

Interpretasi Data Seismik Refraksi Menggunakan Metode Reciprocal Hawkins dan Software SRIM (Studi kasus daerah Sioux Park, Rapid City, South Dakota, USA)

Sri Wahyuningsih, Gatot Yuliyanto, M. Irham Nurwidyanto
Laboratorium Geofisika Jurusan Fisika Universitas Diponegoro

Abstract

Data processing of seismic refraction has been done. This data processing was the secondary data from seismic measurement result in the Sioux Park area, Rapid City, South Dakota, USA using EG refraction & G Geometrics Model ES-1210 seismic refraction instrument made in America with 12 geophones. The seismic refraction data processing was to determined the velocity and the deepness of eachs layer, and make geology under surface model then to interpreted the the data processing result using Reciprocal Hawkins method and SRIM software. On the seismic data processing used Reciprocal Hawkins method and SRIM (Seismic Refraction Inverse Modelling) software. Reciprocal Hawkins method used time depth concept and SRIM software used delay time concept. The time depth value or the delay time value was same with a half value of intercept time. The result from the data processing using Reciprocal Hawkins method was obtained threes layer, that are the seismic wave velocity of the first layer is 1013 ft/s, the second layer is 4007 ft/s and the third layer is 6887 ft/s. While the result of the deepness calculation obtained the deep of first layer range is 0,93 ft – 11,24 ft, the second layer ranging is 8,72 ft – 19,38 ft and from data processing the result using SRIM software obtained seismic wave velocity of the first layer is 970 ft/s, the second layer is 3485 ft/s and the third layer is 6150 ft/s, while the result of deepness calculation of the first layer range is 0,10 ft – 7,20 ft, the second layer range from 3,40 ft – 27,00 ft. From the under surface image model can be interpreted that the first layer is mouldy layer which represent cover layer, the second layer is clay stone layer, sand (dry, having the pass character) and third layer is napal stone at Spearfish formation which has impermeable characteristic or waterproof.

Key words: delay time, intercept time, Reciprocal Hawkins method, seismic refraction

Intisari

Telah dilakukan pengolahan data seismik refraksi. Data yang diolah merupakan data sekunder hasil pengukuran seismik di daerah Sioux Park, Rapid City, South Dakota, USA menggunakan alat seismik refraksi EG & G Geometrics Model ES-1210 buatan Amerika dengan 12 geophone. Tujuan dari pengolahan data seismik refraksi adalah menentukan kecepatan dan kedalaman masing-masing lapisan dan membuat model geologi bawah permukaan serta menginterpretasikan hasil yang didapatkan dari hasil pengolahan data dengan menggunakan metode Reciprocal Hawkins dan software SRIM. Dalam pengolahan data seismik digunakan metode Reciprocal Hawkins dan software SRIM (Seismic Refraction Inverse Modelling). Metoda Reciprocal Hawkins menggunakan konsep time depth dan software SRIM menggunakan konsep delay time. Nilai dari time depth maupun delay time sama-sama setengah dari nilai intercept time. Dari hasil pengolahan data menggunakan metode Reciprocal Hawkins diperoleh tiga perlapisan dengan kecepatan gelombang seismik pada lapisan pertama 1013 ft/s, lapisan kedua 4077 ft/s dan lapisan ketiga 6887 ft/s, sedangkan hasil perhitungan kedalaman diperoleh kedalaman lapisan pertama berkisar antara 0,93 ft – 11,24 ft dan lapisan kedua berkisar antara 8,72 ft – 19,38 ft dan dari hasil pengolahan data menggunakan software SRIM diperoleh kecepatan gelombang seismik pada lapisan pertama adalah 970 ft/s, lapisan kedua adalah 3485 ft/s dan lapisan ketiga adalah 6150 ft/s, sedangkan hasil perhitungan kedalaman lapisan pertama berkisar antara 0,10 ft – 7,20 ft dan lapisan kedua berkisar antara 3,40 ft – 27,00 ft. Dari model gambaran bawah permukaan dapat ditafsirkan bahwa lapisan pertama berupa lapisan lapuk yang merupakan lapisan penutup, lapisan kedua berupa lapisan yang tersusun dari batu lempung, pasir (kering, bersifat meluluskan) dan lapisan ketiga berupa batu napal pada formasi Spearfish memiliki sifat impermeabel atau kedap air.

Kata kunci: delay time, intercept time, metode Reciprocal Hawkins, seismik refraksi

Pendahuluan

Metode seismik merupakan salah satu metode yang sangat penting dan banyak digunakan di dalam teknik geofisika [1]. Hal ini disebabkan metode seismik mempunyai ketepatan serta resolusi yang tinggi di dalam menentukan struktur geologi. Metode seismik dikategorikan ke dalam dua bagian yaitu seismik refraksi (seismik bias) dan seismik refleksi (seismik pantul). Metode seismik refraksi digunakan untuk mendapatkan informasi mengenai struktur geologi bawah permukaan. Metode ini didasarkan pada sifat penjalaran gelombang yang mengalami refraksi dengan sudut kritis yaitu bila dalam perambatannya, gelombang tersebut melalui bidang batas yang memisahkan suatu lapisan dengan lapisan yang di bawahnya, yang mempunyai kecepatan gelombang lebih besar. Parameter yang diamati adalah karakteristik waktu tiba gelombang pada masing-masing *geophone*.

Masalah utama dalam pekerjaan geofisika adalah membuat atau melakukan interpretasi hasil dari survei, menjadi data bawah permukaan yang akurat. Dalam seismik refraksi masalahnya adalah dalam menterjemahkan data-data waktu dan jarak dari kurva *travel time* menjadi suatu penampang geofisika, dan akhirnya dijadikan menjadi penampang geologi. Secara umum metoda interpretasi dapat dikelompokkan menjadi tiga kelompok utama, yaitu *intercept time*, *delay time method*, dan *wave front method* [2]. Metode interpretasi yang paling mendasar dalam analisis data seismik refraksi adalah *intercept time* [3]. Kelemahannya adalah hanya dapat memberikan informasi kedalaman bidang batas di bawah *shot point*, dengan asumsi bahwa bidang batas tersebut adalah datar, sehingga metode ini tidak dapat memberikan gambaran topografi yang sesungguhnya dari bidang batas sepanjang lintasan *geophone*. Dalam perkembangannya lebih lanjut, dikenal beberapa metode lain yang digunakan untuk

menginterpretasikan bentuk topografi dari suatu bidang batas, antara lain metode *Reciprocal* Hawkins, metode *Time Term*, metode *Time Plus Minus*, metode Hagiwara dan Masuda, metode *Split Spread* Johnson.

Reciprocal method mula-mula dikembangkan oleh A.B.Edge dan T.H.Laby, yang dikenal sebagai *ABC Method* (Metode ABC banyak digunakan pada koreksi-koreksi *weathering* di seismik refleksi) selanjutnya dikembangkan oleh Hagiwara untuk kasus dua lapisan dan Masuda [4] untuk kasus tiga lapisan dan lapisan banyak. Metode yang paling menonjol adalah metode *reciprocal* yang dikembangkan oleh Hawkins [5] yaitu suatu konsep yang disebut *time depth* yaitu waktu yang dibutuhkan oleh gelombang seismik merambat dari bidang *refraktor* ke permukaan yang dapat memberikan gambaran topografi yang sesungguhnya dari bidang batas sepanjang lintasan *geophone*.

Pada penelitian ini dilakukan proses pengolahan data untuk mendapatkan kecepatan rambat gelombang dan kedalaman masing-masing lapisan sehingga akan didapatkan penampang seismik yang dapat memberikan gambaran bawah permukaan yang sebenarnya dengan menggunakan metode *Reciprocal* Hawkins dan *software* SRIM. Pada penelitian ini hanya dibatasi pada data sekunder yang digunakan dengan lokasi di daerah *Sioux Park, Rapid City, South Dakota, USA* dengan Line SP#1. Pengolahan data menggunakan metode *Reciprocal* Hawkins dan *software* SRIM (*Seismic Refraction Inverse Modelling*).

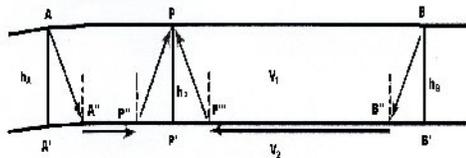
Metode *Reciprocal* Hawkins

Metode ini dilakukan dengan *intercept time* dan disukai karena merupakan metoda numerik sehingga sangat mudah diproses dengan komputer. Metode *reciprocal* Hawkins digunakan pada geofisika teknik dan lingkungan. Metoda *reciprocal* dilakukan dengan melakukan dua tembakan dari arah A dan

B. Waktu tempuh pada titik P dari A disebut T_{AP} , sedangkan dari B disebut T_{BP} , dan waktu tempuh dari A ke B harus sama yaitu T_{AB} sehingga *delay time* pada titik *geophone* dapat dihitung [5]:

$$TD = \frac{1}{2}(T_{AP} + T_{BP} - T_{AB}) \quad (1)$$

$$TD = \frac{1}{2}(T_{AP} + T_{BP} - T_{AB}) \approx \left(\frac{P''P}{v_1} - \frac{P''P'}{v_2} \right) \quad (2)$$



Gambar 1. Metode *Reciprocal* Hawkins. A dan B adalah *shot point*. P adalah salah satu *geophone*. A' dan B' adalah proyeksi titik A dan B pada bidang batas. P' adalah proyeksi titik P. A'' dan B'' adalah proyeksi jejak sinar miring dari titik A dan B pada bidang batas. P''' adalah jejak sinar miring dari *shot point* A yang menuju ke titik P. P'''' adalah jejak sinar miring dari *shot point* B yang menuju ke titik P (Hawkins,1961).

Besarnya *time depth* untuk dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$TD = h_1 \frac{\sqrt{v_2^2 - v_1^2}}{v_1 v_2} \quad (3)$$

Ketebalan lapisan pertama dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$h_1 = \frac{v_1 v_2}{\sqrt{v_2^2 - v_1^2}} \left(\frac{T_{AP} + T_{BP} - T_{AB}}{2} \right) \quad (4)$$

TD adalah waktu tempuh gelombang yang berkaitan dengan ketebalan medium di atas *refraktor* yang disebut *time depth* (TD), maka

$$h_1 = \frac{v_1 v_2}{\sqrt{v_2^2 - v_1^2}} TD \quad (5)$$

dengan h_1 adalah ketebalan lapisan pertama, TD adalah *time depth*, v_1 adalah kecepatan

lapisan pertama dan v_2 adalah kecepatan lapisan kedua.

Ketebalan lapisan kedua dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$h_2 = \frac{TD v_2 v_3}{\sqrt{v_3^2 - v_2^2}} - \frac{h_1 v_2 \sqrt{v_3^2 - v_1^2}}{v_1 \sqrt{v_3^2 - v_2^2}} \quad (6)$$

dengan dengan h_2 adalah ketebalan lapisan kedua, TD adalah *time depth* pada *shot point*, v_1 adalah kecepatan lapisan pertama, v_2 adalah kecepatan lapisan kedua, v_3 adalah kecepatan lapisan ketiga dan h_1 adalah ketebalan lapisan pertama.

Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan adalah metode pengolahan data seismik refraksi untuk menghitung kecepatan rambat gelombang seismik dan kedalaman masing-masing lapisan yang diturunkan dari kurva *travel time* sehingga akan didapatkan gambaran struktur bawah permukaan dengan menggunakan metode *Reciprocal* Hawkins dan *software* SRIM (*Seismic Refraction Inversi Modeling*).

Data hasil rekaman gelombang seismik ditampilkan dalam bentuk *record* seismik. Dari *record* seismik dapat diketahui waktu tiba gelombang seismik pada masing-masing *geophone*. Waktu tiba gelombang seismik yang akan digunakan untuk mengetahui kecepatan gelombang seismik dan kedalaman masing-masing lapisan. Gelombang seismik yang digunakan untuk analisis adalah gelombang P (gelombang longitudinal). Waktu tiba gelombang P kemudian diplot ke dalam kurva *travel time* atau kurva T-X. Sebelum dilakukan perhitungan kecepatan dari kurva *travel time*, terlebih dahulu dilakukan koreksi waktu tiba gelombang P melalui beberapa langkah berikut:

a. *Reciprocal Time Test*

Reciprocal Time tembakan ke depan dan ke belakang secara teoritik harus sama, jika tidak sama harus dikoreksi. Dua

penyebab ketidaksamaannya, pertama karena *delay trigger*. Koreksi dilakukan dengan menggeser keseluruhan kurva *travel time* sesuai dengan *shot point* yang dianggap besar. Kedua karena kesalahan pembacaan, mungkin rekamannya jelek sehingga dilakukan pembacaan ulang pada rekaman.

b. *Similar Irregularity Test*

Kurva *travel time* terdiri dari segmen-segmen garis lurus bila permukaan tanah dan permukaan *refraktornya* datar. Jika ketebalan lapisan permukaan di sepanjang suatu titik penerima lebih tebal dari titik penerima lainnya maka *delay time* dari penerima ini lebih besar dari yang lain sehingga kurva *travel time* harus mempunyai bentuk *irregularitas* yang sama di setiap titik penerima.

c. *Parallelisme Test*

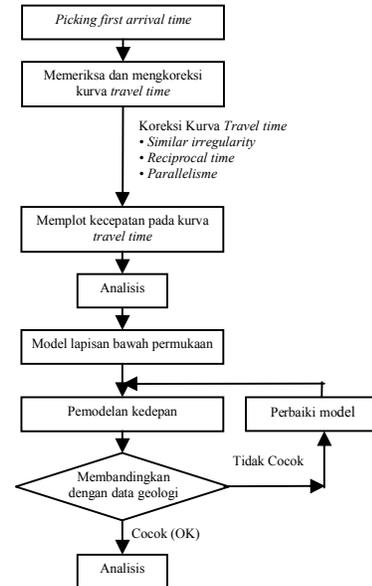
Bila ada lebih dari dua kurva *travel time* dengan arah dan zona yang sama serta berasal dari *refraktor* yang sama, maka beda waktu antara masing-masing *travel time* adalah konstan, sedangkan bila *travel time* berasal dari *refraktor* yang berbeda maka kurva *offset* dekat menjadi semakin dekat dan secara bertahap menjauh menuju kurva di *offset* jauh. Dengan prinsip ini, kualitas kurva *travel time* dapat dievaluasi dan memungkinkan untuk melihat dari *refraktor* mana *travel time* ini berasal.

Pada gambar 2 diberikan diagram langkah pengolahan data seismik refraksi dengan menggunakan metode *Reciprocal* Hawkins.

Software SRIM (Seismic Refraction Inversi Modelling)

Data yang digunakan sebagai masukan dalam proses pengolahan data dari *software SRIM (Seismic Refraction Inversi Modelling)* adalah sebagai berikut [6]:

1. Judul
2. Jumlah bentangan
3. Jumlah lapisan



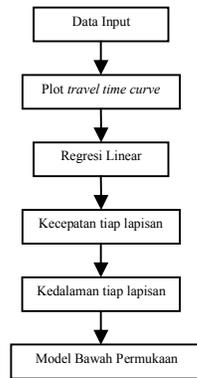
Gambar 2. Diagram langkah pengolahan data dengan metode *Reciprocal* Hawkins.

4. Titik Tembak, meliputi jumlah titik tembak pada setiap bentangan dan untuk masing-masing *shot point*.
5. *Geophone*, meliputi jumlah *geophone* pada masing-masing bentangan, koordinat X-Y untuk masing-masing *geophone*, ketinggian E.

Metode interpretasi yang digunakan oleh *software* berdasarkan konsep *delay time*. Langkah pengolahan data dengan menggunakan *software SRIM* dapat dilihat pada gambar 3. Langkah pengolahan data di bawah ini merupakan ringkasan dari penjelasan Ayers yang dituliskan dalam bentuk diagram.

Metode Analisis Data

Interpretasi merupakan suatu cara analisis menafsirkan keadaan bawah permukaan dari data geofisika [7]. Interpretasi geofisika merupakan cara menafsirkan dan menyimpulkan sebaran data geofisika yang dikaitkan dengan cara analisis serta batasan fisis yang digunakan, sedangkan interpretasi geologi adalah cara menafsirkan data hasil interpretasi geofisika menjadi model



Gambar 3. Diagram langkah pengolahan data dengan *software* SRIM

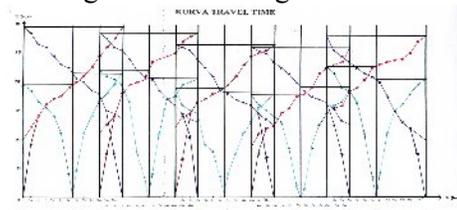
geologi bawah permukaan. Interpretasi seismik refraksi memiliki keterbatasan yang berarti banyak alternatif model yang dibuat untuk satu set data tertentu yang tergantung asumsi, parameter, serta cara pendekatan yang dipakai. Analisis kuantitatif diturunkan dari kurva *travel time* untuk mendapatkan parameter bawah permukaan. Metode ini menggunakan analisis gelombang panduan yang umumnya disebut *first break* dan akan berhasil dengan baik jika kecepatan gelombangnya semakin ke bawah semakin besar.

Analisis data pada penelitian ini meliputi proses pengolahan data seismik refraksi dengan menggunakan metode *Reciprocal Hawkins* dan menggunakan *software* SRIM sehingga akan didapatkan kecepatan rambat gelombang seismik dan kedalaman masing-masing lapisan serta penampang struktur bawah permukaan. Hasil perhitungan dari masing-masing metode *Reciprocal Hawkins* dan *software* SRIM akan dianalisis dan untuk menafsirkan batuan penyusun bawah permukaan hasilnya akan dicocokkan dengan data geologi daerah penelitian dan data sumur bor.

Hasil dan Pembahasan

Data waktu tiba gelombang seismik dari *record* diplot ke dalam kurva *travel time* dan dianalisis harga waktu tibanya sehingga didapatkan kurva *travel time* yang akan digunakan untuk interpretasi. Gambar

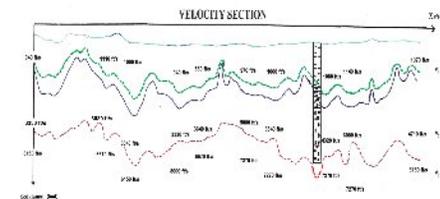
4 memperlihatkan kurva *travel time* daerah SP#1 dengan lima bentangan.



Gambar 4. Kurva *travel time* daerah SP#1 dengan lima bentangan

Pada gambar 4 garis berwarna merah menunjukkan *forward shot* (tembakan ke depan), garis berwarna ungu menunjukkan *reverse shot* (tembakan balik), garis berwarna biru menunjukkan *middle shot* (tembakan tengah), huruf A sampai O menunjukkan posisi *shot point*, G₁ sampai dengan G₁₂ adalah susunan *geophone*, tanda bulatan dan silang menunjukkan nilai waktu tiba gelombang seismik.

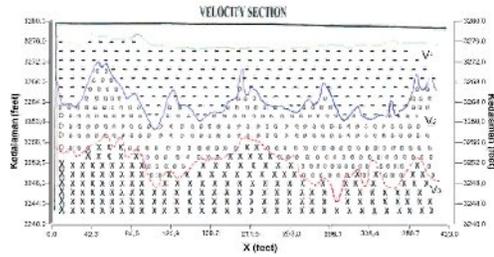
Dari hasil perhitungan kecepatan dan kedalaman masing-masing lapisan akan didapatkan *velocity section* yang menggambarkan model struktur bawah permukaan. Gambar 5 memperlihatkan model gambaran struktur bawah permukaan dari hasil perhitungan metode *Reciprocal Hawkins*.



Gambar 5. Penampang kecepatan dari hasil pengolahan menggunakan metode *Reciprocal Hawkins*.

Gambar 5 merupakan penampang kecepatan dari hasil perhitungan dengan menggunakan metode *Reciprocal Hawkins* yang sudah dikoreksi dengan bor. Pada gambar terlihat bahwa garis berwarna biru merupakan topografi, garis berwarna hijau hasil perhitungan kedalaman lapisan

pertama yang belum dikoreksi dengan sumur bor sedangkan garis berwarna ungu adalah hasil kedalaman lapisan pertama setelah dikoreksi dengan sumur bor. Kedalaman yang dikoreksi hanya kedalaman pada lapisan pertama karena data sumur bornya tidak sampai pada lapisan ketiga, sehingga kedalaman lapisan kedua tidak dapat dikoreksi. Model geologi bawah permukaan diberikan pada gambar 6.



Keterangan:

- : Tanah
- o : Lempung, pasir
- × : Napal

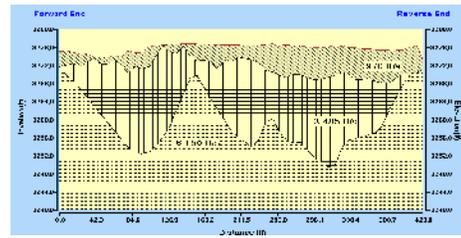
Gambar 6 Model geologi bawah permukaan hasil dari perhitungan dengan metode *Reciprocal Hawkins*

Dari hasil akhir perhitungan metode *Reciprocal Hawkins* diperoleh kecepatan gelombang seismik pada lapisan pertama 1013 ft/s, kecepatan gelombang seismik pada lapisan kedua 4077 ft/s dan kecepatan gelombang seismik pada lapisan ketiga 6887 ft/s, sedangkan hasil perhitungan kedalaman dengan menggunakan metode *Reciprocal Hawkins* yaitu kedalaman lapisan pertama berkisar antara 0,93 ft – 11,24 ft dan kedalaman lapisan kedua berkisar antara 8,72 ft – 19,38 ft.

Hasil akhir perhitungan dengan *software SRIM* diperoleh kecepatan gelombang seismik pada lapisan pertama adalah 970 ft/s, kecepatan gelombang seismik pada lapisan kedua adalah 3485 ft/s dan kecepatan gelombang seismik pada lapisan ketiga adalah 6150 ft/s, sedangkan hasil perhitungan kedalaman lapisan

pertama berkisar antara 0,10 ft – 7,20 ft dan kedalaman lapisan kedua berkisar antara 3,40 ft – 27,00 ft.

Dari hasil perhitungan kecepatan dan kedalaman masing-masing lapisan akan didapatkan *velocity section* yang menggambarkan model struktur bawah permukaan. Gambar 7 memperlihatkan model gambaran struktur bawah permukaan dari hasil perhitungan metode *software SRIM*.



Gambar 7. Model geologi bawah permukaan dari hasil pengolahan menggunakan *software SRIM*.

Hasil perhitungan kedalaman yang diperoleh hasil dari perhitungan kedua metode berbeda. Hal ini disebabkan karena perbedaan nilai kecepatan dan nilai *intercept time* yang digunakan pada perhitungan kedalaman. Pada metode *Reciprocal Hawkins*, nilai kecepataannya diperoleh dari kemiringan kurva *travel time*, sedangkan pada *software SRIM* menggunakan masukan nilai kecepatan hasil dari metode *Reciprocal Hawkins* dengan asumsi bahwa mediumnya adalah homogen isotropis.

Dalam menentukan litologi batuan bawah permukaan dilakukan dengan melihat harga kecepatan gelombang seismik pada masing-masing lapisan. Untuk mendapatkan informasi yang lebih lengkap dilihat dari data sumur bor hasil pengeboran langsung pada daerah penelitian. Berdasarkan data dari sumur bor pada lokasi penelitian diperoleh litologi setempat berupa lapisan 1 dan lapisan 2. karena informasi dari data sumur bor tidak cukup untuk mengetahui litologi lapisan 3. Litologi dari lapisan 3 diperoleh dari data geologi daerah penelitian.

Tabel 1. Perbandingan litologi batuan bawah permukaan dari hasil penampang seismik dengan sumur bor

Lapisan	Penampang Seismik	Sumur Bor dan Data Geologi
1	Tanah, lempung	Lempung
2	Lempung, pasir (kering, bersifat meluluskan)	Lempung berbatu kerikil
3	Napal	Napal

Litologi batuan bawah permukaan berdasarkan sumur bor dan data geologi dengan variasi kecepatan gelombang P memperlihatkan keidentikan. Kecepatan lapisan 1 dari seismik identik dengan batuan dari sumur bor begitu juga pada lapisan 2, sedangkan kecepatan lapisan 3 identik dengan batuan dari data geologi. Dengan demikian dapat diketahui bahwa litologi batuan bawah permukaan pada lintasan SP#1 daerah *Sioux Park, Rapid Creek, Rapid City, South Dakota USA* sebagai berikut:

- Lapisan 1 berupa lapisan lapuk yang tersusun dari tanah, lempung pasir, lempung pengisi tanah dan kerikil merupakan lapisan penutup. Batuan lempung yang terdapat dalam lapisan ini memiliki sifat yang cukup kedap air. Lapisan yang sulit dilalui air tanah seperti lapisan lempung atau *silt* disebut lapisan kedap air (*aquiclude*) yang hanya dapat menyimpan air tetapi tidak meluluskan air.
- Lapisan kedua berupa lapisan yang tersusun dari batu lempung, pasir (kering, bersifat meluluskan), serta pasir dan kerikil dekat dengan permukaan. Batu pasir dan batu kerikil tersaturasi menerima resapan dari *Rapid Creek* dan membentuk lapisan akuifer. Lapisan yang dengan mudah dilalui air tanah seperti pasir / kerikil disebut lapisan permeable.

- Lapisan ketiga berupa batu napal yang berada pada formasi *Spearfish*. memiliki sifat *impermeabel* atau kedap air.

Selain membandingkan nilai kecepatan hasil dari metode *Reciprocal Hawkins* dan *software SRIM* dengan sumur bor, nilai kedalamannya juga dapat dibandingkan untuk mengetahui metode yang lebih akurat. Perbandingan nilai kedalaman hasil dari metode *Reciprocal Hawkins* dan *software SRIM* dengan sumur bor dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Perbandingan nilai kedalaman hasil pengolahan dengan menggunakan metode *Reciprocal Hawkins* dan *Software SRIM* dengan sumur bor

Metode	Kedalaman (ft)	% kesalahan
<i>Reciprocal Hawkins</i>	6,67 ft	0 %
<i>Software SRIM</i>	6,60 ft	1,05 %
Sumur Bor	6,67 ft	

Dari tabel 2 dapat diketahui bahwa metode *Reciprocal Hawkins* lebih akurat dari *software SRIM*, karena mempunyai kesalahan yang lebih kecil.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengolahan data dan analisis data seismik refraksi dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Dari hasil pengolahan data menggunakan metode *Reciprocal Hawkins* diperoleh kecepatan gelombang seismik pada lapisan pertama 1013 ft/s, lapisan kedua 4077 ft/s dan lapisan ketiga 6887 ft/s, sedangkan hasil perhitungan kedalaman diperoleh kedalaman lapisan pertama berkisar antara 0,93 ft – 11,24 ft dan lapisan kedua berkisar antara 8,72 ft – 19,38 ft dan dari hasil pengolahan data menggunakan *software SRIM* diperoleh kecepatan gelombang seismik pada lapisan pertama adalah 970 ft/s, lapisan kedua adalah 3485 ft/s dan lapisan ketiga

adalah 6150 ft/s. Sedangkan hasil perhitungan kedalaman lapisan pertama berkisar antara 0,10 ft – 7,20 ft dan lapisan kedua berkisar antara 3,40ft-27,00 ft.

2. Litologi batuan bawah permukaan pada lintasan SP#1 daerah *Sioux Park, Rapid Creek, Rapid City, South Dakota USA* sebagai berikut:

- Lapisan 1 berupa lapisan lapuk yang tersusun dari tanah, lempung pasiran yang merupakan lapisan penutup.
- Lapisan kedua berupa lapisan yang tersusun dari batu lempung, pasir (kering, bersifat meluluskan).
- Lapisan ketiga berupa batu napal yang berada pada formasi *Spearfish*. memiliki sifat *impermeabel* atau kedap air.

Ucapan Terima Kasih

Penulis ucapkan terima kasih pada Prof. M. I. T. Taib, dosen Teknik Geofisika Institut Teknologi Bandung serta Dr. Bogie Soedjatmiko dari Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI) Bandung yang telah banyak membantu terlaksananya penelitian ini.

Daftar Pustaka

- [1] Sismanto, 1996, *Akuisisi Data Seismik Seri Kegiatan Seismik Eksplorasi*, Universitas Gajah Mada Press: Yogyakarta.
- [2] Taib, M. I. T., 1984, *Engineering Seismology*, Institut Teknologi Bandung Press: Bandung (tidak dipublikasikan).
- [3] Tjetjep, 1995, *Model Simulasi Struktur Multi Lapisan Dari Data Seismik Refraksi Dengan Menggunakan Metode Time Plus Minus*, Skripsi S-1 Geofisika Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- [4] Masuda, H, 1981, *Seismic Refraction Analysis For Engineering Study (Revised Edition)*, OYO Corporation: Japan.
- [5] Hawkins, L.V., 1961, *The Reciprocal Method of Routine Shallow Seismic Refraction Investigation*: Geophysics, volume XXVI no 6 (November 1961), pp 806 – 819.
- [6] Ayers, J. F., 1999, *Analysis of Travel time Data By Seismic Refraction Inverse Modelling*, University of Nebraska Lincoln, Nebraska Lincoln.
- [7] Taib, M. I. T., 2000, *Seismik Refraksi*, Institut Teknologi Bandung Press: Bandung.