

## APLIKASI METODE SEISMIK REFRAKSI UNTUK LINTASAN TEROWONGAN. STUDI KASUS WILAYAH "SMBR"

Moch Lutfi Zakaria<sup>1</sup>, Dwa Desa Warnana<sup>1</sup>, Amien Widodo<sup>1</sup>, dan Nefrizal<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Departemen Teknik Geofisika, Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan dan Kebumihan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

<sup>2</sup>PT. Elnusa Tbk

e-mail: [lutfizakaria25@gmail.com](mailto:lutfizakaria25@gmail.com)

**Abstrak.** Metode seismik refraksi telah banyak digunakan untuk rekayasa bawah permukaan dalam mengidentifikasi struktur dan stratigrafi dengan memanfaatkan perbedaan elastic properties pada batuan. Pada penelitian seismik refraksi diterapkan untuk analisa bawah permukaan dalam penentuan jalur terowongan. Terowongan yang direncanakan melewati perbukitan di wilayah SMBR sangat penuh dengan resiko geologi seperti adanya struktur dan zona weathering layer. Panjang lintasan akuisisi ini sepanjang 1800 m dengan 38 titik tembak. Dari hasil pengolahan data diperoleh 3 buah lapisan, Lapisan pertama adalah soil atau tanah residual dengan rentang velocity 300-1200 m/s, pada lapisan kedua terdapat sandstone dengan rentang nilai velocity 1800 – 3100 m/s dan pada lapisan ketiga terdapat lapisan siltstone dengan rentang 2400-4400 m/s. Selain itu terdapat struktur berupa patahan pada meter ke -1105. Berdasarkan data bor sampai kedalaman 50 m dominan terdapat sandstone sehingga sering terjadi lose. Dengan mengetahui kondisi bawah permukaan diharapkan proses konstruksi menjadi lebih efektif dan menurunkan risiko kecelakaan kerja.

**Kata Kunci:** Seismik Refraksi, Terowongan, Velocity Layer

**Abstract.** Seismic refraction methods have been widely used to analyze some of the elastic properties of rocks. In this study, improvements were made to the subsurface analysis in determining the tunnel path. The tunnel that is separated in the hills in the area of SMBR is very complete with geological risks as well as zone structure and weathering layers. The length of this line is 1800 m long with 38 shoot points. From the data processing obtained 3 layers, the first layer is the ground or residual soil with a velocity of around 300-1200 m / s, in the second layer there is sandstone with an average velocity range 1800 - 3100 m / s and on the layer of soil there is a layer siltstone with range 2400-4400 m / sec. In addition there is a fracture structure on 1105. Based on borehole data with a depth of 50 m dominant there is sandstone, often a loss. By knowing the subsurface condition is expected to make the construction process more effective and reduce the risk of work accident.

**Keywords:** Refraction Seismic, Tunnel, Velocity Layer

### PENDAHULUAN

Rekayasa bawah permukaan untuk mengetahui geologi struktur dengan menggunakan metode geofisika merupakan salah satu cara yang efektif karena bersifat tidak merusak. Metode geofisika yang dulu digunakan oleh ahli geologi untuk mendapatkan sumber daya alam sekarang telah berkembang secara luas dan banyak digunakan untuk analisa geoteknik dalam pencegahan bencana alam dan perlindungan lingkungan. Selain digunakan untuk mengetahui lapisan bawah permukaan penggunaan lainnya adalah untuk menentukan karakteristik fisik-mekanis batuan seperti determinasi kekakuan (stiffness) lapisan bawah tanah (Menzies dkk., 2000). Determinasi nilai *stiffness* diperlukan pada pekerjaan konstruksi

untuk mencegah lapisan bawah tanah atau massa batuan mengalami displacement.

Metode seismik refraksi dapat menjadi salah satu solusi untuk menentukan stiffness (Jurić-Kaćunić dkk., 2011). Konsep dasar metode seismik refraksi adalah perbedaan elastic properties pada batuan dan lapisan tanah. Kelebihan dari metode seismik refraksi adalah dapat mendeteksi lapisan dangkal. Metode ini dapat menganalisis ketebalan lapisan penutup dan lapisan yang renggang, mengklasifikasi batuan yang ada di sekitar terowongan dan mengetahui zona rekahan (Hai-hong dan Wei-wei, 2016).

Daerah penelitian melewati 3 buah formasi geologi yang berbeda diantaranya :

**Tob** adalah formasi brani dimana formasi ini didominasi oleh batuan sedimen. Pada formasi ini terdapat konglomerat dengan warna cokelat keunguan, berukuran kerikil (4-64mm) sampai kerakal (64-256 mm). dengan aneka fragemen berupa andesit, batu gamping, batu sabak dan argilit, granit, kuarsit, kadang-kadang “arkosic gritsand” yang berbutir kasar, terpilah buruk, menyudut-membundar tanggung, padat, keras sampai dapat diremas dan umumnya tidak berlapis. Umur formasi ini diperkirakan sama dengan Formasi Sangkarewang dengan hubungan antar formasi berupa hubungan menjemari, dengan umur yaitu Paleosen hingga Eosen.

**Qal** merupakan jenis alluvium sungai yang terdiri dari batu lempung, batu pasir, kerikil bongkahan batu beku dan kuarsit. Pada peta formasi ini ditunjukkan dengan warna putih.

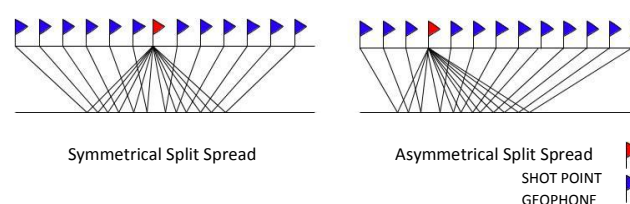
**PCKq** merupakan anggota bawah formasi Kuantan dimana pada formasi ini terdapat Kuarsit, batupasir kwarsa dengan sisipan filit, batu sabak, serpih, batuan gunung api, tuf klorit, konglomerat dan rijang.

Terdapat 2 buah batuan berbeda yakni batuan sedimen pada formasi Brani (Tob), Alluvium dan batuan metamorf (PCKq). Pada formasi Tob dan PCKq terjadi ketidak selarasan karena terjadi perubahan umur yang lama. PCKq berumur Permian Karbon dan Tob berumur Tersier. Berdasarkan jenisnya ini termasuk dalam nonconformity karena adanya lapisan batuan sedimen yang menumpang pada batuan metamorf. Proses terbentuknya ketika ada batuan sedimen dengan batuan metamorf. Suatu saat proses sedimentasi berhenti untuk waktu yang lama sehingga perlapisan tersebut tererosi sampai tersingkap batuan metamorf. Kemudian proses sedimentasi berjalan lagi sehingga dihasilkan metamorf dengan bagian atas tampak tererosi dan ditumpangi suatu lapisan batuan sedimen.

## METODOLOGI

Desain akuisisi seismik refraksi pada penelitian ini memiliki panjang lintasan 1800 m. Dengan tail

600 m disamping kiri dan kanan lintasan. Fungsi dari tail adalah untuk menghilangkan blank area bawah permukaan di posisi geophone pertama. Terdapat berbagai macam konfigurasi untuk akuisisi data ada bentuk *split spread*, *push end*, *pull end* dan *custom*. Pada penelitian ini digunakan metode *asymmetric split spread*. Istilah *asymmetric* digunakan karena jarak antar CMP (*Common Mid Point*) tidak seimbang seperti pada gambar 1. Metode *asymmetric* lebih efektif dilakukan untuk survei seismik refraksi karena yang bergerak lebih dominan adalah shot point.

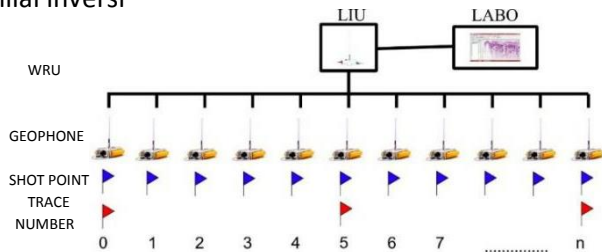


Gambar 1 Perbedaan antara symmetrical split spread dan asymmetrical split spread. Garis hitam menunjukkan arah penjalaran sinar gelombang. (dok. penulis)

Untuk memudahkan penomoran digunakan labelling dengan trace number. Labelling pada setiap trace dimulai dari angka 1000, misal untuk trace ke 1 berarti dimulai dari 1001. Hal ini untuk memberikan kemudahan apabila diperlukan tambahan trace sebelum trace ke 0. Sehingga trace tersebut tidak memiliki nilai negatif. Setiap trace mewakili 1 buah geophone. Jarak antar setiap trace adalah 10 m dan jarak titik tembak (shot point) berjarak setiap 5 buah trace. Pada gambar 2 trace geophone disimbolkan dengan bendera biru dan untuk SP disimbolkan dengan bendera merah. Geophone yang sudah terpasang disambungkan dengan WRU. Fungsi dari WRU untuk mentransmisikan data yang diperoleh dari geophone. Dalam setiap lintasan terdapat satu buah LIU yang menerima data dari WRU. Dari LIU data akan terkumpul dalam Labo.

Data - data seismik yang diperoleh diidentifikasi posisi setiap geophone dan posisi sumber seismiknya dengan cara mengedit ataupun membuat geometri, sehingga dapat dikenali oleh komputer sebagai satu kesatuan database. Proses

editing geometri dapat dilakukan di lapangan (pada saat survei dilakukan) dan di evaluasi kembali sebelum diproses. Pada lintasan 2D selain data koordinat *Easting* dan *Northing* perlu juga diketahui kondisi ketinggian masing masing geophone karena dalam processing faktor topografi mempengaruhi nilai inversi



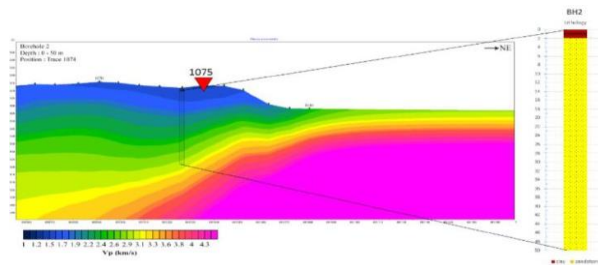
Gambar 2. Susunan konfigurasi pemasangan geophone selama akuisisi data. Geophone yang digunakan adalah single geophone (dok. penulis)



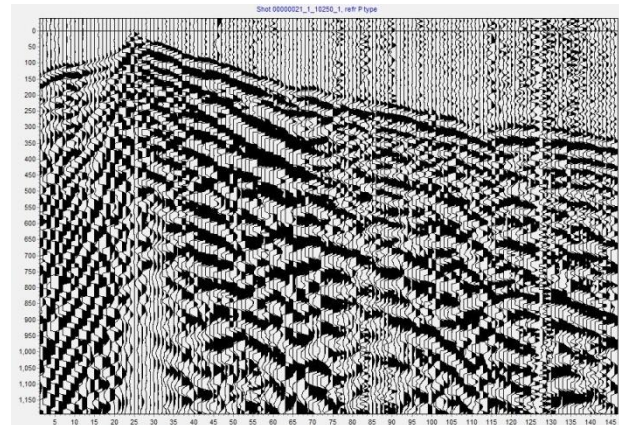
Gambar 3. Topografi daerah SMBR yang ekstrem akan mempengaruhi hasil inversi

Data sinyal yang diperoleh dari lapangan tidak selalu jernih sehingga diperlukan proses pengolahan sinyal pada saat *processing*. *Filtering* berguna untuk menghilangkan noise yang menutupi sinyal seperti adanya aktivitas disekitar geophone ataupun noise yang disebabkan malfungsi dari alat (Nurdiyanto dkk., 2011). Terdapat 4 jenis filtering yang dapat digunakan pada pengolahan data sinyal antara lain *low-pass filtering*, *high-pass filtering*, *band-pass filtering* dan

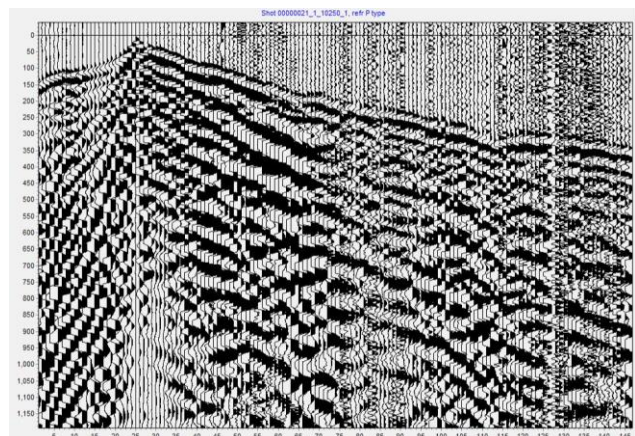
*band reject-filtering*. Penggunaan filtering disesuaikan dengan kondisi data, tapi yang paling umum digunakan adalah *band-pass filtering*. Proses filtering dengan menggunakan metode bandpass akan meloloskan sinyal yang berada di dalam 'trapesium' bandpass.



Gambar 3. Topografi daerah SMBR yang ekstrem akan mempengaruhi hasil inversi



Gambar4. Data seismik sebelum difilter



Gambar 5. Data seismik setelah difilter. Kotak berwarna merah menunjukkan perbedaan yang jelas antara data sebelum dan sesudah difilter

Inversi adalah proses *curve fitting* antara data observasi dengan data kalkulasi. Pada seismik refraksi data yang berupa *wiggle* dilakukan *picking* untuk memperoleh *travel time*. Dari proses tersebut diperoleh nilai dalam bentuk ms. Dengan menggunakan Persamaan inversi bisa didapatkan nilai *velocity* dari setiap layer. Metode inversi yang bisa dipakai ada beberapa macam diantaranya *Smoothness Constrained*, *Occam*, *Marquadt*, *Focused* dan *Block*. Pada penelitian ini metode yang digunakan adalah *Smoothness Constrained*. Metode inversi *smoothness Constrained* menggunakan prinsip *least square inversion* dengan menambahkan operator penghalus atau *smoothing*. Hasil dari algoritma ini menghasilkan citra yang halus tanpa batas tegas dan distribusi parameter yang stabil. Matriks Persamaan dari jenis inversi ini adalah sebagai berikut :

$$(A^T W^T W A + M C^T C) \Delta m = A^T W^T \Delta f$$

Dimana A = Matriks Jacobian;

C = Operator *smoothing*;

W = Matriks yang berisi eror relative terhadap data observasi;

m = Parameter section;

T = Parameter regulasi

f = *Discrepancy vector* (Perbedaan vektor) antara data kalkulasi dan observasi.

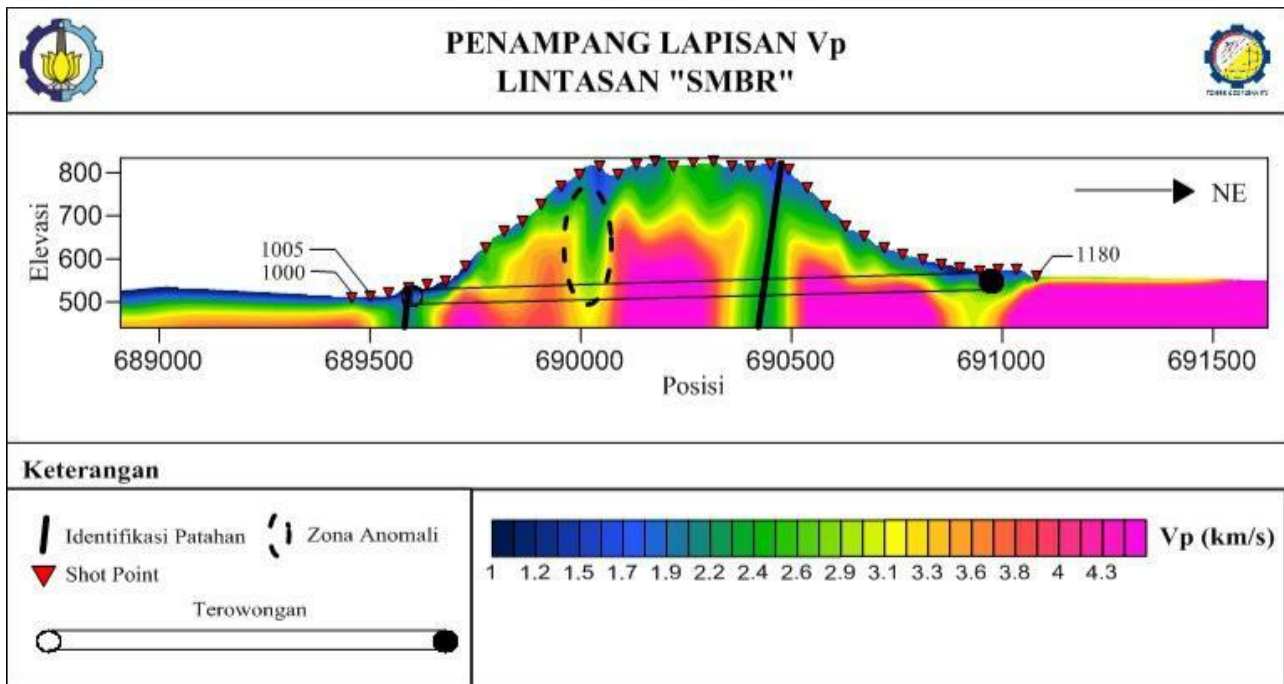
Berdasarkan Persamaan tersebut dapat diketahui bahwa kontras model tidak diminimalisir selama proses inversi. Dengan algoritma ini memungkinkan untuk menerima nilai misfit yang minimum. Pada kebanyakan kasus metode ini digunakan untuk langkah awal interpretasi (Zond, 2016).

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil inversi seismik refraksi pada lintasan SMBR seperti ditunjukkan pada gambar 9 diperoleh nilai *velocity* layer yang bervariasi. Lapisan pertama terindikasi sebagai soil atau tanah

residual dengan nilai *velocity* 300-900 m/s dengan kedalaman berkisar pada 10 – 15 m. Pada gambar 9 lapisan residual ditunjukkan oleh warna hitam dan biru gelap. Pada lapisan kedua terindikasi sebagai sandstone dengan rentang nilai *velocity* 1800 – 3100 m/s (Barton, 2007). Dan pada lapisan ketiga terdapat lapisan siltstone dengan rentang 2400-4400 m/s. Keberadaan zona anomali ditandai dengan penurunan nilai *velocity* yang drastis, hal ini bisa diindikasikan pengaruh patahan, rekahan, ataupun kontak batuan. Pada daerah anomali yang ditunjukkan pada gambar 8 harus diperhatikan secara khusus dikarenakan nilai *velocity* yang rendah merupakan tanda bahwa batuan tersebut termasuk batuan yang lunak.

Pada penelitian ini selain menggunakan metode seismik refraksi untuk menunjang interpretasi dilakukan bor geoteknik dengan kedalaman 50 meter. Untuk pengeboran titik pertama dilakukan pada trace ke-1006. Pengeboran pada titik BH1 diperoleh beberapa lapisan. Lapisan pertama adalah soil dengan kedalaman 0-2 m. Lapisan kedua adalah silt dengan gravel pada kedalaman 2 sampai 11 m. Lapisan ketiga berupa sandstone pada kedalaman 11 – 37 m. Lalu terdapat lapisan lempung pada kedalaman 37 - 42 m dan sisanya sandstone pada kedalaman 42 – 50 m. Pada titik ini lapisan soil terkorelasi dengan nilai *velocity* dibawah 1000 m/s. Pada lapisan kedua atau silt memiliki *velocity* yang lebih rendah yakni sekitar 1200 – 1400 m/s. Hal ini bisa disebabkan karena adanya *weathering zone*. Lapisan ketiga terdapat sandstone yang telah terkorelasi dengan nilai *velocity* 1800 – 2800 m/s. Pada lapisan keempat terdapat batuan lempung yang mana dari data seismik tidak terbaca, hal ini karena clay memiliki nilai *velocity* lebih rendah dibandingkan dengan sandstone yang ada di atasnya, kasus seperti ini dalam metode seismik refraksi disebut dengan zona *low velocity layer*.



Gambar 6. Penampang hasil

## SIMPULAN

Berdasarkan analisa dan pengolahan data seismik refraksi diketahui bahwa daerah penelitian didominasi oleh lapisan batuan dengan velocity yang sangat tinggi. Pada lokasi tertentu terdapat penurunan velocity yang diindikasikan sebagai patahan sehingga pada saat pembangunan terowongan perlu dilakukan perkuatan terowongan. Untuk mengetahui jenis perkuatan yang sesuai diperlukan adanya informasi tambahan mengenai kecepatan geser ( $V_s$ ) batuan sehingga diperlukan penelitian lebih lanjut dengan metode MASW (Multichannel Analysis Surface Waves), serta untuk mengetahui adanya deformasi atau kontak batuan saat dilangsungkan konstruksi terowongan perlu dilakukan TSP (Tunnel Seismic Prediction).

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar besarnya kepada PT Elnusa Tbk, selaku perusahaan yang bersedia memberikan kesempatan untuk melaksanakan penelitian serta arahan dan bimbingan yang diberikan selama mengerjakan

penelitian ini, Yang kedua penulis juga mengucapkan terimakasih kepada HAGI (Himpunan Ahli Geofisika) yang memberikan dukungan finansial selama penulis berada di lokasi penelitian. Dan yang terakhir untuk dosen di Departemen Teknik Geofisika yang senantiasa memberikan bimbingan selama proses pengerjaan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Barton, N. (2007), *Rock quality, seismic velocity, attenuation and anisotropy*, CRC press.
- Hai-hong, D. dan Wei-wei, J. (2016), *Application of Geophysical Methods in Tunnel Exploration*,.
- Jurić-Kačunić, D., Arapov, I. dan Kovačević, M.S. (2011), "New approach to the determination of stiffness of carbonate rocks in Croatian karst", *Gradjevinar*, Vol.63, No.02., hal. 177–185.
- Menzies, B.K., Saxena, K.R. dan Sharma, V.M. (2000), "Near-surface site characterisation by ground stiffness profiling using surface wave geophysics", dalam *Instrumentation in Geotechnical Engineering*, Oxford & IBH Publishing Co. Pvt. Ltd, hal. 43–71.
- Nurdiyanto, B., Hartanto, E., Ngadmanto, D., Sunardi, B. dan Susilanto, P. (2011), "PENENTUAN TINGKAT KEKERASAN BATUAN MENGGUNAKAN METODE

SEISMIK REFRAKSI", Jurnal Meteorologi dan Geofisika, Vol.12, No.3. Diambil dari <http://202.90.199.54/jmg/index.php/jmg/article/view/03>.

Zond (2016), "Inversion", dalam Program of two dimensional seismic data processing and interpretation (surface, borehole and marine variations) Module: correlation method of

refracted waves – layered medium, MASW, amplitude inversion, anisotropy, Zond Geophysical Software, hal. 60–63.

-----