



Pemetaan Lapisan Tanah Menggunakan Data Mikrotremor HVSR dan Dampaknya Terhadap Daya Dukung Tanah di Kawasan Kota Kendari

Soil Layer Mapping Using HVSR Microtremor Data and Its Impact on the Carrying Capacity of Soil in the Kendari City Area

Arisona^{1,2}, Sitti Lasmi Manginsih², Nia Kurnia Praja³, Hasria¹, Azhar⁴

¹Jurusan Geologi, Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumihan, UHO Kendari-Indonesia

²Jurusan S2 Fisika PPS – Halu Oleo Kendari

³Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN)

⁴Jurusan Pendidikan fisika, FKIP UNRI Pekanbaru Riau -Indonesia

e-mail: arisona@uho.ac.id

Naskah diterima: 29 Agustus 2022, Revisi terakhir: 30 Januari 2023, Disetujui: 30 Januari 2023 Online: 07 Februari 2023

DOI: <http://dx.doi.org/10.33332/10.33332/jgsm.geologi.v24i1.724>

Abstrak-Kota Kendari memiliki risiko tinggi terhadap bahaya guncangan gempa bumi karena dekat dengan sumber gempa bumi. Kondisi geologi yang heterogen menyebabkan respon berbeda terhadap efek ground motion, tergantung pada karakteristik penyusun litologi pada formasi tersebut. Untuk mengetahui karakteristik lapisan tanah, data mikrotremor HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) digunakan dan diolah dengan software Geopsy. Horizontal to Vertical Spectral Ratio adalah satu metode yang sangat mudah untuk memperkirakan frekuensi alami dari lapisan tanah yang dikonversi dalam bentuk kecepatan gelombang geser (V_s). Nilai kecepatan gelombang geser merupakan salah satu parameter untuk mengetahui kondisi tanah serta memperkirakan bahaya ground motion secara spesifik. Kajian ini berkaitan dengan upaya mitigasi terhadap guncangan gempa bumi dengan cara memetakan daerah yang memiliki potensi kerusakan yang cukup besar terhadap gempa bumi. .

Abstract-Kendari City has a high risk of earthquake due to locating close to an earthquake source. Heterogeneous geological conditions cause different responses to ground motion, depending on the nature and characteristics of the lithology that composes the formation. To determine the soil characteristics, Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSR) of microtremor is used and processed using Geopsy software. HVSR is a very easy method to estimate the natural frequency of the soil which is then converted to shear wave velocity (V_s). The value of V_s is one of the parameters to determine soil characteristic and to estimate the specific hazard of ground motion. This study is aimed to contribute in mitigation efforts due to earthquake groundshaking by mapping the areas that prone to earthquake.

Keywords: Microtremor HVSR, shear wave velocity (V_s), Geopsy software, Soil layer.

Kata kunci: HVSR Mikrotremor, kecepatan gelombang geser (V_s), software Geopsy, Lapisan Tanah

PENDAHULUAN

Morfologi daerah Kendari dan sekitarnya merupakan cekungan, tempat material rombakan pegunungan disekitarnya diendapkan (Nuning dan Firdaus, 2011). Berdasarkan hasil penelitian sebelumnya, Kota Kendari secara umum merupakan daerah yang rentan terhadap bahaya guncangan tanah karena tersusun oleh litologi yang belum terkonsolidasi dengan baik (Saleh dkk, 2019). Kejadian bencana alam di beberapa kecamatan di daerah Kota Kendari beberapa tahun terakhir mengindikasikan perlunya penanganan secara komprehensif. Pemetaan lapisan tanah dilakukan untuk mengetahui tipe atau jenis tanah dan karakteristiknya, diharapkan dapat mengurangi dampak dari bencana ketika terjadi gempa bumi yang mungkin terjadi di kawasan Kota Kendari.

Kota Kendari yang dekat dengan lajur sumber gempa bumi mempunyai risiko tinggi terhadap bahaya guncangan gempa (Lasmi, 2016). Tingkat kerusakan dan bahaya gempa bumi sangat dipengaruhi oleh kondisi geologi lokal atau efek tapak lokal sebagai faktor penentu terhadap besarnya bahaya guncangan tanah (Anwar, 2021; Mustika dan Sriyani, 2019). Suatu wilayah dengan kondisi geologi yang sama pun akan mempunyai respon yang berbeda terhadap efek getaran tanah tergantung pada sifat serta karakteristik penyusun litologi pada formasi tersebut fenomena ini disebut *site effect* atau *site amplification* (Akter, 2021).

Salah satu kajian yang berkaitan dengan upaya mitigasi guncangan gempa bumi yaitu dengan memetakan daerah yang memiliki potensi kerusakan yang cukup besar terhadap gempa bumi berdasarkan data Mikrotremor HVSR dalam bentuk kecepatan gelombang geser (V_s) (Arintalofa, 2020; Widagdo, 2022). Nilai kecepatan gelombang geser merupakan salah satu parameter untuk mengetahui kondisi tanah serta memperkirakan bahaya gerakan tanah secara spesifik yang berdampak terhadap daya dukung tanah disekitar kawasan (Yusran, 2021). Lapisan tanah dengan kepadatan rendah umumnya memiliki daya dukung yang rendah pula, sehingga rawan terhadap terjadinya penurunan pondasi bangunan (Arisona, 2017; Mustika dan Sriyani, 2019). Kajian dalam bentuk pemetaan lapisan tanah dengan menggunakan data Mikrotremor HVSR diperlukan untuk memperoleh gambaran tentang lapisan tanah yang berpotensi tinggi rawan terhadap guncangan gempa bumi.

Tinjauan Pustaka

Deskripsi Geografi dan Geologi Penelitian

Geografi Kota Kendari memiliki satuan gemor-

fologi perbukitan rendah yang terdiri atas bukit kecil dan rendah dengan morfologi yang bergelombang, melampar luas di utara Kendari dan ujung selatan Lengan Tenggara Sulawesi (Surono, 2010). Satuan perbukitan tinggi menempati bagian selatan Lengan Tenggara, terutama di selatan Kendari, terdiri atas bukit-bukit yang mencapai ketinggian 500 mdpl dengan relief morfologi kasar (Surono, 2013). Komposisi batuan penyusun berupa batuan sedimen klastik yang berumur Mesozoikum dan Tersier.

Berdasarkan peta geologi regional Kota Kendari terdiri dari beberapa formasi batuan. Kelompok batuan ini yang sebelumnya di masukkan ke dalam mandala Sulawesi Timur dan anjungan Tukang Besi-Buton. Mendala Geologi Sulawesi Timur yang dicirikan oleh batuan ultramafik, mafik dan malih (Surono, 2010). Sementara untuk daerah studi banyak didominasi oleh kelompok batuan malihan dan batuan sedimen kelompok Formasi Meluhu (TRJm), Formasi Alangga (QP_a), endapan Aluvium (Q_a), dan setempat batugamping Quarter (Formasi Buara) serta Formasi Langkowala (Tml) (Simandjuntak, dkk., 1987). Berdasarkan peta geologi Kota Kendari, daerah studi berada pada formasi Alangga, Formasi Boepinang, Formasi Buara, Formasi Langkowala dan Formasi Meluhu yang memiliki litologi yang relatif seragam yang terdiri atas batupasir, lempung pasir, kuarsit, serpih dan konglomerat (Surono, 2010; Simandjuntak, dkk., 1987).

Mikrotremor HVSR

Mikrotremor adalah getaran alami dari tanah dengan amplitudo rendah dan bersumber dari berbagai macam getaran seperti lalu lintas, angin, aktivitas manusia dan lain-lain (Kanai, 2011). Nakamura (2008) menjelaskan bahwa mikrotremor merupakan *noise* dengan periode pendek yang berasal dari sumber artifisial. Gelombang ini bersumber dari segala arah yang saling beresonansi. Mikrotremor dapat juga diartikan sebagai getaran harmonik alami tanah yang terjadi secara terus menerus, terjebak di lapisan sedimen permukaan dan terpantulkan oleh adanya bidang batas lapisan dengan frekuensi yang tetap, disebabkan oleh getaran mikro di bawah permukaan tanah dan kegiatan alam lainnya. Karakteristik mikrotremor mencerminkan karakteristik batuan di suatu daerah. Penelitian mikrotremor juga banyak dilakukan pada studi struktur tanah (*soil investigation*).

Nogoshi dan Igarashi (1971) menjelaskan perbandingan spektrum amplitudo H/V gelombang Rayleigh dengan mikrotremor, dan menyimpulkan bahwa mikrotremor kebanyakan terbentuk oleh gelombang Rayleigh. Beberapa studi teoritik lainnya (Bard, 1999; Konno dan Ohmachi, 1998) mengusulkan bahwa puncak H/V pada spektrum merupakan akibat adanya gelombang Rayleigh. Jika perkiraan ini benar, maka mikrotremor dapat dianggap sebagai gelombang Rayleigh saja. Akan tetapi, Nakamura (1989) menjelaskan bahwa spektrum H/V mikrotremor untuk frekuensi dominan terjadi akibat gelombang SH. Berdasarkan observasi pada rekaman mikrotremor dan pengalaman menunjukkan bahwa mikrotremor terdiri atas gelombang badan (*body wave*) dan gelombang permukaan (*surface wave*).

Metode Mikrotremor HVSR merupakan metode yang membandingkan spektrum Fourier komponen horizontal terhadap komponen vertikal dari gelombang mikrotremor (Daryono dan Sutikno, 2011). Mikrotremor terdiri dari gelombang Rayleigh dimana periode dominan spektrum H/V berkorelasi dengan periode gelombang S.

HVSR dikembangkan berdasarkan informasi terperangkapnya getaran pada medium sedimen di atas batuan dasar. Pada umumnya, hasil analisis HVSR akan menunjukkan suatu puncak spektrum pada frekuensi dominan (f_0) dan faktor amplifikasi (A_0) yang menggambarkan karakteristik dinamis tanah (Nakamura, 2000).

Nakamura (1989) mengatakan bahwa jika diasumsikan gelombang geser dominan pada mikrotremor, maka rasio spektrum horizontal terhadap vertikal (HVSR) pada data mikrotremor suatu tempat sama dengan fungsi transfer gelombang geser yang bergetar antara permukaan dan batuan dasar di suatu tempat. Berdasarkan analisis data gempa, nilai maksimum rasio getaran horizontal terhadap vertikal dalam setiap pengamatan H/V berkaitan dengan kondisi tanah dan hampir setara dengan satu kekuatan tanah dengan beberapa getaran ke semua arah.

Terdapat berbagai macam jenis batuan yang ada di bumi, misalnya batuan sedimen dan batuan dasar (*bedrock*). Batuan sedimen adalah batuan yang terbentuk sebagai hasil pemadatan endapan yang berupa bahan lepas, yang terbentuk dari akumulasi material hasil perombakan batuan yang sudah ada sebelumnya atau hasil aktivitas kimia maupun organisme yang diendapkan pada permukaan bumi yang kemudian mengalami pembatuan (Subarjo dan Ibrahim, 2005). *Bedrock* merupakan lapisan tanah yang paling keras, berada di dasar suatu lapisan batuan. Batuan atau material yang bersifat lunak akan mempunyai nilai V_s yang relatif lebih kecil dibandingkan dengan batuan keras, karena nilai kecepatan gelombang gesernya berbanding lurus dengan densitas batuan (Edison dkk., 2022). Tabel klasifikasi material berdasarkan nilai V_s ditunjukkan pada Tabel 1.

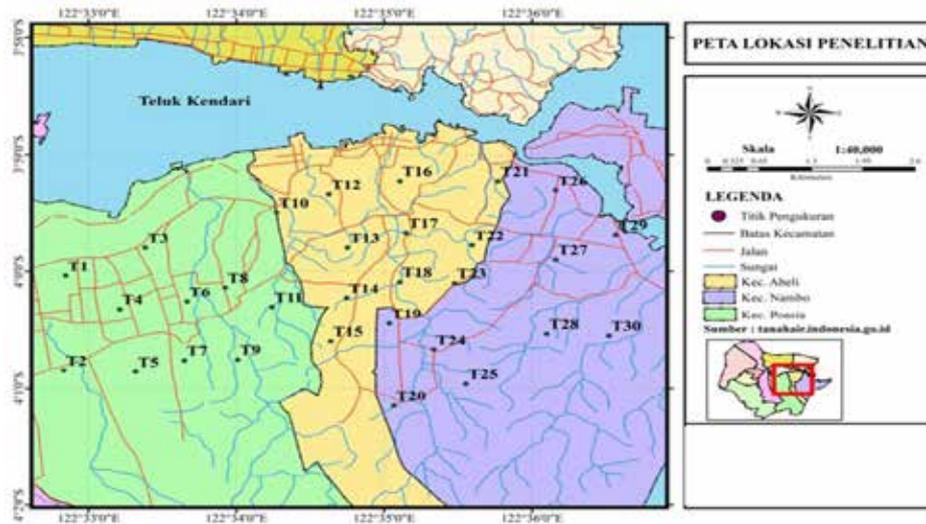
Pengambilan data dilakukan pada tiga kecamatan kawasan Kota Kendari yaitu Kecamatan Poasia, Kecamatan Abeli dan Kecamatan Nambo sebanyak 30 titik pengukuran mikrotremor HVSR dengan jarak antar titik ± 1 km (Gambar 1), Tahap selanjutnya dilakukan survei lapangan yang bertujuan untuk mengidentifikasi lokasi titik pengukuran yang telah dibuat. Penentuan lokasi penempatan sensor sesuai dengan aturan *SESAME European Research Project*, sehingga mempermudah pengambilan data.

Pengukuran sinyal mikrotremor dilakukan selama ± 30 menit dengan frekuensi *sampling* 100 Hz dengan mengacu pada durasi pengukuran yang disarankan oleh *SESAME* (2004). Hasil dari pengukuran tersebut berupa data mentah sinyal getaran mikrotremor dalam fungsi waktu. Sinyal getaran ini terdiri dari 2 komponen, yaitu komponen horizontal dan komponen vertikal. Komponen horizontal yang terdiri dari sinyal *North-South* dan sinyal *East-West*, sedangkan komponen vertikal merupakan sinyal getaran *Up and Down*. Data-data yang diperoleh tersimpan secara otomatis didalam *datalogger (digitizer)*, data tersebut dapat secara langsung ditampilkan pada laptop dengan menggunakan *Monost*. Pengambilan data dilakukan sesuai dengan syarat yang ditetapkan oleh *SESAME*.

Tabel 1. Klasifikasi Site Berdasarkan Nilai V_s Hasil Penyelidikan Tanah dan Laboratorium SNI 1726

Klasifikasi Site	Kecepatan gelombang geser V_s (m/s)
Batuan Keras	$V_s \geq 1500$
Batuan	$750 < V_s \leq 1500$
Tanah sangat padat dan Batuan Lunak	$350 < V_s \leq 750$
Tanah Sedang	$175 < V_s \leq 350$
Tanah Lunak	$V_s < 175$

Badan Standarisasi Nasional, (2010)



Gambar 1. Peta Titik Pengukuran

Pengukuran mikrotremor HVSr diperoleh data getaran tanah sebagai fungsi waktu. Data ini terdiri dari tiga komponen, yaitu komponen vertikal (*Up-Down*), utara-selatan (*North-South*), dan barat-timur (*East-West*). Data ini tidak dapat langsung diolah karena dalam format *hexadecimal*. Data ini harus diubah ke format ASCII atau format miniseed (MSD) menggunakan perangkat lunak DATAPRO dan menghasilkan empat file, yaitu file komponen vertikal, utara-selatan, barat-timur, dan file *header*. Data pengukuran (*raw data*) yang telah direkam di *software* DataPro dipindahkan ke *software* Geopsy 3.3.3 menggunakan metode HVSr.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Interpretasi Nilai Kecepatan Gelombang Geser V_s

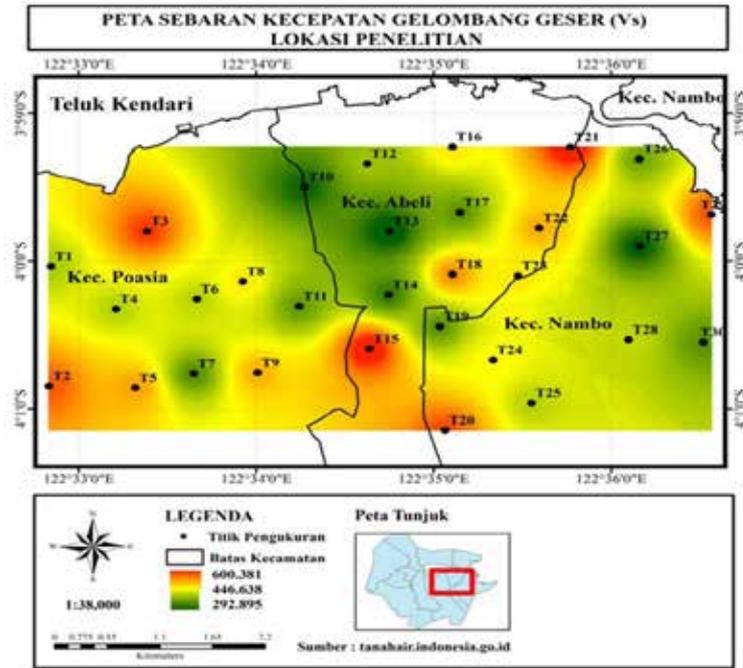
Studi ini menggunakan 4 lapisan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2 dengan kedalaman 100 m di setiap titik pengukuran. Pada lapisan pertama pemodelan *ground profiles* memiliki nilai yang relatif sama pada disetiap pengukuran dengan kedalaman yang berkisar 1 – 5 m dengan nilai V_s sekitar 150 m/s hingga 200 m/s. Profil kecepatan gelombang geser yang dihasilkan pada setiap lintasan menunjukkan perbedaan jenis batuan atau material bawah permukaan. Batuan atau material yang bersifat lunak akan mempunyai nilai V_s yang relatif lebih kecil dibandingkan dengan batuan keras, karena nilai kecepatan gelombang geser berbanding lurus dengan densitas batuan. Semakin kecil densitas (kerapatan) batuan tersebut maka nilai kecepatan gelombang gesernya akan semakin kecil. Oleh karena itu nilai V_s menjadi salah satu cara yang memudahkan peneliti dalam pembacaan litologi bawah permukaan dan mengklasifikasikan jenis batuan berdasarkan nilai V_s .

Perbandingan V_{s30} Mikrotremor dan V_{s30} USGS

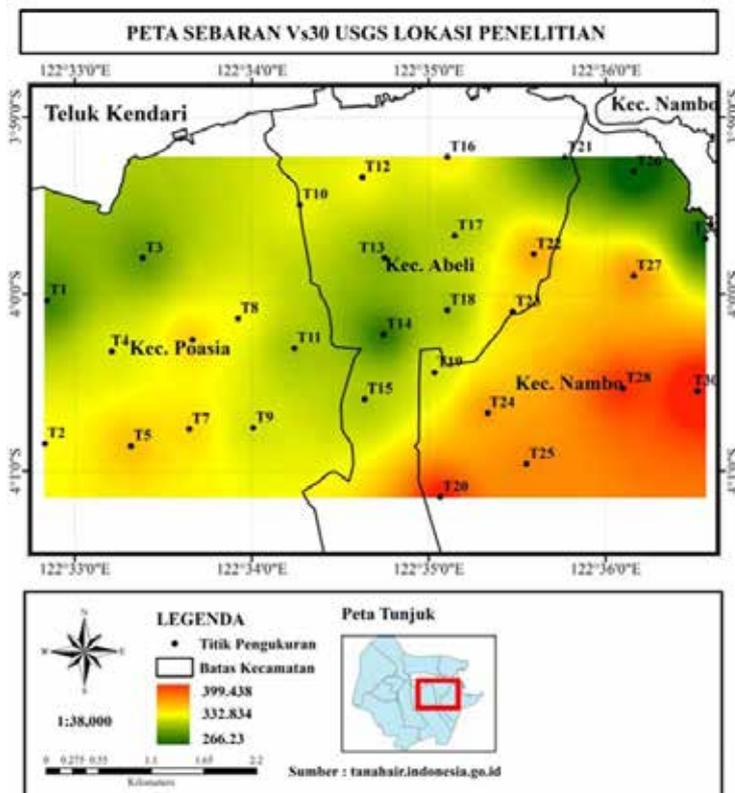
Untuk melihat keakuratan hasil inversi dibuat rasio antara V_{s30} hasil inversi kurva HVSr dengan V_{s30} USGS. V_{s30} didapatkan dari hasil inversi kurva mikrotremor HVSr dengan metode *ellipticity curve* sampai pada kedalaman 30 m yang ditunjukkan pada Gambar 3. Hasil inversi kurva HVSr menunjukkan nilai pada daerah penelitian bervariasi antara 178 – 486 m/s. Daerah dengan V_{s30} yang relatif tinggi terdapat pada T5 dan T18 sedangkan pada hampir semua titik pengukuran memiliki nilai V_{s30} yang relatif sama rata-rata 320 m/s.

Sedangkan data V_{s30} USGS diperoleh dengan mengunduh data di situs USGS yang kemudian diekstrak untuk memperoleh nilai V_{s30} sesuai dengan daerah penelitian. Nilai V_{s30} USGS hasil ekstraksi daerah penelitian ditunjukkan pada Gambar 4. Sebaran V_{s30} USGS daerah penelitian memiliki nilai yang relatif sama berkisar 266 – 400 m/s, nilai tertinggi terdapat pada daerah Kecamatan Nambo bagian selatan.

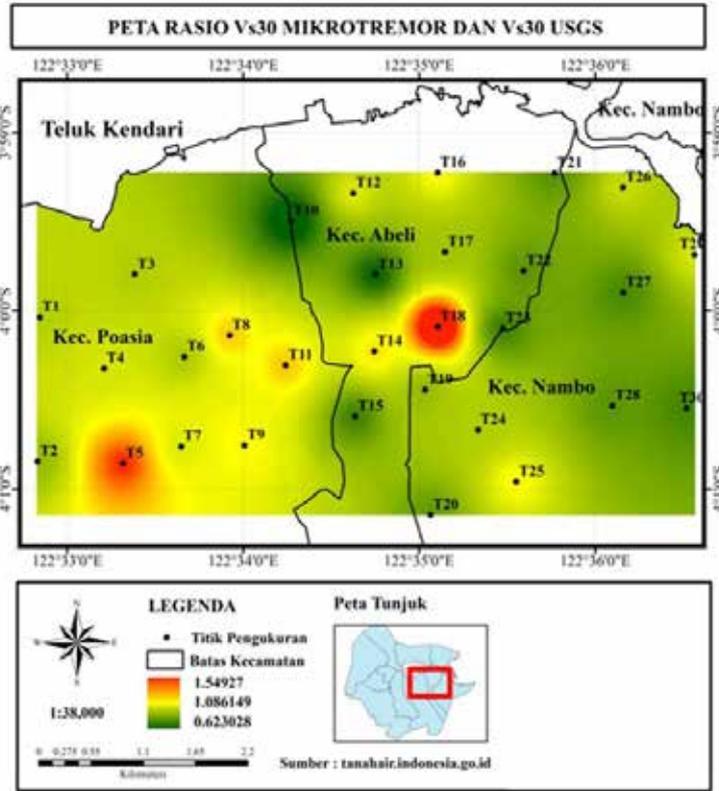
Rasio V_{s30} dihitung dengan membagi nilai V_{s30} mikrotremor dengan V_{s30} USGS yang dapat dilihat pada Tabel 1. Rasio V_{s30} rata-rata yaitu 1,086, hal ini menunjukkan bahwa berdasarkan nilai rasionya perbedaan antara hasil pengukuran mikrotremor dan model topografi tidak berbeda signifikan. Nilai rasio tertinggi terdapat pada titik T18 dan T5 dan rasio terendah terdapat pada titik T10 dan T13. Rasio V_{s30} dengan USGS dapat dilihat pada Gambar 5. Meskipun berdasarkan nilai V_{s30} kedua metode tersebut terdapat perbedaan nilai kecepatan > 100 m/s pada beberapa titik pengukuran, namun kisaran perbedaan nilai tersebut masih dalam kategori jenis material yang sama.



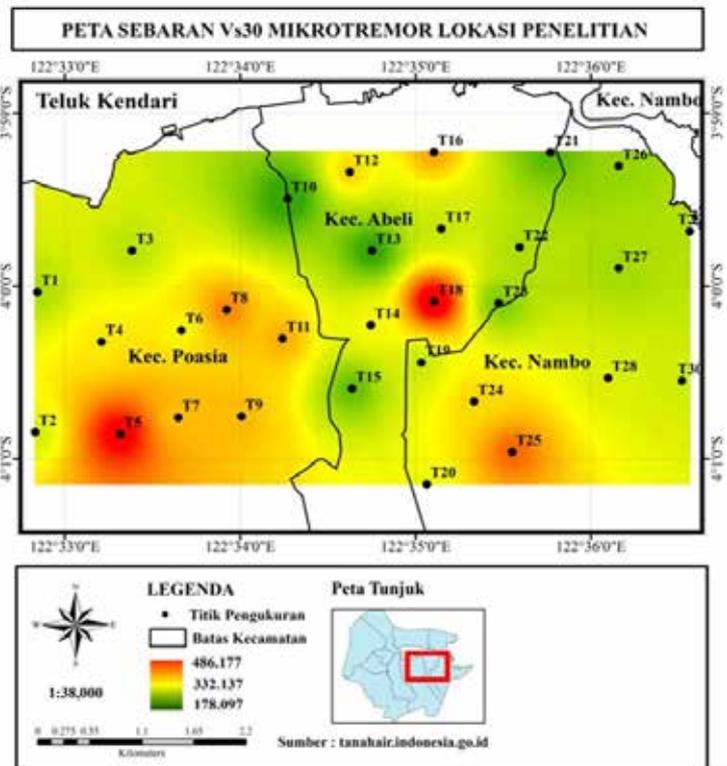
Gambar 2. Peta sebaran kecepatan gelombang geser (VS) mikrotremor pada Kota Kendari



Gambar 3. Peta sebaran Vs30 hasil pengukuran mikrotremor



Gambar 4. Peta sebaran Vs30 atau Vs30 USGS



Gambar 5. Peta rasio Vs30 mikrotremor dan Vs30 USGS lokasi penelitian

Berdasarkan hasil pemetaan kecepatan gelombang geser (V_s) mikrotremor dan perbandingan V_{s30} mikrotremor dan V_{s30} USGS di lokasi penelitian, menunjukkan bahwa daya dukung tanah sangat rendah. Umumnya untuk daerah rawan tanah longsor pada umumnya kecepatan gelombang geser yang dihasilkan pada setiap lintasan menunjukkan perbedaan jenis batuan. Batuan yang bersifat lunak dengan nilai V_s yang relatif lebih kecil dibandingkan dengan batuan keras, karena nilai kecepatan gelombang geser berbanding lurus dengan densitas batuan. Selain itu, karakteristik tanah di kawasan kota Kendari pada umumnya bertekstur kasar, yang mengindikasikan lebih rawan longsor bila dibandingkan dengan tanah yang bertekstur halus (tanah liat). Tanah yang bertekstur kasar memiliki kohesi agregat tanah yang rendah. Daerah penelitian mempunyai curah hujan yang tinggi dengan tingkat kemiringan lereng yang di atas 25% yaitu di sekitar Kecamatan Kendari, Kecamatan Kendari Barat dan Kecamatan Abeli (Kasnar dkk,2019). Hasil menunjukkan bahwa 95% daerah di Kota Kendari rawan banjir dengan variasi agak cukup, rawan, dan sangat rawan.

Hasil inversi mikrotremor (Gambar 3) menunjukkan bahwa daerah penelitian tersusun atas jenis tanah lunak pada kedalaman berkisar antara 1 – 10 m berupa tanah lempung lunak, pasir tersaturasi air, dan pasir tidak terkonsolidasi. Jenis tanah sedang terdapat pada kedalaman 1 – 20 m yang berupa endapan pasir setengah padat, *gravel* (kerikil), *clay* padat, pasir tersaturasi air, pasir tidak terkonsolidasi. Jenis tanah keras / batuan lunak yang terdapat pada kedalaman 20 – 90 m berupa endapan pasir atau *clay* yang sangat padat, *gravel* (kerikil), pasir tersaturasi air, pasir tidak terkonsolidasi dan jenis batuan terdapat pada kedalaman di atas 90 m di hampir setiap titik pengukuran.

Dari hasil inversi kurva HVSr, nilai pada daerah penelitian bervariasi antara 178 – 486 m/s. Daerah dengan V_{s30} yang relatif tinggi terdapat pada T5 dan T18 sedangkan pada hampir semua titik pengukuran memiliki nilai V_{s30} yang relatif sama rata-rata 320 m/s. Sebaran V_{s30} USGS daerah penelitian memiliki nilai yang relatif sama berkisar 266 – 400 m/s, nilai tertinggi terdapat pada daerah Kecamatan Nambo

bagian selatan. Berdasarkan nilai rasionya perbedaan antara hasil pengukuran mikrotremor dan model topografi tidak berbeda signifikan. Nilai rasio tertinggi terdapat pada titik T18 dan T5 dan rasio terendah terdapat pada titik T10 dan T13. Rasio V_{s30} Mikrotremor dengan USGS. Meskipun berdasarkan nilai V_{s30} kedua metode tersebut terdapat perbedaan nilai kecepatan > 100 m/s pada beberapa titik pengukuran, namun kisaran perbedaan nilai tersebut masih dalam kategori jenis material yang sama.

PENUTUP

Berdasarkan data dan hasil plotting Peta Rasio V_{s30} Mikrotremor dan V_{s30} USGS dapat diambil kesimpulan yaitu:

1. Nilai kecepatan gelombang geser (V_{s30}) dari setiap lapisan tanah dibawah permukaan di Kota Kendari berkisar antara 150 m/s - 1300 m/s hingga kedalaman 100 m.
2. Struktur lapisan tanah dibawah permukaan berdasarkan *ground profiles* kecepatan gelombang geser dengan metode *HVSr Mikrotremor* terdiri dari lapisan tanah lunak pada kedalaman 1 – 10 m, lapisan tanah sedang pada kedalaman 1 – 20 m, tanah keras (batuan lunak) pada kedalaman 20 – 90 m dan jenis batuan terdapat pada kedalaman di atas 90 m di hampir setiap titik pengukuran.
3. Berdasarkan pemetaan nilai kecepatan gelombang geser diduga bahwa kondisi bawah permukaan di daerah studi memiliki potensi guncangan dan tingkat kerusakan bangunan yang tinggi jika terjadi gempa bumi karena didominasi oleh material tanah lunak yang cukup tebal.

UCAPAN TERIMA KASIH

Kami sangat mengapresiasi atas dukungan dan bantuan staf laboratorium, rekan sejawat dan mahasiswa Pasca Sarjana (PPS) UHO yang telah memberikan bantuan, dukungan arahan dan koreksi dalam publikasi ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Anwar, S. (2021). Perbandingan Nilai Hazard Kejadian Tsunami Di Indonesia Berdasarkan Posisi Garis Khatulistiwa (Katalog Tsunami Indonesia 1802 - 2018), *Jurnal Lingkungan dan Bencana Geologi*, Vol. 12, No. 1, 33 – 45.
- Arisona, A., Nawawi, M., Khalil, A. E., Nuraddeen, U. K., Hariri, M., & Fathi, M. A. (2017). Evaluation study of boundary and depth of the soil structure for geotechnical site investigation using MASW. *Journal of Geoscience, Engineering, Environment, and Technology*, 2(1), 31-38.
- Akter, S. (2021). Seismic Ground Response Analysis of Input Earthquake Motion and Site Amplification Factor at KUET. *Journal of the Civil Engineering Forum*, 8(1), 45-54.

- Arintalofa, V., Yulianto, G. and Harmoko, U. (2020). "Analisa Mikrotremor Menggunakan Metode HVSR untuk Arintalofa Mengetahui Karakteristik Bawah Permukaan Manifestasi Panas Bumi Diwak dan Derekan Berdasarkan Nilai V_p ," *Jurnal Energi Baru dan Terbarukan*, vol. 1, no. 2, pp. 54-61.
- Badan Standarisasi Nasional (SNI) 1726. (2010), *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa dan Struktur Bangunan Gedung dan non Gedung*. Jakarta
- Daryono dan Sutikno, (2011). *Indeks Kerentanan Seismik Berdasarkan Mikrotremor pada Setiap Satuan Bentuklahan di Zona Graben Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta*, (Disertasi, Program Pascasarjana Fakultas Geografi), Yogyakarta, Universitas Gadjah Mada.
- Edison, R., Prakoso, W.A, Rohadi, S. (2022). Pemetaan V_{s30} Dengan Menggunakan Korelasi Zhao Di Pesisir Cilacap *Jurnal Geosaintek*, Vol. 8, No. 1, 181-190.
- Kanli, A. (2011). *Surface Wave Analysis for Site Effect Evaluation*. US, University of California Santa Barbara.
- Konno, K., and Ohmachi, T., (1998). *Ground Motion Characteristics Estimated from Spectral Ratio Between Horizontal to Vertical Components of Microtremor*, Bulletin of the Seismological of America, pp. 228-241.
- Kasnar, S., Hasan, M, Arfin, L. , Andri, E.S (2019). Kesesuaian Pemetaan Daerah Potensi Rawan Banjir Metode Overlay dengan Kondisi Sebenarnya di Kota Kendari, *Jurnal Tunas Geografi*, Vol. 08, No. 02.
- Lang, D.H., and Schwarz, J., (2004). *Instrumental Subsoil Clasification of Californian Strong Ground Motion Site Based on Single Measurments*, Volume 1, pp.6.
- Mustika, W., Sriyani, R. (2019) Analisis Daya Dukung Tanah Pada Wilayah Pesisir Teluk Kendari Seminar Nasional Teknologi Terapan Inovasi Dan Rekayasa (SNT2IR) Program Pendidikan Vokasi Universitas Halu Oleo, Prosiding ISBN: 978-602-51407-1-6.
- Mutia, N. dan Firdaus. (2011). Pemetaan Ancaman Bencana Tanah Longsor di Kota Kendari, *Jurnal Aplikasi Fisika*, Vol. 7, No. 1), 41-46.
- Lasmi, M.S., (2016) *Analisis Ground Shear Strain Di Kawasan Kota Kendari Menggunakan Data Mikrotremor Dan Gempa Bumi*. Kendari, Universitas Halu Oleo
- Nakamura, Y. (1989). *A Method for Dynamic Characteristic Estimation of Subsurface using Microtremor on The Ground Surface*. Q.R. of R.T.I. 30-1, P.25-33.
- Nakamura, Y., (2000). *Clear Identification of Fundamental Idea of Nakamura's*, System and Data Research Co.Ltd., 3-25-3 Fujimedia, Kunitachi-shi, Tokyo.
- Nakamura, Y., (2008). *On the H/V Spectrum*. The 14th World Conference on Earthquake Engineering, Beijing, China.
- Nogoshi dan Iragashi, (1971). *On The Amplitudo Characteristics Of Microtremor*, Japan.
- Surono, 2013. *Geologi Lengan Tenggara Sulawesi*, 2 ed. Badan Geologi, Bandung
- Surono, 2010. *Publikasi Khusus, Geologi Lengan Sulawesi Tenggara*. Badan Geologi, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral.
- Yusran, Andrian, V. H., Simanjuntak, Muksin Umar, dan Rahmati, (2021). Analisis Kerentanan Seismik dan Model V_{s30} Berdasarkan Survei Mikrotremor HVSR dan SPAC (Studi Kasus: Kota Banda Aceh), *Jurnal Lingkungan dan Bencana Geologi*, Vol. 12, No. 2, 125 – 136.
- Widagdo, W., Pramumijoyo, S., Harijoko, A. (2022). Struktur Kekar sebagai Pengganggu Stabilitas Bangunan Jembatan di Daerah Plampang-Kokap, Yogyakarta, *Jurnal Lingkungan dan Bencana Geologi*, Vol. 13, No. 1, 13 – 23.