

Analisis *Ground Shear Strain* HVSR untuk Mengidentifikasi Potensi Gerakan Tanah di Kecamatan Kadia, Kota Kendari

HVSR Ground Shear Strain Analysis to Identify Potency of Ground Movement at Kadia District, Kendari City

Kristiani Eka Ratte¹, Abdul Manan^{2*}, dan LD. Ihksan Juarzan³

¹Jurusan Teknik Geofisika Universitas Halu Oleo; Kampus Hijau Bumi Tridharma; Kota Kendari

Article history:

Received: 30 May 2024

Accepted: 29 July 2024

Keywords:

Ground Shear Strain;

Peak Ground Acceleration;

Seismic Vulnerability Index;

HVSR;

Microtremor.

*Correspondent author:

amanan@uho.ac.id

Abstrak. Penelitian tentang *Ground Shear Strain* (GSS) ini dilakukan untuk mengetahui potensi gerakan tanah di Kecamatan Kadia, Kota Kendari. Dalam pelaksanaannya, GSS diolah dengan menggunakan data mikrotremor hasil pengukuran di lapangan. GSS merupakan hasil perkalian antara Indeks Kerentanan Seismik (K_s) dan *Peak Ground Acceleration* (PGA) basement. Data mikrotremor diambil pada 16 titik pengukuran dengan jarak antar titik pengukuran adalah 400 sampai 600 m. Data mikrotremor kemudian dianalisis dengan menggunakan metode HVSR (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*) yang tersedia pada *software* Geopsy 3.3.6 untuk memperoleh nilai frekuensi dominan (f_0) dan faktor amplifikasi (A_0). Kedua parameter ini digunakan untuk menghitung nilai K_s . Nilai PGA ditentukan dengan menggunakan rumus empiris Fukushima and Tanaka menggunakan data gempabumi dengan kedalaman ≤ 50 km dan *surface magnitude* (M_s) ≥ 5 SR. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai GSS di Kecamatan Kadia Kota Kendari berkisar antara $1,1768 \times 10^{-4}$ sampai $6,5436 \times 10^{-4}$. Berdasarkan hasil analisis pergerakan tanah, diketahui bahwa Kecamatan Kadia Kota Kendari berpotensi mengalami retakan atau penurunan tanah jika terjadi gempabumi dengan dinamika tanah yang bersifat elasto-plastis. Selain itu, diketahui juga bahwa daerah Kecamatan Kadia, Kota Kendari tidak rawan longsor dan likuifaksi karena $\gamma < 10^{-2}$.

Abstract. This research on *Ground Shear Strain* (GSS) was carried out to determine the potential for ground movements in Kadia District, Kendari City. In its implementation, GSS is processed using microtremor data from measurements in the field. GSS is the result of multiplying the Seismic Vulnerability Index (K_s) and the basement Peak Ground Acceleration (PGA). Microtremor data were taken at 16 measurement points with a distance between measurement points of 400 to 600 m. The microtremor data were then analyzed using the HVSR (*Horizontal to Vertical Spectral*

Ratio) method available in Geopsy 3.3.6 software to obtain predominant frequency values (f_0) and amplification factors (A_0). These two parameters are used to calculate the K_g value. The PGA value is determined using the Fukushima and Tanaka empirical formula using earthquake data with a depth of ≤ 50 km and surface magnitude (M_s) ≥ 5 SR. The research results show that the GSS values in Kadia District, Kendari City ranges from 1.1768×10^{-4} to 6.5436×10^{-4} . Based on the results of ground movement analysis, it is known that Kadia District, Kendari City, has the potential to experience cracks or land subsidence if an earthquake occurs with elasto-plastic soil dynamics. Apart from that, it is also known that the Kadia District area of Kendari City is not prone to landslides and liquefaction because $\gamma < 10^{-2}$.

© 2024 JRGI (Jurnal Rekayasa Geofisika Indonesia)

1. PENDAHULUAN

Sulawesi Tenggara adalah salah satu bagian dari pulau Sulawesi yang terletak di lengan Tenggara Sulawesi. Penunjaman Lempeng Samudera Pasifik dan Benua Eurasia mengakibatkan terbentuknya gugusan pulau-pulau kecil di sekitarnya (Suroño, 2013). Aktifitas tektonik juga berdampak pada terbentuknya sesar-sesar yang cukup besar. Sesar besar tersebut antara lain adalah Sesar Lawanopo, Sesar Konaweña, Sesar Kolaka dan Sesar Hamilton (Suroño dan Hartono, 2013). Kota Kendari merupakan salah satu ibukota yang berada di pulau Sulawesi, dan terletak di sebelah Tenggara (lengan Tenggara Sulawesi). Menurut Badan Pusat Statistika (BPS) Kota Kendari (2019), terdapat sebanyak 10 kecamatan di Kota Kendari, salah satunya adalah Kecamatan Kadia yang berada di sebelah Barat Teluk Kendari. Kota Kendari merupakan ibu kota provinsi yang memiliki jumlah penduduk yang cukup padat. Berbagai fasilitas umum sebagai penunjang kehidupan

masyarakat dibangun di kawasan ini. Secara tektonik, kawasan ini merupakan bagian blok barat daya sesar geser Palu-Koro-Matano-Lasolo yang berarah Barat laut-Tenggara. Dari beberapa fakta di atas, dapat dikatakan bahwa wilayah Kendari memiliki resiko gempabumi yang tinggi, dan secara fisik tanah di daerah ini merupakan tanah lunak yang akan mengalami amplifikasi saat terjadi gempabumi (Marjiyono dkk., 2007).

Salah satu parameter yang dapat ditentukan setelah suatu peristiwa gempabumi terjadi adalah *Peak Ground Acceleration* (PGA). PGA merupakan nilai percepatan getaran tanah terbesar yang pernah terjadi pada suatu kawasan akibat gempabumi. Semakin besar nilai PGA yang terjadi di suatu tempat, maka semakin besar bahaya dan resiko gempabumi yang mungkin terjadi. Sementara untuk memperkecil dampak negatif gempabumi di suatu wilayah seperti kerusakan bangunan, korban jiwa dan sebagainya, maka perlu dilakukan upaya

mitigasi dimana salah satunya dapat dilakukan dengan mengetahui sebaran Indeks Kerentanan Seismik (K_g) wilayah tersebut. Indeks Kerentanan Seismik (K_g) didefinisikan sebagai indeks yang menggambarkan tingkat kerentanan lapisan tanah permukaan terhadap deformasi saat terjadi gempa bumi (Daryono, 2013). Dengan mengetahui nilai PGA dan Indeks Kerentanan Seismik (K_g), maka dapat ditentukan nilai *Ground Shear Strain* (GSS). GSS merupakan kemampuan meregangkan atau menggeser lapisan tanah saat terjadi gempa bumi (Sasongko dkk., 2019). Nilai GSS yang tinggi memiliki tingkat resiko yang tinggi terhadap gerakan tanah akibat gempa bumi seperti penurunan tanah, guncangan tanah dan getaran tanah (Fatimah dkk., 2019).

Dalam pelaksanaannya, GSS dapat dianalisis dengan menggunakan metode *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (HVSr) data mikrotremor. Mikrotremor merupakan getaran yang konstan pada permukaan bumi yang bersumber dari fenomena alami atau buatan seperti aktifitas manusia, ombak, angin dan lalu lintas (Petermans dkk., 2006). Sedangkan HVSr merupakan rasio antara komponen horisontal dan vertikal spektrum Fourier.

Penelitian dengan menggunakan metode HVSr data mikrotremor banyak dilakukan karena kemudahan dalam pengambilan data, pengolahan dan interpretasinya. Beberapa penelitian dengan menggunakan metode HVSr, antara lain telah dilakukan oleh Farid dan Mase (2020), Farid dan Hadi (2018), dan Farid dan Suryanto (2016). Sedangkan untuk di wilayah Sulawesi Tenggara, antara lain

telah dilakukan oleh Manan dkk. (2023a), Manan dkk. (2023b), Manan dkk. (2021), dan Cahyani dkk. (2020).

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Indeks Kerentanan Seismik

Indeks Kerentanan Seismik didefinisikan sebagai indeks yang menggambarkan tingkat kerentanan lapisan tanah permukaan terhadap deformasi saat terjadi gempa bumi (Manan dkk., 2021; Daryono, 2013). Konsepsi tentang indeks ini dapat ditemukan dalam Nakamura (2000). Dalam Nakamura (2000) dan juga dalam Gurler dkk. (2000), disebutkan bahwa indeks ini dapat digunakan untuk memprediksi daerah-daerah yang berpotensi mengalami kerusakan bila terjadi gempa bumi. Rumusan Indeks Kerentanan Seismik (K_g) adalah (Manan dkk., 2021):

$$K_g = \frac{A_o^2}{f_o^2} \quad (1)$$

dengan A_o adalah faktor amplifikasi dan f_o adalah frekuensi dominan tanah (Hz).

2.2. Peak Ground Acceleration

Peak Ground Acceleration (PGA) adalah nilai getaran tanah terbesar dalam jangka waktu tertentu di suatu lokasi berdasarkan jejak gelombang gempa bumi (Manan dkk. 2023b; Campbell dan Bozorgnia, 2003). Rumusan PGA untuk *basement* telah dirumuskan oleh Fukushima and Tanaka (1990): Rumusan ini diantaranya dapat dilihat dalam Manan dkk. (2023a):

$$\log a_b = 0.41M - \log(R + 0,032 \times 10^{0,41M} - 0,0034R + 1,30) \quad (2)$$

dimana a_b adalah PGA *basement*, M magnitudo gempa bumi, dan R jarak hiposenter (km).

Selanjutnya dilakukan perhitungan nilai GSS dengan menggunakan persamaan (3).

Hasil pengolahan data kemudian dipetakan dengan menggunakan *software* ArcGIS 10.3 untuk kemudian dilakukan analisis mengenai hasil yang diperoleh pada daerah penelitian dengan mengacu pada nilai GSS dan dinamika tanah berdasarkan **Tabel 1**. Tabel ini dipublikasikan oleh Ishihara pada tahun 1986, dan dapat dilihat dalam Manan dkk. (2023a).

Tabel 1. Hubungan antara nilai GSS dengan sifat dinamis tanah (Manan dkk., 2023a)

Ukuran Strain	10 ⁻⁶	10 ⁻⁵	10 ⁻⁴	10 ⁻³	10 ⁻²	10 ⁻¹
Fenomena	Gelombang, vibrasi		Retakan, pergerakan tanah akibat tekanan pemukiman		Longsor, kompaksi tanah, likuifaksi	
Dinamika tanah	Elastis		Elasto-plastis		Runtuh Berulang dan proses berlangsung terus	

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil yang diperoleh dari penelitian ini adalah sebaran nilai *Ground Shear Strain* (GSS) yang didukung oleh karakteristik dinamika tanah berdasarkan parameter lain seperti frekuensi dominan, faktor amplifikasi, Indeks Kerentanan Seismik, serta nilai *Peak Ground Acceleration* (PGA) di *basement*. Penelitian berupa survei lapangan dengan melakukan pengukuran langsung di lapangan pada 16 titik pengukuran dengan menggunakan alat Seismograf TDL-303S. Dalam penelitian ini pengolahan data mikrotremor dilakukan dengan menggunakan metode *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (HVSR) yang menghasilkan kurva H/V. Kurva H/V menghasilkan nilai frekuensi dominan (f_0) dan faktor amplifikasi (A_0) yang kemudian digunakan dalam perhitungan Indeks Kerentanan Seismik (K_g), sedangkan data

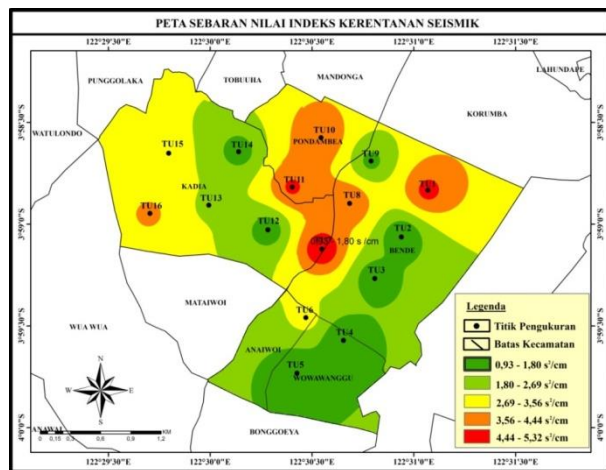
gempabumi digunakan untuk mengetahui nilai PGA *basement*. Nilai Indeks Kerentanan Seismik dan PGA *basement* selanjutnya digunakan untuk menghitung nilai *Ground Shear Strain* (GSS).

4.1. Pengolahan Data Mikrotremor

Hasil dari pengukuran di lapangan berupa data getaran tanah dalam bentuk domain waktu yang tercatat dalam tiga komponen, yaitu komponen horisontal *North-South*, komponen horisontal *East-West* dan komponen vertikal *Up-Down*. Data pengukuran sinyal getaran tanah yang diolah dalam *software* Geopsy 3.3.6 masih dalam bentuk domain waktu, sehingga perlu diubah dalam bentuk domain frekuensi untuk menghasilkan spektrum HVSR dengan menggunakan transformasi Fourier dimana dalam penelitian ini menggunakan FFT (*Fast Fourier Transform*). Setelah proses FFT, selanjutnya dilakukan *filtering* untuk memperoleh sinyal mikrotremor sebelum melakukan pemilihan panjang *window*. Filter yang digunakan adalah *band pass filter* dengan rentang frekuensi yaitu 0,50-25,00 Hz. Selanjutnya dilakukan *smoothing* Konno-Ohmachi yang bertujuan untuk memperhalus pola data dengan meminimalisasi efek *aliasing* dengan koefisien *bandwith* 40% sehingga hasil dari *smoothing* tidak berbeda dengan data sebelumnya.

Proses *windowing* dilakukan setelah proses *filtering* yang bertujuan untuk menghilangkan efek *noise* agar menghasilkan sinyal tanpa *noise*. Pemilihan *window* untuk masing-masing titik pengukuran dilakukan secara otomatis. SESAME (2004) menyarankan

penentuan panjang *window* minimal memiliki 10 *cycle* yang signifikan. Panjang *window* yang digunakan dalam proses ini yaitu 20.00 s. Pemilihan panjang *window* ini juga bergantung pada jumlah *noise* yang terekam pada masing-masing titik pengukuran. Data kemudian dianalisis menggunakan metode *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (HVSr). Data analisis HVSr menghasilkan kurva HVSr yang menunjukkan nilai frekuensi dominan (f_0) dan faktor amplifikasi (A_0).

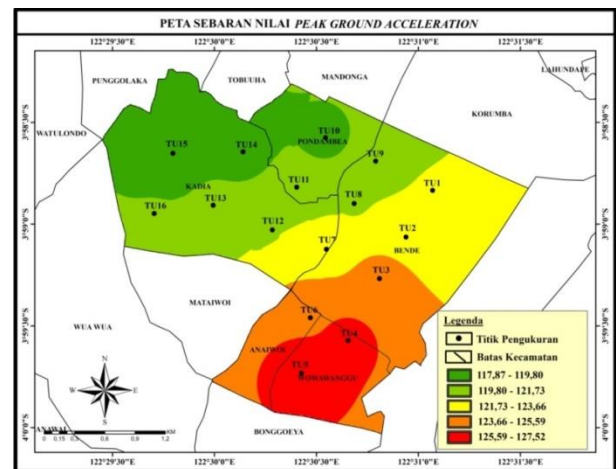


Gambar 3. Peta sebaran nilai Indeks Kerentanan Seismik (K_g)

4.2. Analisis Indeks Kerentanan Seismik

Nilai Indeks Kerentanan Seismik (K_g) pada daerah penelitian berkisar antara 0,93 sampai 5,32 s²/cm. Nilai Indeks Kerentanan Seismik terendah terdapat di titik pengukuran TU2, TU3, TU4, TU5, TU9, TU12 dan TU14 yang ditandai dengan kontur berwarna hijau dengan rentang nilai 0,93 sampai 2,69 s²/cm, sedangkan Indeks Kerentanan Seismik tertinggi terdapat di titik pengukuran TU1, TU7 dan TU11 yang ditandai dengan kontur berwarna merah dengan rentang nilai 4,44 sampai 5,32 s²/cm. Peta sebaran Indeks

Kerentanan Seismik dapat dilihat pada Gambar 3.



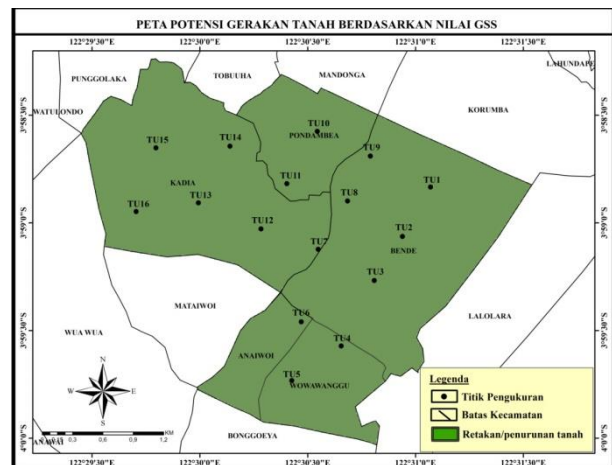
Gambar 4. Peta sebaran nilai PGA basement

4.3. Analisis PGA Basement

Perhitungan *Peak Ground Acceleration* (PGA) pada *basement* menggunakan persamaan Fukushima dan Tanaka (1990). Sumber gempa bumi yang digunakan adalah sumber gempa bumi dengan magnitudo 6,13 SR dengan kedalaman 15 km yang terjadi pada tanggal 3 September 1959. Nilai PGA *basement* bervariasi dengan rentang nilai 117,87 hingga 127,52 gal. Nilai PGA di *basement* yang rendah terdapat di titik pengukuran TU9, TU10, TU11, TU12, TU13, TU14, TU15, dan TU16 yang ditandai dengan kontur berwarna hijau dengan rentang nilai 117,87 sampai 121,73 gal, dan untuk nilai PGA *basement* yang tinggi terdapat di titik pengukuran TU4 dan TU5 yang ditandai dengan kontur berwarna merah dengan rentang nilai 125,59 sampai 127,52 gal. Peta sebaran nilai PGA *basement* dapat dilihat pada Gambar 4.

4.4. Analisis *Ground Shear Strain* (GSS)

Hasil analisis Indeks Kerentanan Seismik dan PGA *basement* dapat digunakan untuk menghitung nilai *Ground Shear Strain* (GSS). GSS berhubungan erat dengan sifat dinamika tanah yang menjadi salah satu faktor terhadap kemungkinan suatu daerah mengalami kerusakan saat terjadi gempa bumi (Nakamura, 2000). Nilai GSS daerah penelitian berkisar antara $1,1768 \times 10^{-4}$ sampai $6,54367 \times 10^{-4}$ yang ditandai dengan kontur warna hijau pada **Gambar 5**. Dalam hubungan nilai GSS dengan sifat dinamis tanah pada Tabel 1, saat nilai GSS antara 10^{-6} sampai 10^{-4} , maka fenomena yang mungkin akan terjadi saat gempa bumi yaitu retakan atau penurunan tanah dengan dinamika tanah yang bersifat elasto-plastis. Tanah akan retak dengan fenomena elasto-plastis saat nilai GSS berada pada 10^{-4} sampai 10^{-2} . Saat nilai GSS berada di atas 10^{-2} wilayah dengan topografi yang tinggi akan mengalami tanah longsor sedangkan untuk wilayah dengan topografi rendah akan mengalami likuifaksi. Nilai GSS di Kecamatan Kadia, Kota Kendari hanya berada dalam orde 10^{-4} bila menggunakan data gempa dari tahun 1922 sampai 2022. Hal ini berarti apabila terjadi gempa bumi, kemungkinan daerah penelitian hanya akan mengalami retakan atau penurunan pada permukaan tanah. Kemudian setelah gempa bumi selesai, maka kondisi sebagian permukaan tanah akan mengalami perubahan karena dinamika tanahnya bersifat elasto-plastis. Disamping itu diketahui bahwa daerah penelitian tidak rawan terhadap longsor dan likuifaksi karena nilai GSS belum mencapai 10^{-2} .



Gambar 5. Peta potensi gerakan tanah berdasarkan GSS

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Sebaran nilai GSS di Kecamatan Kadia, Kota Kendari berkisar antara $1,1768 \times 10^{-4}$ sampai $6,54367 \times 10^{-4}$.
2. Berdasarkan hasil analisis pergerakan tanah, diketahui bahwa Kecamatan Kadia, Kota Kendari berpotensi mengalami retakan atau penurunan tanah jika terjadi gempa bumi dengan dinamika tanah yang bersifat elasto-plastis. Selain itu, diketahui juga bahwa daerah Kecamatan Kadia, Kota Kendari, tidak rawan tanah longsor dan likuifaksi karena $\gamma < 10^{-2}$ tidak terpenuhi.

DAFTAR PUSTAKA

- BPS Kota Kendari. (2019): Kota Kendari dalam Angka 2019.
<https://kendarikota.bps.go.id/>
- Campbell, K. W. & Bozorgnia, Y. (2003). Updated Near-Source Ground-Motion (Attenuation) Relations for the Horizontal and Vertical Components of Peak Ground Acceleration and Acceleration Response Spectra. *Bulletin of the Seismological Society of America*. 93(1), 314–331.

- Chahyani, R., Manan, A., Puspitafuri, C., & Kasmawati. (2020). Identification of surface-basement layer distribution of Wangi-Wangi Island based on HVSR method of microtremor data. *J. Phys.: Theor. Appl.*, 4(2), 94–101.
DOI: 10.20961/jphystheor-appl.v4i2.48727
- Daryono, S. (2013). Indeks kerentanan seismik berdasarkan mikrotremor pada setiap satuan bentuk lahan di zona Graben Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta. *Jurnal Riset Daerah*, 12(1).
- Farid, M., & Mase, L.Z. (2020). Implementation of seismic hazard mitigation on the basis of ground shear strain indicator for spatial plan of Bengkulu city Indonesia. *GEOMATE Journal* 18(69), 199–207.
DOI: 10.21660/2020.69.24759
- Farid, M., & Hadi, A.I. (2018). Measurement of shear strain in map liquefaction area for earthquake mitigation in Bengkulu city. *TELKOMNIKA* 16(4), 1597–1606.
DOI: 10.12928/telkomnika.v16i4.8043
- Farid, M., & Suryanto, W. (2016). Microseismic wave measurements to detect landslides in Bengkulu shore with attenuation coefficient and shear strain indicator. *KnE Engineering*, 1–7.
DOI: 10.18502/keg.v1i1.477
- Fatimah, R., Ardian onasi gempa bumi di Desa Medana dan to, T., & Qomariyah, N. (2019). Mikrozonasi Kecamatan Tanjung Kabupaten Lombok Utara menggunakan metode mikroseismik. *Indonesian Physical Review*, 2(1), 18.
- Fukushima, Y., & Tanaka, T. (1990). A new attenuation relation for peak horizontal acceleration of strong earthquake ground motion in Japan. *Bull. Seism. Soc. Am.* 80(4), 757–783.
DOI: 10.1785/BSSA0800040757
- Gurler, E. D., Nakamura, Y., Saita, J., & Sato, T. (2000). Local Site Effects of Mexico City Based on Microtremor Measurement. 6th International Conference on Seismic Zonation, Palm Spring Riviera Resort, California, USA, Pp. 65.
<https://www.usgs.gov/>
- Ishihara, K. (1986): *Geomechanical Modelling in Engineering Practice*, 1st ed. CRC Press, Devon.
- Manan, A., Puspitafuri, C., Chahyani, R., Irawati, & Pertiwi, I.I. (2023a). Identification of shear strain on the surface ground of Wangi-Wangi island, Southeast Sulawesi, Indonesia, using Nakamura's technique and the possibility of its impacts. *Journal of Geoscience, Engineering, Environment, and Technology (JGEET)*, 8(4), 276–81.
DOI: 10.25299/jgeet.2023.8.4.11780
- Manan, A., Puspitafuri, C., Pertiwi, I.I., & Chahyani, R. (2023b). Identification of Peak Ground Acceleration and hazard potency of earthquake disaster on the mainland surface of Wangi-Wangi Island, Wakatobi Regency, Southeast Sulawesi, Indonesia. *J. Phys.: Conf. Ser.*, 1–9.
DOI: 10.1088/1742-6596/2498/1/012040
- Manan, A., Puspitafuri, C., Kasmawati, & Pertiwi, I.I. (2021). Identifikasi potensi kerusakan akibat gempa bumi berdasarkan Indeks Kerentanan Seismik data mikrotremor di Pulau Wangi-Wangi. *Jurnal Formasi*, 6(2), 01–11.
- Marjiyono., Soehaimi, A., & Setiawan. J. H. (2007). Mikrozonasi daerah Kendari dan sekitarnya berdasarkan respons tanah setempat. *JSDG XVII*(1), 49.
- Nakamura, Y. (2000): *Clear Identification of Fundamental Idea of Nakamura's Technique and Its Application*. Tokyo University. Japan.
- Petermans, T., Devleeschouwer, X., & Pourié, F. (2006). Mapping the local seismic hazard in the urban area of Brussels, Belgium. *Proceedings of the 10th IAEG Congress, International Association for Engineering Geology*, (424), 1–11.

- Sasongko, D. P., Yuliyanto, G., & Arifin, Z. (2019). Vibration vulnerability identification in Kota Lama Semarang using microtremor method. *Indonesian Journal of Applied Physics*, 9(2), 105–111.
- SESAME. (2004): Guidelines For The Implementation Of The H/V Spectral Ratio Technique on Ambient Vibrations, Europe. SESAME European Research Project.
- Surono. (2013): Geologi Lengan Tenggara Sulawesi. Badan Geologi, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. Jakarta.
- Surono, & Hartono, U. (2013): Geologi Sulawesi. LIPI Press, Jakarta.