

Implementasi Seismik Refraksi Metode Hagiwara untuk Pendeteksian Bidang Gelincir Sempadan Sungai di Daerah Perumahan Sungai Bangek

Humaira Aryanti Khaidir, Ahmad Fauzi Pohan*

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

Info Artikel

Histori Artikel:

Diajukan: 10 Agustus 2025

Direvisi: 15 Oktober 2025

Diterima: 11 November 2025

Kata kunci:

Bidang Gelincir
Metode Hagiwara
Seismik Refraksi
Sempadan Sungai

Keywords:

Slip Surface
Hagiwara Method
Seismic Refraction
Riverbank

Penulis Korespondensi:

Ahmad Fauzi Pohan

Email:

ahmadfauzipohan@sci.unand.ac.id

ABSTRAK

Pembangunan yang pesat di wilayah sempadan Sungai Bangek, Kecamatan Koto Tengah, Kota Padang, berpotensi meningkatkan risiko bencana geologis seperti tanah longsor. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi struktur bawah permukaan dan keberadaan bidang gelincir pada area sempadan sungai yang dikembangkan menjadi kawasan perumahan menggunakan metode Hagiwara. Akuisisi data dilakukan pada dua lintasan, tegak lurus dan sejajar terhadap sungai, dengan *offset* masing-masing 40 m dan 30 m, menggunakan 4 *geophone*, dan palu seberat 10 kg sebagai sumber getaran. Hasil interpretasi pada lintasan pertama menunjukkan lapisan bawah permukaan terdiri dari pasir tak tersaturasi dan lapisan lapuk dengan indikasi bidang gelincir bidang gelincir pada jarak 0–18 m dengan kedalaman 0,7–4 m. Bidang gelincir ini terletak pada lapisan *permeable* berkecepatan rendah (368,955 m/s) di bawah lapisan *impermeable* berkecepatan tinggi (642,508 m/s). Lintasan kedua menunjukkan struktur cenderung homogen berupa lapisan lapuk dengan kerapatan yang berbeda. Interpretasi Hagiwara mengidentifikasi bidang gelincir di sepanjang refraktor lapisan kedua dengan potensi ketidakstabilan lereng pada lapisan pertama dengan kecepatan seismik rendah (449,165 m/s) yang menunjukkan tingkat kekompakan batuan yang lebih lemah. Informasi mengenai keberadaan dan kedalaman bidang gelincir yang berhasil diidentifikasi dapat menjadi acuan penting dalam perencanaan pembangunan untuk mengurangi potensi risiko longsor di wilayah sempadan Sungai Bangek.

The rapid development in the riparian zone of the Bangek River, Koto Tengah District, Padang City, has the potential to increase the risk of geological hazards such as landslides. This study aims to identify the subsurface structure and the presence of slip surfaces in the riverbank area that is being developed into a residential zone, using the Hagiwara method. Data acquisition was carried out along two survey lines, oriented perpendicular and parallel to the river, with offsets of 40 m and 30 m, respectively, employing four geophones and a 10 kg hammer as the seismic source. The interpretation results from the first survey line indicate that the subsurface consists of unsaturated sand and weathered layers, with evidence of a slip surface at a distance of 0–18 m and depths ranging from 0.7–4 m. This slip surface is located within a permeable layer with a low seismic velocity (368.955 m/s), overlain by an impermeable layer with a higher velocity (642.508 m/s). Meanwhile, the second survey line reveals a relatively homogeneous structure composed of weathered layers with varying densities. The Hagiwara interpretation identifies a slip surface along the second refractor, indicating potential slope instability within the first layer characterized by a low seismic velocity (449.165 m/s), suggesting weaker rock compaction. The information regarding the presence and depth of the slip surfaces identified in this study provides an important reference for development planning to mitigate the potential risk of landslides in the Bangek River riparian zone.

Copyright © 2025 Author(s). All rights reserved

I. PENDAHULUAN

Sungai Bangek merupakan sungai yang sering terjadi banjir, akibat intensitas hujan yang tinggi dan telah terjadi penyempitan pada sempadan sungainya (Mubarak & Umar, 2023). Daerah ini sedang mengalami proses pengembangan wilayah dalam 5 tahun terakhir, karena dipengaruhi oleh letaknya yang berdekatan dengan salah satu perguruan tinggi baru di Kota Padang yang telah selesai dibangun pada tahun 2019. Kondisi tersebut mendorong meningkatnya pembangunan di sempadan Sungai Bangek untuk menunjang kebutuhan akan fasilitas mahasiswa dan masyarakat sekitar.

Sempadan sungai merupakan batas imajiner di sisi kiri dan kanan sungai yang berfungsi sebagai zona perlindungan sungai dan garis yang membatasi adanya pendirian bangunan di tepi sungai (Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2015; Mukhlis et al., 2021). Oleh karena itu, Pembangunan yang dilakukan pada sempadan Sungai Bangek dapat mengganggu kestabilan lereng sungai dan meningkatkan terjadinya longsor di daerah sekitar Sungai Bangek. Risiko tersebut berpotensi meningkat seiring dengan tingginya curah hujan yang terjadi di kawasan Sungai Bangek.

Sungai Bangek terletak di Kecamatan Koto Tangah, Kota Padang yang memiliki tingkat curah hujan tinggi mencapai rata-rata 384,88 mm/bulan berdasarkan Badan Pusat Statistik (BPS) Kota Padang (2018). Berdasarkan rekapitulasi kejadian bencana banjir Kota Padang pada tahun 2020-2024, Koto Tangah mengalami kejadian banjir terbanyak yaitu sebanyak 56 kejadian dan termasuk daerah yang terdampak bencana banjir kedua setelah Bungus di Kota Padang (Harvia et al., 2024; BPS Kota Padang, 2023). Kondisi ini menunjukkan pentingnya identifikasi lapisan bawah permukaan sebagai penyebab bidang gelincir di sempadan Sungai Bangek untuk mengetahui potensi bahaya longsor.

Metode yang dapat digunakan untuk mengidentifikasi lapisan bawah permukaan salah satunya yaitu metode seismik. Metode seismik memiliki tingkat keakuratan dan resolusi yang tinggi dalam memberikan gambaran tentang kondisi bawah permukaan (Jamaluddin et al., 2020). Metode seismik yang banyak dipergunakan untuk keperluan perencanaan pendirian infrastruktur seperti bangunan yaitu metode seismik refraksi. Pemodelan lapisan bawah permukaan dengan metode seismik refraksi memerlukan proses interpretasi, yaitu menentukan atau memperkirakan makna geologis dari data seismik yang diperoleh dengan tujuan memahami model pelapisan bumi yang sesungguhnya (Bungasalu, 2022). Metode Hagiwara merupakan salah satu metode interpretasi seismik refraksi yang memiliki kelebihan dalam mendeteksi kedalaman di bawah titik sumber maupun di bawah *geophone*, sehingga memungkinkan pemodelan bawah permukaan secara menyeluruh di sepanjang lintasan pengukuran dan dapat menampilkan lapisan bawah permukaan yang mengikuti kontur sebenarnya (Ningsih, 2018; Pesma et al., 2020).

Penelitian dengan interpretasi Hagiwara, telah dilakukan oleh (Jalnadia & Pohan, 2024) pada daerah Pantai Padang yang mengidentifikasi 2 lapisan yang menunjukkan adanya amblesan atau penurunan struktur bawah permukaan pada lapisan pertama dengan kedalaman 0-2,19 m berupa aluvial. Azis et al (2021) melakukan penelitian di daerah Srimartani, Yogyakarta dengan tujuan mengidentifikasi zona potensi longsor, hasil penampang menunjukkan dua lapisan bawah permukaan, yaitu soil dan pasir tufan, dimana lapisan *permeable* berada di atas batuan *impermeable* yang diduga sebagai bidang gelincir.

Mempertimbangkan bahwa wilayah Sungai Bangek, Kecamatan Koto Tangah, merupakan kawasan rawan banjir yang sedang mengalami pengembangan wilayah, penting dilakukan kajian terkait potensi bencana, khususnya longsor. Penelitian mengenai kondisi bawah permukaan dan potensi bencana di wilayah ini masih terbatas. Oleh sebab itu, penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi karakteristik lapisan bawah permukaan di sekitar perumahan untuk mengetahui potensi bidang gelincir yang dapat menyebabkan longsor terutama di wilayah sempadan Sungai Bangek.

II. METODE

2.1 Akuisisi Data

Alat yang digunakan untuk akuisisi data terdiri dari perangkat keras dan perangkat lunak. Perangkat keras yaitu *geophone*, kabel USB, data *logger*, meteran, kabel penghubung, palu 10 kg. Perangkat lunak yaitu *Software DataQ*, *Software Matlab*, *Microsoft Excel*, *Software Surfer*, dan *Google Earth*.

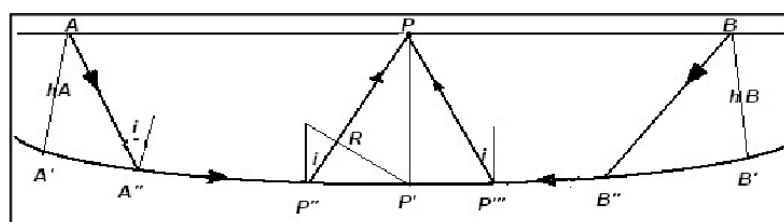
Lokasi penelitian berada disekitar sempadan sungai area perumahan Sungai Bangek, Koto Tangah, Kota Padang. Akusisi data dilakukan dengan menggunakan 2 lintasan pengukuran seismik yaitu Lintasan 1 (tegak lurus terhadap sungai) dan Lintasan 2 (sejajar dengan sungai), dengan *offset* berturut-turut 40 m dan 30 m. Lintasan 1 sepanjang 40 m dipilih untuk mengidentifikasi bidang gelincir sebagai dasar perencanaan pembatasan pendirian bangunan dari tepi sungai, sedangkan Lintasan 2 sepanjang 30 m ditetapkan karena adanya bangunan yang membatasi pengambilan jarak lintasan. Jarak antar *geophone* pada Lintasan 1 yaitu 2 m dan pada Lintasan 2 yaitu 1 m. Masing-masing lintasan menggunakan 4 buah *geophone* dengan sumber getaran seismik berupa palu, yang dilakukan dari 2 arah penembakan yaitu *forward* dan *reverse*. Waktu perekaman gelombang seismik diatur selama 10 s setelah dilakukan pemukulan pada lempeng besi. Lokasi penelitian diunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1 Lokasi Penelitian

2.2 Pengolahan Data

Pada tahap pengolahan data, data rekaman yang diperoleh pada tahap akuisisi data berformat '.WDQ' diubah menjadi format '.txt' melalui Notepad. Selanjutnya dilakukan *True Amplitude Recovery* (TAR), yaitu proses pemulihan amplitudo gelombang seismik yang mengalami pelemahan selama penjalaran di bawah permukaan. Tahap ini dilakukan dengan menentukan nilai parameter uji menggunakan Matlab sehingga reflektor pada penampang seismik dapat muncul. Setelah itu, dilakukan *picking* untuk menyeleksi waktu tiba gelombang pertama yang terekam pada sinyal keempat *geophone*. Hasil *picking* pada setiap titik pengukuran menghasilkan 3 data waktu tiba gelombang pertama karena pengambilan data rekaman dilakukan sebanyak 3 kali. Oleh karena itu, dilakukan *filtering* data untuk memilih waktu tiba pertama terbaik dari ketiga rekaman, sehingga diperoleh kurva *traveltime* yang lebih halus. Tahap terakhir adalah *processing* metode Hagiwara, yaitu proses konversi data seismik dari domain waktu ke domain kedalaman. Untuk menentukan nilai kecepatan tiap lapisan dan kedalaman di bawah *geophone* menggunakan metode Hagiwara, dapat dilakukan pengukuran seperti pada Gambar 2.



Gambar 2 Lintasan Gelombang Bias Struktur 2 Lapis Metode Hagiwara (Sismanto, 1999)

Nilai kecepatan lapisan dapat dicari menggunakan Persamaan 1 yang dihitung menggunakan nilai gradien (m) yang di peroleh dari kurva *traveltime*.

$$v = \frac{1}{m} \quad (1)$$

Kedalaman gelombang bias (*refract wave*) ditentukan menggunakan Persamaan 2 :

$$h_p = \frac{v_1}{2 \cos(i)} (T_{AP} + T_{BP} - T_{AB}) \quad (2)$$

Sedangkan, kedalaman di bawah titik sumber dan gelombang langsung (*diret wave*) ditentukan menggunakan Persamaan 3 dan Persamaan 4:

$$h_A = \frac{v_1}{\cos(i)} (T_{AP} - T'_{AP}) \quad (3)$$

$$h_B = \frac{v_1}{\cos(i)} (T_{BP} - T'_{BP}) \quad (4)$$

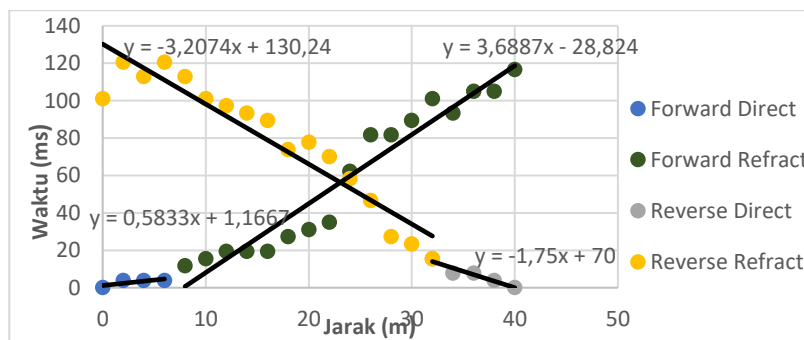
2.3 Pemodelan Bawah Permukaan

Pemodelan bawah permukaan dilakukan menggunakan *Software Surfer* dengan memplot koordinat geografis (*Easting* dan *northing*) untuk setiap titik *offset*, serta data kedalaman tiap lapisan yang telah diperoleh dari pengolahan data. Pemodelan bawah permukaan digunakan untuk mengidentifikasi potensi zona longsor dan keberadaan bidang gelincir yang dapat mengganggu kestabilan lereng pada daerah perumahan di sempadan Bungai Bangek.

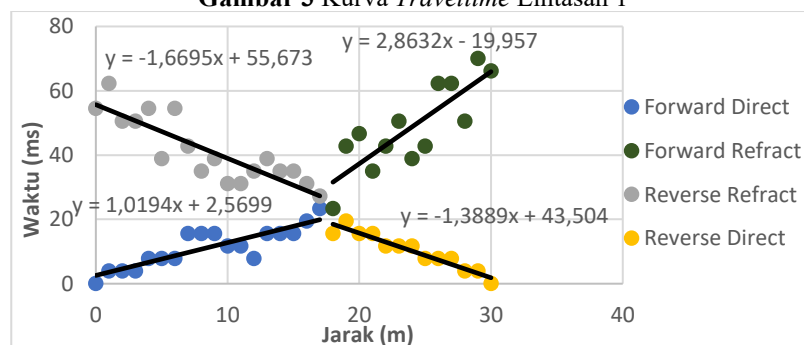
III. HASIL DAN DISKUSI

3.1 Kurva *Traveltime* (t-x)

Pembentukan kurva *traveltime* (t-x) dilakukan setelah data waktu gelombang pertama (*first arrival time*) yang paling baik diperoleh melalui proses *filtering* data. Kurva *traveltime* digunakan untuk menginterpretasikan kecepatan rambat gelombang seismik pada tiap lapisan berdasarkan waktu rambat gelombang langsung (*direct wave*) dan gelombang refraksi (*refract wave*). Kurva *traveltime* untuk Lintasan 1 dan Lintasan 2 dapat dilihat pada Gambar 3 dan Gambar 4



Gambar 3 Kurva *Traveltime* Lintasan 1



Gambar 4 Kurva *Traveltime* Lintasan 2

Gambar 3 menunjukkan nilai selisih kemiringan waktu tempuh antara *direct wave* (0,5833 dan 1,75) dan *refract wave* (3,6887 dan 3,2074) yang relatif besar, sehingga mengindikasikan adanya 2 lapisan bawah permukaan yang berbeda jenis material. Pada Gambar 5, selisih kemiringan waktu tempuh *direct wave* (1,0194 dan 1,3889) dan *refract wave* (1,6695 dan 2,8632) yang relatif kecil, sehingga menunjukkan adanya lapisan homogen atau memiliki batas antar lapisan bawah permukaan (*refractor*) yang tidak terlalu jelas (E.Sheriff & P.Geldart, 1995).

3.2 Kecepatan Rambat Gelombang Seismik dan Jenis Batuan

Pehitungan kecepatan rambat gelombang seismik pada metode Hagiwara dilakukan menggunakan *Microsoft Excel* menggunakan Persamaan 1. Hasil perhitungan kecepatan berserta jenis batuan penyusun bawah permukaan ditunjukkan oleh Tabel 1. Penentuan jenis material berdasarkan kecepatan rambat gelombang seismik di lapisan bawah permukaan dianalisis berdasarkan Telford et al (1990).

Tabel 1 Hasil perhitungan kecepatan rambat gelombang seismik dan jenis batuan

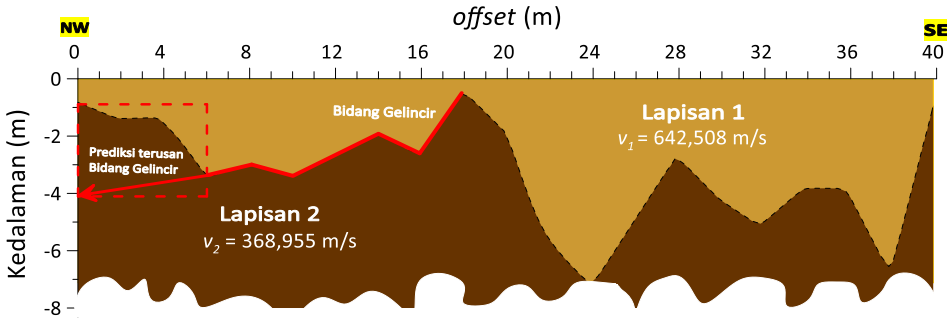
Lintasan	Kecepatan (m/s)		Jenis Batuan	
	Lapisan 1 (v_1)	Lapisan 2 (v_2)	Lapisan 1	Lapisan 2
1	642,508	368,955	Pasir tak tersaturasi	Lapisan lapuk
2	449,165	579,423	Lapisan lapuk	Lapisan lapuk

Berdasarkan Tabel 1, pada Lintasan 1 kecepatan gelombang seismik Lapisan 2 (v_2) yaitu 368,955 m/s lebih rendah dibandingkan Lapisan 1 (v_1) yaitu 642,508 m/s. Hal ini jelas bertentangan dengan asumsi seismik yang menyebutkan bahwa semakin dalam suatu lapisan seharusnya kecepatan rambat gelombang seismik juga semakin bertambah (Pan et al., 2019). Besarnya nilai kecepatan rambat gelombang yang mengalami penurunan menunjukkan adanya perbedaan litologi bawah permukaan, sehingga terdapat adanya bidang gelincir (Safiq, 2023). Lintasan 2 menunjukkan nilai kecepatan gelombang seismik pada Lapisan 1 (v_1) dan kecepatan gelombang seismik pada Lapisan 2 (v_2) dengan selisih yang relatif kecil yaitu 449,165 m/s dan 579,423 m/s. Hal ini mengindikasikan bahwa litologi bawah permukaan pada Lintasan 2 berjenis batuan yang sama, namun dengan kerapatan batuan yang berbeda.

3.3 Interpretasi Model Bawah Permukaan

3.3.1 Lintasan 1

Pengukuran Lintasan 1 dilakukan tegak lurus terhadap sungai. Pemodelan bawah permukaan pada Lintasan 1 ditunjukkan oleh Gambar 5. Gambar 5 mengidentifikasi 2 lapisan bawah permukaan yaitu pasir tak tersaturasi (lapisan 1) dan lapisan lapuk (lapisan 2). Material pasir tak tersaturasi (lapisan *impermeable*) merupakan material yang dapat meloloskan air ke lapisan di bawahnya, sehingga jika air hujan melalui retakan akan terakumulasi pada lapisan di bawahnya. Lapisan lapuk (lapisan *permeable*) merupakan lapisan yang dapat membentuk terjadinya retakan, sehingga menyebabkan massa batuan di atasnya menjadi bergerak. Hal ini akan berbahaya jika curah hujan tinggi karena air akan masuk kedalam retakan, sehingga membebani lereng dan akan memicu terjadinya tanah longsor.

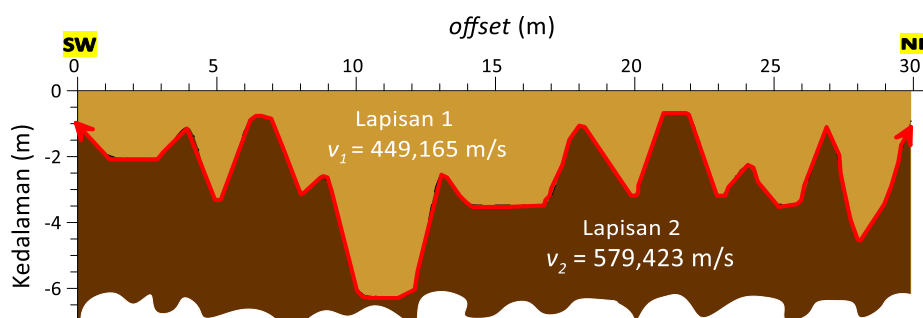


Gambar 5 Pemodelan Bawah Permukaan Lintasan 1

Keberadaan bidang gelincir yang diketahui terdapat pada *offset* 6-18 m, namun diprediksikan tetap ada mulai dari *offset* 0-6 m, karena lapisan 2 yang bersifat lapuk menjadi zona lemah yang rentan terhadap kejenuhan air dan erosi tepian sungai. Lapisan pasir tak tersaturasi yang berada di atas bidang gelincir dapat mengalami peningkatan berat saat menjadi jenuh air akibat curah hujan tinggi. Kondisi ini dapat memberikan beban tambahan pada lapisan lapuk pada tepian sungai, sehingga memicu pergerakan turun jika lapisan pasir tak tersaturasi melemah. Sehingga, bidang gelincir diindikasikan terjadi mulai dari *offset* 0-18 m, dengan kedalaman bidang gelincir di estimasikan dari 0,7 - 4 m. Potensi longsor dipicu oleh keberadaan bidang gelincir berupa lapisan *permeable* yang terletak di bawah lapisan *impermeable*, sehingga memungkinkan pergerakan massa tanah akibat peresapan air yang berlebihan.

3.3.2 Lintasan 2

Pengukuran Lintasan 2 dilakukan sejajar dengan aliran sungai. Pemodelan bawah permukaan pada Lintasan 2 ditunjukkan oleh Gambar 6. Berdasarkan pemodelan bawah permukaan Lintasan 2 (Gambar 6, mengidentifikasi lapisan yang relatif homogen berupa lapisan lapuk. Meskipun demikian, terdapat variasi kecepatan gelombang pada lapisan ini, yang mengindikasikan perbedaan kerapatan material dengan batas antar lapisan tidak tampak secara jelas. Keberadaan bidang gelincir diindikasikan di seluruh batas antar lapisan atau *refractor* Lapisan 2 sepanjang tepian sungai (garis berwarna merah), sehingga lapisan permukaan (Lapisan 1) berpotensi terjadinya longsor ke arah sungai. Lapisan 1 memiliki kecepatan rambat gelombang seismik (v_1) yang rendah (449,165 m/s) yang mengindikasikan tingkat kekompakan batuan yang lebih lemah, sedangkan kecepatan rambat gelombang seismik Lapisan 2 (v_2) yaitu 579,423 m/s mengindikasikan tingkat kekompakan batuan yang lebih padat. Aktivitas erosi oleh aliran sungai secara bertahap dapat mengikis lereng, sehingga menurunkan kestabilan lereng dan meningkatkan kemungkinan terjadinya longsor. Oleh karena itu, Lapisan 1 di sepanjang tepian sungai memiliki kerentanan yang tinggi terhadap longsor.



Gambar 6 Pemodelan Bawah Permukaan Lintasan 2

IV. KESIMPULAN

Hasil interpretasi bawah permukaan pada daerah sempadan Sungai Bangek dengan metode seismik refraksi Hagiwara mengindikasikan terdapatnya potensi longsor yang dipicu oleh keberadaan bidang gelincir. Pada Lintasan 1, lapisan bawah permukaan terdiri atas pasir tak tersaturasi dan lapisan lapuk, dengan indikasi bidang gelincir berada pada jarak 0–18 m serta kedalaman 0,7–4 m. Kondisi ini disebabkan oleh keberadaan lapisan *permeable* dengan kecepatan rambat gelombang seismik rendah (368,955 m/s) yang terletak di bawah lapisan *impermeable* dengan kecepatan lebih tinggi (642,508 m/s), sehingga memungkinkan terjadinya pergerakan massa tanah. Sementara itu, pada Lintasan 2 struktur bawah permukaan cenderung homogen berupa lapisan lapuk, namun menunjukkan perbedaan kerapatan batuan pada Lapisan 1 dan Lapisan 2. Indikasi bidang gelincir pada Lintasan 2 terdapat pada seluruh refraktor Lapisan 2 di sepanjang tepian sungai, sehingga lapisan di atasnya memiliki tingkat kerentanan tinggi terhadap longsor ke arah sungai. Hal ini ditunjukkan oleh nilai kecepatan rambat gelombang seismik lapisan pertama (449,165 m/s) yang lebih rendah dibandingkan Lapisan 2 (579,423 m/s), yang menandakan tingkat kekompakan batuan yang lebih lemah. Dengan demikian, kawasan perumahan di sekitar lokasi penelitian memiliki risiko terhadap longsor, sehingga langkah mitigasi dapat berupa pengaturan tata ruang serta pembatasan pendirian bangunan pada jarak sekitar 18 m dari tepi sungai.

DAFTAR PUSTAKA

- Azis, B. N. L., Wikranta, K. A., Anifah, N. S., Syamsiyah Q, W. S. Q., & Wahyuzar, D. (2021). Integrasi Metode Resistivitas, Seismik Refraksi, Geologi Berbasis Geospasial untuk Identifikasi Potensi Longsor di Srimartani, Yogyakarta. *Indonesian Journal of Earth Sciences*, 1(2), 109–122. <https://doi.org/10.52562/injoes.v1i2.251>
- Badan Pusat Statistik. (2018). *Koto Tengah Subdistrict in Figure* (A. Roza (ed.)). BPS Kota Padang.
- BPS Kota Padang. (2023). Kecamatan Koto Tengah dalam Angka 2023. *BPS Kota Padang*, 13(1), 104–116.
- E.Sheriff, R., & P.Geldart, L. (1995). Refraction Paths-Effect of Refractor Dip. In *Exploration Seismology* (2 ed., hal. 97). Press Syndicate of University of Cambridge.
- Harvia, R., Juita, E., & Despica, R. (2024). Analisis Spasial Bencana Banjir Di Kota Padang Periode Tahun 2020-2024. In *Jurnal Pendidikan dan Ilmu Geografi* (Vol. 9, Nomor 2, hal. 139–147). <https://doi.org/https://10.21067/jpig.v9i2.10627>
- Jalnadia, W., & Pohan, A. F. (2024). Estimasi Struktur Bawah Permukaan Menggunakan Metode Seismik Refraksi Di Kawasan Pantai Padang. *Jurnal Fisika Unand*, 13(3), 399–405.
- Jamaluddin, J., Battu, D. P., Pratikno, F. A., & Ryka, H. (2020). Interpretasi Data Seismik Refraksi Menggunakan Metode Delay Time Plus Minus Di Pantai Parang Luhu, Desa Bira Kabupaten Bulukumba. *PETROGAS: Journal of Energy and Technology*, 2(1), 28–36. <https://doi.org/10.58267/petrogas.v2i1.30>
- Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. (2015). *Undang-undang No 15/PRT/M tahun 2015 tentang Organisasi dan Tata Kerja Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat*.
- Mubarok, H., & Umar, Z. (2023). Normalisasi Sungai Bangek Kecamatan Koto tengah Kota Padang. *Abstract of Undergraduate Research, Faculty of Civil and Planning Engineering, Bung Hatta University*, 2(1).
- Mukhlis, M., Kustiani, I., & Widyawati, R. (2021). Penentuan Garis Sempadan Sungai dan Irigasi di Wilayah Ibukota Kabupaten Lampung Tengah. *Jurnal Profesi Insinyur Universitas Lampung*, 2(1), 34–39. <https://doi.org/10.23960/jpi.v2n1.57>
- Ningsih, N. I. D. (2018). Uji Kinerja Handyviewer MC-SEIS 3 Channel Untuk Pendeteksian Lapisan Dibawah Permukaan. *Integrated Lab Journal*, 6(2), 9–18.
- Pan, L., Chen, X., Wang, J., Yang, Z., & Zhang, D. (2019). Sensitivity Analysis of Dispersion Curves of Rayleigh Waves with Fundamental and Higher Modes. *Geophysical Journal International*, 216(2), 1276–1303. <https://doi.org/10.1093/gji/ggy479>
- Pesma, R. A., Erlangga, M. P., Putri, I. A., & Antosia, R. M. (2020). *Aquifer Layer Prediction Using Seismic Refraction Method*. 06(02), 91–100.
- Safiq, M. (2023). Identifikasi Struktur Dangkal Dan Potensi Longsor Menggunakan Metode Seismik Refraksi Pada Kawasan Depati Coffee Kecamatan Pesisir Bukit Kota Sungai Penuh. In *(Doctoral dissertation, Universitas Jambi)*. Teknik Geofisika, Fakultas Sains dan teknologi, Universitas Jambi.
- Sismanto. (1999). *Eksplorasi dengan Menggunakan Seismik Refraksi*. Gajah Mada University Press.
- Telford, W., Geldart, L., Sherif, R., & Krys, D. . (1990). *Applied Geophysics* (2 ed.). Cambridge University Press.
- Safiq, M. (2023). Identifikasi Struktur Dangkal Dan Potensi Longsor Menggunakan Metode Seismik Refraksi Pada Kawasan Depati Coffee Kecamatan Pesisir Bukit Kota Sungai Penuh. In *(Doctoral dissertation)*. Teknik Geofisika, Fakultas Sains dan teknologi, Universitas Jambi.
- Telford, W., Geldart, L., Sherif, R., & Krys, D. (1990). *Applied Geophysics* (2 ed.). Cambridge University