

## Estimasi Struktur Bawah Permukaan Menggunakan Metode Seismik Refraksi Di Kawasan Pantai Padang

Windi Jalnadia\*, Ahmad Fauzi Pohan

Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Andalas, Kampus Unand Limau Manis, Padang, 25163, Indonesia.

### Info Artikel

#### Histori Artikel:

Diajukan: 31 Januari 2023  
Direvisi: 22 Oktober 2023  
Diterima: 03 Maret 2024

#### Kata kunci:

metode Hagiwara  
seismik refraksi  
struktur bawah permukaan

#### Keywords:

Hagiwara Method  
Seismic Refraction  
Subsurface Structure

#### Penulis Korespondensi:

Ahmad Fauzi Pohan  
Email:  
[ahmadfauzipohan@sci.unand.ac.id](mailto:ahmadfauzipohan@sci.unand.ac.id)

### ABSTRAK

Peristiwa gempa bumi di Sumatera Barat menyebabkan terbentuknya retakan-retakan di atas permukaan tanah. Kondisi tersebut tentu berpengaruh terhadap struktur bawah permukaan tanahnya. Penelitian mengenai pemodelan struktur bawah permukaan menggunakan metode seismik refraksi telah dilakukan. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan penampang seismik di kawasan Pantai Padang. Jumlah lintasan pada penelitian sebanyak dua lintasan dengan panjang masing-masing lintasan 80 meter dan spasi *geophone* 1 meter. Data yang diperoleh berupa waktu rambat sebagai fungsi jarak dan data diolah menggunakan metode Hagiwara. Hasil penelitian menunjukkan kecepatan pada Lintasan 1 untuk lapisan pertama ( $v_1$ ) adalah (1111,11-1250) m/s yang diinterpretasikan sebagai batuan alluvial dan lapisan kedua didapatkan nilai kecepatan ( $v_2$ ) berkisar (2000-5000) m/s yang diinterpretasikan kemungkinan sebagai batu gamping, batu pasir dan batu serpih. Kedalaman yang mampu direkam pada Lintasan 1 adalah (2,9-29,53) m. Pada Lintasan 2, besarnya nilai kecepatan lapisan pertama ( $v_1$ ) adalah (263,16-769,23) m/s diinterpretasikan sebagai batuan aluvial, sedangkan besarnya nilai kecepatan lapisan kedua ( $v_2$ ) adalah (3333,33-5000) m/s diinterpretasikan kemungkinan sebagai batu gamping, batu pasir dan batu serpih. Kedalaman yang mampu direkam pada Lintasan 2 adalah (0,16-29,87) m. Jenis batuan yang didapatkan sesuai dengan peta geologi. Pada kedua lintasan terindikasi adanya amblesan atau penurunan struktur bawah permukaan karena struktur lapisan yang tidak sejajar atau horizontal antara lapisan atas dengan lapisan di bawahnya.

*The earthquake in West Sumatra caused the formation of cracks on the surface of the ground. These conditions certainly affected the structure of the subsurface. This study aims to obtain a seismic cross-section by modeling subsurface structures in the Padang Beach area, West Padang District, Padang. The total amount of tracks in this study were two tracks with an 80 meters length each and a 1-meter spacing geophone. The research was conducted using the seismic refraction method, and the data were processed using the Hagiwara method. The obtained data is travel time form as a function of distance. The results showed that velocity on track 1 ( $v_1$ ) is (11.11- 1250) m/s which is interpreted as alluvial material, while the second layer obtained velocity values ( $v_2$ ) ranged from (2000-5000) m/s which were interpreted as limestone, sandstone and shale material. The depth that can be recorded is (2.9-29.53) m. On track 2, the velocity of the first layer ( $v_1$ ) is (263.16-769.23) m/s, interpreted as alluvial material, while the value of the velocity of the second layer ( $v_2$ ) is (3333.33-5000) m/s is interpreted as limestone, sandstone and Shale material. The track 2 depth that can be recorded is (0.16-29.87) m. The type of stone is correlated with geology maps. Both tracks indicated subsidence or subsidence of the subsurface structure due to the non-parallel or horizontal layer structure between the upper layer and the layer below it.*

Copyright © 2024 Author(s). All rights reserved

## I. PENDAHULUAN

Sumatera adalah daerah yang rawan gempa karena letak wilayah yang berada pada jalur pertemuan dua lempeng yaitu lempeng India-Australia dan lempeng Eurasia. Kedua lempeng ini terus bergerak setiap tahunnya. Pertemuan antara lempeng India-Australia dan lempeng Eurasia ini menyebabkan terjadinya subduksi berupa penunjaman yang terus-menerus oleh lempeng India-Australia terhadap lempeng Eurasia. Peristiwa gempa bumi yang cukup besar di Sumatera adalah gempa yang terjadi pada tanggal 30 September 2009 pada pukul 17.15 WIB. Gempa bumi tersebut berepisenter di Selat Mentawai, sekitar 60 km barat daya Pariaman atau 50 km barat laut Kota Padang, Sumatera Barat. Gempa besar bermagnitudo 7,9 SR ini menelan korban jiwa lebih dari 1000 orang. (BMKG, 2018).

Gempa bumi menyebabkan kerusakan pada struktur tanah bagian bawah, dengan kata lain adanya bahaya likuifaksi. Likuifaksi memiliki potensi cukup besar yang menyebabkan keruntuhan suatu bangunan akibat hilangnya kestabilan tanah (Kusumawardani dkk., 2016). Hal ini tentu sangat berbahaya karena tanah tidak dapat mendukung atau menopang struktur bangunan di atasnya. Berdasarkan hasil peninjauan pasca gempa bumi 2009 di daerah Padang beberapa lokasi mengindikasikan bahwa likuifaksi menghasilkan penurunan pada lapisan tanah bervariasi antara 5 -10 cm, 20 -50 cm dan 50 -100 cm, terutama di kawasan Purus, Air Tawar, Pasir Kandang, Pasir Gurun, Pasir Jambak dan lokasi lainnya (Tohari dkk., 2013).

Kerusakan struktur tanah dan kerusakan bangunan akibat gempa sudah dirasakan langsung oleh masyarakat begitupun pemerintah di daerah Sumatra Barat. Sehingga dibutuhkan suatu metode penelitian yang dapat memperlihatkan struktur permukaan batuan dengan jangkauan informasi yang lebih banyak agar dapat meminimalisir ancaman yang lebih besar. Penentuan struktur bawah permukaan batuan dapat ditentukan dengan menggunakan metode seismik refraksi. Metode seismik refraksi merupakan pendekatan geofisika yang populer digunakan karena dapat mendeteksi variasi lateral dan kedalaman dalam parameter fisis yang relevan menggunakan kecepatan gelombang seismik (Guedes dkk., 2022). Pada perkembangan lebih lanjut, dikenal beberapa metode lain yang digunakan untuk menginterpretasikan bentuk topografi dari suatu bidang batas, antara lain metode Plus-Minus, metode Hagiwara, metode Matsuda dan metode Reciprocal Hawkins (Pulungan and Zulfahmi, 2016). Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh (Sulystyaningrum dkk., 2014), (Niroha dkk., 2021), (Artono dkk., 2017) dengan menggunakan metode seismik refraksi, diperoleh besarnya nilai kecepatan gelombang, jenis batuan dan juga kedalaman bawah permukaan daerah penelitian.

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dan terdapatnya rekahan di permukaan tanah pada kawasan sekitar Pantai Padang, maka perlu dilakukan penelitian untuk menentukan struktur bawah permukaan batuan dengan metode seismik refraksi di kawasan tersebut. Penelitian ini perlu dilakukan karena daerah pantai Padang merupakan Kawasan padat penduduk dan banyak terdapat fasilitas umum seperti sekolah dan asrama haji, dengan begitu penelitian perlu dilakukan sebagai upaya untuk mengantisipasi dampak buruk yang ditimbulkan akibat gempa dan bencana alam lain yang akan terjadi selanjutnya.

## II. METODE

Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah *geophone*, data *logger*, kabel penghubung, kabel USB, laptop, palu 10 kg, lempeng besi, *Global Positioning System* (GPS), dan meteran. Adapun perangkat lunak yang digunakan diantaranya *Software Matlab*, *Software DataQ*, *Microsoft Excel*, *Software Surfer 10*, *Notepad*, *Microsoft Word*, dan *Google Earth*.

### 2.1 Akuisisi Data

Penelitian diambil dua lintasan dengan panjang masing-masing lintasan sejauh 80 meter. Pada lintasan disusun 4 buah *geophone* dengan jarak antar *geophone* 1 meter. Sumber berupa lempeng besi diletakkan sejauh 1 meter dari *geophone* 1 dan akan terdapat dua titik sumber di setiap lintasannya. Pemindahan *geophone* dilakukan sebanyak 294 kali dimana pada setiap pemindahan dilakukan pemukulan pada lempeng besi sebagai sumber. Pemindahan *geophone* untuk Lintasan 1 sebanyak 152 kali sedangkan untuk Lintasan 2 sebanyak 142 kali pemindahan *geophone*. Secara geografis lokasi penelitian ini berada di kawasan Pantai Padang tepatnya di Kecamatan Padang Barat, Kota Padang,

Provinsi Sumatera Barat yang berjarak  $\pm 185$  meter dari bibir pantai atau lebih tepatnya pada koordinat  $100^{\circ}20'35''$  Bujur Timur dan  $0^{\circ}52'50''$  Lintang Selatan seperti ditunjukkan Gambar 1.



Gambar 1 Lintasan Penelitian

## 2.2 Pengolahan Data

### 2.2.1 Input Data

Proses input data merupakan tahapan awal yang dilakukan dalam proses pengolahan data. Pada tahap ini data yang terekam melalui *Software DataQ* dalam format 'WDQ' akan diubah menjadi format 'txt' menggunakan *Notepad*.

### 2.2.2 Picking

Proses *picking* dilakukan untuk memilih data gelombang pertama yang datang dari sinyal pada keempat *geophone*.

### 2.2.3 Editing

Tahap pertama dilakukan dengan menghitung selisih kecepatan gelombang primer antara *geophone 2 - geophone 1*, *geophone 3 - geophone 2*, *geophone 4 - geophone 3* dan *geophone 5 - geophone 4* kemudian selisih antara kecepatan gelombang sekunder *geophone 2 - geophone 1*, *geophone 3 - geophone 1*, *geophone 4 - geophone 1* dan *geophone 5 - geophone 1*. Pada tahap kedua, sinyal yang mengganggu seperti *ground rol* dan *noise* dihilangkan terlebih dahulu menggunakan *Software Matlab* agar sinyal yang diharapkan bersih dari gangguan informasi yang tidak diinginkan.

### 2.2.4 TAR (*True Amplitude Recovery*)

Tahap TAR (*True Amplitude Recovery*) merupakan tahap pengembalian amplitudo gelombang seismik yang melemah pada saat penjalaran gelombang dibawah permukaan. Peristiwa melemahnya gelombang seismik tersebut dikenal sebagai atenuasi. Pengembalian amplitudo gelombang ini dilakukan dengan cara menentukan nilai *parameter test* yang mampu memunculkan reflektor pada penampang seismik.

### 2.2.5 Velocity Analysis

Analisis kecepatan dilakukan pada daerah CDP (*Common Depth Point*) yang telah dilakukan proses re-picking. Hasilnya akan menampilkan masing-masing kecepatan pada CDP dan akan ditampilkan dalam bentuk grafik menggunakan metode Hagiwara pada *Software Excel*. Grafik yang didapatkan akan dikonversi menjadi tabel untuk mengetahui nilai kecepatan dan kedalaman ( $z$ ) per-CDP.

## 2.3 Analisis Data

Analisis data dilakukan berdasarkan grafik hubungan antara waktu tiba gelombang ke *geophone* dan jarak yang ditempuh gelombang pada saat merambat di dalam permukaan bumi. Setelah itu grafik yang didapat akan menghasilkan *trend* dari persebaran data. Hubungan dari *trend* tersebut, nanti akan terlihat jumlah lapisan didaerah penelitian dengan menggunakan persamaan regresi linier (*curva fitting*). Nilai waktu ( $y$ ) didapatkan menggunakan Persamaan (1) dimana  $m$  adalah gradien,  $x$  adalah jarak, dan  $c$  adalah titik pada sumbu  $x$  yang dilewati garis.

$$y = mx + c \quad (1)$$

Sementara nilai kecepatan lapisannya dapat dicari menggunakan Persamaan (2). Nilai  $v_{lapisan}$  dihitung menggunakan nilai gradien ( $m$ ).

$$v_{lapisan} = \frac{1}{m} \quad (2)$$

Setelah itu dilanjutkan dengan pemodelan 3D menggunakan *software Surfer 10*. Hasil pemodelan tersebut dibandingkan dengan peta geologi Padang dan jenis batuan berdasarkan kecepatan material pada Tabel 1. Dari model tersebut dapat diidentifikasi material struktur bawah lapisan batuan di kawasan Pantai Padang.

**Tabel 1** Data kecepatan gelombang pada material

<i>Material</i>	<i>Velocity (m/s)</i>
<i>Water</i>	1400-1600
<i>Weathered Layered</i>	468-915
<i>Soil</i>	610-1830
<i>Alluvial</i>	915-2750
<i>Clay</i>	1400-1600
<i>Sand (Unsaturated)</i>	200-1000
<i>Sand (Saturated)</i>	800-2200
<i>Sand and Gravel (Unsaturated)</i>	400-500
<i>Sand and Gravel (Saturated)</i>	500-1500
<i>Glacial Till (Unsaturated)</i>	400-1000
<i>Glacial Till (Saturated)</i>	1500-2500
<i>Granite</i>	5000-6000
<i>Basalt</i>	5400-6400
<i>Metamorphic rocks</i>	3500-7000
<i>Sandstone and shale</i>	2000-4500
<i>Limestone</i>	2000-6000

(Sumber : Burger, 1992)

### III. HASIL DAN DISKUSI

#### 3.1 Kecepatan Rambat Gelombang Seismik

Setelah data diolah di *Software Matlab*, selanjutnya data diolah lebih lanjut menggunakan metode Hagiwara di *Microsoft Excel*. Didapatkan kurva t-x Lintasan 1 dan Lintasan 2 seperti pada Gambar 2 dan Gambar 3.

**Gambar 2** Kurva t-x Lintasan 1

**Gambar 3** Kurva t-x Lintasan 2

Dari Gambar 2 dan Gambar 3 dapat diketahui bahwa nilai gradien dari gelombang langsung pada *shot* maju dan *shot* balik akan menjadi nilai kecepatan gelombang pertama ( $v_1$  *forward* dan  $v_1$  *reverse*), sedangkan nilai gradien dari gelombang pantul pada *shot* maju dan *shot* balik akan menjadi nilai kecepatan gelombang kedua ( $v_2$  *forward* dan  $v_2$  *reverse*). Nilai gradien dihitung berdasarkan Persamaan (1). Adapun hasil perhitungan nilai kecepatan dapat dilihat pada Tabel 1 dan Tabel 2.

**Tabel 2** Hasil Perhitungan Kecepatan Lintasan 1

$v_1$ <i>Forward</i> (m/s)	$v_1$ <i>Reverse</i> (m/s)	$v_1$ <i>Average</i> (m/s)	$v_2$ <i>Forward</i> (m/s)	$v_2$ <i>Reverse</i> (m/s)	$v_2$ <i>Average</i> (m/s)
1111,11	1250	1180,56	2000	5000	3500

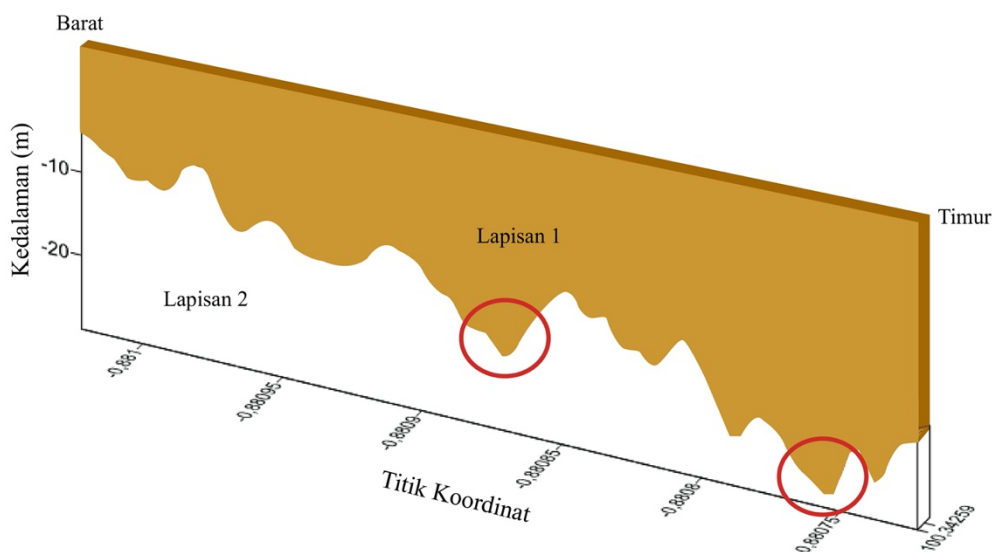
**Tabel 3** Hasil Perhitungan Kecepatan Lintasan 2

$v_1$ <i>Forward</i> (m/s)	$v_1$ <i>Reverse</i> (m/s)	$v_1$ <i>Average</i> (m/s)	$v_2$ <i>Forward</i> (m/s)	$v_2$ <i>Reverse</i> (m/s)	$v_2$ <i>Average</i> (m/s)
263,16	769,23	516,19	5000	3333,33	4166,67

Dari Tabel 2 diketahui nilai  $v_1$  *forward* 1111,11 m/s,  $v_1$  *reverse* 1250 m/s dan  $v_1$  *average* sebesar 1180,56 m/s. Nilai  $v_2$  *forward* 2000 m/s,  $v_2$  *reverse* 5000 m/s dan nilai  $v_2$  *average* sebesar 3500 m/s. Dari Tabel 3 diketahui nilai  $v_1$  *forward* 263,16 m/s,  $v_1$  *reverse* 769,23 m/s dan  $v_1$  *average* sebesar 516,19 m/s. Nilai  $v_2$  *forward* 5000 m/s,  $v_2$  *reverse* 3333,33 m/s dan nilai  $v_2$  *average* sebesar 4166,67 m/s. Kecepatan gelombang setiap lapisan didapat dengan menggunakan Persamaan (2) dari masing-masing gelombang pada kurva t-x. Dari Tabel 2 dan Tabel 3 diketahui bahwa kecepatan gelombang pada Lapisan 2 ( $v_2$  *average*) lebih besar daripada kecepatan gelombang pada Lapisan 1 ( $v_1$  *average*), hal ini selaras dengan asumsi menurut Sismanto (1999) bahwa kecepatan gelombang bertambah sesuai dengan bertambahnya kedalaman. Hal tersebut dapat terjadi karena semakin bertambahnya kedalaman, batuan lapisan akan semakin kompak sehingga menyebabkan kecepatannya pun akan semakin bertambah.

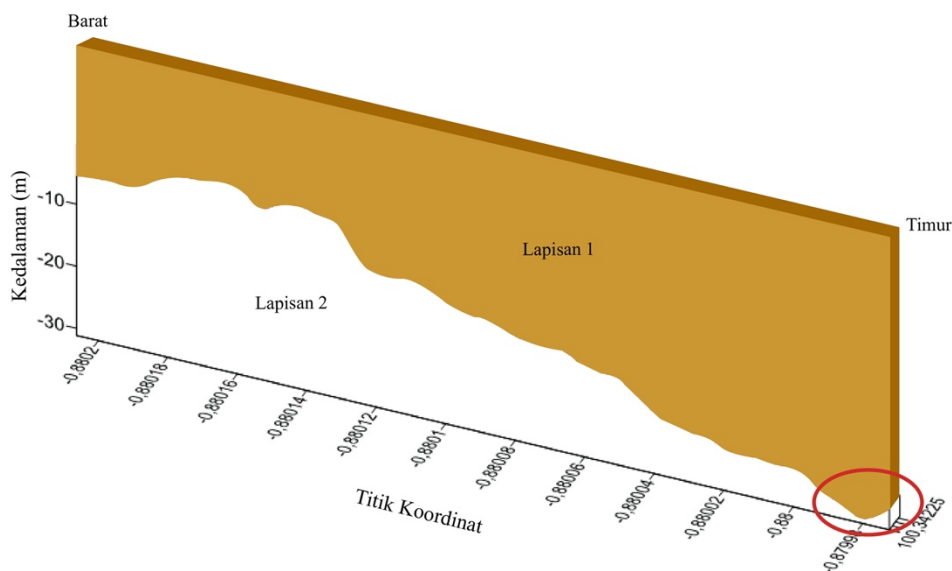
Pemodelan bawah permukaan didapat dengan memasukan nilai garis lintang, garis bujur dan nilai kedalaman pada *Software Surfer 10*. Untuk model bawah permukaan Lintasan 1 dan Lintasan 2 dapat dilihat pada Gambar 4 dan Gambar 5. Nilai kedalaman dicari dengan menggunakan Persamaan (3).

$$h_p = \frac{v_1}{\cos_i} (T_{BP} - T'_{BP}) \quad (3)$$



Gambar 4 Model bawah permukaan Lintasan 1

Jenis material pada Lintasan 1 dan Lintasan 2 diketahui dengan menyamakan kecepatan penjalaran gelombang seismik yang diperoleh dengan kecepatan gelombang yang ada pada Tabel 1. Gambar 4 merupakan bentuk bawah permukaan Lintasan 1. Kedalaman yang mampu direkam sebesar 2,9 - 29,53 m dengan nilai kedalaman dihitung melalui persamaan (3). Berdasarkan nilai kecepatan gelombang yang didapat pada Lintasan 1 ( $v_1$ ) sebesar 1180,56 m/s diinterpretasikan sebagai batuan aluvial, besarnya nilai kecepatan gelombang pada lapisan kedua ( $v_2$ ) sebesar 3500 m/s diinterpretasikan sebagai batu gamping (*limestone*), batu pasir dan batu serpih (*sandstone and shale*). Dalam keadaan normal, tiap lapisan batuan akan horizontal atau sejajar, namun dari hasil pemodelan pada Gambar 4 terlihat bahwa permukaan tanah pada Lapisan 1 mengalami penurunan muka tanah atau amblesan yang diduga likuifaksi. Penurunan muka tanah tersebut ditunjukkan dengan dua lingkaran berwarna merah.



Gambar 5 Model bawah permukaan Lintasan 2

Gambar 5 merupakan bentuk bawah permukaan Lintasan 2 dimana kedalaman yang mampu direkam pada lintasan ini sebesar 0,16–29,87 m dengan nilai kedalaman dihitung melalui persamaan (3). Berdasarkan nilai kecepatan gelombang yang diperoleh pada Lintasan 2 untuk lapisan pertama ( $v_1$ ) sebesar 263,16 m/s diinterpretasikan sebagai batuan aluvial, sedangkan besarnya nilai kecepatan lapisan kedua ( $v_2$ ) sebesar 4166,67 m/s diinterpretasikan sebagai material batu gamping (*limestone*), batu pasir dan batu serpih (*sandstone and shale*). Pada Gambar 5 terlihat adanya penurunan muka

tanah yang diduga likuifaksi seperti halnya pada Lintasan 1, penurunan terjadi pada jarak 77 meter dari arah Barat Lintasan 2. Adanya penurunan tanah yang diduga likuifaksi juga sesuai dengan hasil penelitian Trinandi dkk, (2020) yang menjelaskan bahwa wilayah yang memiliki potensi likuifaksi terbesar berada di Kecamatan Padang Barat, Kecamatan Padang Utara dan Kecamatan Nanggalo.

#### IV. KESIMPULAN

Jumlah lapisan batuan yang berhasil dideteksi oleh seismik refraksi yang memengaruhi kondisi ketidakstabilan dan pergerakan tanah pada penelitian ini adalah sebanyak 2 lapisan. Pada Lintasan 1, diperoleh nilai kecepatan lapisan pertama ( $v_1$ ) berkisar (1111,11-1250) m/s diinterpretasikan sebagai material aluvial, besarnya nilai kecepatan lapisan kedua ( $v_2$ ) berkisar (2000-5000) m/s yang diinterpretasikan kemungkinan sebagai material batu gamping, batu pasir dan batu serpih. Kedalaman yang mampu direkam adalah (2,9-29,53) m. Pada Lintasan 2, besarnya nilai kecepatan lapisan pertama ( $v_1$ ) adalah (263,16-769,23) m/s diinterpretasikan sebagai material aluvial, sedangkan besarnya nilai kecepatan lapisan kedua ( $v_2$ ) adalah (3333,33-5000) m/s yang diinterpretasikan kemungkinan sebagai material batu gamping, batu pasir dan batu serpih. Kedalaman yang mampu direkam pada Lintasan 2 adalah (0,16-29,87) m. Jenis batuan yang didapatkan sesuai dengan peta geologi. Sehingga berdasarkan hasil pemodelan struktur bawah permukaan, pada kedua lintasan terindikasi adanya amblesan atau penurunan struktur bawah permukaan karena struktur lapisan yang tidak sejajar atau horizontal antara lapisan atas dengan lapisan di bawahnya.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Artono, V.Y., Efendi, R. and Sandra, S., 2017, Identifikasi Lapisan Lapuk Bawah Permukaan Menggunakan Seismik Refraksi di Desa Lengkeka Kecamatan Lore Barat Kabupaten Poso, *Natural Science: Journal of Science and Technology*, Vol. 6 No. 3, hal. 291–300.
- Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG), 2018, *Katalog Gempabumi Signifikan dan Merusak*, Jakarta.
- Burger, H., 1992, *Exploration Geophysics of The Swallow Subsurface*, Prentice Hall, New Jersey.
- Guedes, V.J.C.B., Maciel, S.T.R. and Rocha, M.P., 2022, Refrapy: A Python program for seismic refraction data analysis, *Computers and Geosciences*, Vol. 159, Elsevier, hal 2-9.
- Kusumawardani, R., Suryolelono, K.B., Suhendro, B. and Rifa'i, A., 2016, The dynamic response of unsaturated clean sand at a very low frequency, *International Journal of Technology*, Vol. 7 No. 1, hal. 123–131.
- Niroha, O., Putra, A. and Pohan, A.F., 2021, Pemodelan Struktur Bawah Permukaan Menggunakan Metode Seismik Refraksi Pada Prospek Panas Bumi Nagari Aie Angek, Kabupaten Tanah Datar, *Jurnal Fisika Unand*, Vol. 10 No. 4, hal. 525–531.
- Pulungan, Z. and Zulfahmi, Z., 2016, Prediksi gerakan tanah menggunakan seismik refraksi dan permodelan numerik dengan metode Sirt dan Gauss-Seidel, *Jurnal Teknologi Mineral Dan Batubara*, Vol. 12 No. 2, hal. 81–92.
- Sismanto, 1999, *Eksplorasi Dengan Menggunakan Seismik Refraksi*, Gajah Mada University Press, Yogyakarta.
- Sulystyaningrum, E., Khumaedi and Supriyadi., 2014, Aplikasi Metode Seismik Refraksi untuk Identifikasi Pergerakan Tanah di Perumahan Bukit Manyaran Permai (BMP) Semarang, *Upj*, Vol. 3 No. 2, hal. 15–21.
- Tohari, A., Syahbana, A.J., Satriyo, N.A. and Soebowo, E., 2013, Karakteristik likuifaksi tanah pasir di kota padang berdasarkan metode microtremor, *Prosiding Pemaparan Hasil Penelitian Puslit Geoteknologi-LIPI*, Bandung.
- Trinandi, M., Warman, H. and Farni, I., 2020, Analisis Potensi Likuifaksi pada Wilayah Kota Padang Menggunakan Variasi Magnitude Gempa dengan Metode Empiris, *Jurnal Bung Hatta*, Vol. 1 No. 1.