

Identifikasi Potensi Tingkat Kerusakan Gempabumi Berdasarkan Indeks Kerentanan Seismik Menggunakan Metode HVSR di Kecamatan Kadia Kota Kendari

Identification of Potential Earthquake Damage Levels Based on the Seismic Vulnerability Index Using the HVSR Method in Kadia District, Kendari City

La Hamimu^{1*}, Risky Ramadhani¹, Abdul Manan¹

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

Article history:

Received:

02 January 2023

Accepted:

21 May 2023

Keywords:

Seismic vulnerability index, HVSR; microtremor; ground shaking; Kadia District.

Correspondent author:

lahamimu@uho.ac.id

Abstrak. Penelitian ini dilakukan untuk mengidentifikasi potensi tingkat kerusakan gempabumi di Kecamatan Kadia Kota Kendari. Potensi tingkat kerusakan tersebut diketahui berdasarkan parameter indeks kerentanan seismik. Data yang digunakan adalah data mikrotremor yang diperoleh dari hasil proses *filtering* frekuensi data getaran tanah menggunakan jenis *Band Pass Filter* dengan rentang frekuensi sebesar 1.00 sampai 25.00 Hz. Sedangkan data getaran tanah diperoleh dari hasil pengukuran langsung di lapangan pada 16 titik pengukuran menggunakan 1 set alat Seismograf portabel TDL 303S. Selanjutnya data diolah menggunakan metode *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (HVSR) untuk menghasilkan frekuensi dominan tanah dan faktor amplifikasi yang digunakan untuk menghitung indeks kerentanan seismik. Dari hasil pengolahan data yang dilakukan secara ilmiah di Kecamatan Kadia Kota Kendari diperoleh nilai indeks kerentanan seismik dengan nilai berkisar antara 0,761 sampai 5,292 s^2/cm . Berdasarkan hasil pemetaan potensi tingkat kerusakan gempabumi yang didapatkan dari hasil nilai indeks kerentanan seismik menunjukkan bahwa Kecamatan Kadia Kota Kendari berpotensi rendah sampai sedang mengalami kerusakan akibat gempabumi. Zona rendah dengan nilai indeks kerentanan seismik $< 3 s^2/cm$ tersebar di Kelurahan Kadia, Bende, Anaiwoi, dan Wowawanggu. Zona sedang dengan nilai indeks kerentanan seismik < 3 sampai $6 s^2/cm$ tersebar di Kelurahan Kadia, Pondambea, dan Bende.

Abstract. This research was conducted to identify the potential level of earthquake damage in Kadia District, Kendari City. The potential

level of damage is known based on the seismic vulnerability index parameter. The data used is microtremor data obtained from the results of the frequency filtering process of ground vibration data using a Band Pass Filter type with a frequency range of 1.00 to 25.00 Hz. While the ground vibration data was obtained from the results of direct measurements in the field at 16 measurement points using 1 set of portable seismograph TDL 303S. Furthermore, the data is processed using the Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSr) method to produce the dominant frequency of the soil and the amplification factor used to calculate the seismic vulnerability index. From the results of data processing carried out scientifically in Kadia District, Kendari City, a seismic vulnerability index value was obtained with values ranging from 0.761 to 5.292 s^2/cm . Based on the results of mapping of the potential level of earthquake damage obtained from the results of the seismic vulnerability index value, it shows that Kadia District, Kendari City has a low to moderate potential for damage due to earthquakes. Low zones with seismic vulnerability index values $< 3 s^2/cm$ are scattered in Kadia, Bende, Anaiwoi, and Wowawanggu Villages. Moderate zones with seismic vulnerability index values < 3 to $6 s^2/cm$ are scattered in Kadia, Pondambea, and Bende Villages.

© 2023 JRGI (Jurnal Rekayasa Geofisika Indonesia)

1. PENDAHULUAN

Kecamatan Kadia merupakan Kecamatan di Kota Kendari dengan penduduk terbanyak. Dengan jumlah penduduk yang banyak menunjukkan bahwa perkembangan pembangunan dan penduduk di Kecamatan Kadia Kota Kendari semakin pesat, perlu didampingi dengan data yang akurat mengenai aspek kebencanaan yang mungkin timbul khususnya adalah bencana gempabumi. Gempabumi dalam skala besar dan kecil berpotensi di wilayah Sulawesi Tenggara seperti gempa yang melanda Kota Kendari 26

Maret 2022 yang sangat membuat panik warga Kota Kendari dan sekitarnya. Menurut BMKG tahun 2022, menyatakan bahwa gempa tersebut bermagnitudo 5,2 SR terjadi di laut pada jarak 5 km arah Utara Soropia Kabupaten Konawe, dan dampak gempabumi berupa guncangan keras dirasakan di wilayah Kota Kendari. Dari banyaknya kejadian gempa di Kota Kendari Sulawesi Tenggara, kajian mengenai potensi tingkat kerusakan gempabumi sangat diperlukan dalam hal keamanan sipil guna menghindari kerugian dalam hal pendanaan dan keselamatan jiwa

serta sebagai acuan dalam penataan kawasan berkelanjutan.

Gempabumi merupakan getaran asli dari dalam bumi, yang kemudian merambat ke permukaan bumi akibat rekahan bumi pecah dan bergeser dengan keras yang besarnya beragam dari yang rendah hingga yang sangat dahsyat sehingga mampu menelan banyak korban jiwa, harta, meruntuhkan bangunan-bangunan dan fasilitas umum lainnya (Nur, 2010).

Untuk memperkecil dampak negatif gempabumi di suatu wilayah, maka perlu dilakukan upaya mitigasi dimana salah satunya dapat dilakukan dengan mengetahui sebaran indeks kerentanan seismik wilayah tersebut. Nilai indeks kerentanan seismik dapat diketahui berdasarkan hasil analisis data mikrotremor. Mikrotremor merupakan getaran dari tanah yang terjadi karena penyebab alamiah atau gangguan buatan seperti angin, gelombang laut, lalu lintas, dan gangguan lainnya (Kanai, 1998). Mikrotremor sendiri dapat diaplikasikan untuk menentukan karakteristik dinamis seperti frekuensi dominan dan faktor amplifikasi dari suatu lapisan tanah. Kondisi geologi pada permukaan dangkal sangat mempengaruhi respon tanah terhadap gempabumi yang terjadi pada suatu daerah (Maimun dkk., 2020). Analisis mikrotremor untuk mengetahui Indeks Kerentanan Seismik dapat dilakukan melalui penerapan metode *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (HVSr). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui sebaran nilai indeks kerentanan seismik dan potensi tingkat kerusakan akibat gempabumi di Kecamatan Kadia Kota Kendari.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Mikrotremor

Mikrotremor merupakan suatu getaran tanah yang sangat kecil dan terus menerus yang berasal dari berbagai macam getaran seperti lalu lintas, angin, aktivitas manusia dan sebagainya (Kanai, 1998). Mikrotremor juga dapat diartikan sebagai getaran harmonik alami tanah yang dapat terjadi secara terus menerus, terjebak di lapisan sedimen permukaan, dan terpantulkan oleh adanya bidang batas lapisan dengan frekuensi yang tetap, yang disebabkan oleh getaran mikro di bawah permukaan tanah dan kegiatan alam lainnya (Arifin dkk., 2014).

2.2. Metode *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (HVSr)

Metode HVSr merupakan suatu metode membandingkan spektrum komponen horisontal terhadap komponen vertikal dari gelombang mikrotremor. (Nakamura, 1989) memaparkan bahwa metode HVSr adalah penentuan rasio komponen vertikal dengan komponen horisontal yang didapatkan dari pengukuran sinyal mikrotremor pada suatu wilayah untuk mengetahui karakteristik dinamis lapisan permukaan. Metode ini dapat menunjukkan adanya korelasi yang tepat dengan frekuensi dominan dasar medium pada lapisan yang lunak (*soft soil*). Metode HVSr didefinisikan dengan persamaan :

$$\text{HVSr} = \frac{S_H}{S_V} \quad (1)$$

dimana S_H adalah spektrum komponen horisontal dan S_V spektrum komponen vertikal (Nakamura, 1989).

Pada umumnya, hasil analisis HVSR akan menunjukkan suatu puncak spektrum pada frekuensi dominan dan faktor amplifikasi yang menggambarkan karakteristik dinamis tanah (Nakamura, 2000).

2.3. Frekuensi dominan (f_0)

Frekuensi dominan merupakan nilai frekuensi yang sering muncul sehingga diakui sebagai nilai frekuensi dari lapisan batuan di suatu wilayah. Nilai frekuensi dominan ini dapat mempresentasikan jenis dan karakteristik batuan (Lantu dkk., 2018). (Lachet and Bard, 1994) telah melakukan percobaan simulasi dengan menggunakan parameter dari 6 model struktur geologi sederhana dengan berbagai kombinasi variasi kontras kecepatan gelombang geser dan ketebalan lapisan *soil*. Hasil percobaan simulasi menunjukkan bahwa nilai frekuensi dominan berubah terhadap variasi kondisi geologi. Nilai frekuensi dominan secara substansi dapat diperkirakan dari spektrum HVSR.

2.4. Faktor amplifikasi (A_0)

Amplifikasi dalam gelombang seismik dapat disebabkan apabila suatu benda yang memiliki frekuensi diri, kemudian diusik oleh gelombang lain dengan frekuensi yang sama. Amplifikasi gelombang gempa dapat terjadi apabila gelombang merambat ke permukaan tanah dimana frekuensi dominan tanah tersebut memiliki nilai frekuensi yang hampir sama atau sama dengan frekuensi gempa yang datang. Amplifikasi merupakan peristiwa penguatan suatu gelombang ketika melewati suatu medium tertentu. Perbandingan antara

karakteristik sinyal horisontal terhadap sinyal vertikal berbanding lurus dengan penguatan gelombang pada saat melalui suatu medium (Tanjung dkk., 2019).

2.5. Indeks kerentanan seismik

Indeks kerentanan seismik atau sering disebut sebagai indeks kerentanan gempa menggambarkan tingkat kerentanan lapisan tanah permukaan terhadap deformasi pada saat terjadi gempabumi (Simanjuntak dkk., 2017). Indeks kerentanan seismik dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (Nakamura, 2008):

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

dimana K_g adalah indeks kerentanan seismik, A_0 adalah faktor amplifikasi, dan f_0 adalah frekuensi dominan.

Indeks kerentanan seismik dengan potensi tingkat resiko gempabumi terhadap kerusakan akibat gempabumi menunjukkan hubungan yang linear untuk pada setiap titik ukur (Pratama dan Koten, 2021). Hubungan antara indeks kerentanan seismik dengan potensi tingkat resiko kerusakan akibat gempabumi dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Klasifikasi potensi tingkat resiko kerusakan akibat gempabumi berdasarkan indeks kerentanan seismik (Refrizon dkk., 2013)

| K_g (s^2/cm) | Zonasi |
|--------------------|--------|
| < 3 | Rendah |
| 3-6 | Sedang |
| > 6 | Tinggi |

3. METODE PENELITIAN

Kegiatan pengambilan data dilaksanakan pada tanggal 23 sampai 24 September 2022 di Kecamatan Kadia Kota Kendari. Dalam penelitian ini, data yang digunakan adalah data primer yang diambil secara langsung di wilayah penelitian. Pengukuran mikrotremor dilakukan pada 16 titik dengan jarak antar titik 400 m sampai 600 m.

Survei mikrotremor dilakukan dengan menerapkan kaidah pengukuran mikrotremor yang telah dikeluarkan oleh SESAME (*Site Effect assessment using Ambient Excitations*, 2004). Kaidah tersebut digunakan untuk meminimalkan kesalahan dari hasil analisis, sehingga didapatkan nilai frekuensi dan faktor amplifikasi yang mendekati nilai sebenarnya. Pengolahan data dilakukan menggunakan *software* Geopsy 3.4.2 dengan menggunakan metode HVSr untuk mendapatkan kurva HVSr yang menampilkan nilai parameter frekuensi dominan dan faktor amplifikasi, selanjutnya diolah menggunakan *Microsoft excel* untuk mendapatkan nilai indeks kerentanan seismik, dan selanjutnya membuat peta sebaran nilai frekuensi dominan, faktor amplifikasi, dan indeks kerentanan seismik menggunakan *software* ArcGIS 10.8. Nilai dari parameter yang dimasukan akan diinterpolasi dengan menggunakan metode IDW dan akan ditampilkan dalam bentuk peta kontur sebaran nilai frekuensi dominan, faktor amplifikasi, dan indeks kerentanan seismik untuk membantu interpretasi potensi tingkat kerusakan gempabumi di Kecamatan Kadia Kota Kendari.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Pengolahan Data Mikrotremor Wilayah Penelitian

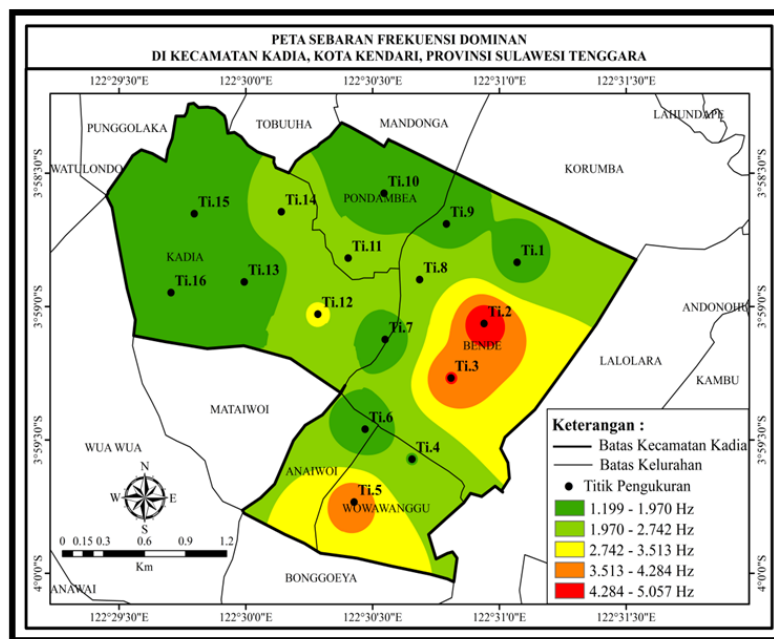
Pengolahan data dilakukan menggunakan *software* geopsy 3.4.2 untuk menghasilkan kurva HVSr yang dapat menampilkan informasi mengenai nilai frekuensi dominan dan faktor amplifikasi dimana kedua parameter ini digunakan untuk menghitung nilai indeks kerentanan seismik dengan menggunakan persamaan (2) dan hasil nilai indeks kerentanan seismik dapat memberikan informasi potensi tingkat kerusakan gempabumi di Kecamatan Kadia Kota Kendari.

Data getaran tanah hasil pengukuran terdiri atas tiga komponen, yaitu komponen horisontal *North-South*, *East-West*, dan komponen vertikal *Up-Down*. Data getaran tanah yang terukur masih dalam domain waktu, sehingga perlu diubah menjadi domain frekuensi dengan menggunakan transformasi Fourier dengan jenis FFT (*Fast Fourier Transform*). Data yang diperoleh masih berupa data getaran tanah, sehingga untuk memperoleh data mikrotremor maka perlu dilakukan proses *filtering* dengan menggunakan jenis *band pass filter* dengan rentang *frekuensi* sebesar 1.00 sampai 25.00 Hz.

Langkah selanjutnya, mengaktifkan menu H/V kemudian menganalisis dan menghilangkan sinyal jenuh yang bersifat *transien* dengan mengaktifkan algoritma *anti-triggering on raw signal* dengan nilai STA (*Short Term Average*) yang merupakan rata-rata amplitudo jangka pendek 1 detik, sedangkan LTA (*Long Term Average*) adalah nilai rata-rata

amplitudo terpanjang 30 detik. Langkah selanjutnya, melakukan pemilihan *window* secara otomatis (*auto*) dengan panjang *time window* yang digunakan yaitu 10.00 s. Pemilihan *window* dilakukan untuk mendapatkan data yang *stasioner* dengan memisahkan antara sinyal tremor dengan *noise* yang terdapat dalam data mikrotremor. Selanjutnya dilakukan proses *smoothing* untuk memperhalus data dengan memperkecil efek *aliasing* sehingga hasil yang diperoleh dari proses *smoothing* tidak berbeda dengan data sebelum *dismoothing*. Pemilihan tipe *smoothing* dilakukan menggunakan Konno-Ohmachi (1998) dengan koefisien *bandwith* 40.00 % dan

taper cosine. Langkah terakhir menampilkan hasil *windowing* dan kurva HVSR dengan mengklik *start*. Hasil kurva HVSR menampilkan informasi mengenai nilai frekuensi dominan dan faktor amplifikasi yang digunakan untuk mengetahui nilai indeks kerentanan seismik di wilayah penelitian. Untuk sebaran nilai frekuensi dominan, faktor amplifikasi, dan indeks kerentanan seismik hasil dari interpolasi menggunakan *software* ArcGis 10.8 di wilayah penelitian dapat dilihat pada Gambar 1 untuk sebaran frekuensi dominan, dan Gambar 2 untuk sebaran faktor amplifikasic.



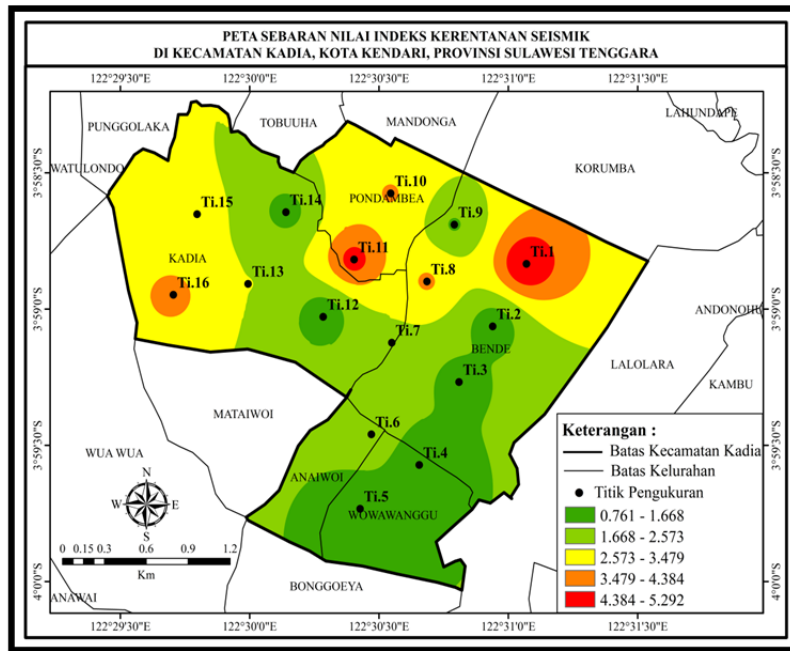
Gambar 1. Peta sebaran nilai frekuensi dominan (f_0)

Nilai frekuensi dominan yang diperoleh dari hasil pengolahan data mikrotremor menggunakan metode HVSR di wilayah penelitian adalah berkisar antara 1,199 sampai 5,057 Hz. Nilai frekuensi dominan terendah berada pada titik pengukuran Ti.15 di Kelurahan Kadia dengan nilai 1,199 Hz sedangkan nilai frekuensi dominan tertinggi

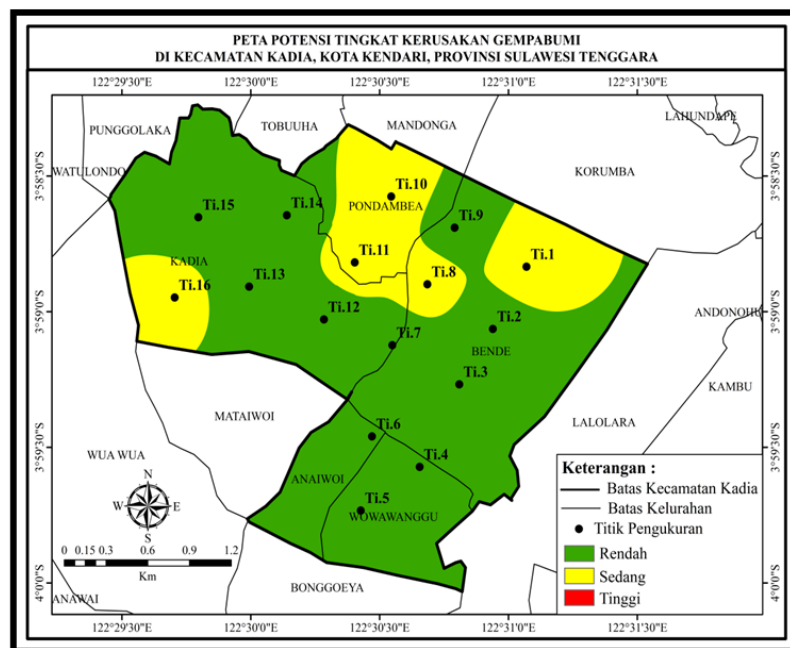
berada pada titik pengukuran Ti.2 di Kelurahan Bende dengan nilai 5,057 Hz. Nilai faktor amplifikasi yang diperoleh di wilayah penelitian adalah berkisar antara 1,218 sampai 3,178. Nilai faktor amplifikasi terendah berada pada titik pengukuran Ti.4 di Kelurahan Wowawanggu dengan nilai 1,218 sedangkan nilai faktor amplifikasi tertinggi

berada pada titik pengukuran Ti.11 di Kelurahan Pondambea dengan nilai 3,178. Berdasarkan nilai frekuensi dominan dan faktor amplifikasi yang didapatkan dilakukan perhitungan nilai indeks kerentanan seismik. Nilai indeks kerentanan seismik diperoleh

dari perbandingan antara kuadrat nilai faktor amplifikasi dengan frekuensi dominan. Sebaran nilai indeks kerentanan seismik di wilayah penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Peta sebaran nilai indeks kerentanan seismik (K_g)



Gambar 4. Peta potensi tingkat kerusakan gempabumi

Berdasarkan Gambar 3, maka nilai indeks kerentanan seismik yang diperoleh secara ilmiah di Kecamatan Kadia Kota Kendari berkisar antara 0,761 sampai 5,292 s^2/cm . Indeks kerentanan seismik terendah berada pada titik pengukuran Ti.4 di Kelurahan Wowawanggu dan indeks kerentanan seismik tertinggi berada pada titik pengukuran Ti.1 di Kelurahan Bende. Nilai indeks kerentanan seismik kemudian dikorelasikan dengan potensi tingkat kerusakan gempabumi. Bila berdasarkan pada Refrizon dkk (2013) maka korelasi antara nilai indeks kerentanan seismik terhadap potensi tingkat kerusakan gempabumi di Kecamatan Kadia Kota Kendari masuk dalam dua klasifikasi yaitu, klasifikasi rendah dengan $K_g < 3 s^2/cm$ tersebar di Kelurahan Kadia, Bende, Anaiwoi, Wowawanggu yang direpresentasikan dengan kontur berwarna hijau tua, dan klasifikasi sedang dengan $K_g < 3$ sampai 6 s^2/cm tersebar di Kelurahan Kadia, Pondambea, dan Bende. Peta klasifikasi sebaran potensi tingkat kerusakan gempabumi di Kecamatan Kadia Kota Kendari dapat dilihat pada Gambar 4.

Berdasarkan informasi geologi wilayah penelitian, Kecamatan Kadia Kota Kendari tersusun oleh formasi meluhu (TRJm) dan formasi *Aluvium* (Qa). Wilayah Kelurahan Bende, Wowawanggu, Anaiwoi, Pondambea, dan Kadia masuk dalam klasifikasi zonasi rendah sampai sedang. Hal ini didukung oleh fakta kondisi keadaan geologi di wilayah tersebut didominasi oleh formasi meluhu (TRjm) yang terdiri dari material batupasir, dan perselingan pasir lempungan. Pada penelitian Soehaimi dkk (2007), menjelaskan bahwa satuan formasi meluhu (TRjm)

merupakan kelompok batuan keras yang tersusun oleh batupasir dan perselingan pasir lempungan dimana batuan penyusun berupa batupasir merupakan material yang relatif stabil terhadap guncangan gempabumi. Berdasarkan kondisi keadaan geologi di Kelurahan Bende, Wowawanggu, Anaiwoi, Pondambea, dan Kadia tersusun oleh material batupasir yang kompak serta perselingan pasir lempungan yang menyebar di wilayah ini. Hal ini sesuai dengan klasifikasi zonasi rendah dan sedang yang terdapat di wilayah Kelurahan Bende, Wowawanggu, Anaiwoi, Pondambea, dan Kadia dimana sebagian besar wilayah ini tersusun oleh batupasir dan sebagian kecil wilayah ini tersusun oleh material pasir lempungan. Wilayah yang sebagian didominasi oleh formasi *Aluvium* (Qa) yang tersusun oleh material lempung, perselingan material pasir dan konglomerat yang bersifat lepas dan lunak serta belum terkonsolidasi dengan baik, tepat berada di Kelurahan Bende membentang pada bagian Utara dan kondisi keadaan geologi ini juga sesuai dengan klasifikasi zonasi sedang yang didapatkan dari hasil sebaran indeks kerentanan seismik wilayah penelitian.

Hasil pemetaan potensi tingkat kerusakan gempabumi wilayah penelitian apabila dikaitkan dengan informasi kejadian gempabumi di Kota Kendari pada tahun 2022 berdasarkan data BMKG Stasiun Geofisika Kendari tahun 2022, tanggal 26 Maret tahun 2022 telah terjadi gempabumi bermagnitudo 5,2 SR terjadi di laut pada jarak 5 km arah Utara Soropia Kabupaten Konawe, dan dirasakan sampai di wilayah Kota Kendari, kemudian tanggal 01 Desember tahun 2022

terjadi gempa bumi bermagnitudo 4,0 SR yang berpusat di 5,5 km Barat Laut Soropia Kabupaten Konawe, dan dirasakan di wilayah Kota Kendari, dan tanggal 22 Desember terjadi gempa bumi bermagnitudo 4,1 SR yang berpusat di laut pada jarak 5 km Tenggara Lainya Kabupaten Konawe Selatan, dan dampaknya dirasakan sampai di wilayah Kota Kendari dan sekitarnya. Berdasarkan data informasi dan observasi kejadian gempa bumi ini, tidak terdapat kerusakan infrastruktur perumahan penduduk, pemukiman atau pada bangunan pemerintah di wilayah Kota Kendari khususnya wilayah Kecamatan Kadia

5. KESIMPULAN

Sebaran nilai indeks kerentanan seismik di Kecamatan Kadia Kota Kendari berkisar antara 0,761 sampai 5,292 s^2/cm . Nilai-nilai tersebut didapatkan dari hasil perhitungan nilai frekuensi dominan yang berkisar antara 1,199 sampai 5,057 Hz dan faktor amplifikasi yang berkisar antara 1,218 sampai 3,178. Berdasarkan hasil pemetaan potensi tingkat kerusakan gempa bumi yang didapatkan dari hasil nilai indeks kerentanan seismik menunjukkan bahwa Kecamatan Kadia Kota Kendari berpotensi rendah sampai sedang mengalami kerusakan akibat gempa bumi. Zona rendah tersebar di Kelurahan Kadia, Bende, Anaiwoi, Wowawanggu dan zona sedang tersebar di Kelurahan Kadia, Pondambea, dan Bende. Hal ini bersesuaian dengan kejadian gempa bumi yang terjadi pada tanggal 26 Maret 2022 di arah Utara Soropia Kabupaten Konawe, tanggal 01 Desember 2022 di Barat Laut Soropia, dan

tanggal 22 Desember 2022 di Tenggara Lainya Kabupaten Konawe Selatan, dan gempa tersebut dirasakan sampai di wilayah Kota Kendari. Berdasarkan observasi dan informasi kejadian gempa bumi ini, tidak terdapat kerusakan infrastruktur perumahan penduduk, pemukiman, atau pada bangunan pemerintah di Kota Kendari khususnya wilayah Kecamatan Kadia.

DAFTAR PUSTAKA

- Arifin, S. S., Mulyatno, B. S., Marjiyono, & Setianegara, R. Penentuan Zona Rawan Guncangan Bencana Gempabumi Berdasarkan Analisis Nilai Amplifikasi HVSR Mikrotremor dan Analisis Periode Dominan Daerah Liwa dan Sekitarnya. *Jurnal Geofisika Eksplorasi*, 2(1), (2014).
- Kanai, K. *Seismology in Engineering*. Tokyo University. Japan, (1998).
- Konno, K., & Ohmachi, T. Ground-motion Characteristics Estimated From Spectral Ratio Between Horizontal and Vertical Components of Mikrotremor. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 88(1), (1998) 228–241.
- Lachet, C., & Bard, P. Y. Numerical and Theoretical Investigations on the Possibilities and Limitations of Nakamura's Technique. *Journal of Physics of the Earth*, 42(5), (1994) 377–397.
- Lantu, Aswad, S., Fitriani, & Marjiyono. Pemetaan Wilayah Rawan Bencana Gempabumi Berdasarkan Data Mikrotremor dan Data Bor. *Jurnal Geoelebes*, 2(1), (2018) 20–30.
- Maimun, A. K., Silvia, U. N., J, V. J., & Ariyanto, P. Analisis Indeks Kerentanan Seismik, Periode Dominan, dan Faktor Amplifikasi Menggunakan Metode HVSR di Stage of Tangerang. *Jurnal Meteorologi Klimatologi Dan Geofisika*, 7(2), (2020) 24–30.
- Nakamura, Yutaka. A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using

- microtremor on the ground surface. *Railway Technical Research Institute, Quarterly Reports*, 30(1), (1989).
- Nakamura, Yutaka. *Clear Identification of Fundamental Idea of Nakamura 'S Technique And ITS Applications*. (2000).
- Nakamura, Y. *On The H/V Spectrum, The 14th World Conference on Earthquake Engineering*. October. (2008).
- Nur, A. M. *Gempa Bumi, Tsunami Dan Mitigasinya*. 7(1), (2010) 66–73.
- Pratama, I. P. D., & Koten, M. C. R. *Klasifikasi Kelas Tanah dan Indeks Kerentanan Seismik pada Lokasi Jaringan Sensor Seismik di Bali dan Nusa Tenggara*. 6(2), (2021) 90–101.
- Refrizon, Hadi, A. I., Lestari, K., & Oktari, T. *Analisis Percepatan Getaran Tanah Maksimum dan Tingkat Kerentanan Seismik Daerah Ratu Agung Kota Bengkulu* (pp. 323–328). Lampung: Prosiding Seminar FMIPA Universitas Lampung. (2013).
- Simanjuntak, A. B., Yuliyanto, G., & Harmoko, D. U. *Analisis Resiko Kebencanaan Gempabumi data mikrotremor di Desa Fulolo Kecamatan Alasa Kabupaten Nias Utara*. *Youngster Physics Journal*, 6(4), (2017) 360–367.
- Soehaimi, A., Marjiyono, & Setiawan, J. *Mikrozonasi Daerah Kendari dan Sekitarnya Berdasarkan Respons Tanah Setempat*. *Jurnal Geologi Dan Sumberdaya Mineral*, XVII. (2007).
- Tanjung, N. A. F., Yuniarto, H. P., & Widyawarman, D. *Analisis Amplifikasi Dan Indeks Kerentanan Seismik Di Kawasan FMIP UGM Menggunakan Metode HVSR*. *Jurnal Geosaintek*, 5(2), (2019) 60.

www.bmkg.go.id