

MIKROZONASI TINGKAT KERENTANAN LAPISAN TANAH KECAMATAN NAMBO, KENDARI MENGGUNAKAN METODE *HORIZONTAL-TO-VERTICAL SPECTRAL RATIO*

MICROZONATION OF SOIL FRAGILITY INDEX IN NAMBO, KENDARI USING HORIZONTAL-TO-VERTICAL SPECTRAL RATIO

Al Rubaiyn^{1*}, La Hamimu², Mukarramah³

^{1,2,3}Jurusan Teknik Geofisika, Universitas Halu Ole; Jl. H.E.A Mokodompit, Sultra; 0401-3194108

Received: 2023, April 15th

Accepted: 2023, September 8th

Keywords:

Amplification factor;

Carrying capacity;

Dominant frequency;

Seismic vulnerability index.

Correspondent Email:

alrubaiyn@uho.ac.id

How to cite this article:

Rubaiyn, A., Hamimu, L., &

Mukarramah (2023).

Mikrozonasi Tingkat

Kerentanan Lapisan Tanah

Kecamatan Nambo, Kendari

Menggunakan Metode

Horizontal-to-Vertical Spectral

Ratio. Jurnal Geofisika

Eksplorasi, 09(03), 194-205.

Abstrak. Penelitian respons dinamik dan indeks kerentanan seismik sangat penting untuk memperkirakan dampak kerentanan lapisan permukaan dan kerusakan bangunan ketika terjadi gempa bumi. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi respons dinamik Kecamatan Nambo, Kota Kendari serta menentukan area-area dengan perlapisan tanah yang sangat rentan. Data mikrotremor diolah menggunakan Geopsy 2.0.5 untuk memperoleh kurva HVSr (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*) serta parameter respons dinamik tanah berupa frekuensi dominan dan faktor amplifikasinya yang digunakan untuk menghitung indeks kerentanan seismik. Nilai frekuensi dominan Kecamatan Nambo berkisar antara 0,7 Hz- 3,63 Hz yang termasuk dalam kategori tanah Tipe II dan III. Area dengan frekuensi rendah menunjukkan penebalan lapisan alluvial yang merupakan produk sedimentasi permukaan. Interpolasi nilai indeks kerentanan seismik (kg) menunjukkan area Kecamatan Nambo yang memiliki kerentanan tinggi meliputi Kelurahan Pentoahan dan Nambo.

Abstract. Dynamic response research and seismic vulnerability index are very important to estimate the impact of vulnerable surface layers and building damage when an earthquake occurs. This study aims to identify the dynamic response of Nambo Sub-district, Kendari City and determine areas with highly vulnerable soil layers. Microtremor data were processed using Geopsy 2.0.5 to obtain HVSr (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*) curves and soil dynamic response parameters in the form of dominant frequency and amplification factor used to calculate seismic vulnerability index. The dominant frequency value of Nambo Sub-district ranges from 0.7 Hz - 3.63 Hz which is included in the Type

© 2023 JGE (Jurnal Geofisika Eksplorasi). This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC)

II and III soil categories. Areas with low frequencies indicate a thickening of the alluvial layer which is a product of surface sedimentation. Interpolation of seismic vulnerability index (Kg) values shows areas of Nambo Sub-district that have high vulnerability include Pentoahan and Nambo Villages.

1. PENDAHULUAN

Kota Kendari merupakan Ibu Kota Provinsi Sulawesi Tenggara yang merupakan bagian dari Teluk Kendari. Perkembangan Kota Kendari begitu cepat yang awalnya merupakan kota pelabuhan biasa (kurun abad ke-20 sampai tahun 1964), kemudian menjadi kota perdagangan, pendidikan dan jasa (Makkawaru dkk., 2021a). Kota Kendari terdiri atas 11 Kecamatan salah satunya yakni Kecamatan Nambo. Kecamatan Nambo terletak di sebelah selatan Teluk Kendari. Daerah ini nantinya akan menjadi salah satu kawasan strategis Kota Kendari. Salah satu faktor penting dalam manajemen perkotaan dan bencana adalah mengenali tingkat kerusakan yang terjadi ketika gempa bumi terjadi (Mokhberi, 2015).

Berdasarkan Katalog Gempa Bumi Signifikan dan Merusak (1821-2018) yang diterbitkan oleh Pusat Gempa bumi dan Tsunami Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, peristiwa gempa bumi besar di Kota Kendari terjadi di Tahun 2011 dengan kekuatan M_{6,0} (Setiyono, 2018). Gempa ini menyebabkan kerusakan ringan hingga berat pada beberapa rumah warga. Hal ini menunjukkan tingginya risiko gempa di wilayah Kendari yang harus dimitigasi terlebih pada area kawasan strategis.

Mikrotremor merupakan metode yang sangat mudah untuk memperkirakan fenomena geologi permukaan dari gerakan seismik tanpa memerlukan banyak informasi geologi lainnya. Mikrotremor HVSR (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*) sangat sederhana digunakan untuk mengetahui karakteristik dinamik struktur dan lapisan tanah (Nakamura, 2000).

Mikrotremor HVSR dapat digunakan untuk memberi gambaran tentang lapisan tanah yang berpotensi rawan terhadap guncangan gempa bumi (Hesti dkk., 2021; Mangininsih & Praja, 2023; Risa dkk., 2023).

Beberapa peneliti telah menggunakan metode HVSR untuk karakterisasi respons dinamik tanah. Metode ini disarankan oleh Nakamura (1989) yang menggunakan spektrum Fourier dari data mikrotremor untuk menghitung frekuensi dominan dari lapisan sedimen. Pada kesimpulannya spektrum H/V (horizontal/ vertikal) dapat digunakan untuk menghitung frekuensi dominan dari lapisan sedimen. Peneliti lain seperti Lachetl dan Bard (1994), Kobayashi dkk. (1987), Gurler dkk. (2000), dan Mokhberi (2015) telah mengkaji karakteristik perlapisan tanah dan studi serta mikrozonasi kerentanan perkotaan dari kurva H/V. Menurut Gurler dkk. (2000) indeks kerentanan seismik merupakan metode yang sangat mudah dan praktis untuk mengetahui kerentanan tanah dan bangunan ketika terjadi gempa.

Beberapa peneliti menggunakan metode HVSR untuk karakteristik wilayah Kota Kendari yakni Marjiyono dkk. (2007) serta Mangininsih dan Praja (2023), namun penelitian-penelitian tersebut belum mengkaji indeks kerentanan serta meliputi area Kecamatan Nambo secara spesifik.

Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi respons dinamik lokasi penelitian dan selanjutnya melakukan mikrozonasi area-area dengan perlapisan tanah yang rentan apabila terjadi gempa bumi. Hasil kajian ini diharapkan dapat menjadi informasi data dukung daerah penelitian.

melingkupi daerah penelitian. Nama Anggota Pohara, Formasi Eemoiko diberikan kepada runtunan batuan sedimen yang didominasi oleh batugamping. Anggota Pohara mempunyai hubungan menjemari dengan Anggota Batupasir, Formasi Langkowala. Kontak dengan Formasi Meluhu yang berada di bawahnya merupakan ketidakselarasan menyudut (Suroño, 2013).

Anggota Batupasir, Formasi Langkowala didominasi batupasir dengan sisipan serpih, batulanau, dan konglomerat. Anggota ini menyebar luas di Dataran Langkowala dan sekitar Kota Kendari membentuk dataran rendah setempat dengan perbukitan rendah yang luas. Selanjutnya Formasi Meluhu merupakan peralihan batuan berumur tersier didominasi batupasir dan konglomerat dengan sisipan serpih, batulanau, dan batulempung (Suroño, 2013).

2.2. Metode HVSR

Mikrotremor adalah getaran dengan amplitudo rendah dan terus menerus yang dihasilkan oleh berbagai jenis getaran dari tanah (Kanai, 1983). Simpangan (amplitudo) mikrotremor sangat kecil berkisar antara 10^{-4} mm sampai 10^{-2} mm sehingga tidak dapat dirasakan oleh manusia (Okada & Suto, 2003) serta memiliki rentang frekuensi 0.5 Hz sampai 20 Hz (Nakamura, 1989). Mikrotremor dapat dimanfaatkan untuk menentukan nilai periode dominan dan nilai faktor amplifikasi tanah serta dinamika karakteristik permukaan tanah pada suatu wilayah (Nakamura, 2000). Analisis mikrotremor salah satunya dilakukan dengan menggunakan metode *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (HVSR).

Pada metode HVSR, pergerakan tanah/batuan akibat pengaruh oleh lapisan permukaan dihitung dari pembagian antara spektrum dari komponen horizontal dengan spektrum komponen vertikal (Nakamura, 2008) yang didapat dinyatakan dengan persamaan berikut:

$$HVSR(\omega) = \frac{A_H(\omega)}{A_V(\omega)} \quad (1)$$

dengan A_H merupakan spektrum amplitudo dari transformasi Fourier pada komponen horizontal yang dirata-ratakan dari spektrum utara-selatan dan timur-barat; A_V merupakan spektrum amplitudo pada arah vertikal.

Metode HVSR sering digunakan untuk mengkarakterisasi respons peralihan tanah dalam studi mikrozonasi seismik (Cipta dkk., 2018). Hasil analisis HVSR menggambarkan suatu kurva yang puncaknya menunjukkan frekuensi dominan dan faktor amplifikasi yang menggambarkan karakteristik dinamis tanah (Nakamura, 2000).

2.3. Frekuensi Dominan dan Faktor Amplifikasi

Frekuensi dominan (f_0 dalam Hz) dan faktor amplifikasi (A_0) merupakan parameter penting yang diperoleh dari kurva HVSR. Nilai frekuensi dominan berhubungan dengan kedalaman bidang pantul gelombang di bawah permukaan, yang mana bidang pantul tersebut merupakan bidang batas antara sedimen dengan batuan dasar/keras (*basement*). Nakamura (2000) menunjukkan hubungan frekuensi dominan berbanding terbalik dengan kedalaman lapisan sedimen. Hal ini juga dapat diartikan bahwa area dengan frekuensi dominan yang kecil akan memiliki lapisan sedimen (*soil* dan aluvium) yang lebih tebal begitu pula sebaliknya. Klasifikasi tanah dari frekuensi dominan disajikan pada **Tabel 1**.

Faktor amplifikasi dari frekuensi dominan merupakan faktor pembesaran percepatan gempa yang terjadi pada permukaan tanah akibat kontras impedansi. Gelombang seismik yang merambat dari batuan dasar ke atas permukaan tanah atau dari medium keras ke medium lemah akan mengalami amplifikasi. Jika densitas lapisan batuan keras sama dengan lapisan sedimen di atasnya maka amplifikasi dapat dirumuskan (Nakamura, 2000):

$$A_0 = \frac{c_b}{c_s} \quad (2)$$

yang mana C_b merupakan kecepatan gelombang geser *basement* dan C_s merupakan kecepatan lapisan permukaan (*surface layer*).

Persamaan 2 menunjukkan bahwa suatu area dengan lapisan batuan sedimen dan batuan keras yang memiliki kontras kecepatan akan memiliki amplifikasi yang besar.

Tabel 1. Klasifikasi tanah berdasarkan nilai frekuensi dominan mikrotremor oleh Kanai (Haerudin dkk., 2020).

1981 (Revised)		1950	Kondisi Tanah
Klasifikasi	Frekuensi Domain	Klasifikasi	
Tipe I	>5 Hz	Tipe I	Batuan tersier atau lebih tua. Terdiri dari batuan kerikil pasir keras.
Tipe II	1,33 Hz - 5 Hz	Tipe II	Sebagian besar lapisan diluvium. Terdiri dari kerikil, tanah liat dan lempung.
		Tipe III	Sebagian besar sangat didominasi oleh lapisan aluvium terdiri dari pasir, tanah liat berpasir dan tanah liat.
Tipe III	<1,33 Hz	Tipe IV	Tanah yang sangat lunak yang terbentuk pada rawa dan lumpur. Terutama lahan aluvium.

2.4. Kerentanan Seismik (K_g)

Metode Nakamura digunakan untuk memperkirakan potensi kerusakan akibat gempa bumi. Investigasi mengenai respons dinamik dimaksudkan untuk mengetahui permasalahan bawah permukaan sehingga potensi kerusakan gempa bumi dapat diminimalisir. Kerentanan seismik (K_g) dihitung dari hasil HVSR untuk mengevaluasi risiko likuifaksi tanah yang diformulasikan sebagai berikut (Nakamura, 2019):

$$K_g = \frac{A_0^2}{f_0} \quad (3)$$

Tingkat kerusakan akibat gempa bumi berkaitan dengan induksi *shear-strain*, karena itu indeks kerentanan seismik dimaksudkan untuk mengestimasi *shear-strain* per lapisan bawah permukaan dangkal dengan perkalian amplitudo percepatan maksimum dasar-tanah. Lebih lanjut indeks kerentanan seismik tidak hanya berkaitan dengan likuifaksi lapisan tanah tetapi berkaitan dengan tingkat kerusakan kecil bangunan (Nakamura, 2019).

3. METODE PENELITIAN

Akuisisi data mikrotremor dilakukan di area Kecamatan Nambo, Kota Kendari

menggunakan Satu Sdkkat Mikrotremor TDS 303. Pengukuran sinyal mikrotremor dilakukan selama ± 30 menit dengan frekuensi sampling 100 Hz. Frekuensi dominan terkecil yang diharapkan dapat terukur adalah 0,2 Hz. Akuisisi data mikrotremor di lapangan merujuk syarat teknis dari *SESAME European Research Project* (Acerra dkk., 2002). Jumlah titik terukur sebanyak 17 titik dengan jarak ± 500 m. Hasil pengukuran berupa data getaran mikrotremor sebagai fungsi waktu yang berupa komponen vertikal (sinyal *up-down*) dan komponen horizontal (sinyal *North-South* serta sinyal *East-West*). Data-data tersebut tersimpan pada *data logger* dalam format *hexadecimal* yang selanjutnya dikonversi ke format ASCII menggunakan perangkat lunak DataPro. Data pengukuran (*raw data*) yang telah direkam di perangkat lunak DataPro dipindahkan ke perangkat lunak Geopsy 2.0.5. Hasil pengolahan Geopsy berupa frekuensi (f_0) dominan dan faktor amplifikasi (A_0) dari kurva H/V. Pada proses ini dilakukan uji reliabilitas dengan dua parameter menggunakan persamaan 4 dan persamaan 5, yaitu:

$$f_0 > \frac{10}{t_w} \quad (4)$$

$$nc(f_0) > 200, nc = l_w \times n_w \times f_g \quad (5)$$

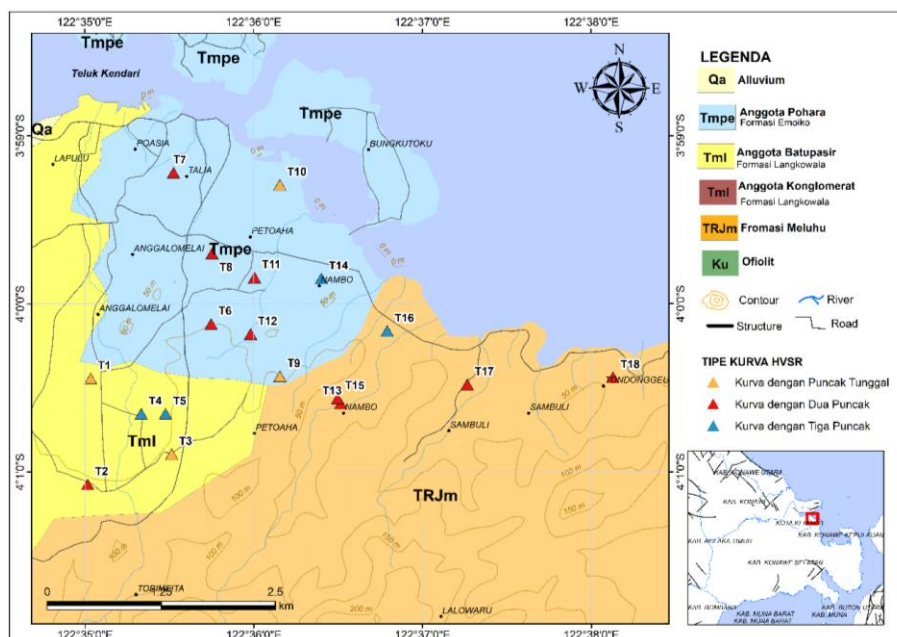
di mana l_w dan n_w adalah lebar window dan jumlah dari window yang digunakan (Acerra dkk., 2002). Nilai yang memenuhi kriteria selanjutnya digunakan untuk menentukan indeks kerentanan seismik. Perhitungan indeks kerentanan seismik (K_g) menggunakan persamaan 3. Interpolasi data-data f_0 , A_0 dan K_g menggunakan metode *minimum curvature* pada perangkat lunak Oasis Montaj (Montaj, 2007).

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

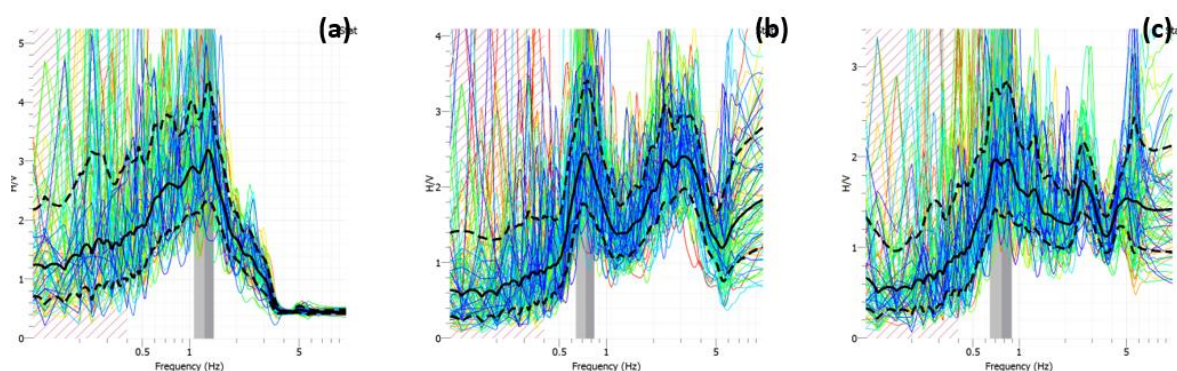
Karakteristik dinamik area penelitian diidentifikasi dari kurva HVSr. **Gambar 2** menunjukkan sebaran titik pengukuran dan tipe-tipe puncak kurva HVSr titik terukur yang ditumpang tindihkan dengan peta sebaran batuan. Puncak periode dominan kurva HVSr mengindikasikan adanya kontras impedansi

dalam struktur kecepatan yang mendasarinya (Cipta dkk., 2018; Fadhillah dkk., 2022). Terdapat tiga tipe kurva HVSr, yaitu (1) kurva dengan puncak tunggal (**Gambar 3a**) yang berada pada frekuensi rendah yaitu ≤ 1 Hz; (2) kurva dengan dua puncak (**Gambar 3b**) pada frekuensi ≤ 2 Hz dan puncak kedua pada frekuensi > 4 Hz; (3) kurva dengan tiga puncak (**Gambar 3c**) pada yang beragam.

Secara umum kurva dengan puncak tunggal menunjukkan bentuk puncak yang lebar sedangkan kurva dengan dua atau tiga puncak menunjukkan bentukan sempit yang sebagian besar meliputi area penelitian. Data yang terukur pada area persebaran batuan Formasi Meluhu memiliki tipe kurva dengan dua atau tiga puncak. Puncak kurva yang tinggi dan sempit mengindikasikan kontras impedansi tinggi dan kuat (Cipta dkk., 2018).



Gambar 2. Peta persebaran anggota formasi Langkowala modifikasi (Surono, 2013) di-overlay dengan sebaran titik serta tipe puncak kurva HVSr di Kecamatan Nambo.



Gambar 3. Tipe kurva HVSR di Kecamatan Nambo. (a) Kurva puncak tunggal; (b) Kurva dengan dua puncak; (c) Kurva dengan tiga puncak.

Gambar 1 menunjukkan besar nilai frekuensi dominan dan amplifikasi di setiap titik pengukuran. Gradasi warna dari hijau ke merah menunjukkan peningkatan nilai magnitudonya. Frekuensi di lokasi penelitian memiliki rentang nilai antara 0,7 Hz sampai 3,63 Hz. Nilai frekuensi terendah yaitu pada titik T4 yang terletak Kelurahan Pentoaha dan nilai frekuensi tertinggi yaitu pada titik T16 yang terletak Kelurahan Nambo. Berdasarkan klasifikasi tanah (**Tabel 1**) terdapat dua tipe jenis tanah yaitu Tipe III ($f_0 < 1,33$ Hz) dan Tipe II ($1,33 \text{ Hz} < f_0 < 5 \text{ Hz}$). Tipe III tersebar di bagian Utara dan Selatan daerah penelitian sedangkan Tipe II tersebar meluas di bagian Barat-Laut dan Tenggara. Peta interpolasi (**Gambar 4a**) menunjukkan lokasi penelitian terdiri atas area berfrekuensi tinggi dan area berfrekuensi rendah. Area berfrekuensi tinggi pada bagian Tenggara meliputi Kelurahan Nambo dan Kelurahan Sambuli mengindikasikan lapisan tanah yang tipis berupa lapisan diluvium yang menutupi batuan Formasi Meluhu sedangkan pada bagian Barat-Laut meliputi Kelurahan Anggalomelai mengindikasikan lapisan tanah yang tebal. Pada area yang memiliki frekuensi rendah (Tipe III) pada bagian Barat-Daya menerus ke Utara mengindikasikan lapisan sedimen yang sangat tebal. Secara morfologi area ini memiliki topografi lebih rendah yang mengindikasikan tempat akumulasi terjadinya pengendapan. Hal

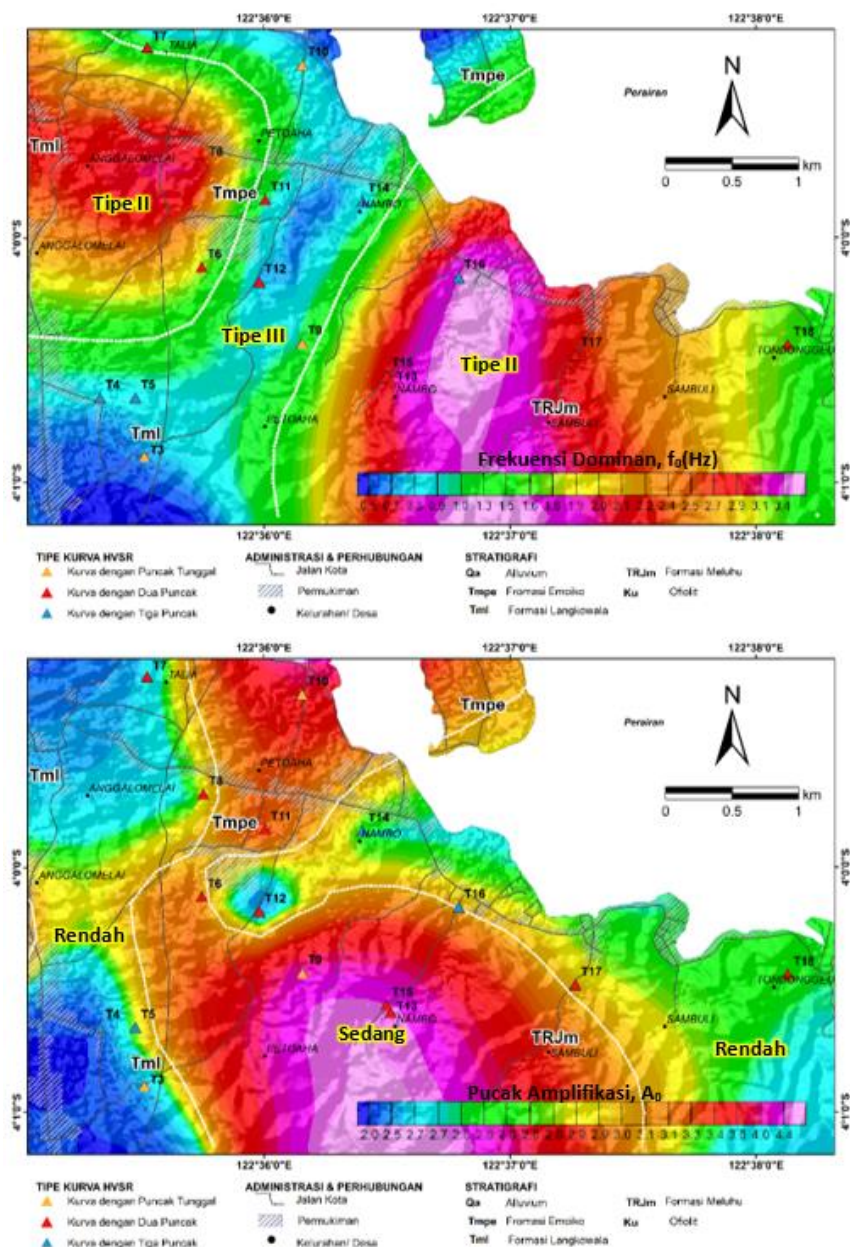
ini menunjukkan bahwa jenis batuan pada area tersebut berupa aluvial yang merupakan produk sedimentasi permukaan.

Gambaran faktor amplifikasi daerah penelitian ditunjukkan pada **Gambar 1b**. Gambar tersebut menunjukkan bahwa sebagian besar lokasi penelitian memiliki amplifikasi yang rendah. Hal ini mengindikasikan tingkat kompaksi antara batuan sedimen (*soil* dan aluvium) terhadap batuan yang mendasarinya tidak jauh berbeda. Selain amplifikasi yang rendah pada beberapa area terdapat pembesaran nilai amplifikasi. Pembesaran nilai amplifikasi terjadi pada titik T19 dan T15 di sekitar garis *lineament* yang merupakan kelurusan akibat struktur geologi seperti sesar ataupun *fracture-fracture* geologi. Hasil interpolasi (**Gambar 4b**) menunjukkan nilai amplifikasi rendah meliputi pesisir dan area pedataran sedangkan amplifikasi sedang meliputi area perbukitan rendah serta pesisir Kelurahan Pentoaha. Area dengan faktor amplifikasi sedang menunjukkan lapisan permukaan yang terkompaksi rendah.

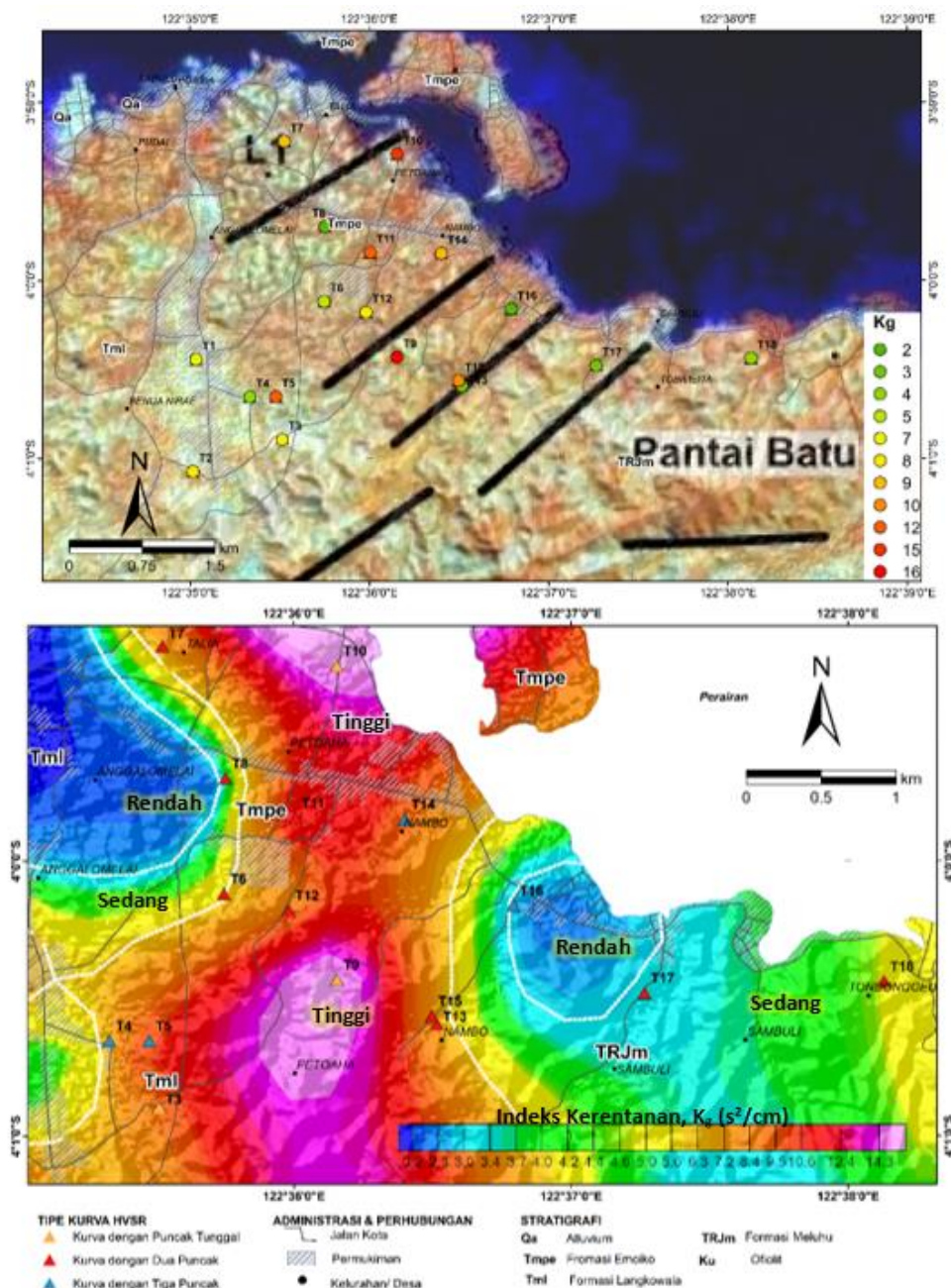
Selanjutnya mikrozonasi tingkat kerentanan dan tingkat kerusakan terhadap pergerakan tanah disajikan pada peta indeks kerentanan seismik ditunjukkan pada **Gambar 5**. Indeks kerentanan seismik berkisar antara $2,43 \text{ s}^2/\text{cm}$ sampai $16,8 \text{ s}^2/\text{cm}$. Merujuk Refrizon dkk. (2013), wilayah penelitian dizonasikan menjadi tiga zona yakni wilayah dengan K_g rendah,

sedang dan tinggi. Bagian tenggara penelitian yang meliputi Tenggara Kelurahan Nambo, Kelurahan Sambuli, Kelurahan Todonggeu serta bagian Utara yaitu Kelurahan Anggalomelai dan Kelurahan Talia merupakan daerah dengan indeks kerentanan Sedang dan Rendah. Zona tersebut ditunjukkan pada area berwarna biru-hijau. Daerah ini merupakan

perbukitan batu serta perbukitan rendah sehingga tidak berisiko ketika terjadi gempa. Kemudian area pada bagian tengah penelitian meliputi Kelurahan Pentoahan dan Kelurahan Nambo termasuk dalam zona dengan kerentanan seismik tinggi. Area tersebut merupakan tempat akumulasi sedimen dengan kompaksi yang rendah.



Gambar 4. (a) Peta interpolasi frekuensi dominan; (b) peta interpolasi amplitifikasi.



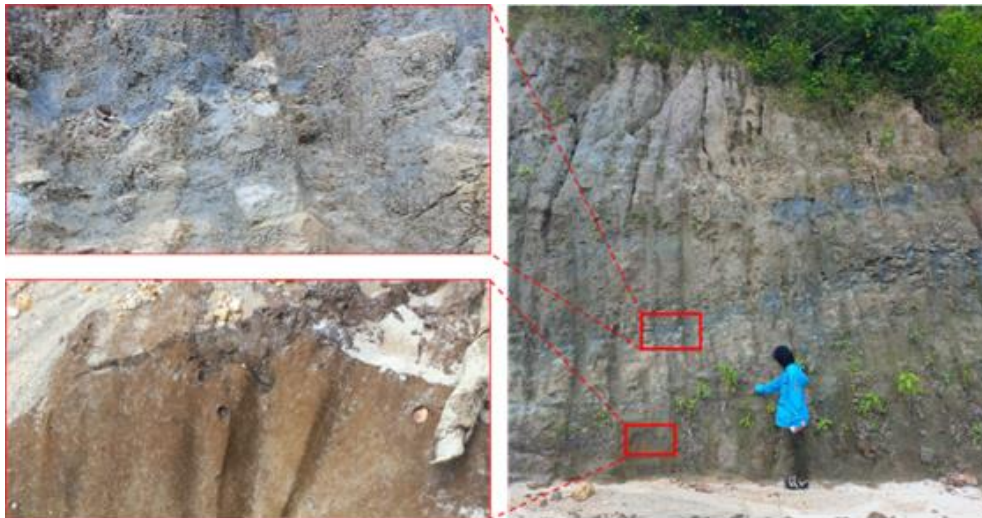
Gambar 5. (a) Peta roman geologi (Makkawaru dkk., 2021b) di-overlay dengan distribusi magnitudo indeks kerentanan seismik Kecamatan Nambo. Gradasi warna hijau ke merah menunjukkan peningkatan nilai magnitudo. Garis berwarna hitam menunjukkan delineasi struktur (*lineament*). (b) Peta Interpolasi indeks kerentanan seismik Kecamatan Nambo. Garis putih menunjukkan batas zonasi.

Gambar 6 menunjukkan singkapan Anggota Batupasir Formasi Langgkowala berupa batupasir dan batu lempuh/ serpih. Banyaknya material-material lepas berukuran pasir-kerakal serta tekstur lapisan sedimen atau tapisan tanah yang kasar mengindikasikan area

tersebut sangat rentan. Menurut Arisona dkk. (2017) lapisan tanah dengan kepadatan rendah biasanya memiliki daya dukung yang rendah, sehingga fondasi bangunan pada area tersebut rawan mengalami penurunan. Oleh karena itu perlu dilakukan pengolahan lebih lanjut dari

data HVSR yang terukur untuk menggambarkan kondisi bawah permukaan serta pengukuran dengan menggunakan

metode geofisika yang lain sebagai parameter pembandingan sehingga lebih dapat dipastikan tingkat kerentanan di lokasi penelitian.



Gambar 6. Singkapan Anggota Batupasir Formasi Langgkowala di sekitar titik T-15 Kelurahan Nambo.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan penjelasan sebelumnya, dapat disimpulkan bahwa nilai frekuensi dominan Kecamatan Nambo berkisar antar 0,7 Hz sampai 3,63 Hz yang termasuk dalam kategori tanah Tipe II dan III. Area dengan frekuensi rendah menunjukkan penebalan lapisan aluvial yang merupakan produk sedimentasi permukaan.

Sedangkan indeks kerentanan seismik di Kecamatan Nambo berkisar antara 2,43 s²/cm sampai 16,8s²/cm. Berdasarkan mikrozonasi kerentanan seismik, area Kecamatan Nambo yang memiliki kerentanan tinggi meliputi Kel. Pentoahan dan Kel. Nambo.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika Kota Kendari atas bantuan dan kerja samanya dalam penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

Acerra, C., Alguacil, G., Atakan, K., Azzara, R. M., Bard, P.-Y., Blarel, F., Borges, A., Cara, F., Teves-

Costa, P., & Duval, A.-M. (2002). Sesame Project-Deliverable D01-02-WP02: Controlled Instrumental Specifications-Final report of the Instrument Workshop 22-26 October 2001, University of Bergen, Norway.

Arisona, A., Nawawi, M., Khalil, A. E., Nuraddeen, U., Hariri, M., & Fathi, M. (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. <https://doi.org/https://doi.org/10.24273/jgeet.2017.2.1.21>

Cipta, A., Cummins, P., Dettmer, J., Saygin, E., Irsyam, M., Rudyanto, A., & Murjaya, J. (2018). Seismic velocity structure of the Jakarta Basin, Indonesia, using trans-dimensional Bayesian inversion of horizontal-to-vertical spectral ratios. *Geophysical Journal International*, 215(1), 431-449. <https://doi.org/10.1093/gji/ggy289>

Fadhilah, F. H., Yudistira, T., & Sopyan, Y. (2022). Pemetaan Respons Dinamik Tanah Dan Pemodelan Struktur Bawah Permukaan Di Wilayah Kertajati Menggunakan Metode Horizontal-To-Vertical Spectral Ratio (HVSR). *Jurnal Geofisika*, 20(2), 52-56.

- <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.36435/jgf.v20i2.545>
- Gurler, E. D., Nakamura, Y., Saita, J., & Sato, T. (2000). Local site effect of Mexico City based on microtremor measurement. 6th International Conference on Seismic Zonation. Palm Spring Riviera Resort, California, USA,
- Haerudin, N., Rustadi, R., Alami, F., & Yogi, I. B. (2020). The effect site analysis based on microtremor data using the Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSr) method in the Bandar Lampung City. *Journal of Physics: Conference Series*, 1572, 012075. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1572/1/012075>
- Hesti, Suharno, Mulyasari, R., & Hidayatika, A. (2021). Analisis Karakteristik Lapisan Sedimen Berdasarkan Data Mikrotremor di Area Rumah Sakit Pendidikan Unila. *JGE (Jurnal Geofisika Eksplorasi)*, 07(02), 150-159.
- Kanai, K. (1983). Engineering seismology. Tokyo: University of Tokyo Press.
- Kobayashi, H., Midorikawa, S., Tanzawa, H., & Matsubara, M. (1987). Development of portable measurement system for ambient vibration test of building. *J Struct Constr Eng (Transactions of Architectural Institute of Japan)*, 378, 48-56.
- Lachetl, C., & Bard, P.-Y. (1994). Numerical and Theoretical Investigations on the Possibilities and Limitations of Nakamura's Technique. *Journal of Physics of the Earth*, 42(5), 377-397. <https://doi.org/10.4294/jpe1952.42.377>
- Makkawaru, A., Sideng, U., & Sufrianto, S. (2021a). Interpretation of the Geological Romance of Kendari Bay Using Landsat 5 TM. *LaGeografia*(Vol 20, No 1 (2021): October), 114-124. <https://ojs.unm.ac.id/Lageografia/article/view/24033/pdf>
- Makkawaru, A., Sideng, U., & Sufrianto, S. (2021b). Interpretation of the Geological Romance of Kendari Bay Using Landsat 5 TM. *LaGeografia*, 20(1). <https://doi.org/10.35580/lageografia.v20i1.24033>
- Mangininsih, S. L., & Praja, N. K. (2023). Pemetaan Lapisan Tanah Menggunakan Data Mikrotremor HVSr dan Dampaknya Terhadap Daya Dukung Tanah di Kawasan Kota Kendari. *Jurnal Geologi dan Sumberdaya Mineral*, 24(1), 51-58. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.36435/jgf.v20i2.545>
- Marjiyono, M., Soehaimi, A., & Setiawan, J. (2007). Mikrozonasi Daerah Kendari dan Sekitarnya Berdasarkan Respons Tanah Setempat. *Jurnal Geologi dan Sumberdaya Mineral*, 17(1), 49-56. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.33332/jgsm.geologi.v17i1.279>
- Mokheri, M. (2015). Vulnerability evaluation of the urban area using the H/V spectral ratio of microtremors. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 13, 369-374. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.ijdrr.2015.06.012>
- Montaj, O. (2007). Geosoft mapping and application system Inc, Suit 500, Richmond St. West Toronto, ON Canada N5S1V6.
- Nakamura, Y. (1989). A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface. *Railway Technical Research Institute, Quarterly Reports*, 30(1).
- Nakamura, Y. (2000). Clear identification of fundamental idea of Nakamura's technique and its applications. Proceedings of the 12th world conference on earthquake engineering,
- Nakamura, Y. (2008). On the H/V Spectrum, The 14th World Conference on Earthquake Engineering. In: October.
- Nakamura, Y. (2019). What is the Nakamura method? *Seismological Research Letters*, 90(4), 1437-1443.
- Okada, H., & Suto, K. (2003). *The microtremor survey method*. Society of Exploration Geophysicists. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1190/1.9781560801740>
- Refrizon, R., Hadi, A. I., Lestari, K., & Oktari, T. (2013). Analisis Percepatan Getaran Tanah Maksimum dan Tingkat Kerentanan Seismik Daerah Ratu Agung Kota Bengkulu. *Prosiding SEMIRATA 2013*, 1(1).
- Risa, I.N., Maison, & Dewi, I.K. (2021). Analisis Kerentanan Tanah Berdasarkan Pengukuran Mikrotremor di Desa Jati Mulyo, Tanjung Jabung Timur. *JGE (Jurnal Geofisika Eksplorasi)*, 09(01), 18-31.
- Setiyono, U. (2018). *Katalog Gempabumi Signifikan dan merusak 1821-2017*. Badan Meteorologi

Klimatologi dan Geofisika.
https://perpustakaan.bnppb.go.id/bulian/index.php?p=show_detail&id=1860

Surono. (2013). *Lengan Tenggara Sulawesi*. Bandung
Badan Geologi Kementrian Energi dan Sumber
Daya Mineral.