penting untuk berbagai macam kegiatan. Salah satunya adalah dalam kegiatan pertambangan. Kegiatan tersebut berupa penyelidikan lapisan batuan bawah permukaan, dimana kegiatan ini perlu dilakukan sebelum melakukan pembangunan tambang.

Metode seismik adalah salah satu metode geofisika yang menggunakan gelombang mekanik atau elastik sebagai sumber yang menjalar ke dalam bumi. Respon bumi sebagai bidang pemantul, kemudian ditangkap oleh penerima yang telah disusun berdasarkan geometrinya di permukaan. Dari sini akan didapatkan data waktu gelombang seismik yang melewati atau bahkan menembus medium bumi dan kembali lagi ke permukaan yang dicatat sebagai *two-way time* (Sustriamah, 2007).

Litologi 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 linear antara nilai

waktu tiba gelombang dengan jarak *offset geophone*. 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 dibawah permukaan.

Berdasarkan uraian diatas, dalam penelitian ini dilakukan interpretasi litologi bawah permukaan meliputi jenis batuan, ketebalan lapisan batuan, lapisan lapuk (*weathered layer*), dan tingkat kekerasan batuan berdasarkan data kecepatan gelombang dengan menggunakan seismik refraksi tomografi. Penelitian ini diharapkan secara efektif dapat memperoleh hasil untuk menyediakan informasi kepada perusahaan maupun referensi untuk penelitian selanjutnya.

2. TEORI

2.1 Geologi Regional

Menurut Supriatna, S., Sukardi, E. Rustandi (1995) dari Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, batuan yang tersingkap di Cekungan Kutai dari tertua sampai yang termuda adalah Formasi Pamaluan, Formasi Bebuluh, Formasi Pulau Balang, Formasi Balikpapan, Formasi Kampung Baru dan Alluvium.

2.2 Gelombang Seismik

Gelombang seismik merupakan gelombang yang merambat melalui bumi. Perambatan gelombang ini bergantung pada sifat elastisitas batuan. Gelombang seismik ada yang merambat melalui interior bumi yang disebut sebagai *body wave*, dan ada juga yang merambat melalui permukaan bumi yang disebut *surface wave*. *Body wave* dibedakan menjadi dua berdasarkan pada arah getarnya. Gelombang primer (longitudinal) merupakan gelombang yang arah getarnya searah dengan arah perambatan gelombang sedangkan gelombang yang arah getarnya tegak lurus dengan arah rambatnya disebut gelombang S (transversal). *Surface wave* terdiri atas *Rayleight wave* (*ground roll*) dan *Love wave* (Telford, et.al, 1990).

Menurut Priyono (2006) secara matematik, gelombang primer ditulis sebagai berikut :

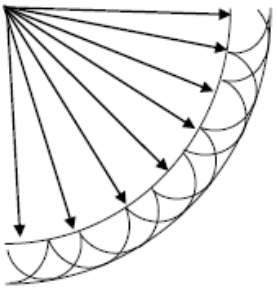
$$V_p = \sqrt{\frac{k+\frac{4}{3}\mu}{\rho}} \qquad (1)$$

Dimana :
V_p= Kecepatan primer (m/s)
k = Modulus Bulk (menyatakan *incompressibility*) (N/m^2)
μ = Konstanta lame (menyatakan *rigidity*) (N/m^2)
ρ = Densitas (kg/m^3)
(Asparini, 2011).

2.3 Prinsip Dasar Metode Seismik

1. Prinsip *Huygens*

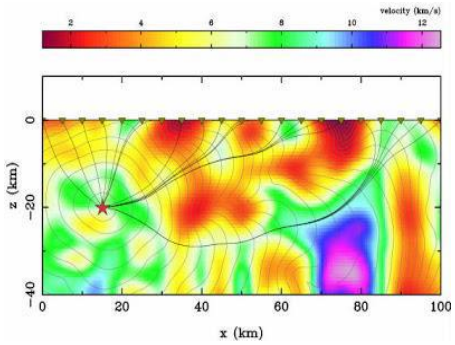
Prinsip *Huygens* menyatakan bahwa setiap titik-titik pengganggu yang berada di depan muka gelombang utama akan menjadi sumber bagi terbentuknya deretan gelombang yang baru. Jumlah energi total deratan gelombang baru tersebut sama dengan energi utama. Gambar dibawah ini menunjukkan prinsip *Huygens* (Firnanza, 2017).



Gambar 2.1 Prinsip *Huygens* (Asparini, 2011)

2. Asas *Fermat*

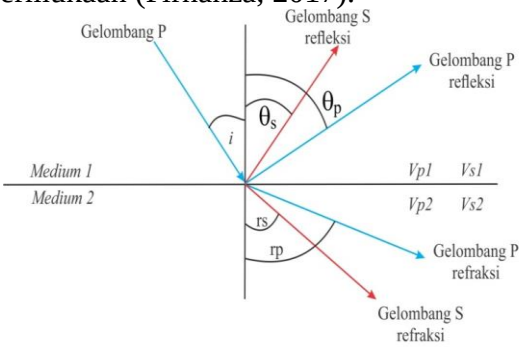
Asas *Fermat* menyatakan bahwa jika sebuah gelombang merambat dari suatu titik ke titik yang lain, maka gelombang tersebut akan memilih jejak yang tercepat. (Firnanza, 2017).



Gambar 2.2 Asas Fermat (Firnanza, 2017)

3. Hukum *Snellius*

Hukum *Snellius* menjelaskan ketika gelombang seismik melalui lapisan batuan dengan impedansi akustik yang berbeda dari lapisan batuan yang dilalui sebelumnya, maka gelombang akan terbagi. Gelombang tersebut sebagian terefleksikan kembali ke permukaan dan sebagian diteruskan merambat di bawah permukaan (Firnanza, 2017).



Gambar 2.3 Hukum *Snellius* pada perambatan gelombang (Prabowo, 2016)

Menurut Hukum *Snellius*, jika ada gelombang elastik yang menjalar dalam bumi kemudian bertemu dengan bidang batas perlapisan (*interface*) dengan elastisitas dan densitas yang berbeda, maka akan terjadi pemantulan dan pembiasan gelombang.

$$\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{v_1}{v_2} \qquad (2)$$

(Setiawan, 2008).

2.4 Seismik Refraksi

Metode seismik adalah salah satu metode geofisika yang menggunakan gelombang mekanik atau elastik sebagai sumber yang menjalar ke dalam bumi. (Sustriamah, 2007). Metode seismik refraksi menerapkan waktu tiba gelombang primer pertama dalam perhitungannya. Gelombang primer memiliki kecepatan lebih besar dibandingkan dengan kecepatan gelombang S sehingga waktu datang gelombang primer yang digunakan dalam perhitungan. Gelombang seismik refraksi yang dapat terekam oleh *receiver* pada permukaan bumi hanyalah gelombang seismik refraksi yang merambat pada batas antar lapisan batuan. Hal ini hanya dapat terjadi jika sudut datang merupakan sudut kritis atau ketika sudut bias tegak lurus dengan garis normal ($r = 90^{\circ}$ sehingga sin r = 1). Dan hal ini sesuai dengan asumsi diawal bahwa kecepatan lapisan dibawah *interface* lebih besar dibandingkan dengan kecepatan di atas *interface* (Setiawan, 2008).

2.5 Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Cepat Rambat Gelombang Seismik Refraksi

Faktor-faktor yang mempengaruhi cepat rambat gelombang seismik dalam batuan antara lain adalah litologi, densitas, porositas, kedalaman, tekanan, umur batuan, dan temperatur (Firnanza, 2017).

Tabel 2.1 Data kecepatan gelombang primer pada beberapa medium (Burger, 1992)

Material	Kecepatan Gelombang primer (m/s)
Udara	331,5
Air	1400 – 1600
Lapisan Lapuk (*weathered layered*)	300 – 900
Soil	250 – 600
Alluvium	500 – 2000
Lempung (*clay*)	1000 – 2500
Pasir tak jenuh (*sand unsaturated*)	200 – 1000
Pasir jenuh (*sand saturated*)	800 – 2200
Pasir dan gravel tak jenuh	400 – 500
Pasir dan gravel jenuh	500 – 1500
Granite	5000 – 6000
Basalt	5400 – 6400
Batuan Metamorf	3500 – 7000
Batupasir dan serpih (*sand and shale*)	2000 – 4500
Batugamping	2000 - 6000

2.6 Lapisan Lapuk

Pelapukan adalah perubahan dan desintegrasi batuan oleh pengaruh atmosfer serta pengaruh kimiawi dan biologis. Proses pelapukan batuan merupakan perubahan sifat batuan, terjadi karena dua faktor utama, yaitu karena faktor fisis dan faktor kimia, yang sangat dipengaruhi cuaca. Pelapukan fisis dipengaruhi pemuaian batuan akibat kekurangan beban, pembentukan kristal dalam celah-celah batuan, perubahan suhu, kegiatan organisme, dan penarikan oleh koloid-koloid tanah. Pelapukan kimia adalah pelapukan batuan yang menghasilkan perubahan zat dari mineral pembentuk batuan. Pelapukan kimia lebih memegang peranan penting dibandingkan dengan pelapukan fisis, antaranya proses hidrasi, hidrolisa, oksidasi, karbonasi, dan pelarutan (Tanjung, 2015).

2.7 Tomografi Seismik Refraksi

Tomografi seismik refraksi bertujuan untuk mencitrakan model kecepatan gelombang seismik di dekat permukaan dengan menggunakan data waktu tiba gelombang tersebut (Firnanza, 2017).

Tujuan utamanya adalah untuk menemukan waktu tempuh minimum antara sumber dan penerima untuk setiap pasangan sumber-penerima. Hal ini dicapai dengan pemecahan untuk *raypath* dan kecepatan *invers* atau *slowness*. Iterasi yang digunakan adalah pendekatan *non linear least-squares*.

$$S = \frac{1}{V} \quad (3)$$

Dalam bentuk diskrit, dihasilkan waktu tempuhnya adalah:

$$t_i = \sum_{j=1}^{N} S_j l_{ij} \quad (4)$$

Sehingga waktu tempuh dalam bentuk matrik adalah:

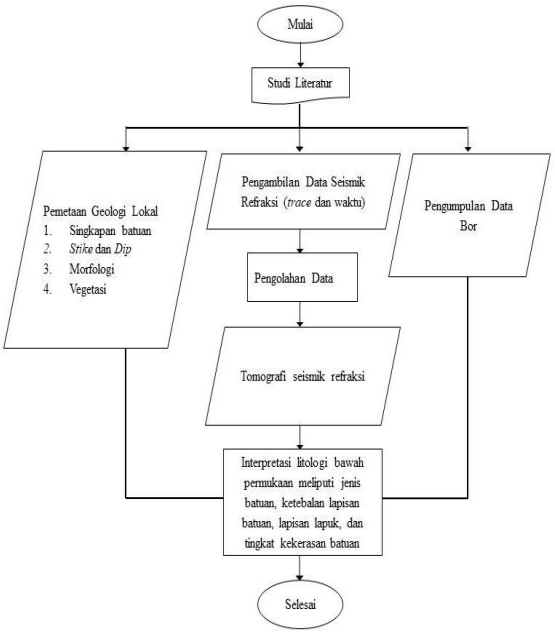
$$\begin{pmatrix} t_1 \\ t_2 \\ . \\ . \\ t_M \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} S_1 \\ S_2 \\ . \\ S_N \end{pmatrix} \begin{pmatrix} l_{11} & l_{12} & . & l_{1N} \\ l_{21} & l_{22} & . & l_{2N} \\ l_{31} & l_{32} & . & l_{3N} \\ . & . & . & . \\ l_{M2} & l_{M2} & . & l_{MN} \end{pmatrix} \quad (5)$$

Dimana:
S = *slowness* atau kecepatan *invers* (m/s)
l = *raypath* atau lintasan gelombang (m)
V = kecepatan gelombang primer (m/s)
t = waktu tempuh gelombang (s)
(Nurdiyanto dkk, 2011).

3. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan dari bulan Oktober sampai Mei di lokasi perusahaan PT. Khotai Makmur Insan Abadi (KMIA) *site* Separi yang terletak di Desa Bhuana Jaya, kecamatan Tenggarong Seberang, kabupaten Kutai Kartanegara, Provinsi Kalimantan Timur.

Prinsip kerja pengukuran metode seismik refraksi yaitu 2 gulung kabel *geophone* dipasang sesuai dengan spasi yang telah ditentukan. Setelah itu kabel *geophone*, GPS, laptop, kabel *trigger* dan aki dihubungkan ke *seismograph* DAQlink III, selanjutnya dilakukan input data untuk pengaturan laptop dengan *seismograph* DAQlink III. Kemudian *seismograph* DAQlink III mendeteksi tiap-tiap *geophone* yang terpasang dan selanjutnya siap melakukan *shot* pengambilan data dengan palu. Data yang terekam akan langsung tersimpan di laptop pada *software vibrascope*.

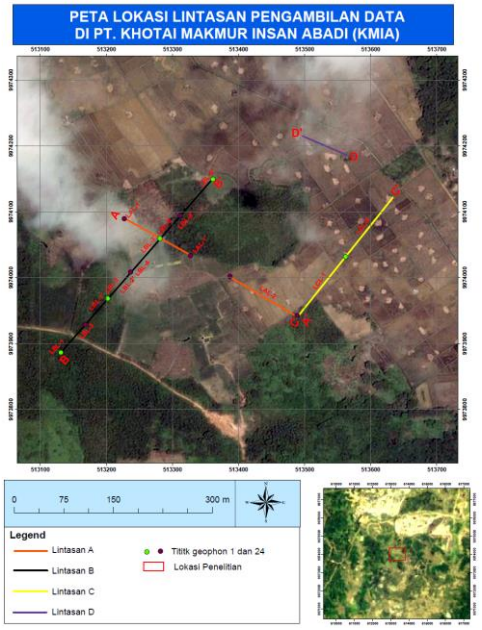


Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

4. HASIL

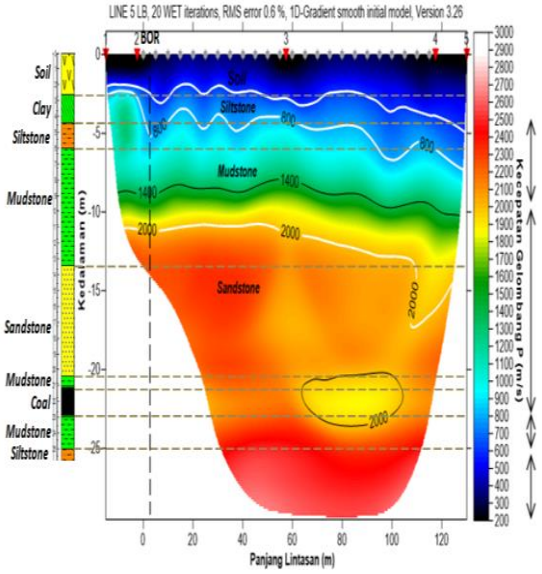
Gambar 4.1 Singkapan daerah PT. KMIA PIT. NW (Tampak Depan) (Dokumentasi Pribadi, 2018)

Berdasarkan observasi lapangan, lokasi singkapan (gambar 4.1) tersebut memiliki *Strike*/*Dip* sebesar dan $N\ 195\ E/3°\ NW$ dengan litologi berupa *alluvium*, *mudstone*, dan batubara. Lokasi singkapan tersebut berada di arah Selatan dari lokasi penelitian, dimana (gambar 4.1) searah dengan *dip* atau tegak lurus terhadap *strike*. Pengambilan data seismik refraksi ini dilakukan di PT. KMIA, dimana lokasi penelitian akan digunakan sebagai PIT area pertambangan yang baru dan lokasi tersebut didukung oleh adanya data litologi dari sumur pemboran.



Gambar 4.2 Peta Lintasan Penelitian

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan di 4 titik lokasi, didapatkan nilai kecepatan gelombang seismik refraksi tomografi yang digunakan untuk menginterpretasikan lapisan batuan atau jenis material yang berada di bawah permukaan bumi, ketebalan lapisan, lapisan lapuk (*weathered layered*), dan kekerasan batuan, kemudian dibandingkan dengan data pemboran dan geologi di sekitar daerah tersebut. Pada keempat titik lokasi penelitian ini, terdapat 2 jenis morfologi yang berbeda yaitu daerah perbukitan dan persawahan.

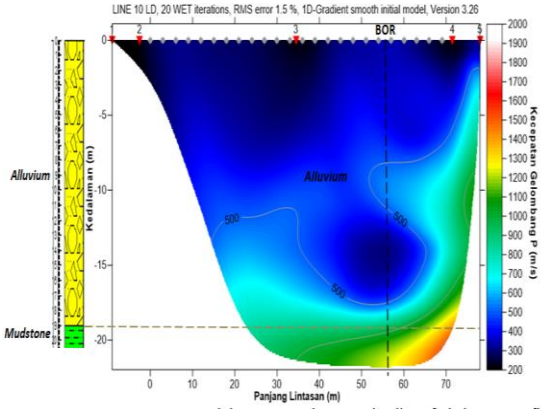


Gambar 4.3 Penampang model 2D pengukuran seismik refraksi tomografi bawah permukaan lokasi B lintasan 3 dengan spasi antar *geophone* 5 meter

Lokasi ini memiliki topografi yang landai dengan arah lintasan searah *strike* (jurus) dan terletak di daerah perbukitan. Setiap lintasan pada lokasi ini memiliki panjang $\pm 115\ m$, penelitian ini menggunakan *geophone* 24 *channel* dengan spasi antar *geophone* 5 meter dan menggunakan 5 *shot point*, dimana *shot point* pertama diletakkan 15 m sebelum *geophone* 1, *shot point* kedua diletakkan 5 m sebelum geophone 1, *shot point* ketiga diletakkan diantara *geophone* 12 dan 13, *shot point* keempat diletakkan 5 m sesudah geophone 24, dan *shot point* kelima diletakkan 15 m sesudah *geophone* 24.

Hasil tomografi (gambar 4.3) diperoleh kedalaman $\pm 25\ m$ dari permukaan bumi, dengan rentang nilai kecepatan gelombang P dari 200 m/s sampai 2500 m/s, dan nilai RMS *error* sebesar 0,6%. Hasil tomografi (gambar 4.7) diperkirakan lapisan pertama memiliki ketebalan kurang dari 3 meter dengan cepat rambat gelombang P sekitar 200 m/s sampai 600 m/s yang diinterpretasikan sebagai lapisan *soil* sebagai lapisan lapuk (*weathered layered*), lapisan kedua memiliki ketebalan kurang dari 2 meter dengan nilai cepat rambat gelombang P sekitar 600 m/s sampai 800 m/s yang diinterpretasikan sebagai lapisan *siltstone*, lapisan ketiga memiliki ketebalan kurang dari 8 meter dengan nilai cepat rambat gelombang P sekitar 800 m/s sampai 2000 m/s yang diinterpretasikan sebagai lapisan *mudstone*, dan lapisan keempat memiliki ketebalan kurang dari 12 meter dengan nilai cepat rambat gelombang P sekitar 2000 m/s sampai 2500 m/s yang diinterpretasikan sebagai lapisan *sandstone*.

Pada lokasi ini berada pada tingkat kekerasan sangat keras (*very hard rock*), dimana penggalian ini termasuk dalam deskripsi sangat keras (*very hard ripping*) dengan kekuatan penggalian ≥350 *horse power* (hp) atau setara dengan golongan I (Tabel 2.2) yang membutuhkan setidaknya 260 *kiloWatt* (kW).



Gambar 4.4 Penampang model 2D pengukuran seismik refraksi tomografi bawah permukaan lokasi D dengan spasi antar *geophone* 3 meter

Lokasi ini memiliki topografi yang datar dengan arah lintasan searah kemiringan lapisan batuan (*Dip*) dan berada di daerah persawahan. Setiap lintasan pada lokasi ini memiliki panjang $\pm\ 69\ m$, penelitian ini menggunakan *geophone* 24 *channel* dengan spasi antar *geophone* 3 meter dan menggunakan 5 *shot point*, dimana *shot point* pertama diletakkan 15 m sebelum *geophone* 1, *shot point* kedua diletakkan 5 m sebelum geophone 1, *shot point* ketiga diletakkan diantara *geophone* 12 dan 13, *shot point* keempat diletakkan 5 m sesudah geophone 24, dan *shot point* kelima diletakkan 15 m sesudah *geophone* 24.

Hasil tomografi (gambar 4.4) diperoleh kedalaman $\pm 20\ m$ dari permukaan bumi, dengan rentang nilai kecepatan gelombang P dari 200 m/s sampai 1500 m/s, dan nilai RMS *error* sebesar 1,5%. Hasil tomografi (gambar 4.11) diperkirakan pada lapisan pertama memiliki ketebalan kurang dari 19 meter dengan cepat rambat gelombang P sekitar 200 m/s sampai 1200 m/s yang diinterpretasikan sebagai lapisan *alluvium* sebagai lapisan lapuk (*weathered layered*) dan lapisan kedua memiliki ketebalan kurang dari 2 meter dengan cepat rambat gelombang P sekitar 1200 m/s sampai 1500 m/s yang diinterpretasikan sebagai lapisan *mudstone*.

Pada lokasi ini berada pada tingkat kekerasan mudah untuk penggalian tanah (*dense cohesionless soil through very soft rock*), dimana penggalian ini membutuhkan peralatan penggalian berupa *power tools* dengan kekuatan penggalian ≥100 *horse power* (hp).

Berdasarkan observasi di lapangan terdapat perbedaan morfologi, dimana berpengaruh terhadap hasil penelitian. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa lokasi yang berada di daerah perbukitan jauh lebih bagus dibandingkan dengan hasil yang berada di daerah persawahan. Hal ini disebabkan oleh adanya perbedaan material penyusun, dimana area persawahan memiliki jenis material yang porositasnya lebih besar dibandingkan area

perbukitan sehingga menyebabkan gelombang seismik merambat dengan kecepatan yang lebih lambat juga atau disebut sebagai atenuasi.

Berdasarkan data bor disekitar lintasan penelitian, serta data geologi yang didapatkan terdapat lapisan batubara, tetapi pada data seismik refraksi tidak ditemukan adanya lapisan batubara. Pada lintasan B terdapat data bor yaitu CK2042, dimana memiliki lapisan batubara dengan ketebalan 1,71 meter pada kedalaman 21,03 meter sampai 22,81 meter, Hal ini dikarenakan nilai cepat rambat gelombang P pada batubara lebih kecil dibandingkan dengan lapisan batuan yang ada diatasnya ($V_2 < V_1$).

Menurut Setiawan (2008), gelombang seismik refraksi yang dapat terekam oleh *receiver* pada permukaan bumi hanyalah gelombang seismik refraksi yang merambat pada batas antar lapisan batuan. Hal ini hanya dapat terjadi jika sudut datang merupakan sudut kritis atau ketika sudut bias tegak lurus dengan garis normal ($r = 90^{\circ}$ sehingga sin r = 1). Dan hal ini sesuai dengan asumsi diawal bahwa kecepatan lapisan dibawah *interface* lebih besar dibandingkan dengan kecepatan di atas *interface*.

Pada keempat titik lokasi penelitian ini, juga terdapat 3 jenis pengambilan data yang berbeda, dimana lokasi A dan B menggunakan *geophone* 24 *channel* dengan spasi antar *geophone* 5 meter dan menggunakan 5 *shot point*. Lokasi C menggunakan *geophone* 24 *channel* dengan spasi antar *geophone* 5 meter dan menggunakan 25 *shot point* atau *shot* persatu *geophone*. Lokasi D menggunakan *geophone* 24 *channel* dengan spasi antar *geophone* 3 meter dan menggunakan 5 *shot point*. Perbedaan pengambilan data tersebut juga berpengaruh terhadap hasil penelitian yang didapatkan. Dimana semakin besar *spasi* yang diberikan maka hasil yang didapatkan akan semakin dalam, tetapi semakin besar *spasi* atau jarak pada lintasan tersebut maka sumber yang diberikan juga harus semakin besar, agar gelombang yang dihasilkan dapat ditangkap oleh *receiver* (*geophone*).

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

Hasil penelitian yang dilakukan di 4 titik lokasi, didapatkan nilai kecepatan gelombang seismik refraksi tomografi yang digunakan untuk menginterpretasikan lapisan batuan atau jenis material yang berada di bawah permukaan bumi, ketebalan lapisan, lapisan lapuk (*weathered layered*), dan kekerasan batuan, kemudian dibandingkan dengan data pemboran dan geologi di sekitar daerah tersebut. Pada keempat titik lokasi penelitian ini, terdapat 2 jenis morfologi yang berbeda yaitu daerah perbukitan dan persawahan.

Pada daerah persawahan didapatkan dugaan litologi yakni lapisan pertama memiliki ketebalan kurang dari 19 meter (200 m/s sampai dengan 1200 m/s) dengan litologi berupa *alluvium* sebagai lapisan lapuk (*weathered layered*) dan lapisan kedua memiliki ketebalan kurang dari 2 meter (1200 m/s sampai dengan 1500 m/s) dengan litologi berupa *mudstone*. litologi berupa *sandstone*. Pada daerah ini berada pada tingkat kekerasan mudah sampai menengah mudah (*soft through moderately soft*).

Sedangkan pada daerah perbukitan didapatkan dugaan litologi berupa lapisan pertama memiliki ketebalan kurang dari 3 meter (200 m/s sampai dengan 600 m/s) dengan litologi berupa *soil* sebagai lapisan lapuk (*weathered layered*), lapisan kedua memiliki ketebalan kurang dari 2 meter (600 m/s sampai dengan 800 m/s) dengan litologi berupa *siltstone*, lapisan ketiga memiliki ketebalan kurang dari 9 meter (800 m/s sampai dengan 2000 m/s) dengan litologi berupa *mudstone*, dan lapisan keempat memiliki ketebalan kurang dari 9 meter (2000 m/s sampai 2500 m/s) dengan Pada daerah ini berada pada tingkat kekerasan sangat keras (*very hard rock*).

DAFTAR PUSTAKA

Asparini, Dewi. 2011. *Penerapan Metode Stacking Dalam Pemprosesan Sinyal Seismik Laut Diperairan Barat Aceh*. Departemen Ilmu dan Teknologi Kelautan, Institut Pertanian Bogor: Bogor.

Burger, H. R. 1992. *Exploration Geophysics of The Shallow Subsurface*. Prentice Hall P T R.

Firnanza, Esha. 2017. *Penentuan Litologi Lapisan Bawah Permukaan Berdasarkan Model Kecepatan 2D Tomografi Seismik Refraksi Untuk Geoteknik Jalan Tol*. Fakultas Teknik, Universitas Lampung: Lampung.

Nurdiyanto, Boko dkk. 2011. *Penentuan Tingkat Kekerasan Batuan Menggunakan Metode Seismik Refraksi*. Vol.12 No.3 Desember 1011 hal 211-220. Publitbang BMKG: Jakarta.

Setiawan, Budi. 2008. *Pemetaan Tingkat Kekerasan Batuan Menggunakan Metode Seismik Refraksi*. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia: Depok.

Supriatna, S., Sukardi, dan E. Rustandi. 1995. *Peta Geologi Lembar Samarinda, Kalimantan Timur*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi: Bandung.

Sustriamah. 2007. *Menentukan Kedalaman Bedrock Menggunakan Metode Seismik Refraksi (Studi Kasus di Desa Kemuning Lor Kecamatan Arjasa Kabupaten Jember)*. FMIPA Universitas Jember : Jember.

Tanjung, Darlina. 2015. *Pengaruh Pelapukan Dan Erosi*. Vol. 3 No. 1 2015. Fakultas Teknik UISU: Medan.

Telford, W. M., Geldart, L. P., and Sheriff, R. E. 1990. *Applied Geophysics, 2nd ed.* Cambridge University Press.