

ANALISIS ZONA RAWAN GEMPA BUMI DI KABUPATEN BENGKULU SELATAN BERDASARKAN PERCEPATAN TANAH PUNCAK MENGGUNAKAN FORMULA KANAI

Giltro Kencoro¹, M Farid^{2,3*}, Arif Ismul Hadi^{2,3*}, Darmawan Ikhlas Fadli^{2,3}, Agung Sedayu⁴

¹Program Studi Fisika, Fakultas MIPA, Universitas Bengkulu, Indonesia

²Program Studi Geofisika, Fakultas MIPA, Universitas Bengkulu, Indonesia

³Pusat Studi Mitigasi Bencana, Universitas Bengkulu, Indonesia

⁴Badan Penanggulangan Bencana Daerah (BPBD), Bengkulu Selatan, Indonesia

e-mail*: ismulhadi@unib.ac.id

Diterima 16 April 2023

Disetujui 22 Agustus 2023

Dipublikasikan 31 Agustus 2023

<https://doi.org/10.33369/jkf.6.2.75-82>

ABSTRAK

Provinsi Bengkulu terletak di antara Sumatra *Fault Zone* dan Mentawai *Fault Zone*, yang mana merupakan sistem patahan paling berbahaya di Pulau Sumatera, Indonesia. Selain itu, gempa bumi Bengkulu tahun 2000 dengan magnitudo sebesar Mw 7,9 menyebabkan banyak korban jiwa dan harta benda di sekitar wilayah studi, dan banyak gempa lain yang merusak yang terjadi setelah gempa ini. Penentuan zona rawan gempa Kabupaten Bengkulu Selatan penting dilakukan untuk mengurangi kerusakan akibat gempa. Oleh karena itu, perekaman data mikrotremor *short period* dilakukan di 65 titik di daerah penelitian. Analisis data *ambient noise* dapat membantu mengidentifikasi *local site-effect* di Kabupaten Bengkulu Selatan dengan menggunakan metode *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (HVSr). Frekuensi fundamental alami berkisar antara 1.0 Hz hingga 9.3 Hz, dan faktor amplifikasi berkisar antara 1.8 hingga 4.4. Nilai PGA diperoleh dari kejadian gempa bumi selama 100 tahun dan dihitung menggunakan persamaan Kanai. Hasil menunjukkan bahwa nilai PGA berkisar antara 0.18 g hingga 0.78 g. Zona rawan gempa di Kabupaten Bengkulu Selatan terbagi menjadi tiga zona, yaitu zona klasifikasi rendah (Kota Manna, Pasar Manna, Bunga mas, dan Seginim), sedang (Pino Raya, Air Nipis, dan Ulu Manna), dan tinggi (Manna, Kedurang, dan Kedurang Ilir). Hasil penelitian ini dapat menjadi rekomendasi bagi pemangku kepentingan untuk mempertimbangkan langkah-langkah yang tepat untuk desain dan konstruksi tahan gempa di Kabupaten Bengkulu Selatan.

Kata kunci: Gempa Bumi, HVSr, Kabupaten Bengkulu Selatan, PGA.

ABSTRACT

Bengkulu Province is between the Sumatra Fault Zone and the Mentawai Fault Zone, the most dangerous fault system in Sumatra, Indonesia. In addition, the 2000 Bengkulu earthquake with a magnitude of Mw 7.9 caused a significant loss of life and property in the study area, and many other destructive earthquakes occurred after this earthquake. Determining the earthquake-prone zone of South Bengkulu Regency is essential to reducing earthquake damage. Therefore, short-period microtremor data recording was conducted at 65 points in the study area. Analysis of ambient noise data can help identify local site effects in South Bengkulu Regency using the Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSr) method. The natural fundamental frequency ranges from 1.0 Hz to 9.3 Hz, and the amplification factor ranges from 1.8 to 4.4. PGA values were obtained from a 100-year earthquake event and calculated using the Kanai equation. The results show that PGA values range from 0.18 g to 0.78 g. The earthquake-prone zones in South Bengkulu Regency are divided into three zones: low (Kota Manna, Pasar Manna, Bunga Mas, and Seginim), medium (Pino Raya, Air Nipis, and Ulu Manna), and high (Manna, Kedurang, and Kedurang Ilir). The results of this study can serve as recommendations for stakeholders to consider appropriate measures for earthquake-resistant design and construction in South Bengkulu Regency.

Keywords: Earthquake, HVSr, South Bengkulu Regency, PGA.

I. PENDAHULUAN

Gempa bumi dapat disebabkan oleh berbagai aktivitas tektonik. Mekanisme dan efek gempa bumi telah dibahas secara luas dalam publikasi geosains, seismologi, dan teknik (1). Kabupaten Bengkulu Selatan merupakan salah satu daerah dengan gempa terbanyak di Indonesia. Pada tanggal 4 Juni 2000, gempa berkekuatan 7,9 Mw terjadi di Bengkulu Selatan. Gempa ini juga dikenal sebagai gempa Bengkulu-Enggano. Gempa tersebut mengakibatkan kerusakan yang cukup parah seperti runtuhnya bangunan-bangunan penting yang strategis (khususnya disepanjang pantai Wilayah Administratif Bengkulu Selatan) (2).

Sebagian besar gempa bumi disebabkan oleh rilis energi yang diciptakan oleh aktivitas lempeng yang saling bergerak. Gempa bumi biasanya terjadi pada batas-batas lempeng aktif. Kabupaten Bengkulu Selatan termasuk kedalam zona risiko tinggi terhadap aktivitas seismik gempa bumi dan juga wilayah yang rentan terhadap bahaya tsunami. Hal ini disebabkan oleh kondisi geografis Kabupaten Bengkulu Selatan yang berdekatan dengan Zona Subduksi Sumatera di wilayah Barat daya serta dengan patahan Sumatera Segmen Manna yang berada di wilayah Timur Laut. Sebuah studi tentang penelitian zona kerawanan gempa diperlukan sebagai langkah mitigasi. Sehingga, perhitungan nilai *Peak Ground Acceleration* (PGA) dilakukan untuk mengetahui kerentanan wilayah studi.

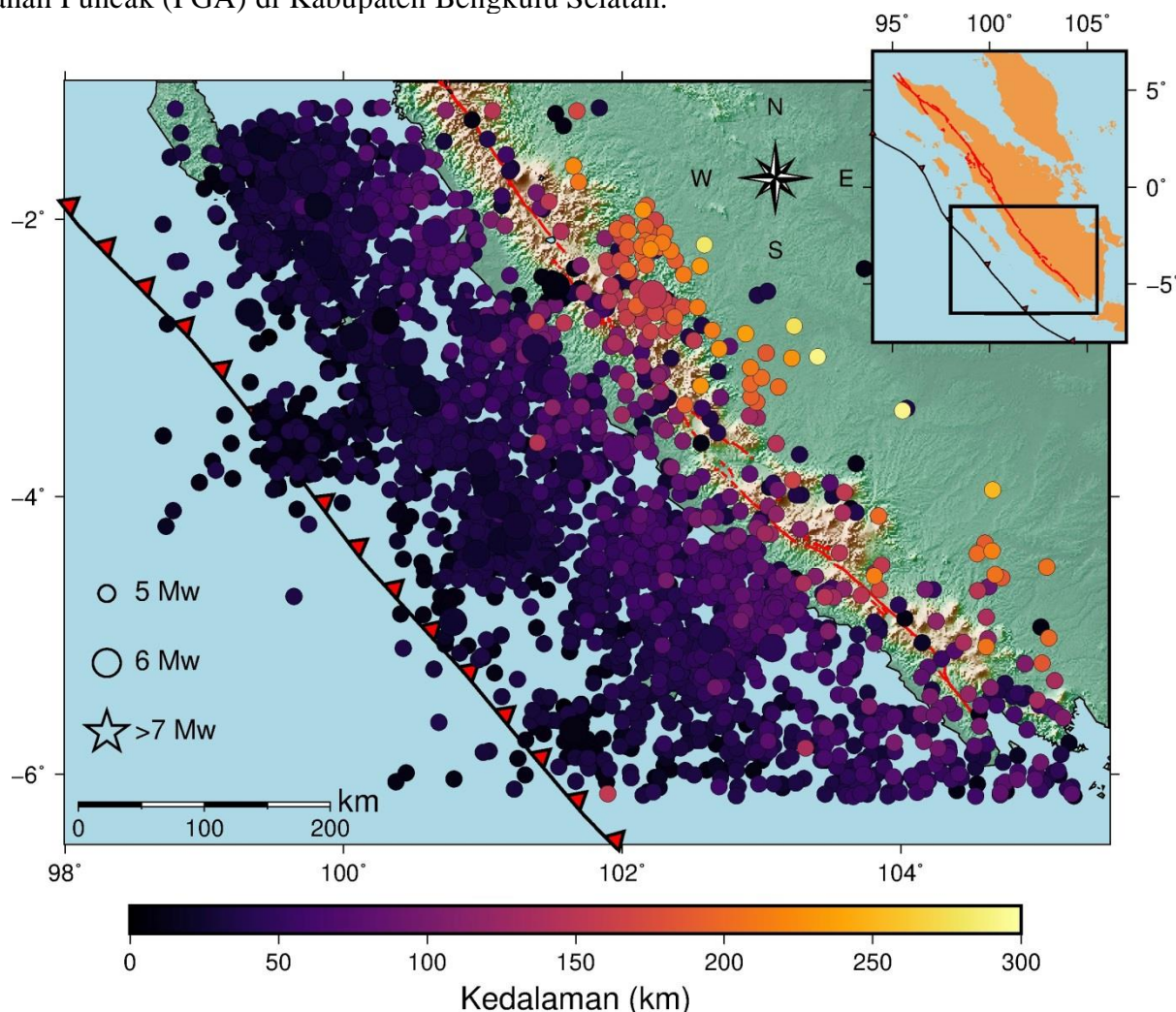
Kerusakan akibat gempa tidak hanya dipengaruhi oleh besarnya magnitudo gempa. Namun kondisi geologis kawasan juga mempengaruhi kerusakan (3). Daerah yang rentan terhadap kerusakan gempa terjadi di daerah dengan kondisi tanah sedimen lunak yang tebal di atas batuan dasar yang keras (4). Semakin tidak stabil (lunak) batuan penyusunnya, maka wilayah tersebut semakin akan rentan terhadap bahaya gempa. Hal ini disebabkan daerah yang tidak stabil (lunak) biasanya memiliki kondisi batuan yang tidak kompak (padat) sehingga mudah mengalami deformasi, jika terjadi gempa dengan magnitudo yang lebih besar bisa menyebabkan kerusakan yang ditimbulkan lebih besar lagi (5).

Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSR) adalah metode yang biasa digunakan untuk menentukan kedalaman batuan dasar. Parameter yang digunakan dalam metode ini adalah faktor amplifikasi tanah dan frekuensi natural tanah. Parameter tersebut berkaitan dengan parameter fisis kondisi bawah permukaan untuk mengidentifikasi karakteristik geologi di wilayah studi. Metode HVSR menggunakan prinsip perhitungan rasio spektral yang dihasilkan dari penjumlahan komponen horizontal dan vertikal (6). Nilai faktor amplifikasi tanah suatu tempat dapat dilihat dari nilai puncak spektral kurva HVSR hasil pengukuran mikrotremor. Nilai periode dominan atau frekuensi natural tanah yang diperoleh dari kurva HVSR berkorelasi dengan tingkat ketebalan lapisan sedimen di wilayah pengukuran (7). Awaliyah (8) di Kecamatan Ulu Manna Kabupaten Bengkulu Selatan menggunakan data gempa mikro untuk melakukan kajian tingkat risiko longsor berdasarkan analisis pengukuran mikroseismik untuk menganalisis pengaruh nilai GSS terhadap intensitas longsor yang diterima. Sebaran nilai PGA diketahui berkisar antara 0,18 g - 0,77 g. Meskipun metode yang digunakan sama, namun hasil penelitian ini hanya terbatas di daerah Kecamatan Ulu Manna saja, dan belum memberikan informasi yang sangat meyakinkan tentang zona kerentanan gempa di Kabupaten Bengkulu Selatan.

Penggunaan peta bahaya seismik yang dihasilkan oleh perhitungan nilai PGA sangat penting. Peta bahaya seismik dapat digunakan untuk desain ketahanan seismik dan perhitungan estimasi kerugian seismik. Penerapan bahaya seismik untuk memprediksi kerugian akibat gempa bumi dapat membantu pemahaman efek gempa bumi di sektor konstruksi. Kerugian seismik akibat gempa bumi telah terbukti memiliki konsekuensi ekonomi, sosial, dan lingkungan yang signifikan (9). Selama dekade terakhir, gempa bumi dahsyat telah merusak bangunan yang mengakibatkan korban jiwa dan kerugian ekonomi yang signifikan. Gempa bumi Canterbury di Selandia Baru (2010/2011), gempa bumi L'Aquila di Italia (2009), dan gempa bumi di Jepang Timur pada tahun 2011 menunjukkan kerugian yang cukup besar yang disebabkan oleh gempa bumi (9). Memperkirakan gerakan tanah seismik di wilayah yang luas (regional, nasional) untuk mendukung perencanaan kota dan penilaian sistem darurat gempa adalah tugas yang tidak sepele (10).

Berdasarkan masalah yang disajikan di atas, harus dilakukan pemetaan wilayah kegempaan

di wilayah administrasi Bengkulu Selatan mengingat tingginya aktivitas kegempaan, dan ketebalan lapisan sedimen. Penerapan gelombang mikrotremor alami di wilayah tersebut guna menggambarkan kondisi geologis bawah permukaan. Metode HVSR digunakan untuk memperoleh parameter karakteristik bawah permukaan seperti nilai frekuensi natural tanah (f_0) dan faktor amplifikasi tanah (A_0) pada daerah pengukuran. Data yang didapatkan dari hasil pengukuran kemudian akan digunakan untuk memetakan distribusi sebaran nilai Percepatan Tanah Puncak (PGA) di Kabupaten Bengkulu Selatan.



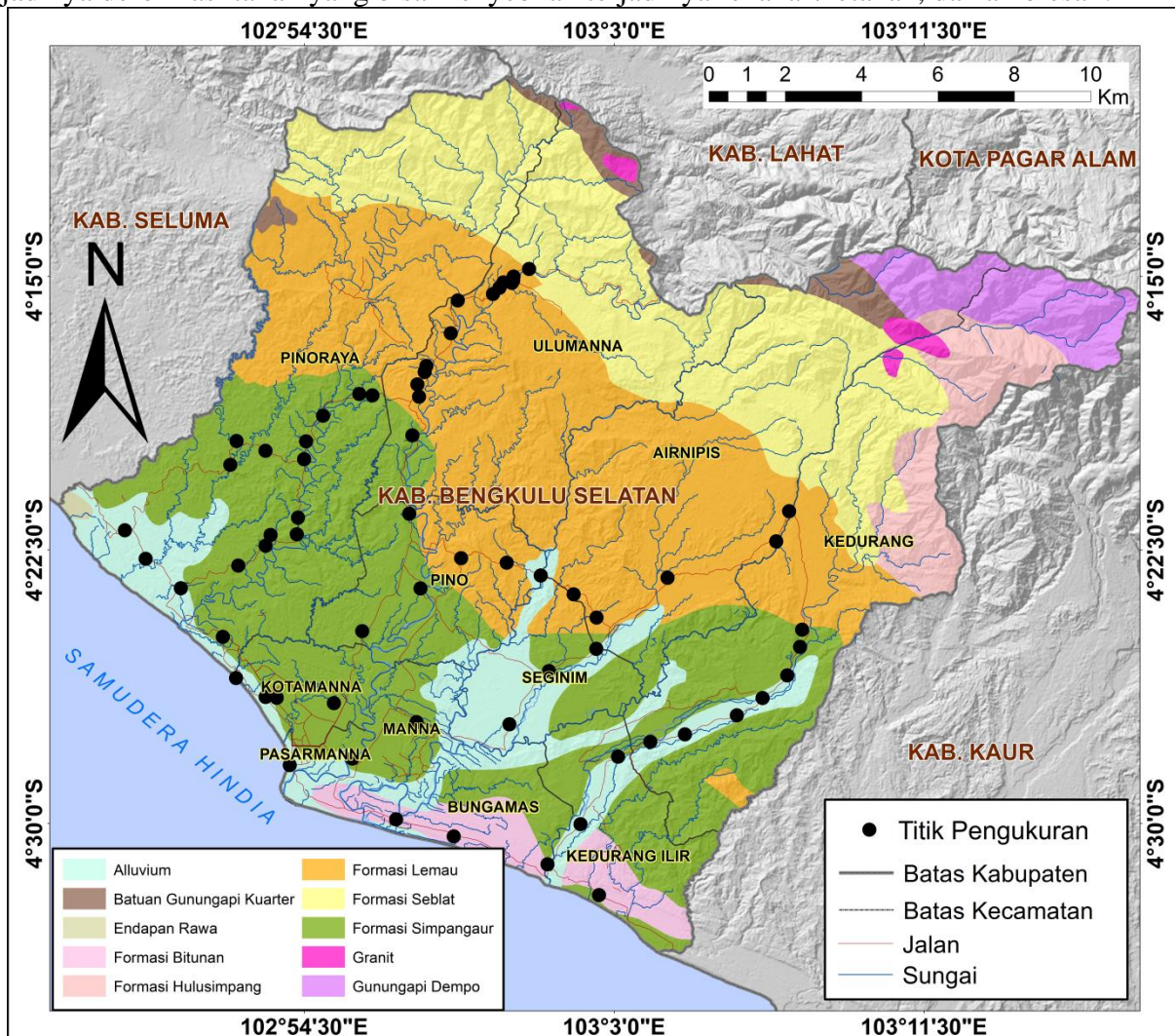
Gambar 1. Peta seismisitas Kabupaten Bengkulu Selatan dan sekitarnya, tahun 2002- 2022 (11).

II. METODE PENELITIAN

Telah dilakukan pengambilan data sebanyak 65 titik di Kabupaten Bengkulu Selatan secara langsung dilapangan (lihat gambar 2). Lokasi titik pengambilan data termasuk infrastruktur publik penting seperti pemukiman masyarakat, kantor pemerintahan, dan sekolah. Rekaman *ambient noise* direkam dengan seismometer tiga komponen (PASI Gemini-2), yang memiliki respons frekuensi 2 Hz yang sangat andal. Survei mikrotremor dilakukan di seluruh wilayah Kabupaten Bengkulu Selatan. Pendataan terutama dilakukan di daerah yang terdampak kejadian gempa bumi tahun 2000. Distribusi ini didasarkan pada pengamatan lapangan untuk mengidentifikasi daerah yang berbeda menurut sensitivitas spektral. Mengikuti panduan SESAME (12), waktu pengumpulan data ditetapkan selama 30 menit serta frekuensi sampling yang digunakan sebesar 200 Hz. Kemudian data diolah menggunakan perangkat lunak Geopsy (13) untuk mengestimasi rasio spektral horizontal-vertikal.

Peak Ground Acceleration (PGA) adalah percepatan tanah maksimum yang disebabkan oleh getaran seismik selama periode waktu tertentu. Nilai percepatan getaran tanah yang dihitung sebagai bagian dari desain bangunan seismik adalah nilai percepatan tanah puncak (14). Kondisi

geologi tanah dan tingkat pemadatan sedimen di suatu daerah sangat menentukan besar kecilnya nilai PGA. Semakin terpadatkan sedimen, maka semakin kecil nilai PGA di daerah tersebut (15). Percepatan tanah puncak dapat memicu deformasi pada lapisan tanah dekat permukaan, yaitu terjadinya deformasi tanah yang bisa menyebabkan terjadinya rekahan/retakan, dan amblesan.

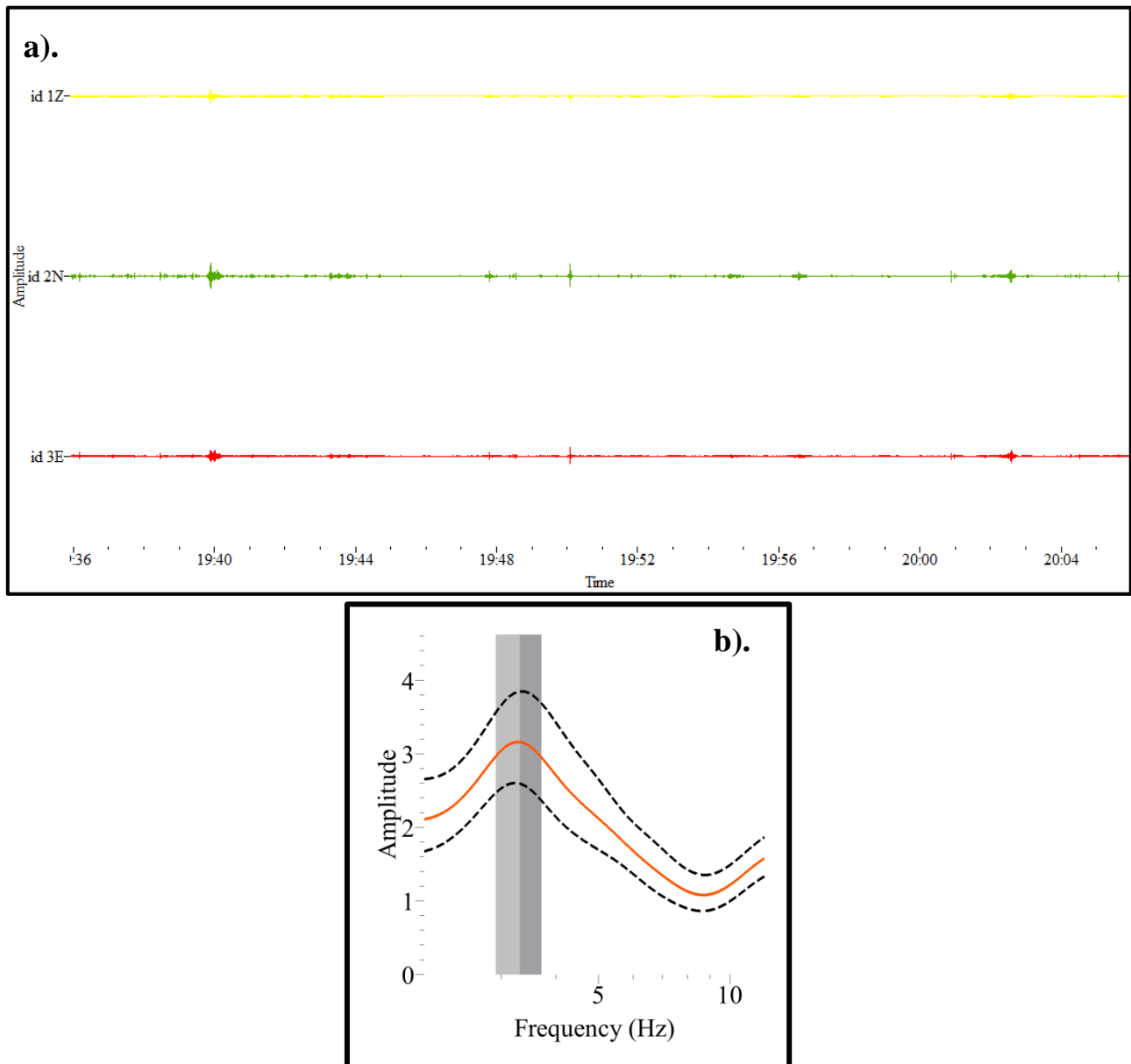


Gambar 2. Peta geologi daerah penelitian(dimodifikasi dari (16)) dan titik pengukuran data.

Nilai PGA di suatu area dapat diukur secara langsung dengan alat pengukur PGA (*accelerograph*), tetapi juga dapat juga dapat diperkirakan secara empiris. Percepatan tanah puncak (α_{max}) pada penelitian kali ini dihitung dengan menggunakan metode atenuasi Kanai 1966 (17) sebagai berikut:

$$\alpha_{max} = \frac{1}{\sqrt{T_g}} \times 10^{0.61M - (1.66 + \frac{3.6}{R} \log R) + (0.67 \frac{1.83}{R})} \tag{1}$$

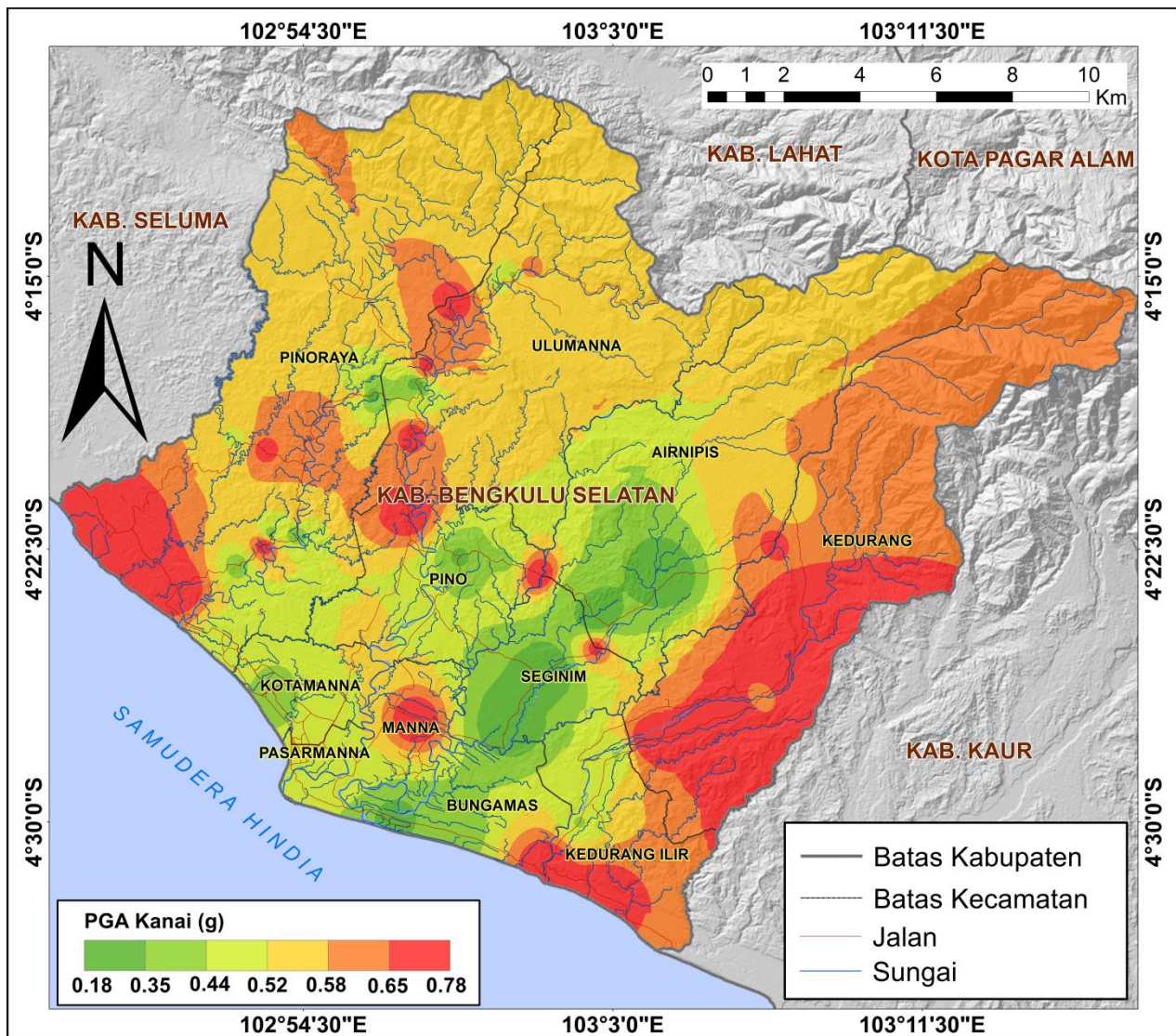
dimana T_g ialah periode getar tanah, M ialah momen magnitudo gempa, dan R ialah jarak hiposenter gempa. dengan menggunakan parameter gempabumi yang terjadi selama 100 tahun terakhir di Kabupaten Bengkulu selatan 1922 – 2022 yang diunduh dari data katalog gempa bumi USGS (11). Ini pada dasarnya adalah formula untuk PGA yang terjadi di permukaan tanah. PGA Kanai ini dapat ditentukan karena lapisan tanah meninggalkan jejak seismik ketika terjadi gempa (18). Gambar 3.a menunjukkan sinyal dari data rekaman mikrotremor tiga komponen dan Gambar 3.b menunjukkan kurva H/V yang berisi nilai frekuensi fundamental dan amplifikasi dari lokasi yang dipilih.



Gambar 3. a). Contoh sinyal rekaman mikrotremor yang diperoleh di lapangan gabungan tiga komponen NS (warna hijau), EW(warna merah), dan UD (warna kuning) Serta, Contoh data mikrotremor yang dianalisis (b) Titik pengukuran MP 30 dan (c) titik pengukuran MP10.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil yang diperoleh dari penelitian ini adalah PGA di daerah Bengkulu Selatan, kemudian divisualisasikan dengan peta zonasi. Nilai PGA menunjukkan percepatan getaran tanah dari keadaan diam hingga tanah bergerak dengan kecepatan tertentu jika terjadi guncangan atau gempa. Nilai ini dihitung berdasarkan jarak terhadap hiposenter, magnitudo gempa, dan periode dominan di daerah penelitian. Sumber gempa yang digunakan adalah gempa-gempa yang terjadi dalam 100 tahun terakhir dengan magnitudo > 5 Mw atau lebih. Berdasarkan hasil persamaan empiris metode atenuasi Kanai (Persamaan 1), diperoleh nilai PGA untuk 11 kecamatan yang ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Peta nilai PGA berdasarkan sumber gempa 100 tahun.

Nilai PGA yang diperoleh berkisar antara 0.18 g hingga 0.78 g. Nilai PGA terendah ditemukan di sebagian wilayah Kecamatan Kota Manna, Bunga Mas, Pasar Manna, dan Seginim, sedangkan nilai PGA tertinggi ditemukan di wilayah Kecamatan Kedurang, Ulu Manna, Kedurang Iilir, dan Pino Raya. Kerusakan dan keruntuhan bangunan akibat gempa bumi disebabkan oleh bangunan yang tidak mampu mengantisipasi kekuatan guncangan tanah. Kekuatan gempa yang ditimbulkan oleh gempa bumi ternyata ditentukan oleh tiga hal, yaitu suplai gempa, jalur perambatan gelombang, dan pengaruh keadaan tanah di sekitarnya (*site*). Dapat dipahami bahwa magnitudo dan jarak sumber gempa menyebabkan getaran yang kuat di dalam tanah, demikian pula kondisi tanah setempat berupa endapan sedimen yang tebal dan lunak menimbulkan fenomena amplifikasi yang meningkatkan nilai getaran tanah.

Bahaya seismik adalah gambaran fenomena yang disebabkan oleh gempa bumi yang berpotensi menyebabkan kerusakan. Berdasarkan kerentanan gempa bumi dan percepatan puncak tanah yang diperoleh pada penelitian sebelumnya, dapat disimpulkan bahwa bahaya seismik di wilayah Kabupaten Bengkulu Selatan relatif rendah hingga tinggi. Akan tetapi, terdapat beberapa wilayah dengan kerentanan gempa tinggi yang harus lebih diwaspadai karena mudah mengalami deformasi seperti Kecamatan Kedurang, Kecamatan Kedurang Iilir, dan Kecamatan Manna. Deformasi ini dapat menyebabkan kerusakan pada bangunan dan infrastruktur ketika terjadi gempa bumi. Oleh karena itu, disarankan untuk tidak membangun konstruksi tahan gempa di wilayah tersebut. Jika memang harus dilakukan, jika perlu membangun konstruksi, maka konstruksi tersebut harus dibangun dengan pondasi yang dalam.

IV. SIMPULAN DAN SARAN

4.1 Simpulan

Hasil penelitian yang telah dilakukan menggunakan metode mikroseismik HVSR dengan indikator nilai PGA di Kabupaten Bengkulu Selatan dapat disimpulkan bahwa beberapa daerah tergolong daerah yang memiliki tingkat resiko besar mengalami kerusakan saat terjadi gempabumi. Hal ini diketahui dari sebaran setiap nilai indikator yaitu sebaran nilai PGA berkisar antara 0.18 g – 0,78 g. Zona rawan gempa di Kabupaten Bengkulu Selatan terbagi menjadi tiga zona, yaitu zona klasifikasi rendah (Kota Manna, Pasar Manna, Bunga mas, dan Seginim) , sedang (Pino Raya, Air Nipis, dan Ulu Manna), dan tinggi (Manna, Kedurang, dan Kedurang Ilir). Berdasarkan kondisi tersebut, maka Kabupaten Bengkulu Selatan perlu dibangunnya bangunan tahan gempa sehingga dapat mengoptimalkan ketahanan bangunan terhadap goncangan gempa bumi yang terjadi dan dapat meminimalisir dampak kerusakan gempa bumi yang terjadi.

4.2 Saran

Diharapkan pada penelitian selanjutnya dilakukan penelitian dengan jumlah titik pengambilan data yang diperbanyak. Sebaran titik pengukuran data yang lebih merata, dan durasi waktu perekaman lebih dari 30 menit guna memperoleh hasil yang lebih maksimal.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Kepala Laboratorium Fisika FMIPA Universitas Bengkulu untuk penyediaan peralatan (PASI GEMINI-2, Kompas Geologi, dan Laptop) selama penelitian ini. Kami juga ingin mengucapkan terima kasih kepada M Hasan, Asrolnaldo, Olive, Erna dan Yohanna Sinaga yang telah membantu akuisisi data mikroseismik selama pekerjaan di lapangan.

DAFTAR PUSTAKA

1. Dong L, Luo Q. Investigations and New Insights on Earthquake Mechanics from Fault Slip Experiments. *Earth-Science Rev.* 2022;228:104019.
2. Farid M, Mase LZ. Implementation of Seismic Hazard Mitigation on the Basis of Ground Shear Strain Indicator for Spatial Plan of Bengkulu City, Indonesia. *Int J GEOMATE.* 2020;18(69):199–207.
3. Daryono, Sutikno, Sartohadi J, Brotopuspito KS, Dulbahri. Pengkajian Local Site Effect di Graben Bantul Menggunakan Indeks Kerentanan Seismik Berdasarkan Pengukuran Mikrotremor. *J Kebencanaan Indones.* 2009;2(1):456–67.
4. Wulandari A, Suharno, Rustadi, Robiana R. Pemetaan Mikrozonasi Daerah Rawan Gempabumi Menggunakan Metode HVSR Daerah Painan Sumatera Barat. *J Geofis Eksplor.* 2012;4(1):31–45.
5. Tanjung NAF, Permatasari I, Yuniarto AHP. Analisis Peak Ground Acceleration (PGA) Kota Tegal Menggunakan Metode HVSR (Horizontal to Vertical Spectra Ratio). *Geosaintek.* 2021;7(1):9–16.
6. Nakamura Y. A Method for Dynamic Characteristics Estimation of Subsurface using Microtremor on The Ground Surface. *Railw Tech Res Institute, Q Reports.* 1989;30(1):25–33.
7. Nakamura Y. On the H/V spectrum. In: *The 14th World Conference on Earthquake Engineering.* Beijing, China; 2008. p. 1–10.

8. Awaliyah IA, Hadi AI, Farid M, Fadli DI, Akbar AJ, Refrizon R. Microzonation Site Effects and Shear Strain during Earthquake Induced Landslide Using HVSR Measurement in Ulu Mana Sub-District, South Bengkulu Regency Indonesia. *J Penelit Pendidik IPA*. 2023;9(2):592–9.
9. Gonzalez RE, Stephens MT, Toma C, Dowdell D. Incorporating Potential Environmental Impacts in Building Seismic Design Decisions [Internet]. *Bulletin of Earthquake Engineering*. Springer Netherlands; 2023. 0123456789 p. Available from: <https://doi.org/10.1007/s10518-023-01686-y>
10. Falcone G, Acunzo G, Mendicelli A, Mori F, Naso G, Peronace E, et al. Seismic Amplification Maps of Italy Based on Site-Specific Microzonation Dataset and One-Dimensional Numerical Approach. *Eng Geol* [Internet]. 2021;289:106170. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2021.106170>
11. USGS. Data Katalog Gempabumi [Internet]. USGS. 2022 [cited 2022 Dec 7]. Available from: <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/search/>
12. SESAME. Guidelines for the Implementation of the H/V Spectral Ratio Technique on Ambient Vibrations. Measurements, Processing and Interpretation. Vol. D23.12. 2004.
13. Wathelet M, Chatelain JL, Cornou C, Giulio G Di, Guillier B, Ohrnberger M, et al. Geopsy: A User-Friendly Open-Source Tool Set for Ambient Vibration Processing. *Seismol Res Lett*. 2020;91(3):1878–1889.
14. Ehsani N, Ghaemghamian MR, Fazlavi M. Estimation of Subsurface Structure using Microtremor in Karaj City , Iran. In: 10th Asian Regional conference of IAEG. Kyoto, Japan: Japan Society of Engineering Geology; 2015. p. 1–7.
15. Nurwidyanto MI, Zainuri M, Wirasatriya A, Yulianto G. Microzonation for Earthquake Hazards with HVSR Microtremor Method in The Coastal Areas of Semarang, Indonesia. *Geogr Tech*. 2023;18(2):177–88.
16. Amin TC, Kusnama., Rustandi E, Gafoer S. Peta Geologi Lembar Manna dan Enggano, Sumatera [Internet]. Pusat Survei Geologi, Badan Geologi, Kementrian Energi dan Sumber Daya Mineral. 2012 [cited 2023 Apr 1]. Available from: <https://geologi.esdm.go.id/geomap/pages/preview/peta-geologi-lembar-manna-dan-enggano-sumatera>
17. Douglas J. Ground Motion Prediction Equations 1964–2021. London: Department of Civil & Environmental Engineering Imperial College London; 2021. 24 p.
18. Manan A, Puspitafuri C, Pertiwi I, Chahyani R. 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*. 2023;2498(1):012040.