

MIKROZONASI SEISMIK KABUPATEN PASAMAN BARAT BERDASARKAN PENGUKURAN MIKROTREMOR

M. Darma Agung^{1*}, Rusnardi Rahmat Putra²

^{1*}Mahasiswa magister Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Andalas, Padang.
Email: mdarmaagung@gmail.com

²Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Padang, Padang.
Email: rusnardi.rahmat@ft.unp.ac.id

ABSTRACT

Based on its geological location, West Pasaman Regency, as one of the provinces in West Sumatra, is in an earthquake-prone area. Earthquake-prone areas in West Sumatra are caused by the Megathrust fault, the Mentawai fault, and the Sumatra fault. Recently, an earthquake with a magnitude of 6.1 Mw hit West Pasaman Regency, causing various damages. After the earthquake, BMKG advised the district government to immediately prepare mitigation and spatial planning so that the impact of future earthquakes could be minimized. This research aims to reveal the form of seismic microzonation based on microtremor recording data. This study used 62 microtremor recording sample points randomly distributed throughout the area of West Pasaman. Data collection was carried out in this study using the GPL-6A3P microtremor device. First, the horizontal-to-vertical spectral ratio (HVSr) was calculated for all locations. The HVSr peak period is known to correspond to the site resonance period. The results of this research show that the seismic vulnerability index for West Pasaman has varying values depending on the natural frequency of the soil and the amplification of rock sites. The area that has high vulnerability is Nagari Kajai, then in the northern part, namely the Lembah Melintang and Ranah Batahan, and in areas along the coast.

Keywords : Earthquake, Seismic Microzonation, Microtremor, Vulnerability Index, fault

ABSTRAK

Berdasarkan letak geologinya, Kabupaten Pasaman Barat sebagai salah satu provinsi di Sumatera Barat berada pada kawasan rawan gempa bumi. Kawasan rawan gempa bumi di Sumatera Barat disebabkan karena adanya sesar Megathrust, Sesar Mentawai dan Sesar Sumatera. Baru-baru ini, gempa bermagnitudo 6,1 Mw melanda Kabupaten Pasaman Barat yang mengakibatkan berbagai kerusakan. Pasca gempa bumi, BMKG menyarankan kepada Pemkab untuk segera mempersiapkan mitigasi dan tata ruang, agar dampak akibat gempa di masa mendatang bisa diminimalisir. Penelitian ini bertujuan untuk mengungkapkan bentuk mikrozonasi seismik berdasarkan data perekaman mikrotremor. Penelitian ini menggunakan 62 titik sampel perekaman mikrotremor yang terdistribusi acak pada seluruh wilayah di Pasaman Barat. Pengambilan data yang dilakukan pada penelitian ini menggunakan perangkat mikrotremor GPL-6A3P. Pertama, rasio spektrum horizontal dan vertikal (HVSr) dihitung untuk semua lokasi. Periode puncak HVSr diketahui sesuai dengan periode resonansi situs. Hasil penelitian ini menunjukkan *Seismic Vulnerability Index* untuk Pasaman barat memiliki nilai yang beragam tergantung pada frekuensi natural tanah dan amplifikasi situs batuan. Daerah yang memiliki kerentanan tinggi adalah Nagari Kajai, kemudian pada bagian utara, yaitu Lembah melintang dan Ranah Batahan dan pada daerah sepanjang pesisir.

Kata Kunci : Gempa Bumi, Mikrozonasi Seismik, Mikrotremor, kata kunci 4, kata kunci 5

1. PENDAHULUAN

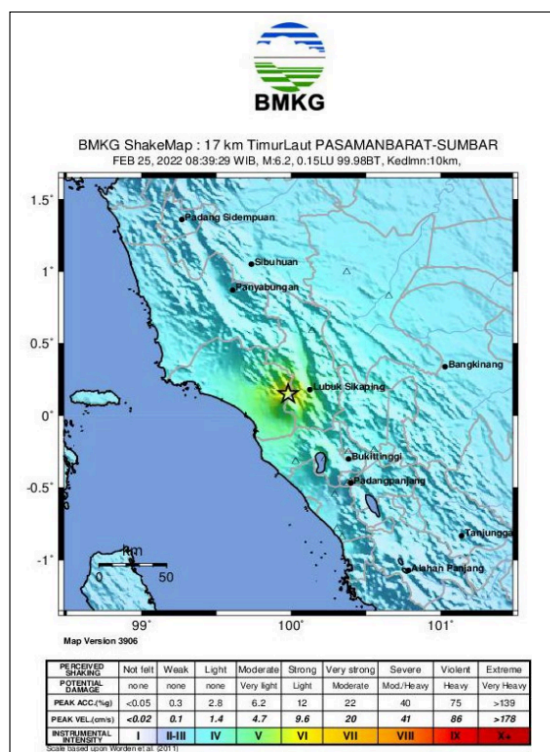
Pulau Sumatera, salah satu pulau utama di Indonesia, terbentuk akibat aktivitas tektonik, yaitu *Sumatra low angle oblique subduction zone*, *Mentawai Thrust Fault*, dan *Great Sumatra Fault Zone* (Hududillah dkk, 2017). Gempa-gempa yang berafiliasi dengan zona patahan Sumatera merupakan gempa-gempa berkekuatan sedang hingga kuat dengan potensi kedalaman dangkal, kurang dari 20 km. kuat gempa dengan kedalaman yang dangkal dapat mengakibatkan kerusakan yang hebat dan sangat memungkinkan terjadinya bencana ikutan berupa tanah longsor, hal ini akan menambah risiko kerugian yang dapat diakibatkan oleh gempa bumi pada wilayah tersebut. Pada bagian barat Pulau Sumatera, terdapat garis patahan sepanjang 500 km yang membentang dari Singkarak, Padang Panjang, Padang, dan Painan (Lange dkk, 2018) (Wils dkk, 2021).

Pada tanggal 25 Februari 2022 pukul 08:40 waktu setempat, Patahan Sumatera kembali mengakibatkan gempa bermagnitudo 6,1 Mw melanda bagian barat Sumatera. Pusat gempa berada tepat pada 0,15°LU, dan 99,98°BT (**Gambar. 1**). Pusat gempa terletak 17 km timur laut Pasaman Barat dan berada pada kedalaman 10 Km, dengan efeknya terasa hingga ke Singapura dan Malaysia. Gempa sebelumnya (08:36 Waktu Setempat) adalah gempa *foreshock*, Mw 5.2 kedalaman 10 km yang berlokasi pada 0,14°LU, dan 99,99°BT. Selanjutnya kejadian ini dikenal dengan Gempa Pasaman Barat 2022.

Hasil analisis mekanisme (BMKG, 2022) menunjukkan bahwa gempa bumi ini memiliki mekanisme pergerakan sesar *dextral slip fault*. Hasil pemodelan menunjukkan gempa tidak berpotensi tsunami. Gempa bumi tersebut telah menimbulkan guncangan pada beberapa daerah dengan intensitas antara II hingga VI skala *Mercalli Modified Intensity* (MMI). Berdasarkan data yang didapatkan dari pemerintah lokal, hingga 9 Maret 2022, tercatat 11 orang meninggal, 45 orang luka berat dan 336 orang luka ringan. Pada bidang sarana dan prasarana, dilaporkan 2.025 pemukiman, 75 fasilitas pendidikan, 40 rumah ibadah dan 42 fasilitas pemerintahan telah rusak. Daerah terdampak gempa Pasaman Barat, secara geologi disusun oleh endapan Kuartar yaitu endapan gunung api dan aluvium yang telah mengalami pelapukan (**Gambar 2**). Pada umumnya batuan-batuan tersebut bersifat lepas, lunak, urai, dan belum terkonsolidasi (*unconsolidated*), sehingga rawan terhadap guncangan gempa bumi. Tanah pelapukan bersifat urai terutama pada tebing/lereng, serta mudah diinfiltrasi oleh air dan akar tumbuhan (Kementrian ESDM, 2022).

Di Pasaman Barat patahan geologi yang dominan adalah Sesar Great Sumatra Fault Zone yang terdiri dari tipe : Sesar Turun, Lipatan, dan Geser. Ada kelurusan-kelurusan sesar seperti sesar yang melintang dari Gunung Malintang dan Gunung Talamau, berupa pola-pola kelurusan dari morfologi dan sesar. Pelat Tektonik (ocean crust) selalu bergerak ke arah Utara-Timur Laut dan menunjам ke bawah karena bertemu Lempeng Daratan Kontinental (continental crust) yang saling bergerak berlawanan arah,

akibatnya daerah sepanjang Pulau Sumatera dari Aceh sampai Lampung sebelah Selatan selalu bergerak dan tidak stabil (PUPR, 2017). Karena karakteristik geologi lokal di Pasaman Barat dan sekitarnya yang kompleks (Gambar 2), dan terutama dengan kerusakan gempa yang dialami, efek situs lokal pada gerakan tanah berpotensi memiliki efek untuk Pasaman Barat dalam hal kerusakan struktural dan kerugian finansial.



Gambar 1. Intensity Map Gempa Pasaman Barat 2022

Sumber : BMKG, 2022

Gempa yang terjadi juga memicu terjadi gerakan tanah di bagian hulu sungai. Longsor yang menutup jalur jalan Kajai-Talu terjadi pasca gempa. Gempa yang terjadi menyebabkan kekuatan batuan berkurang. Longsor pada jalur jalan dipengaruhi oleh berkurangnya kekuatan batuan/lereng yang dipicu curah hujan yang tinggi.

Kepala BMKG menjelaskan dari hasil survei yang telah dilakukan, dipastikan bahwa gempa yang terjadi itu tidak berada di segmen Angkola dan Segmen Sianok (Noli, 2022). BMKG memastikan bahwa sumber gempa kali ini berada di patahan baru yang belum teridentifikasi sebelumnya. Patahan ini diberi nama dengan Patahan Talamau. Selama ini di Talamau tidak terpantau dan juga belum pernah melakukan identifikasi potensi gempa, sehingga Talamau termasuk dalam zona aman. Akan tetapi melihat dampak yang terjadi akibat guncangan magnitudo 6,1 tersebut, Talamau pun menjadi zona merah. Dengan adanya perubahan zona itu setelah ditemukannya patahan baru,

BMKG menyarankan kepada Pemkab untuk segera mempersiapkan mitigasi dan tata ruang, agar dampak akibat gempa di masa mendatang bisa diminimalisir.

Pada standar perencanaan bangunan tahan gempa Indonesia, terdapat gambaran daerah rawan gempa dan spektrum respon untuk seluruh wilayah di Indonesia (Badan Standarisasi Nasional Indonesia, 2019). Peta rawan gempa didasarkan pada analisis probabilitas bahaya seismik dengan mempertimbangkan kondisi batuan dasar dan sebaran sesar aktif (Iryam dkk, 2013). Mempertimbangkan skala peta nasional, ada kebutuhan untuk menyediakan studi mikrozonasi seismik dengan mempertimbangkan efek lokasi lokal dari kondisi geologi berdasarkan penyelidikan lokasi aktual dan pengukuran lapangan (Ansal dkk, 2010). Sebelumnya, pengamatan tunggal mikrotremor untuk memperkirakan amplifikasi yang bergantung pada lokasi Investigasi karakteristik dan perekaman mikrotremor untuk mendapatkan kondisi tanah struktur bawah permukaan telah dilakukan di Padang (Kiyono, 2011) dan Palu (Putra, 2016) Indonesia.

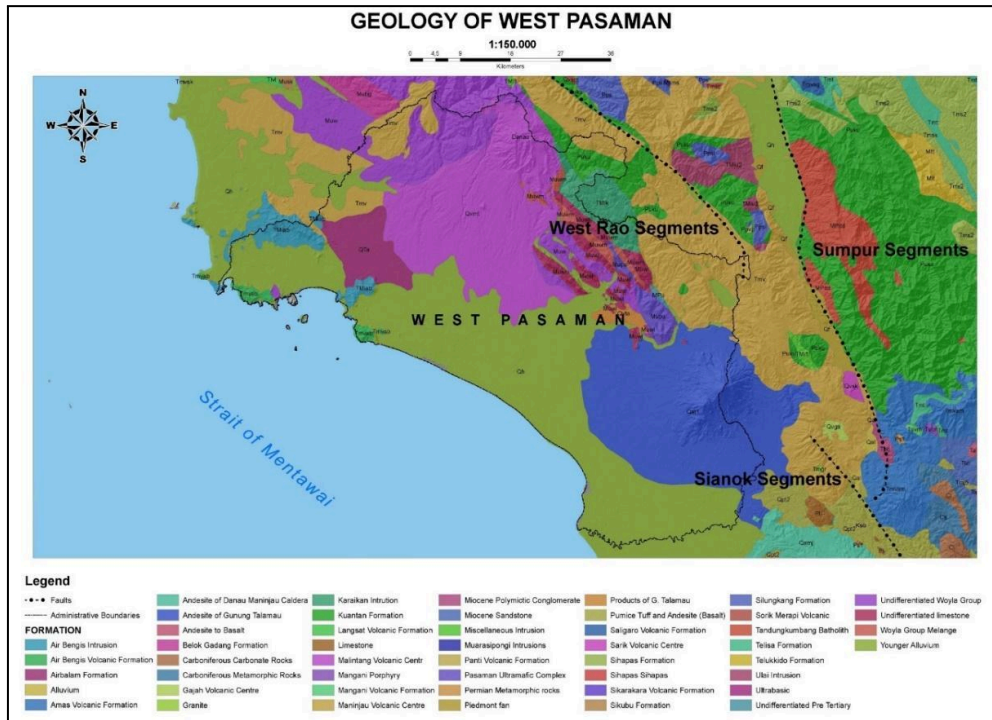
Tujuan penelitian ini adalah untuk mengungkap karakteristik geologi permukaan sebagai salah satu komponen dalam kajian bencana gempa bumi di wilayah Pasaman Barat. Perekaman mikrotremor ini dimaksudkan untuk mengetahui karakteristik dinamika tanah sebagai dasar dalam penyusunan peta mikrozonasi bahaya guncangan gempa bumi wilayah Pasaman Barat. Hasil penelitian ini juga diharapkan dapat dipakai sebagai acuan dasar dalam penataan ruang wilayah.

2. METODE PENELITIAN

Mikrotremor adalah getaran tanah yang sangat kecil yang dapat direkam di permukaan tanah. Hal ini diakibatkan oleh berbagai eksitasi (misalnya, angin, lalu lintas, gelombang laut). Perekaman Mikrotremor dapat dideskripsikan dari satu komponen vertikal dan dua komponen horizontal. Pengambilan data yang dilakukan pada penelitian ini menggunakan perangkat mikrotremor GPL-6A3P. Pertama, rasio spektrum horizontal dan vertikal (HVSR) dihitung untuk semua lokasi. Periode puncak HVSR diketahui sesuai dengan periode resonansi situs. Metode ini mendalilkan bentuk spektrum Fourier. Penelitian ini berhasil melakukan perekaman 64 survei lokasi (**Gambar 3**) yang mengambil sampel di setiap kecamatan di Pasaman Barat. Persamaan (1) menunjukkan metode yang digunakan untuk menghitung HVSR menggunakan hasil data yang telah direkam.

$$HVSR = \sqrt{\frac{F_{NSI}(\omega)^2 + F_{EWI}(\omega)^2}{F_{UDI}(\omega)^2}} \quad (1)$$

Komponen horizontal (NS dan EW) dan vertikal (UD) direkam secara bersamaan selama 10 menit dengan frekuensi sampling 100 Hz sesuai dengan panduan (SESAME, 2004), (Stanko dkk, 2019).



Gambar 2. Kondisi Geologi Kabupaten Pasaman Barat

Pengukuran mikrotremor menggunakan rasio spektral adalah metode yang paling handal dan paling sederhana untuk menentukan struktur dan karakteristik dinamis tanah seperti frekuensi natural tanah. Metode HVSR yang diusulkan oleh Nakamura (Nakamura, 1989), (Nakamura, 1997), telah banyak digunakan untuk penelitian lain (Tuncel, 2021), (Xu dan Wang, 2021), yang pada dasarnya berguna untuk memperkirakan respon tanah seismik lokal. Perkiraan frekuensi tanah HVSR dan amplitudo puncak hanya memberikan indikasi frekuensi situs tanah awal dan amplifikasi tanpa pengaruh gempa (Mucciarelli, 1998) (Rong dkk, 2017). Rekaman mikrotremor lengkap dapat diambil dari satu komponen vertikal dan dua komponen horizontal (Olimat, 2019).

Metode HVSR mikrotremor yang bersifat non-destruktif telah menjadi metode yang populer oleh banyak peneliti untuk melakukan studi tentang respons seismik yang sederhana dan cepat. Adapun penyelidikan in-situ geofisika memerlukan profil jarak yang seringkali beberapa puluh meter dan menjadi masalah besar di beberapa situs

(seperti monumen bersejarah, lereng, bukit, gedung dan lain-lain.) karena kurangnya ruang, tetapi pengukuran mikrotremor dapat mengatasi masalah ini.



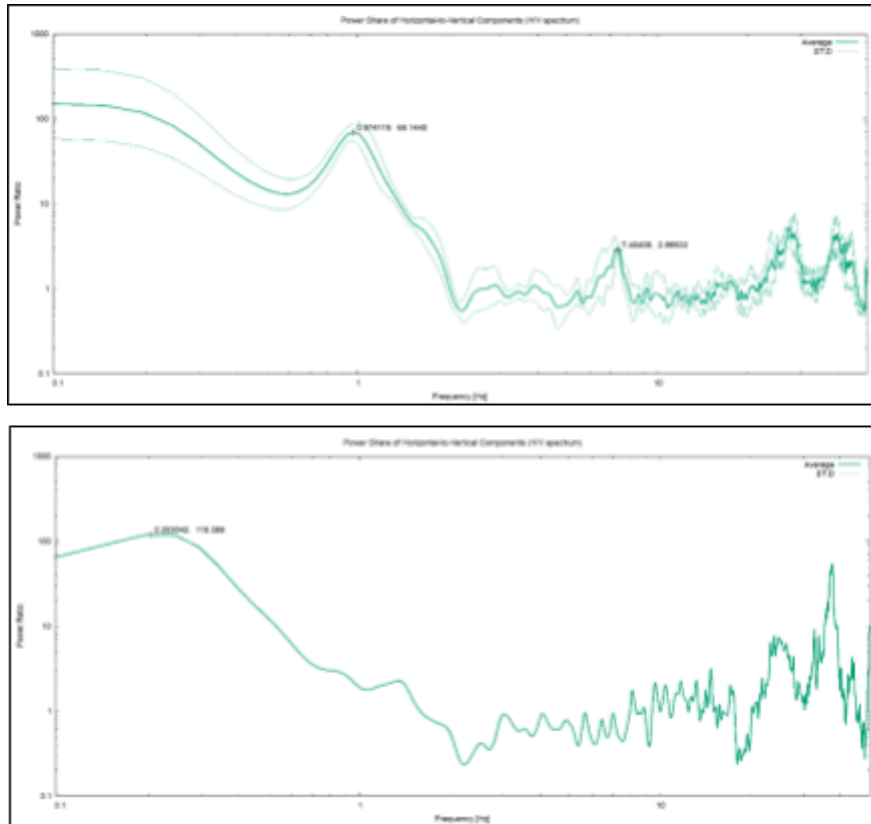
Gambar 3. Sebaran titik sampel perekaman mikrotremor di wilayah penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini menggunakan 64 data perekaman mikrotremor yang tersebar di seluruh kecamatan di Pasaman Barat. Titik perekaman ditentukan secara acak namun diprioritaskan lebih banyak pada kawasan yang mengalami kerusakan terparah akibat gempa 6.1 Mw yang lalu. Observasi dilakukan pada Februari dan Juli 2022.

Puncak (*clear peak*) gelombang dari HVSR dari situs yang diobservasi memiliki korelasi dengan kondisi periode dominan dan geologi lokal, yaitu kecepatan gelombang geser dan ketebalan sedimen (Molnar dkk, 2018) (Leyton dkk, 2013). **Gambar 4** menunjukkan beberapa contoh dari plot HVSR yang menunjukkan puncak yang jelas. Pada gambar, dapat diidentifikasi bahwa nilai f_0 pada titik Sungai aur adalah 0,974 hertz dan 0,20 pada titik Sasak Pasisie. Karena $T = 1/f$ dengan T adalah periode dominan dan f adalah frekuensi, hubungan antara periode dominan berdasarkan

perekaman mikrotremor (Kanai, 1983) dengan klasifikasi tanah dapat dilihat pada **Tabel 1**.



Gambar 4. Clear Peak pada situs terpilih ; (a) Sungai Aur, (b) Sasak Ranah Pasisia

Berdasarkan hasil observasi mikrotremor dan analisis HVSR (**Gambar 4**), peta periode predominant untuk Pasaman Barat diperoleh dengan menggunakan metode interpolasi spasial. Berdasarkan peta periode predominant dan membandingkan langsung dengan peta geologi (**Gambar 2**) dapat dilihat korelasi yang kuat antara predominant tanah dasar dan karakteristik situs lokal, dimana nilai predominant tinggi diamati pada aluvial sedimen lunak di zona Sasak sedangkan sedimen lebih tebal di atas batuan dasar dengan frekuensi yang rendah ke arah kaki Gunung Talamau. Berdasarkan hasil analisis dari periode predominant, terlihat bahwa Kajai (daerah yang mengalami kerusakan paling banyak) berada pada wilayah tanah keras ($T < 1.0$ Sekon). Peta predominant tanah untuk Provinsi Pasaman Barat memberikan informasi berharga untuk menilai resonansi struktur tanah di zona bahaya potensial menggunakan hubungan antara frekuensi bangunan dasar dan ketinggian struktur bangunan bertulang (Mucciarelli dan Gallipoli, 2001) (Gosar, 2017).

Tabel 1. Korelasi frekuensi dominan dengan klasifikasi tanah

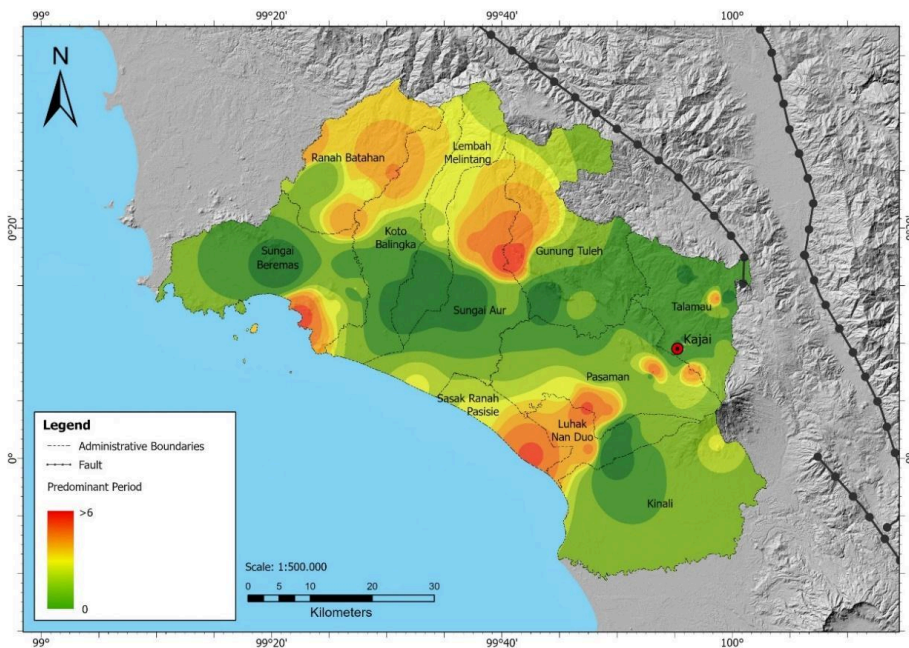
Klasifikasi Tanah	Frekuensi Predominan (Hz)	Periode Predominan (sekon)	Keterangan
Tipe I	6,67 – 20	0,05 – 0,15	Batuan tersier atau lebih tua. Terdiri dari batuan pasir berkerikil keras (hard sandy gravel)
Tipe II	4,6 – 6,67	0,15 – 0,25	Batuan Alluvial dengan ketebalan 5 m. Terdiri dari pasir berkerikil (sandy gravel) pasir berlempung keras (sandy hard clay)
Tipe III	2,5 – 4,0	0,25 – 0,4	Batuan alluvial yang hampir sama dengan tipe II, hanya dibedakan oleh adanya formasi yang belum diketahui (buff formation)
Tipe IV	< 2,5	> 0,4	Batuan alluvial yang terbentuk dari sedimentasi delta, top soil, lumpur dengan kedalaman 30 m.

Indeks kerentanan seismik adalah indeks yang memperlihatkan tingkat kerentanan lapisan tanah permukaan terhadap deformasi saat terjadi gempa. Indeks ini berguna untuk mengidentifikasi daerah yang relatif lemah pada saat kejadian gempa Untuk menentukan nilai indeks kerentanan seismik suatu daerah perlu diperhatikan faktor kondisi geologi daerah setempat. Indeks kerentanan seismik dipengaruhi oleh nilai frekuensi natural (f_0) dan amplifikasi yang didapatkan dari hasil analisis spektrum mikrotremor. Tingkat indeks kerentanan tanah yang tinggi biasanya ditemukan di daerah dengan frekuensi resonansi yang rendah. Nakamura (Nakamura, 2000) telah menunjukkan bahwa ada korelasi berkualitas tinggi antara indeks kerentanan seismik (Kg) dan distribusi kerusakan akibat gempa bumi. Hasil indeks kerentanan seismik diperoleh dengan mengkuadratkan nilai puncak spektrum mikrotremor dibagi frekuensi resonansi seperti yang telah dikemukakan oleh Nakamura berikut :

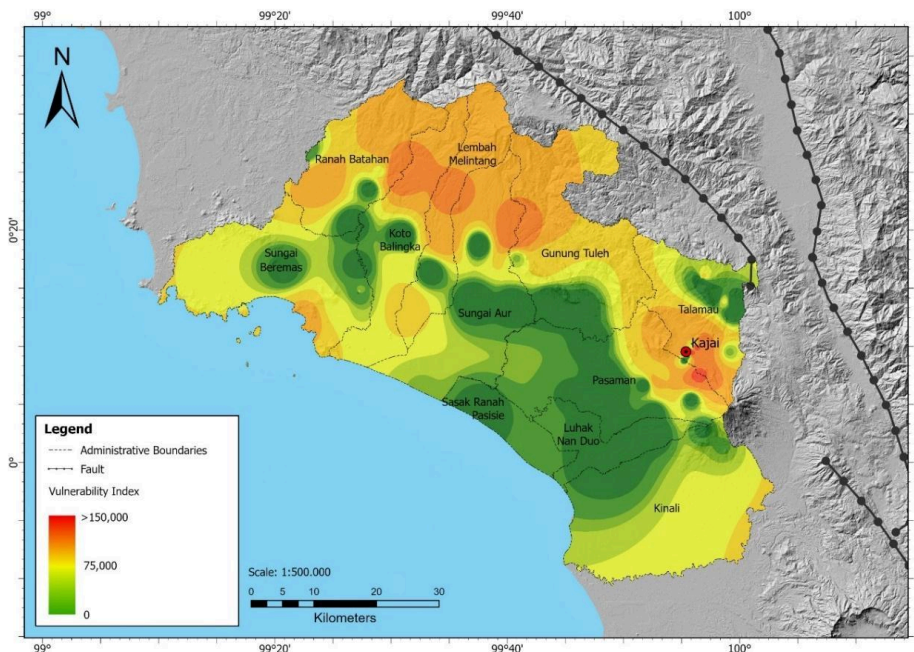
$$Kg = \frac{A^2}{f_0} \quad (2)$$

dimana A adalah faktor amplifikasi dan f_0 adalah frekuensi natural tanah di lokasi setempat.

Gambar 5 menunjukkan peta seismik vulnerability index untuk Kabupaten Pasaman Barat. Pada gambar terlihat beragam nilai kerentanan seismik untuk wilayah studi. Semakin besar nilai K_g , semakin berpotensi menimbulkan kerusakan suatu daerah akibat gempa, sebaliknya semakin rendah maka semakin rendah suatu daerah berpotensi mengalami kerusakan akibat gempa. Pada peta terlihat Nagari Kajai termasuk kedalam zona yang memiliki kerentanan tinggi. Walaupun berada pada tanah yang keras (**Gambar 4**), hal ini bisa saja terjadi karena nilai amplifikasi tanah yang besar pada daerah tersebut. Adapun daerah selanjutnya yang memiliki kerentanan tinggi adalah bagian utara, yaitu Lembah melintang dan Ranah Batahan dan pada daerah sepanjang pesisir.



Gambar 4. Peta periode predominant Kabupaten Pasaman Barat



Gambar 5. Peta Seismic Vulnerability Index Kabupaten Pasaman Barat

4. KESIMPULAN

Pada penelitian ini berhasil memetakan tingkat kerentanan seismik wilayah Pasaman Barat. Untuk Periode Predominan, terdapat korelasi yang kuat antara dominan tanah dasar dan karakteristik situs lokal, dimana nilai predominant tinggi diamati pada aluvial sedimen lunak di zona Sasak sedangkan sedimen lebih tebal di atas batuan dasar dengan frekuensi yang rendah ke arah kaki Gunung Talamau. *Seismic Vulnerability Index* untuk Pasaman barat memiliki nilai yang beragam tergantung pada frekuensi natural tanah dan amplifikasi situs batuan. Daerah yang memiliki kerentanan tinggi adalah Nagari Kajai, kemudian pada bagian utara, yaitu Lembah melintang dan Ranah Batahan dan pada daerah sepanjang pesisir.

Untuk penelitian selanjutnya, sangat penting untuk melakukan penelitian dengan menggunakan metode lain. Penambahan jumlah titik uji juga sebaiknya juga difokuskan di bagian selatan Pasaman Barat untuk mendapatkan informasi yang lebih detail. Hal ini harus dilakukan sebagai salah satu mitigasi bencana untuk mengurangi potensi kerusakan yang dapat terjadi di masa mendatang.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Ansal, A., Kurtulus, A., & Tonuk, G. (2010). Seismic microzonation and earthquake damage scenarios for urban areas. *Journal of Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 30, 1319-1328.
- Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) Indonesia. (2022). Ulasan Guncangan Tanah Akibat Gempa Bumi di Timur Laut Pasaman Barat 25 Februari 2022.
- Badan Standarisasi Nasional Indonesia. (2019). Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan nongedung.
- Dinas Pekerjaan Umum dan Penataan Ruang (PUPR) Kabupaten Pasaman Barat. (2017). Rencana Pembangunan Jangka Menengah Daerah (RPJMD) Pasaman Barat 2017-2021.
- Gosar, A. (2017). Study on the applicability of the microtremor HVSR method to support seismic microzonation in the town of Idrija (W Slovenia). *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 17(6), 925-937.
- Hududillah, T. H., Simanjuntak, A. V. H., & Husni, M. (2017). Identification of active fault using analysis of derivatives with vertical second based on gravity anomaly data (Case study: Seulimeum fault in Sumatera fault system). *AIP Conference Proceedings*, 1857, 030004.

- Iryam, M., Hendriyawan, Asrurifak, M., Ridwan, M., Aldiamar, F., Sengara, I. W., ... & Firmanti, A. (2013). Past earthquakes in Indonesia and new seismic hazard maps for earthquake design of buildings and infrastructures. In *Geotechnical Predictions and Practice in Dealing with Geohazards* (pp. 33-46). Springer.
- Kementrian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) Indonesia. (2022). Laporan Singkat Tanggap Darurat Bencana Gempa Bumi tanggal 25 Februari 2022 di daerah Pasaman Barat.
- Kiyono, J., & Ono, Y. (2011). Estimation of earthquake ground motion in Padang, Indonesia. *GEOMATE Journal*, 1(1), 71-77.
- Kanai. (1983). *Engineering Seismology*. Tokyo University.
- Lange, D., Tilmann, F., Henstock, T., Rietbrock, A., Natawidjaja, D., & Kopp, H. (2018). Structure of the central Sumatran subduction zone revealed by local earthquake travel-time tomography using an amphibious network. *Solid Earth*, 9(4). <https://doi.org/10.5194/se-9-1035-2018>
- Leyton, F., Ruiz, S., Sepúlveda, S. A., Contreras, J. P., Rebolledo, S., & Astroza, M. (2013). Microtremors' HVSR and its correlation with surface geology and damage observed after the 2010 Maule earthquake (Mw 8.8) at Talca and Curicó, Central Chile. *Engineering Geology*, 161, 26-33.
- Molnar, S., Cassidy, J. F., Castellaro, S., Cornou, C., Crow, H., Hunter, J. A., ... & Yong, A. (2018). Application of microtremor horizontal-to-vertical spectral ratio (MHVSR) analysis for site characterization: State of the art. *Surveys in Geophysics*, 39, 613-631.
- Mucciarelli, M. (1998). Reliability and applicability of Nakamura's technique using microtremors: an experimental approach. *Journal of Earthquake Engineering*, 2(04), 625-638.
- Mucciarelli, M., & Gallipoli, M. R. (2001). A critical review of 10 years of microtremor HVSR technique. *Boll. Geof. Teor. Appl*, 42(3-4), 255-266.
- Nakamura, Y. (1989). Nakamura a Method for Dynamic Characteristics of Surface.pdf. In *Proc. 20th JSCE Earthquake Eng. Symposium*.
- Nakamura, Yutaka. (1997). Seismic vulnerability indices for ground and structures using microtremor. *World Congress on Railway Research*.
- Nakamura, Y. (2000). Clear identification of fundamental idea of Nakamura's Technique and its applications. In *Proceedings of the 12th World Conference on Earthquake Engineering* (pp. 2656-2664). Auckland, New Zealand.
- Noli H. (2022). "BMKG Finds New Fault at the Location of the West Pasaman Talamau Earthquake Center". Retrieved from <https://sumatra.bisnis.com/read/20220301/533/1505911/bmkg-temukan-patahan-baru-di-lokasi-pusat-gempa-talamau-pasaman-barat> on September 10, 2022.
- Olimat, W. E. (2019). Seismic site effect estimation using microtremor studies in the archaeological city of Jerash in Jordan. *Acta Geologica Sinica - English Edition*, 93(S1). <https://doi.org/10.1111/1755-6724.14081>

Putra, R. R., Junji, K., Yoshimoto, Y., Yusuke, O., & Syahril, S. (2016). Determined soil characteristic of Palu in Indonesia by using microtremor observation. *International Journal of Geomate*, 10(2), 1737-1742.

Rong, M., Fu, L. Y., Wang, Z., Li, X., Carpenter, N. S., Woolery, E. W., & Lyu, Y. (2017). On the amplitude discrepancy of HVSR and site amplification from strong-motion observations. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 107(6), 2873-2884.

SESAME. (2004). *Guidelines For The Implementation Of The H/V Spectral Ratio Technique on Ambient Vibrations*. Europe: SESAME Europe research project.

Stanko, D., Markušić, S., Gazdek, M., Sanković, V., Slukan, I., Ivančić, I. (2019). Assessment of the Seismic Site Amplification in the City of Ivanec (NW Part of Croatia) Using the Microtremor HVSR Method and Equivalent-Linear Site Response Analysis. *Geosciences*, 9, 312. <https://doi.org/10.3390/geosciences9070312>

Tunçel, A. (2021). Estimation of soil dynamic parameters by using ambient noise and scenario earthquake in Aliğa/İzmir (Western Anatolia). *Arabian Journal of Geosciences*, 14(3). <https://doi.org/10.1007/s12517-021-06653-y>

Wils, K., Daryono, M. R., Praet, N., Santoso, A. B., Dianto, A., Schmidt, S., ... & De Batist, M. (2021). The sediments of Lake Singkarak and Lake Maninjau in West Sumatra reveal their earthquake, volcanic and rainfall history. *Sedimentary Geology*, 416. <https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2021.105863>