

Identifikasi Potensi Gerakan Tanah dengan Analisis *Ground Shear Strain* Berdasarkan Data Mikrotremor dan Data Gempabumi Menggunakan Metode Hvsr di Daratan Pesisir Kecamatan Moramo Kabupaten Konawe Selatan

Identification of Potential Ground Movement by Ground Shear Strain Analysis Based on Microtremor Data And Earthquake Data Using HVSR Method on The Coastal Land Of Moramo District, South Konawe Regency

Yosep Bastian Ngganggu¹, La Ode Ihksan Juarzan^{1*}, La Hamimu¹, Indrawati¹

¹Jurusan Teknik Geofisika, Universitas Halu Oleo, Kendari, Indonesia

Article history:

Received: 11 December 2023

Accepted: 21 July 2025

Keywords:

Ground Shear Strain;

HVSR, Mikrotremor;

Ground Movement; Moramo District.

Correspondent author:

juarzan.ode@uho.ac.id

Abstrak. Telah dilakukan penelitian tentang GSS (*Ground Shear Strain*) dengan metode HVSR (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*) menggunakan data mikrotremor dan data gempabumi pada daerah pesisir di Kecamatan Moramo. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui sebaran nilai GSS dan potensi gerakan tanah berdasarkan nilai berdasarkan nilai GSS pada daerah pesisir Kecamatan Moramo. Data mikrotremor diambil di 15 titik penelitian dengan jarak antar titik 500 – 1000 m dan data gempabumi sebanyak 46 data yang berasal dari *website* USGS dan BMKG. Data mikrotremor dianalisis menggunakan metode HVSR untuk memperoleh nilai faktor amplifikasi dan nilai frekuensi dominan yang selanjutnya digunakan untuk menghitung nilai indeks kerentanan seismik, percepatan tanah maksimum (PGA), dan nilai GSS. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa nilai GSS di daerah pesisir Kecamatan Moramo berkisar antara $9,293 \times 10^{-5}$ sampai $1,173 \times 10^{-3}$. Daerah yang memiliki nilai GSS tertinggi berada di sekitar Desa Lapuko dengan nilai $1,173 \times 10^{-3}$ yang mengalami fenomena retak dan terendah di sekitar Desa Marga Cinta dengan nilai $9,293 \times 10^{-5}$ yang mengalami fenomena gelombang dan getaran. Fenomena yang mungkin terjadi yaitu getaran dan retakan atau pergerakan tanah akibat tekanan pemukiman.

Abstract. Research has been conducted on GSS (*Ground Shear Strain*) using the HVSR (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*) method using microtremor data and earthquake data in coastal areas in Moramo

District. This study aims to determine the distribution of GSS values and the potential for land movement based on values based on GSS values in coastal areas of Moramo District. Microtremor data were taken at 15 research points with distances between points of 500-1000 m and 46 earthquake data from the USGS and BMKG websites. Microtremor data were analyzed using the HVSR method to obtain amplification factor values and dominant frequency values which were then used to calculate seismic vulnerability index values, maximum ground acceleration (PGA), and GSS values. The results of this study show that the GSS value in the coastal area of Moramo District ranges from $9,293 \times 10^{-5}$ to $1,173 \times 10^{-3}$. Areas that have the highest GSS values are around Lapuko Village with values that experience cracking phenomena and $1,173 \times 10^{-3}$ the lowest around Marga Cinta Village with values that experience wave and vibration phenomena $9,293 \times 10^{-5}$. Possible phenomena are vibrations and cracks or soil movement due to settlement pressure.

© 2025 JRGI (Jurnal Rekayasa Geofisika Indonesia)

1. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara yang rawan terhadap bencana gempabumi. Gempabumi adalah hentakan atau gerakan tanah tiba-tiba akibat pelepasan energi yang terakumulasi atau tersimpan dalam bentuk gelombang seismik (Febriani, 2019). Gempabumi merupakan salah satu pemicu terjadinya pergerakan tanah. Fenomena pergerakan tanah bisa terjadi di daerah dataran rendah. Contohnya seperti di daratan pesisir yang memiliki kemiringan landai dengan kondisi tanah yang karakteristiknya kedap air, seperti tanah lempung atau batuan.

Penelitian ini berlokasi di daratan pesisir daerah Kecamatan Moramo Kabupaten Konawe Selatan Provinsi Sulawesi Tenggara. Menurut BNPB SULTRA (2022) dalam Dokumen Kajian Risiko Bencana Nasional Provinsi Sulawesi Tenggara 2022-2026,

Konawe Selatan adalah kabupaten terluas yang berpotensi terpapar bencana gempabumi yakni 577.904 Ha dan berada pada urutan kedua untuk jumlah penduduk yang berpotensi terpapar bencana gempabumi yakni 295.115 jiwa, setelah Kota Kendari yang berada urutan pertama.

Bencana gempabumi memang tidak dapat dicegah, namun ada upaya yang dapat dilakukan untuk mengurangi risiko bencana, yaitu dengan mitigasi. Salah satu bentuk mitigasi bencana gempabumi yang dapat dilakukan adalah dengan mengidentifikasi potensi gerakan tanah dengan metode geofisika. Metode geofisika yang dapat digunakan adalah metode mikrotremor. Menurut Mirzaoglu & Dýkmen (2003) survei mikrotremor dapat digunakan untuk mengetahui karakteristik lapisan tanah berdasarkan frekuensi dominan dan faktor

amplifikasinya. Frekuensi dominan dan faktor amplifikasi merupakan parameter yang dihasilkan dari metode *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (HVSR). Metode HVSR merupakan metode yang digunakan untuk pengolahan data mikrotremor dengan membandingkan komponen horizontal sinyal mikrotremor terhadap komponen vertikal (Nakamura, 1989). Nakamura (1997) serta Fukushima dan Tanaka (1990) mengemukakan bahwa hasil pengolahan HVSR dan percepatan gerakan tanah maksimum, dapat menghasilkan nilai *Ground Shear Strain* (GSS) yang menggambarkan kondisi dinamika tanah. GSS adalah kemampuan suatu lapisan tanah untuk meregang dan menggeser apabila terjadi gempa bumi (Nakamura, 2000). Menurut Sugianto *et al.* (2017) GSS merupakan salah satu parameter yang dapat digunakan untuk menggambarkan kondisi fisis geologi lokal terhadap deformasi. GSS diperoleh dari hubungan matematis antara indeks kerentanan sesimik (Kg) dengan percepatan getaran tanah maksimum (PGA).

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Mikrotremor

Mikrotremor adalah getaran tanah yang pada umumnya mempunyai sifat kontinu, memiliki magnitudo yang kecil, dan bersifat stasioner. Mikrotremor bisa berupa getaran akibat aktivitas manusia maupun aktivitas lain, seperti getaran akibat orang berjalan, getaran dari kendaraan, getaran mesin-mesin pabrik, getaran angin, gelombang laut, atau getaran alamiah lainnya (Wahyuni, 2014).

2.2. *Horizontal Vertical to Spectral Ratio* (HVSR)

Metode HVSR merupakan metode yang digunakan sebagai indikator struktur bawah permukaan tanah yang memperlihatkan hubungan antara perbandingan-perbandingan rasio spektrum Fourier dari sinyal mikrotremor komponen horizontal terhadap komponen vertikalnya (Nakamura, 1989).

2.2.1. Amplifikasi

Amplifikasi merupakan perbesaran gelombang seismik yang terjadi akibat adanya perbedaan yang signifikan antar lapisan, dengan kata lain gelombang seismik akan mengalami perbesaran, jika merambat pada suatu medium ke medium lain yang lebih lunak dibandingkan dengan medium awal yang dilaluinya. Semakin besar perbedaan itu, maka perbesaran yang dialami gelombang tersebut akan semakin besar (Nakamura, 2000).

2.2.2. Frekuensi Dominan

Frekuensi dominan adalah nilai frekuensi yang kerap muncul sehingga diakui sebagai nilai frekuensi dari lapisan batuan di wilayah tersebut sehingga nilai frekuensi dapat menunjukkan jenis dan karakteristik batuan tersebut (Lachet & Bard, 1994). Menurut Yuliawati dkk. (2019) nilai frekuensi dominan ditentukan dari analisis hasil kurva HVSR, yang mana nilai frekuensi dominan ditunjukkan dari puncak tertinggi kurva. Setelah didapatkan nilai frekuensi tersebut maka dapat dilakukan perhitungan untuk mengetahui nilai periode dominan.

2.2.3. Periode Dominan

Nilai periode dominan merupakan waktu yang dibutuhkan gelombang mikrotremor

untuk merambat melewati lapisan endapan sedimen permukaan atau mengalami satu kali pemantulan terhadap bidang pantulnya ke permukaan. Nilai periode dominan juga mengindikasikan karakter lapisan batuan yang ada di suatu wilayah. Nilai periode dominan didapatkan berdasarkan perhitungan berikut:

$$T_0 = \frac{1}{f_0} \quad (1)$$

dimana T_0 adalah periode dominan (s), f_0 adalah frekuensi dominan (Hz) (Arifin *et al.*, 2014).

2.3. Indeks Kerentanan Seismik

Indeks kerentanan seismik merupakan suatu parameter yang sangat berhubungan dengan tingkat kerawanan suatu wilayah dari ancaman resiko gempabumi (Saaduddin dkk., 2015). Nilai indeks kerentanan seismik berguna untuk mendeteksi zona lemah atau kawasan yang berpotensi akan terjadi kerusakan, dan rekahan tanah saat terjadinya perambatan gelombang. Secara matematis, hubungan antara indeks kerentanan seismik (K_g), frekuensi dominan (f_0) dan faktor amplifikasi (A_0) dapat dituliskan sebagai berikut:

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

dengan K_g merupakan indeks kerentanan seismik (10^{-6} atau s^2/cm), A_0 adalah faktor amplifikasi (s) dan f_0 adalah frekuensi dominan (Hz) (Nakamura, 2000).

2.4. Peak Ground Accelration (PGA)

Peak Ground Acceleration (PGA) adalah nilai percepatan gelombang pada lapisan batuan yang timbul akibat adanya gempabumi

(Jamal dkk., 2017). Menurut Prawirodikromo (2012) yang dikutip oleh Kumala dkk. (2018), semakin besar PGA maka gempabumi yang bersangkutan dianggap semakin kuat, energi besar dan dianggap semakin banyak membuat kerusakan. Persamaan untuk menentukan percepatan tanah di permukaan dengan menggunakan metode Kanai (1990), yaitu :

$$\alpha_g = \frac{5}{\sqrt{T_0}} 10^{0.61M - (1.66 + \frac{3.6}{R}) \log R + 0.67 - \frac{1.83}{R}} \quad (3)$$

dimana, α_g adalah PGA (gal), T_0 adalah periode dominan tanah (second), M adalah magnitude (SR), dan R adalah jarak hiposenter (km) (Wibowo & Gunawan, 2014).

2.5. Ground Shear Strain (GSS)

Ground Shear Strain adalah kemampuan suatu lapisan tanah untuk meregang dan menggeser apabila terjadi gempabumi. GSS dapat digunakan untuk mengkarakterisasi dampak yang terjadi saat gempabumi, seperti likuifaksi, tanah retak, penurunan tanah, tanah longsor dan bergetarnya tanah (Setiawati *et al.*, 2017). Ground Shear Strain lapisan tanah permukaan dapat diperoleh dengan mengalikan antara indeks kerentanan seismik berdasarkan mikrotremor dengan percepatan tanah (Nakamura, 2000).

$$\gamma = K_g \times a \quad (4)$$

dengan γ = Ground Shear Strain (GSS), K_g = Indeks Kerentanan Seismik, a = percepatan getaran tanah maksimum.

3. METODE PENELITIAN

Pengukuran mikrotremor dilakukan di 15 titik daerah pesisir Kecamatan Moramo dengan jarak antar titik 500 m sampai 1.000 m. Titik-

titik koordinat pengukuran di lokasi penelitian dapat dilihat pada **Tabel 1**.

Data mikrotremor yang diperoleh, diolah dengan *software* Geopsy 3.4.2 menggunakan metode HVSR yang menghasilkan parameter frekuensi dominan (f_0) dan faktor amplifikasi (A_0). Parameter lain seperti Indeks Kerentanan Seismik (K_g) diperoleh melalui persamaan (2), serta *Peak Ground Acceleration* (PGA)

diperlihatkan yang diolah berdasarkan data gempabumi yang diperoleh dari BMKG dan *website* USGS (*Unites States Geological Survey*), kemudian ditentukan dengan persamaan (3). Selanjutnya, parameter Indeks Kerentanan Seismik (K_g) dan *Peak Ground Acceleration* (PGA) digunakan untuk menentukan nilai *Ground Shear Strain* (GSS) berdasarkan persamaan (4).

Tabel 1. Nilai *Ground Shear Strain* terhadap dinamika tanah (Ishihara, 1978 dalam Nakamura, 1997)

Ukuran Strain	10^{-6}	10^{-5}	10^{-4}	10^{-3}	10^{-2}	10^{-1}
Fenomena	Gelombang, getaran		Retak, pergerakan tanah akibat tekanan pemukiman		Longsor, kompaksi, likuifaksi	
Dinamika tanah	Elastis		Elasto-plastis		Runtuh	Berulang dan proses berlangsung terus

Tabel 2. Nilai frekuensi dominan, faktor amplifikasi, dan periode dominan pada tiap titik pengukuran

Titik Lokasi	X	Y	f_0 (Hz)	A_0	T_0 (s)
T1	461817	9542367	1.01	3.04	0.99
T2	461074	9541899	1.09	4.16	0.92
T3	459518	9541248	1.80	1.80	0.56
T4	461222	9541203	1.21	2.97	0.83
T5	459625	9540454	2	2.54	0.50
T6	461635	9539874	2.36	2.34	0.42
T7	461098	9539284	6.33	2.45	0.16
T8	460425	9539065	3.45	2.63	0.29
T9	462691	9539728	1.84	2.26	0.54
T10	461513	9538667	14.57	3.02	0.07
T11	460668	9538252	5.12	4.16	0.20
T12	464502	9539612	1.99	4	0.50
T13	465791	9539997	1.49	6.65	0.67

Titik Lokasi	X	Y	f_0 (Hz)	A_0	T_0 (s)
T14	465902	9539105	2.65	4.63	0.38
T15	466577	9539737	1.58	6.09	0.63

Data hasil pengolahan diinterpretasikan dengan menggunakan *software* ArcGis 10.4.1. Potensi pergerakan tanah yang terjadi pada daerah penelitian dapat dianalisis dengan mengacu pada tabel nilai *strain* dan dinamika tanah pada **Tabel 2** untuk menentukan fenomena serta dinamika tanah yang merupakan gambaran pergerakan tanah yang terjadi di daerah penelitian. Hasil interpretasi dicantumkan dalam bentuk tabel dan peta sebaran.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Data yang peroleh dari hasil pengukuran dilapangan berupa sinyal getaran tanah yang terdiri dari tiga komponen seismogram, yaitu dua komponen horizontal *North-South* (N) dan *East-West* (E), serta komponen vertikal *Up-Down* (Z). Data getaran tanah yang telah diperoleh selanjutnya diolah dalam *software* Geopsy dan dianalisis menggunakan metode *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (HVSr). Data getaran tanah yang diperoleh masih dalam bentuk domain waktu, sehingga harus diubah kedalam domain frekuensi menggunakan tranformasi *Fourier*, dalam penelitian ini yang digunakan adalah *Fast Fourier Transform* (FFT).

Tahap selanjutnya melakukan *filtering* dengan tujuan memperoleh data mikrotremor yang sebelumnya masih dalam bentuk getaran tanah. Jenis filter yang digunakan adalah *Band Pass Filter* dengan rentang nilai frekuensi 0,5 Hz – 25 Hz.

Setelah melakukan *filtering*, tahapan selanjutnya yaitu melakukan *windowing*. Proses *windowing* bertujuan untuk mereduksi *noise* yang terekam pada saat pengukuran. Tahap pemilihan *window* dilakukan secara otomatis (*auto*) dengan panjang *window* 20 s agar *reliable* dengan batas frekuensi terendah dalam penelitian ini, yaitu 0,5 Hz. Agar memperoleh data yang baik, dilakukan *anti-triggering*, dengan cara membandingkan nilai *Short Term Average* (STA) dan nilai *Long Term Average* (LTA). Dalam penelitian ini digunakan nilai STA sebesar 1 s dan LTA sebesar 30 s. Jika perbandingan nilai STA/LTA melewati batas nilai yang ditetapkan, maka dapat disebut sebagai sinyal *transient*, sehingga sinyal selain itu akan dibagi dalam beberapa *window*. Namun, jika dari hasil *windowing* terdapat sinyal yang terpilah dengan tidak sesuai, maka perlu dilakukan proses *remove* sinyal.

Setelah dilakukan proses *windowing*, selanjutnya memperhalus pola kurva dan mengurangi efek aliasing dengan cara melakukan proses *smoothing* Konno-Ohmachi dengan koefisien *bandwith* sebesar 40% dan *taper cosine* sebesar 5%. Dari proses analisis HVSr, menghasilkan kurva H/V yang menunjukkan frekuensi dominan (f_0) dan faktor amplifikasi (A_0).

4.1. Analisis Frekuensi Dominan dan Faktor Amplifikasi

Berdasarkan hasil analisis menggunakan metode HVSr, diperoleh nilai-nilai frekuensi

dominan yang bervariasi. Nilai frekuensi dominan terendah terletak di Desa Ranooha Raya, yaitu sebesar 1,01 Hz. Sedangkan untuk nilai frekuensi dominan tertinggi terletak di sebelah tenggara Desa Marga Cinta, yaitu 14,57 Hz.

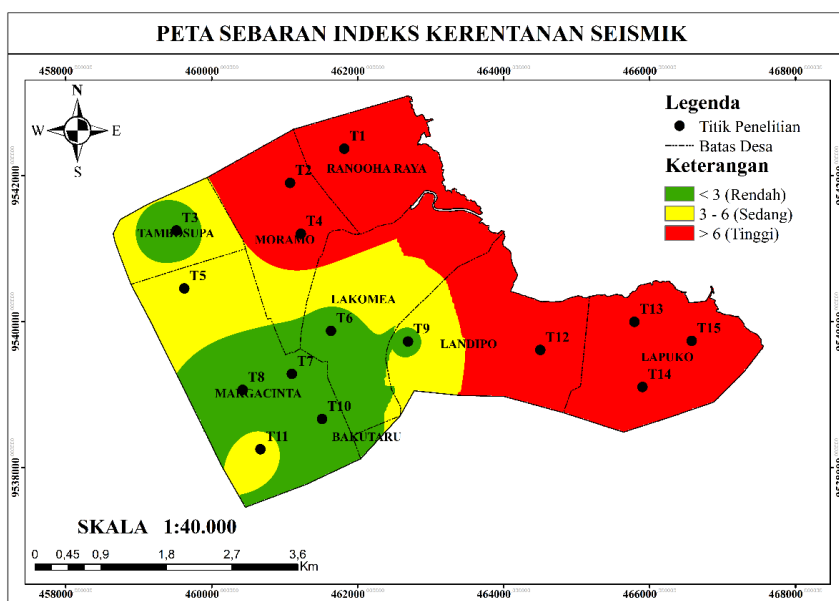
Sedangkan untuk nilai faktor amplifikasi, diperoleh nilai dengan rentang 6,65 - 1,80. Nilai faktor amplifikasi terbesar terletak di Desa Lapuko, dengan nilai 6,65. Sedangkan nilai faktor amplifikasi terkecil berada terletak di Desa Tambosupa, dengan nilai 1,80.

4.2. Analisis Indeks Kerentanan Seismik

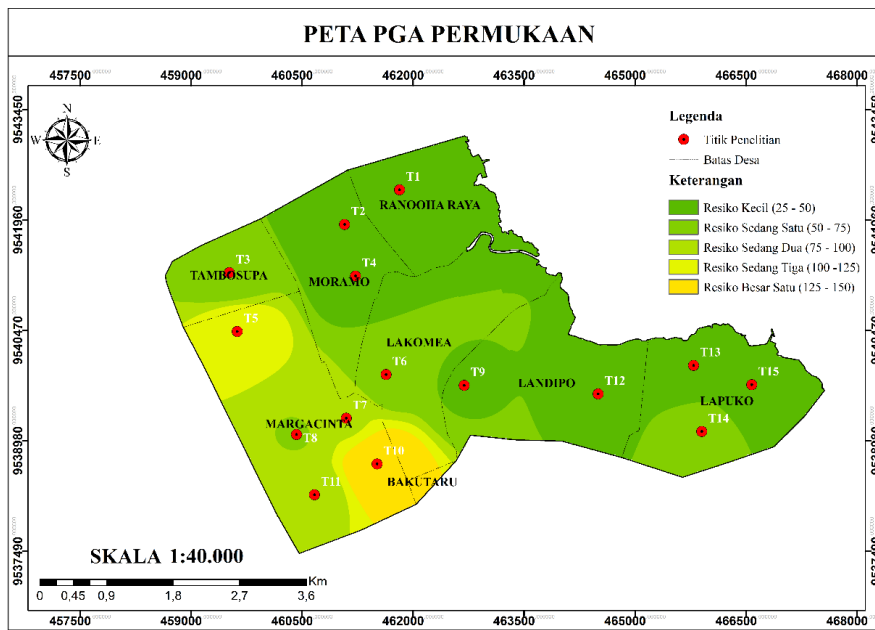
Nilai indeks kerentanan seismik diperoleh dari hubungan antara faktor amplifikasi dan frekuensi dominan seperti pada persamaan (2), dan diperoleh nilai indeks kerentanan seismik yang berkisar antara 0,62 - 29,67 s^2/cm .

Berdasarkan peta sebaran indeks kerentanan seismik pada **Gambar 1**, daerah

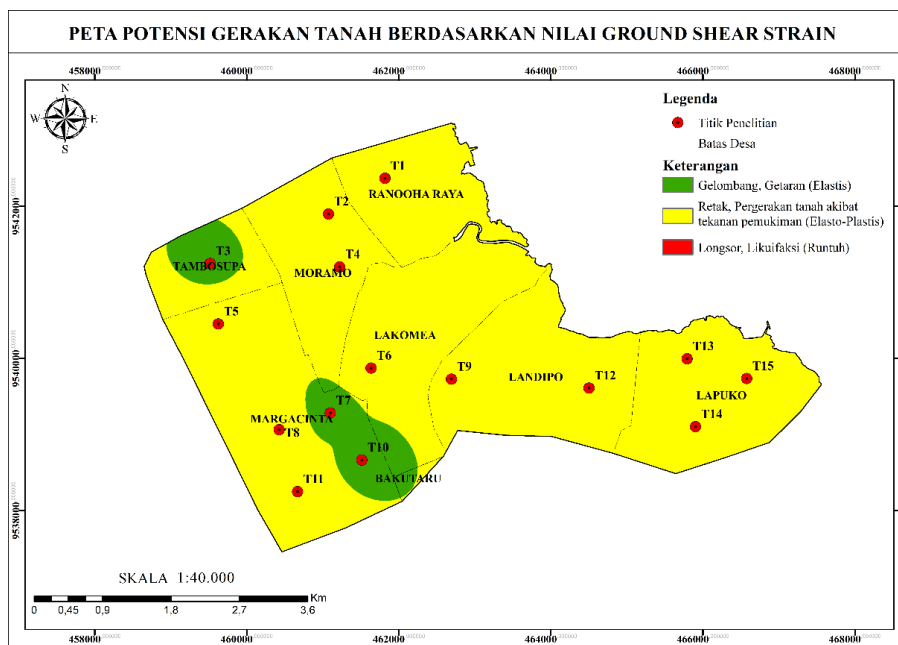
penelitian masuk dalam zona indeks kerentanan seismik rendah hingga tinggi. Zona indeks kerentanan seismik kategori tinggi lebih mendominasi yang direpresentasikan dengan daerah yang berwarna merah, dimana terdapat tujuh titik pengukuran, antara lain terletak di Desa Ranooha Raya, sebagian besar Desa Moramo dan Desa Landipo, dan Desa Lapuko dengan rentang nilai 7,29 - 29,67 s^2/cm . Zona indeks kerentanan seismik kategorisedang yang direpresentasikan dengan daerah yang berwarna kuning, terletak di sebelah utara dan selatan Desa Marga Cinta, dengan rentang nilai 3,22 - 3,38 s^2/cm . Dan untuk zona indeks kerentanan seismik kategori rendah yang direpresentasikan dengan daerah yang berwarna hijau, terletak di sebelah selatan Desa Lakomea, sebagian besar Desa Marga Cinta, sedikit disebelah barat Desa Landipo, dan disebelah selatan Desa Tambosupa dengan nilai 0,62 - 2,32 s^2/cm



Gambar 1. Peta sebaran indeks kerentanan seismik pada daerah penelitian



Gambar 2. Peta sebaran nilai PGA permukaan pada daerah penelitian



Gambar 3. Peta potensi gerakan tanah berdasarkan nilai GSS

4.3. Analisis Peak Ground Acceleration (PGA)

Berdasarkan nilai PGA permukaan yang diperoleh dan diklasifikasikan berdasarkan tingkat resiko, maka dibuatlah peta sebaran nilai PGA permukaan pada daerah penelitian seperti yang ditampilkan pada Gambar 2. Dalam Gambar 2, daerah penelitian masuk

dalam lima jenis tingkat resiko, yaitu resiko kecil, resiko sedang satu, resiko sedang dua, resiko tiga, dan resiko besar satu. Daerah penelitian yang masuk dalam kategori resiko kecil terletak di Desa Ranooha Raya, sebagian besar Desa Moramo, Landipo, dan Lapuko dengan rentang nilai 35,32 – 48,27 gal. Daerah penelitian yang masuk dalam kategori resiko

sedang satu terletak di Desa Tambosupa, sebagian besar Desa Lakomea, sebelah selatan Desa Lapuko, dan sedikit di Desa Marga Cinta dengan rentang nilai 52,48 – 74,88 gal. Daerah penelitian yang masuk dalam kategori resiko sedang dua terletak di sebagian besar Desa Marga Cinta dengan rentang nilai 92,34 – 98,41 gal. Sedangkan untuk daerah penelitian yang masuk dalam kategori resiko sedang tiga dan resiko besar satu masing-masing terletak disebelah utara Desa Marga Cinta dengan nilai 115,86 gal dan di sebelah tenggara Desa Marga Cinta dengan nilai 149,29 gal.

4.4. Analisis *Ground Shear Strain* (GSS)

Berdasarkan **Gambar 3**, sebaran nilai GSS pada wilayah pesisir Kecamatan Moramo memiliki nilai *strain* 10^{-5} , 10^{-4} , dan 10^{-3} . Jika dikorelasikan dengan tabel strain dari Ishihara (1982) pada **Tabel 1**, maka daerah penelitian mengalami dua fenomena lapisan tanah, yaitu gelombang atau getaran dan retak atau pergerakan tanah. Daerah penelitian yang mengalami fenomena gelombang atau getaran tanah terletak di sebelah timur dan tenggara Desa Marga Cinta serta di sebelah timur Desa Tambosupa dengan rentang nilai $9,293 \times 10^{-5}$ hingga $9,431 \times 10^{-5}$ yang ditandai dengan daerah yang berwarna hijau. Sedangkan untuk daerah penelitian yang mengalami fenomena retak atau pergerakan tanah terletak di Desa Ranooha Raya, Landipo, Moramo, Lapuko, dan sebagian besar Desa Marga Cinta dan Lakomea dengan rentang nilai $1,346 \times 10^{-4}$ hingga $1,173 \times 10^{-3}$ yang ditandai dengan daerah yang berwarna kuning.

Berdasarkan nilai GSS yang diperoleh dari hasil pengolahan data, daerah penelitian

hanya berpotensi menimbulkan retakan dan pergerakan tanah saat terjadi gempa bumi. Hal ini disebabkan oleh nilai GSS yang diperoleh belum mencapai nilai diatas 10^{-2} . Sehingga, berdasarkan hasil tersebut daerah penelitian tidak berpotensi mengalami kerusakan saat terjadi gempa bumi, seperti tanah longsor, kompaksi, dan likuifaksi.

Fenomena yang muncul berdasarkan nilai GSS dari penelitian ini dapat memberikan informasi daerah yang lebih direkomendasikan untuk dilakukan pembangunan, yaitu kawasan yang memiliki nilai GSS yang lebih kecil seperti kawasan sekitar Desa Marga Cinta, Bakutaru, Tombasupa. Dan daerah yang memiliki nilai GSS yang lebih tinggi kurang direkomendasikan untuk dilakukan pembangunan.

5. KESIMPULAN

Sebaran nilai GSS (*Ground Shear Strain*) di daerah Pesisir Kecamatan Moramo berkisar antara $9,293 \times 10^{-5}$ sampai $1,173 \times 10^{-3}$. Nilai tertinggi berada pada kawasan Desa Marga Cinta yaitu $9,293 \times 10^{-5}$ dan nilai terendah berada pada kawasan Desa Lapuko yaitu $1,173 \times 10^{-3}$.

Berdasarkan nilai GSS (*Ground Shear Strain*) yang diperoleh, maka daerah pesisir di Kecamatan Moramo hanya mengalami fenomena retak atau pergerakan tanah akibat tekanan pemukiman dan gelombang atau getaran saat terjadi gempa bumi. Nilai GSS yang diperoleh di daerah penelitian hanya mencapai 10^{-3} , sehingga tidak berpotensi mengalami deformasi, seperti longsor, kompaksi, dan likuifaksi saat terjadi gempa bumi.

DAFTAR PUSTAKA

- Arifin, S. S., Mulyanto, B. S., Marjiyono, & Setianegara, R. (2014). Penentuan Zona Rawan Guncangan Bencana Gempa Bumi Berdasarkan Analisis Nilai Amplifikasi HVSR Mikrotremor Dan Analisis Periode Dominan Daerah Liwa dan Sekitarnya. *Jurnal Geofisika Eksplorasi*, 2(1), 30–46.
- BNPB. (2022). *Dokumen Kajian Risiko Rencana Nasional Provinsi Sulawesi Tenggara 2022 - 2026*. 173.
- Fukushima, Y., & Tanaka, T. (1990). A New Attenuation Relation For Peak Horizontal Acceleration Of Strong Earthquake Ground Motion In Japan. 80(4).
- Jamal, R. J., Lantu, Aswad, S., & Sulaiman, C. (2017). Mikrozonasi Kawasan Rawan Bencana Gempabumi Dengan Studi Peak Ground Acceleration Menggunakan Metode Boore Atkinson Dan Data Mikrotremor Di Daerah Kupang. *Jurnal Geocelebes*, 1(1), 5–12. <https://doi.org/10.20956/geocelebes.v1i1.1774>
- Kumala, S. A., Huda, D. N., & Irawan, M. C. (2018). Analisis PGA (Peak Ground Acceleration) Berdasarkan Data Gempa untuk Wilayah Jakarta Timur Menggunakan Software PSHA. *Faktor Exacta*, 11(4), 379–384. <https://doi.org/10.30998/faktorexacta.v11i4.2974>
- Lachet, 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>
- Nakamura, Y. (1989). A Method for Dynamic Characteristics Estimation of using Mikrotremor on the Ground Subsurface. *Railway Technical Research Institute*, 30(1), 25–33.
- Nakamura, Y. (1997). Seismic Vulnerability Indices For Ground And Structures Using Mikrotremor. *World Congress on Railway Research*, 1–7.
- Nakamura, Y. (2000). Clear Identification Of Fundamental Idea Of Nakamura's Technique And Its Applications. *System and Data Research Co. Ltd.*, 2656, 1–8.
- Saaduddin, Sismanto, & Marjiyono. (2015). Pemetaan Indeks Kerentanan Seismik Kota Padang Sumatera Barat Dan Korelasinya Dengan Titik Kerusakan Gempabumi 30 September 2009. *Seminar Nasional Kebumihan Ke-8, October*, 459–466.
- Setiawati, Y., Wibowo, N., & Darmawan, D. (2017). Analisis GSS (Ground Shear Strain) dengan Metode HVSR Menggunakan Data Mikroseismik Pada Jalur Sesar Opak. *Jurnal Fisika*, 6(2), 132–138.
- Sugianto, N., & Suhendra, M. F. (2017). Kondisi Geologi Lokal Kota Bengkulu Berdasarkan Ground Shear Strain (GSS). *Spektra: Jurnal Fisika Dan Aplikasinya*, 2(April), 29–36. <https://doi.org/http://doi.org/10.21009/SPEKTRA>
- Wibowo, N. B., & Gunawan, A. (2014). Analisis Spasial Respon Bendungan terhadap Model Peak Ground Acceleration (PGA) Berdasarkan Karakteristik Mikrotremor, Geologi Regional dan Amatan Instrumentasi pada Bendungan Sermo Kulonprogo. *Indonesian Journal of Applied Physics*, 4(02), 115–125. <https://doi.org/10.13057/ijap.v4i02.4972>
- Yuliawati, W. S., Rasimeng, S., & Karyanto. (2019). Pengolahan Data Mikrotremor Berdasarkan Metode HVSR Dengan Menggunakan Matlab. *Jurnal Geofisika Eksplorasi*, 5(1), 45–59. <https://doi.org/10.23960/jge.v>