

ANALISIS LAPISAN BATUAN BAWAH PERMUKAAN MENGUNAKAN METODE *MULTICHANNEL ANALYSIS OF SURFACE WAVES* DI MANIMBAHOI KABUPATEN GOWA

Muhammad Ikram Ramadhan, Muhammad Altin Massinai*

Departemen Geofisika Universitas Hasanuddin, Kampus Tamalanrea 90254, Indonesia.

*Corresponding author. Email: altin@science.unhas.ac.id

Manuscript received: 4 April 2022; Received in revised form: 17 August 2022; Accepted: 16 October 2022

Abstrak

Penelitian ini mengenai struktur lapisan tanah di lokasi penelitian di Manimbahoi, Kecamatan Parigi, Kabupaten Gowa. Penelitian ini sangatlah penting mengingat pada lokasi tersebut pernah mengalami bencana mega longsor yang mengakibatkan beberapa warga tidak ditemukan. Penelitian ini bertujuan memberikan gambaran lapisan tanah yang dangkal pada lokasi bencana longsor. Penelitian ini menggunakan salah satu metode geofisika yaitu Metode *Multichannel Analysis of Surface Waves* (MASW) dengan lintasan sebanyak 4 pada titik pada lokasi longsor. Berdasarkan hasil penelitian diperoleh kecepatan gelombang Vs30 di setiap lintasan. Lintasan pertama kecepatan Vs30 sebesar 303,5 m/s dan lintasan kedua kecepatan Vs30 sebesar 284,1 m/s. Lintasan ketiga kecepatan Vs30 sebesar 309,0 m/s dan Pada lintasan keempat kecepatan Vs30 sebesar yaitu 256,1 m/s. Berdasarkan klasifikasi tanah dengan kecepatan Vs30 dapat ditentukan yaitu jenis tanah pada lokasi penelitian adalah tanah sedang (*Sand*). Tanah sedang merupakan sedimen yang tidak terkonsolidasi, dideskripsikan sebagai tanah tersusun dari mineral-mineral yang tidak kompak.

Kata Kunci: kecepatan Vs30; MASW; mineral; sedimen tidak terkonsolidasi.

Abstract

This research is about the structure of the soil layer at the research site in Manimbahoi, Parigi District, Gowa Regency. This research is very important considering that the location has experienced a mega landslide which resulted in some residents being not found. This study aims to provide an overview of the shallow soil layer at the landslide disaster location. This study uses one of the geophysical methods, Multichannel Analysis of Surface Waves (MASW) method, with 4 lines at points at the landslide location. Based on the results of the study, the velocity of the Vs30 wave was obtained in each line. On the first line the velocity of Vs30 is 303.5 m/s. On the second line the velocity of Vs30 is 284.1 m/s. On the third line the velocity of Vs30 is 309.0 m/s. On the fourth line the velocity of Vs30 is 256.1 m/s. Based on the soil classification by looking at the Vs30 velocity, it can be determined that the type of soil at the research location is medium soil (sand). Medium soil is unconsolidated sediment, described as soil composed of minerals that are not compact.

Keywords: MASW; mineral; unconsolidated sediment; velocity of Vs30.

Pendahuluan

Pada tanggal 26 Maret 2004 tepatnya di kaki Gunung Bawakaraeng, di

Manimbahoi, Kecamatan Parigi, Kabupaten Gowa terjadi musibah tanah longsor. Peristiwa ini mengakibatkan puluhan warga meninggal dan lainnya

cedera. Selain itu beberapa warga belum ditemukan, serta rumah warga dan satu sekolah dasar tertimbun oleh banjir lumpur (Solle and Ahmad, 2016).

Bencana longsor ini menurut Solle and Ahmad (2016) disebabkan karena salah satu faktornya adalah dinding kaldera. Dinding kaldera pada Gunung Bawakaraeng tersebut runtuh serta diikuti oleh aliran debris. Pada kasus seperti ini dapat menghasilkan volume longsor sekitar 233 juta m³ (Hasnawir and Kubota, 2011).

Tanah longsor adalah salah satu bagian dari gerakan tanah yang merupakan gejala atau peristiwa yang menyebabkan perubahan – perubahan yang dialami muka bumi karena dipengaruhi oleh gaya tarik bumi. Tanah longsor merupakan proses alamiah yang biasa terjadi di bumi, tetapi dengan adanya aktivitas manusia maka dapat berubah menjadi suatu bencana alam (Massinai et al., 2010).

Proses perpindahan massa tanah yang arah gerakannya mengarah ke bawah mengikuti pola lereng. Kecuraman lereng sangat berbanding lurus dengan kecepatan gerakan tanah, artinya semakin curam lereng maka semakin cepat gerakan berpindahnya massa tanah. Hal ini dapat mengakibatkan lereng menjadi tidak stabil. Hal ini disebabkan karena tegangan geser sebagai gaya pendorong mempengaruhi peningkatan terjadinya longsor (Bollschweiler et al., 2007; Li and Mo, 2019).

Penyebab perpindahan tanah dari satu area ke area lain antara lain gravitasi, arus air dan tekanan eksternal. Pergerakan tanah berupa pergerakan material dapat membentuk lereng (Varnes, 1978; García-Soriano et al., 2020).

Metode gelombang seismik merupakan salah satu metode eksplorasi yang sering digunakan dalam bidang geofisika. Metode ini merupakan pengukuran gelombang

suara dalam hal ini seismik. Dalam penerapannya dibutuhkan suara atau getaran seismik yang berasal dari palu godam yang dihantamkan pada lempeng atau plat besi. Hal ini mengakibatkan munculnya gelombang melalui medium tanah. Metode *Multi-channel analysis of surface wave* (MASW) merupakan salah satu teknik pengukuran gelombang seismik yang cukup baru dan selalu digunakan dalam menganalisis geoteknik dan dinamika tanah.

Metode ini memiliki banyak kelebihan dibanding dengan metode yang ada sebelumnya yaitu *Spectrum Analysis of surface wave* (SASW). Kelebihan dari metode ini yaitu dalam persoalan menginvestasi profil kekakuan tanah secara simultan. Metode ini juga dapat menentukan modulus elastis di lokasi tanah serta perkerasan yang diuji (Heisey et al., 1982).

Metoda MASW dalam penerapannya memanfaatkan parameter kecepatan gelombang geser (Vs) yang diukur dari permukaan tanah. Selain berguna menentukan jenis batuan, metode ini juga dapat mendeskripsikan penggolongan lokasi berdasarkan kedalaman kecepatan gelombang geser (Vs) dari lapisan batuan yang berada di permukaan (Park et al., 2002).

Kecepatan gelombang geser ditentukan berdasarkan kecepatan gelombang Rayleigh yang terukur. Kecepatan gelombang geser terdiri dari 92% kecepatan fase gelombang Rayleigh (Stokoe et al., 1994).

Metode Penelitian

Pengambilan data ini dilakukan secara langsung di Manimbahoi Kabupaten Gowa. Jumlah lintasan sebanyak 4 dan panjang tiap lintasan 63 meter.

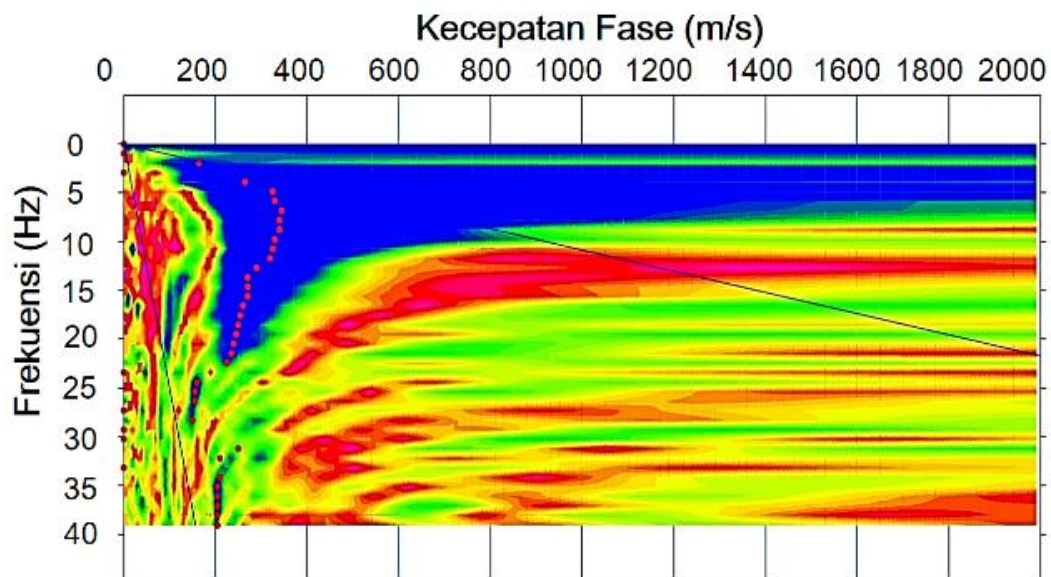
Proses pengambilan data dilakukan dengan menggunakan alat *seismograph* 24 saluran konektor, sensor *geophone* untuk merekam dan menangkap gelombang. Kemudian dibutuhkan palu dan plat besi sebagai sumber gelombang seismik. Selain itu diperlukan kabel *trigger*, GPS, meteran dan kompas. Selanjutnya data lapangan yang diperoleh kemudian diolah menggunakan *Software SeisImager/SW*.

Hasil dan Pembahasan

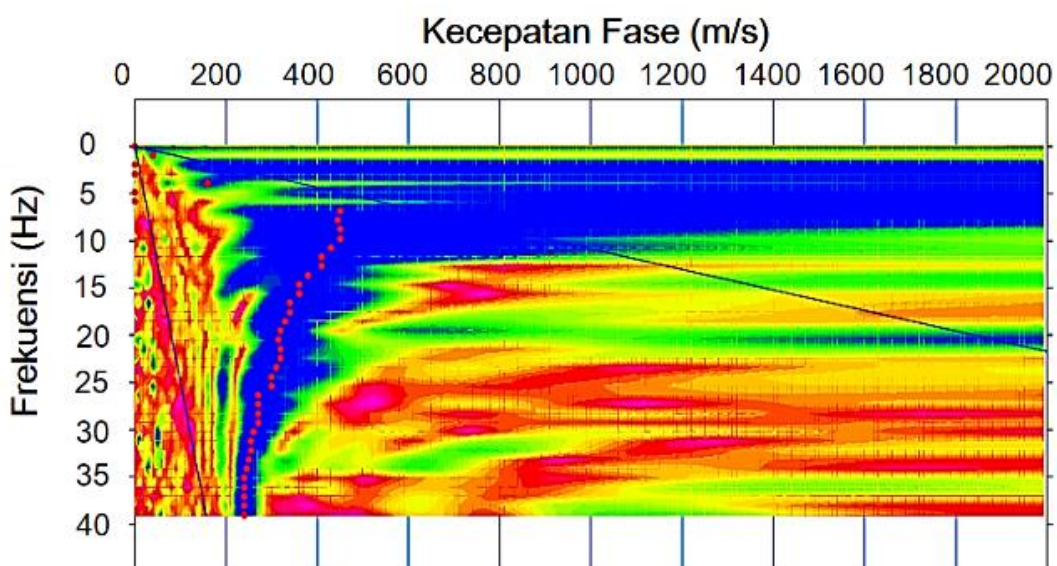
Hasil pengolahan data MASW menggambarkan kecepatan rambat

gelombang berbeda-beda pada setiap kedalaman. Hasil pengolahan data didapatkan gambaran model kecepatan (*velocity*) tiap lintasan seperti pada Gambar 1 – 4 di bawah ini.

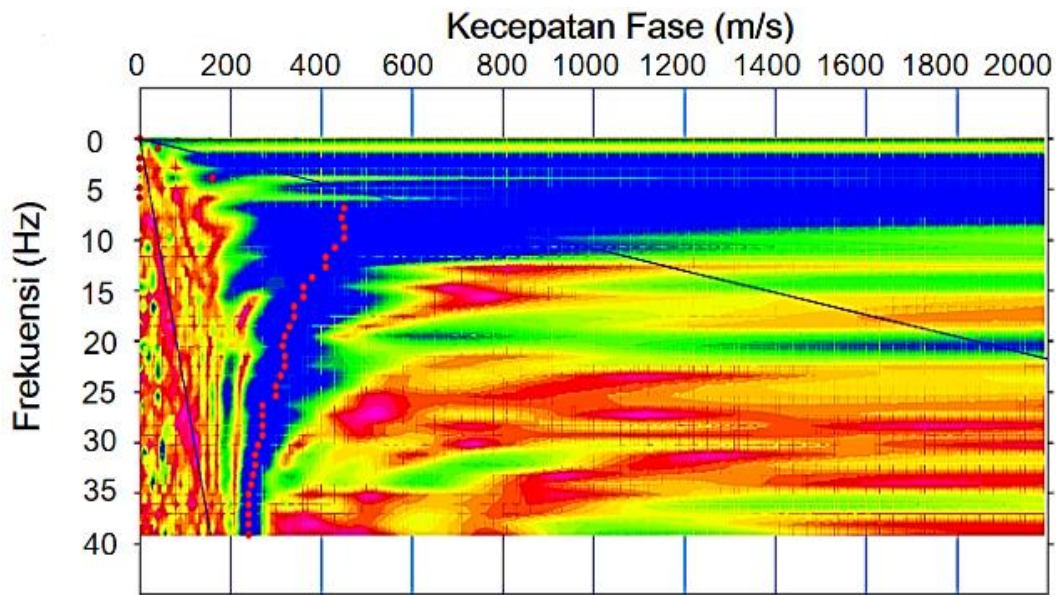
Pada Gambar 1 – 4 merupakan proses *picking first break energy* pada tiap lintasan. Variabel yang di-*picking* adalah besaran frekuensi. Hasil *picking* yang baik sangat berbanding lurus terhadap besar frekuensi. Semakin besar frekuensi maka hasil *picking* yang diperoleh akan sangat baik.



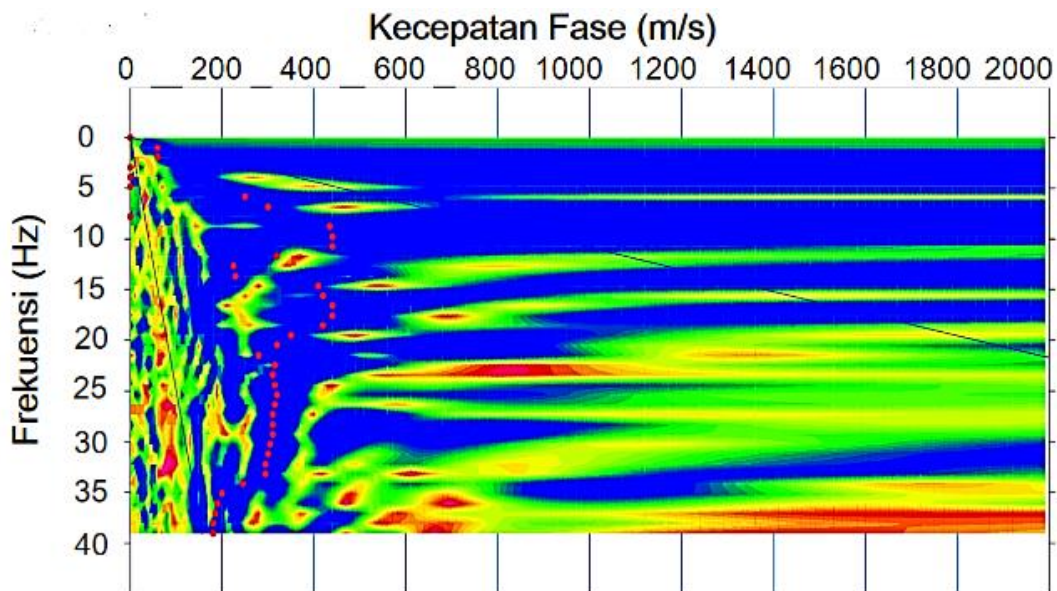
Gambar 1. *Picking velocity* lintasan 1.



Gambar 2. *Picking velocity* lintasan 2.



Gambar 3. Picking velocity lintasan 3.



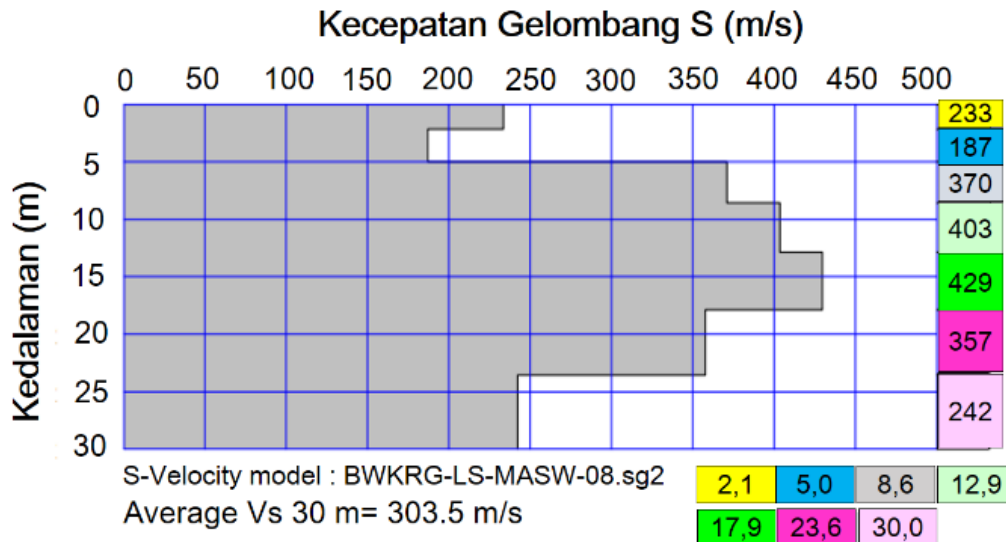
Gambar 4. Picking velocity lintasan 4.

Pada Gambar 1 – 4 terlihat hasil *picking* berada pada lapisan penampang yang berwarna biru. Lapisan tersebut memiliki tingkat energi yang besar. Hal ini dapat dilihat berdasarkan cepat rambat gelombang. Cepat rambat gelombang berbanding lurus dengan frekuensi serta frekuensi berbanding lurus terhadap energi berdasarkan persamaan di bawah ini:

$$V = \lambda \cdot f \quad (1)$$

$$E = 2\pi m f^2 A^2 \quad (2)$$

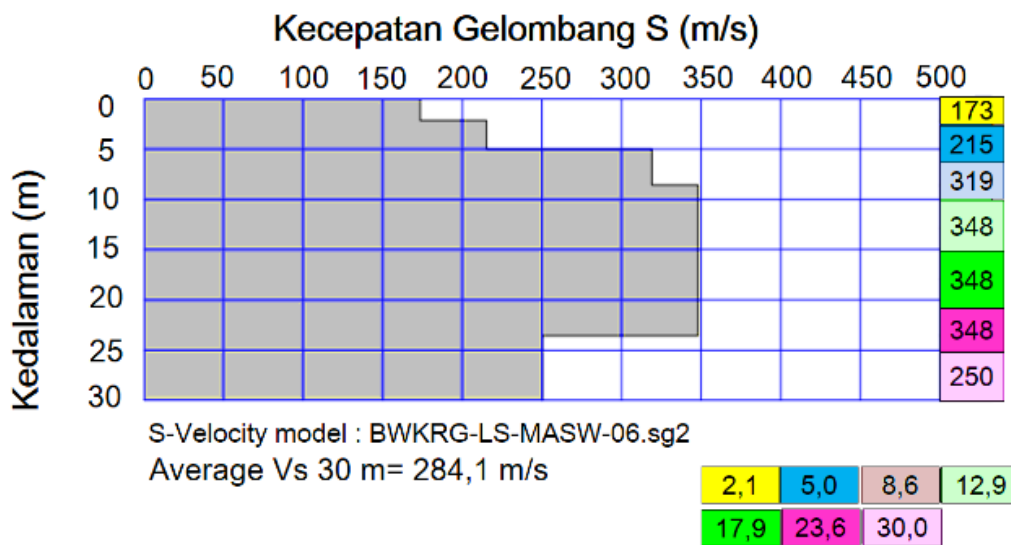
Hal inilah yang membuat hasil *picking* selalu pada daerah dengan penampang berwarna biru. Selanjutnya setelah diperoleh hasil *picking velocity* maka dilanjutkan dengan visualisasi penampang 1D serta melakukan iterasi sebanyak 5 kali. Hasil penampang 1D seperti yang terlihat pada Gambar 5 – 8:



Gambar 5. Profil 1D kecepatan gelombang S lintasan 1.

Pada Gambar 5 terlihat data kecepatan gelombang S dengan kedalaman pada masing-masing lintasan. Setiap lapisan atau kedalaman memiliki kecepatan gelombang S yang berbeda-beda (Massinai et al., 2019). Kecepatan gelombang S yang merambat pada tiap kedalaman yaitu antara 187 m/s – 429 m/s. Berdasarkan klasifikasi nilai Vs30 standar UBC Tabel 2 (UBC, 1997) diperoleh kelas tanah pada lintasan 1 termasuk kelas C ($350 < V_s \leq 750$ m/s). Kelas tanah C terdiri dari tanah sangat padat serta batuan yang lunak. Jenis tanah ini terdapat pada kedalaman 8,6 – 17,9 m. Karakteristik tanah ini memadat dan mengeras. Hal ini disebabkan karena di

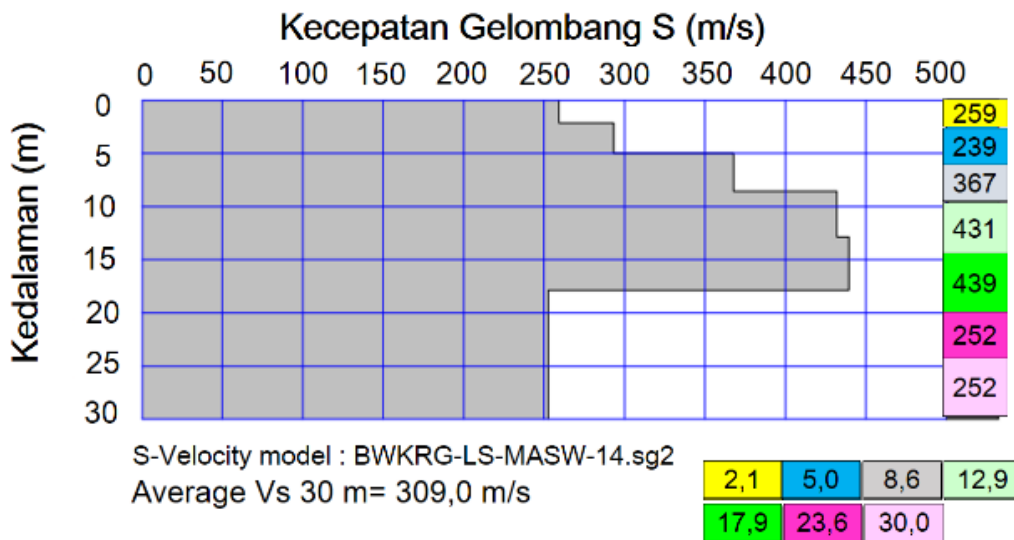
dalam mineral tanah dikeluarkan oleh air yang terdapat pada lapisan tanah di kedalaman 5 m. Sehingga lapisan ini hanya tanah tanpa kandungan di dalamnya. Pada lapisan tanah ini hanya berupa lapukan dari batuan induk. Batulempung merupakan batuan lunak juga terdapat pada lintasan ini. Sifat fisik dari batulempung yaitu mudah patah dan runtuh. Hal ini disebabkan karena sifat dari batumannya liat dan plastis. Lintasan ini dapat diklasifikasikan pada kelas tanah D ($175 < V_s \leq 350$ m/s) yang termasuk tanah sedang (*sand*). Lapisan tanah ini terdapat pada kedalaman 2 – 5 m dan kedalaman 23,6 – 30,0 m.



Gambar 6. Profil 1D kecepatan gelombang S lintasan 2.

Lintasan ke 2 diperoleh kecepatan Gelombang S yang merambat pada setiap kedalaman yaitu antara 173 – 348 m/s (Gambar 6). Berdasarkan klasifikasi pembagian tanah sesuai standar UBC (1997), maka lintasan ini termasuk kelas tanah D dan E. Pada kategori kelas tanah E gelombang merambat melalui medium tanah dengan kecepatan 173 m/s di

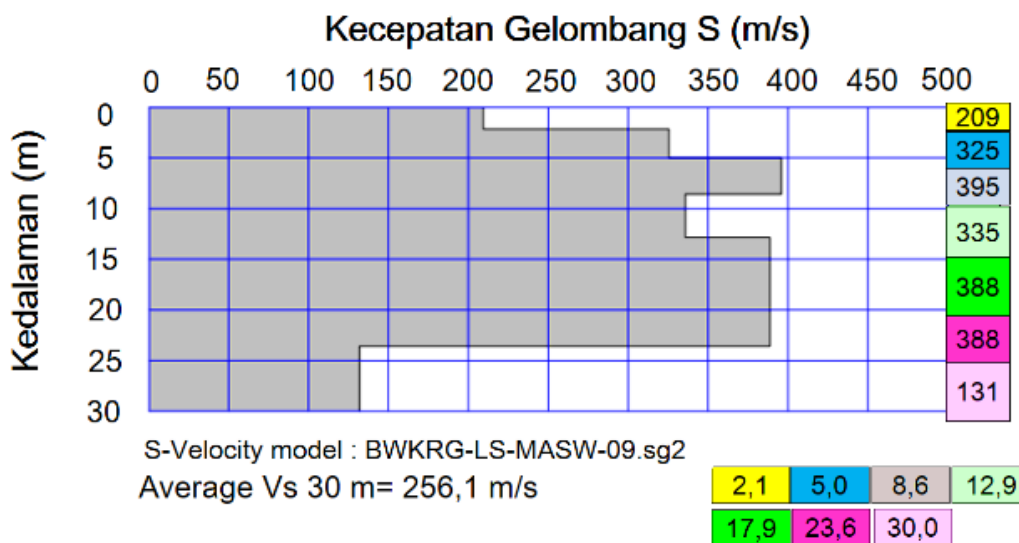
kedalaman 2,1 m. Jenis tanah pada kedalaman ini adalah tanah lunak. Tanah lunak merupakan jenis tanah dengan tingkat kadar air yang sangat tinggi. Umumnya tanah ini terdiri dari gambut dan lempung. Tanah ini bersifat lemah. Selanjutnya di kedalaman 5 meter dan 30 meter dapat diklasifikasikan kategori tanah kelas D yaitu tanah sedang (*sand*).



Gambar 7. Profil 1D kecepatan gelombang S lintasan 3.

Berdasarkan Gambar 7 kecepatan gelombang S yang merambat pada medium tanah antara 239 – 439 m/s. Berdasarkan klasifikasi kelas tanah menurut standar UBC (1997) maka di lintasan ini tersusun oleh 2 kategori kelas tanah. Pertama kelas tanah C yang merupakan tanah sangat padat

dan batuan lunak. Jenis tanah ini terdapat pada lapisan di kedalaman 8,6 – 17,9 m. Kedalaman ini terdapat batulempung. Kelas tanah D terdapat pada kedalaman 2,1 – 5 m dan kedalaman 23,6 – 30 m. Jenis tanah pada kedalaman ini adalah tanah sedang (*sand*).



Gambar 8. Profil 1D kecepatan gelombang S lintasan 4.

Lintasan ke 4 pada Gambar 8 memperlihatkan gelombang S yang merambat pada medium tanah memiliki kecepatan antara 131 – 388 m/s. Lintasan ini diklasifikasikan ke dalam kategori Kelas Tanah yaitu C, D dan E. Kelas tanah C terdapat pada lapisan tanah dengan kedalaman antara 17,9 – 23,6 m dan kedalaman 8,6 m. Jenis tanah pada lapisan ini adalah tanah padat dan batulempung. Kelas tanah D terdapat pada lapisan tanah dengan kedalaman 2,1 – 5 m dan 12,9 m. Jenis tanah pada lapisan ini adalah tanah sedang (*sand*). Kelas tanah E terdapat pada lapisan dengan kedalaman 30 m. Pada lapisan ini terdiri dari jenis tanah lunak seperti gambut dan lempung lunak.

Berdasarkan hasil pengukuran Gelombang S yang merambat pada kedalaman tertentu, dapat diperoleh kecepatan gelombang rata-rata di masing-masing lintasan. Adapun kecepatan rata-rata gelombang S pada Tabel 1 berikut:

Tabel 1 Nilai Vs30 hasil pengolahan.

Line	Vs30 (m/s)
1	303,5
2	284,1
3	309,0
4	256,1

UBC (1997) mengklasifikasi 5 kelas tanah berdasarkan nilai Vs30 seperti pada Tabel 2 berikut:

Tabel 2 Klasifikasi tanah berdasarkan nilai Vs30 (UBC, 1997)

Kelas Tanah	Deskripsi Umum	Vs30 (m/s)
A	Batuan Keras (<i>Granit, Gneiss</i>)	> 1500
B	Batuan Sedang (<i>Sandstone, Schist</i>)	760 – 1500
C	Tanah keras dan batuan lunak (<i>Moraine</i>)	360 – 760
D	Tanah Sedang (<i>Sand</i>)	180 – 360
E	Tanah Lunak (<i>Gravel</i>)	< 180

Menurut Tabel 2, dapat diklasifikasikan kelas tanah pada lokasi penelitian. Kecepatan gelombang yang merambat di lokasi penelitian adalah 256,1 – 303,5 m. Klasifikasi kelas tanah pada lokasi

penelitian adalah kategori kelas D. Jenis tanah pada lokasi ini adalah tanah sedang (*sand*).

Tanah sedang (*sand*) memiliki tekstur tanah berlempung. Jenis tanah ini merupakan sedimen yang tidak terkonsolidasi (*unconsolidated sediment*), yaitu tanah yang tersusun dari mineral-mineral yang tidak kompak. Jenis tanah ini tidak akan membentuk batuan. Tanah sedang terdiri dari tanah lempung yaitu jenis tanah yang terbentuk dari hasil pelapukan batuan silika oleh asam karbonat. Tanah lempung tersusun dari campuran pasir dan debu. Menurut Blatz et al. (2004), berdasarkan *unified system* jenis tanah ini termasuk tanah yang berbutir halus. Jenis tanah ini kurang padat. Apabila disertai dengan hujan maka potensi longsor terjadi sangat besar. Hal ini dikarenakan struktur tanah akan menjadi sangat lembek jika terkena air maka rentan terjadinya pergerakan tanah.

Selain itu struktur tanah pada lokasi penelitian juga terdiri dari tanah berpasir. Jenis tanah ini terjadi dikarenakan pelapukan batuan baik secara fisika dan kimia. Proses pelapukan ini disebut disintegrasi batuan. Proses pelapukan ini terjadi di bawah tanah dengan begitu cepat. Hal ini disebabkan karena lingkungan di bawah tanah yang sangat lembab. Beberapa jenis batuan yang melapuk membentuk tanah pasir yaitu seperti batuan granit, andesit dan tufa. Ketiga batuan tersebut dikategorikan sebagai batuan yang mudah mengalami pelapukan yang sempurna. Batuan andesit merupakan batuan yang kedap terhadap air. Hal ini membuat batuan andesit mampu menampung air. Namun akibatnya batuan andesit akan mudah terkikis sehingga menjadi licin. Dampaknya dapat mengakibatkan lapisan tanah yang terletak di atasnya tergelincir.

Jenis tanah berpasir dengan sedikit lempung juga terdapat pada lokasi ini. Berdasarkan kandungan yang dimilikinya sangat berpotensi untuk terjadinya longsor.

Hal ini dapat terjadi pada kemiringan lereng yang tertentu. Proses terjadinya longsor dari jenis tanah ini yaitu ketika terjadi hujan. Air akan membuka rongga partikel pasir serta mengisi rongga tersebut. Hal ini mengakibatkan pasir akan mengembang dan air akan menambah berat massa tanah dan membuat tanah meluncur ke bawah (Massinai et al., 2010).

Secara umum lokasi penelitian merupakan dataran yang terdenudasional. Seluruh material yang terdapat di permukaan pada lokasi ini terlepas, terangkat serta bergerak. Hal ini disebabkan oleh faktor geologi. Faktor yang dimaksud seperti pelapukan, erosi, gerakan massa batuan serta pengendapan. Pelapukan merupakan proses berubahnya batuan menjadi tanah secara alamiah yang berlangsung dalam rentang waktu yang lama karena beberapa faktor. Di daerah sekitar kaki Gunung Bawakaraeng terdiri dari material sisa magma gunung berapi mengalami proses pelapukan. Hasil dari pelapukannya menghasilkan lapisan tanah pasir berlempung. Maka potensi tanah longsor akan terjadi pada lokasi ini karena faktor alamiah.

Kesimpulan

Nilai Vs30 rata-rata pada lintasan 1 sebesar 303,5 m/s, lintasan 2 sebesar 284,1 m/s, lintasan 3 sebesar 309,0 m/s dan lintasan 4 sebesar 256,1 m/s. Nilai Vs30 rata-rata untuk semua lintasan antara 256,1 – 309,0 m/s. Mengacu pada klasifikasi tanah menurut UBC (1997), kelas tanah pada lokasi penelitian termasuk kategori kelas D yaitu tanah sedang (*sand*). Tanah sedang (*sand*) memiliki tekstur tanah berlempung. Jenis tanah tidak terkonsolidasi. Tanah ini tersusun dari mineral-mineral yang tidak kompak. Dengan demikian potensi terjadinya longsor sangat besar. Lokasi penelitian merupakan dataran yang terdenudasional. Seluruh material yang terdapat di permukaan terlepas, terangkat serta bergerak. Hal ini disebabkan oleh

faktor geologi. Faktor yang dimaksud seperti pelapukan, erosi, gerakan massa batuan serta pengendapan.

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih kepada Departemen Geofisika Universitas Hasanuddin. Terima kasih juga kepada Himpunan Ahli Geofisika Indonesia (HAGI) dan teman-teman yang membantu dalam penelitian lapangan.

Daftar Pustaka

- Blatz, J.A., Ferreira, N.J. and Graham, J. 2004. *Effects of near-surface environmental conditions on instability of an unsaturated soil slope*. Canadian Geotechnical Journal. 41(6), pp.1111 – 1126. <https://doi.org/10.1139/t04-058>
- Bollschweiler, M., Stoffel, M., Ehmisch, M., Mombaron, M. 2007. *Reconstruction Spatio-Temporal Patterns of Debris-Flow Activity Using Dendrogeomorphological Methods*. Geomorphology. 87(4), pp.337 – 351. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2006.10.002>
- García-Soriano D., Quesada-Román, A. and Zamorano-Orozco, J.J. 2020. *Geomorphological hazards susceptibility in high-density urban areas: A case study of Mexico City*. Journal of South American Earth Sciences. 102, pp.102667. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2020.102667>
- Hasnawir. and Kubota, T. 2011. *Landslide susceptibility evaluation by 3-D slope stability analysis*. International Journal of Ecology and Development. 19(S11), pp.1-14. <http://www.ceser.in/ceserp/index.php/ijed/article/view/1718/0>
- Heisey, J.S., Stokoe, K.H.II., Hudson, W.R. and Meyer, A.H. 1982. *Determination of In Situ Shear Wave*

- Velocity from Spectral Analysis of Surface Waves*. Summary Report 256-2(s). Austin: Center for Transportation Research, Bureau of Engineering Research, The University of Texas. <https://library.ctr.utexas.edu/digitize/d/texasarchive/phase2/256-2-summary-ctr.pdf>
- Li, Y. and Mo, P. 2019. *A unified Landslide classification system for loess slope: a critical review*. *Geomorphology*. 340(2019), pp.67 – 83. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2019.04.020>
- Park, C. B., Miller, R. D., Miura, H. 2002. *Optimum Field Parameters of an MASW Survey*. [Online]. Available from: <http://www.masw.com/files/PAR-02-03.pdf>
- Massinai, M.A., Sudrajat, A., Hirnawan, F., Syafri, I., Hasanuddin. and Tahir, M.I. 2010. *Gerakan Tanah Pada Daerah Rawan Longsor di DAS Jeneberang Bagian Barat Gunung Bawakaraeng Sulawesi Selatan*. *Buletin Geologi Tata Lingkungan*. 20(2), pp.93 – 102.
- Massinai, M.A., Harimei, B., Agustawati, A. and Massinai, M.F.I. 2019. *Seismicity Analysis Sulawesi North Arm based on B-values*. *Journal of Physics: Conference Series*. 1341(8), pp.082032. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1341/8/082032>
- Solle, M.S. and Ahmad, A. 2016. *Landslide Intensity on River Morphology of Jeneberang Wathershed after Collapse of Caldera Wall at Mt. Bawakaraeng*. *Research Journal of Applied Sciences*. 11(9), pp.874 – 878. <https://medwelljournals.com/abstract/?doi=rjasci.2016.874.878>
- Stokoe, K.H.II., Wright, S.G., Bay, J. and Rössset, J.M. 1994. *Characterization of geotechnical sites by SASW method*. In RD. Woods (ed.). *Geophysical Characterization of Sites: 15-25*. New Delhi: Oxford Publisher.
- UBC. 1997. *Uniform Building Code*. [Online]. Available from: <http://site.iugaza.edu.ps/ssihada/files/2012/02/UBC-1997.pdf>
- Varnes, D.J. 1978. *Slope Movement Types and Processes*. In: Schuster, R.L. and Krizek, R.J., Eds., *Landslides, Analysis and Control*, Transportation Research Board, Special Report No. 176, National Academy of Sciences, 11-33. <https://onlinepubs.trb.org/Onlinepubs/sr/sr176/176-002.pdf>