

PEMETAAN POTENSI KERENTANAN SEISMIK SEBAGAI MITIGASI BENCANA GEMPA DI MOROTAI SELATAN

Rohima Wahyu Ningrum^{1*}, Risky Nuri Amelia², Suryani Taib¹, Rahim Achmad¹, Marwis Aswan³

¹Program Studi Pendidikan Fisika, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Khairun, JL. Bandara Babullah-Akehuda, 97735, Ternate, Indonesia.

²Program Studi Pendidikan Geografi, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Khairun, JL. Bandara Babullah-Akehuda, 97735, Ternate, Indonesia

³Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Pasifik Morotai, JL. Siswa Desa Darame, 97771, Morotai, Indonesia.

*Corresponding author. Email: ima.geolove@gmail.com

Manuscript received: 14 December 2021; Received in revised form: 19 March 2022; Accepted: 19 April 2022

Abstrak

Kondisi geologi Pulau Morotai dipengaruhi sesar-sesar kecil dan aktivitas tektonik dari beberapa lempeng utama dan lempeng kecil yang membentuk zona subduksi, yaitu Lempeng Pasifik, Lempeng *Philippine*, Lempeng Sangihe, dan Lempeng Laut Maluku. Hal ini menyebabkan Pulau Morotai memiliki potensi bahaya gempabumi yang termasuk tinggi. Morotai Selatan merupakan pusat pemerintahan, jasa, perdagangan, dan perekonomian di Pulau Morotai, serta memiliki potensi yang tinggi terhadap gempabumi. Oleh sebab itu, dilakukan analisis sebaran nilai kerentanan seismik di Morotai Selatan berdasarkan pemetaan sebagai upaya mitigasi bencana di Morotai Selatan. Metode mikrotremor menggunakan teknik analisis rasio spektral H/V untuk menganalisa tingkat kerusakan bahaya gempabumi berdasarkan nilai indeks kerentanan seismik dengan mempertimbangkan kondisi tanah setempat. Nilai frekuensi dasar tanah (f_0) yang diperoleh saat pengukuran mikrotremor antara 0,6 Hz sampai 0,7 Hz. Nilai amplitudo (A_0) di daerah Morotai Selatan sekitar 1,9 – 5,2 kali penguatan. Nilai indeks kerentanan seismik (K_g) di daerah penelitian dihitung berdasarkan nilai frekuensi dasar tanah dan amplitudo dengan antara 5,9 sampai 44,8. Disimpulkan bahwa sebaran indeks K_g yang tinggi dan merupakan potensi daerah rentan bencana gempabumi berada di Desa Darame, Desa Muhajirin, dan Desa Wawama dengan nilai $K_g > 20$. Daerah ini tersusun atas alluvium yang terdiri dari kerikil, pasir, lumpur, dan bongkah, sehingga diklasifikasikan ke dalam jenis tanah lunak. Daerah kurang rentan berada di Desa Gotalamo, Desa Daruba Pantai, dan Desa Darame.

Kata Kunci: gempabumi; HVSRR; indeks kerentanan seismik; mitigasi.

Abstract

The geological condition of Morotai Island is influenced by small faults and tectonic activity from several major and minor plates that form the subduction zone, are the Pacific plate, the Philippine plate, the Sangihe plate, and the Moluccas Sea plate. This causes Morotai Island to have a high potential for earthquake hazards. South Morotai is the center of government, services, trade and economy on Morotai Island, and has a high potential for earthquakes. Therefore, an analysis of the distribution of seismic vulnerability values in South Morotai was carried out based on mapping as a disaster mitigation effort in South Morotai. The microtremor method uses the H/V spectral ratio analysis technique to analyze the level of earthquake hazard based on the value of the seismic vulnerability index by considering local soil conditions. The ground frequency value (f_0) obtained when measuring microtremor is between 0.6 Hz to 0.7 Hz. The amplitude value (A_0) in the South Morotai area is around 1.9 – 5.2 times

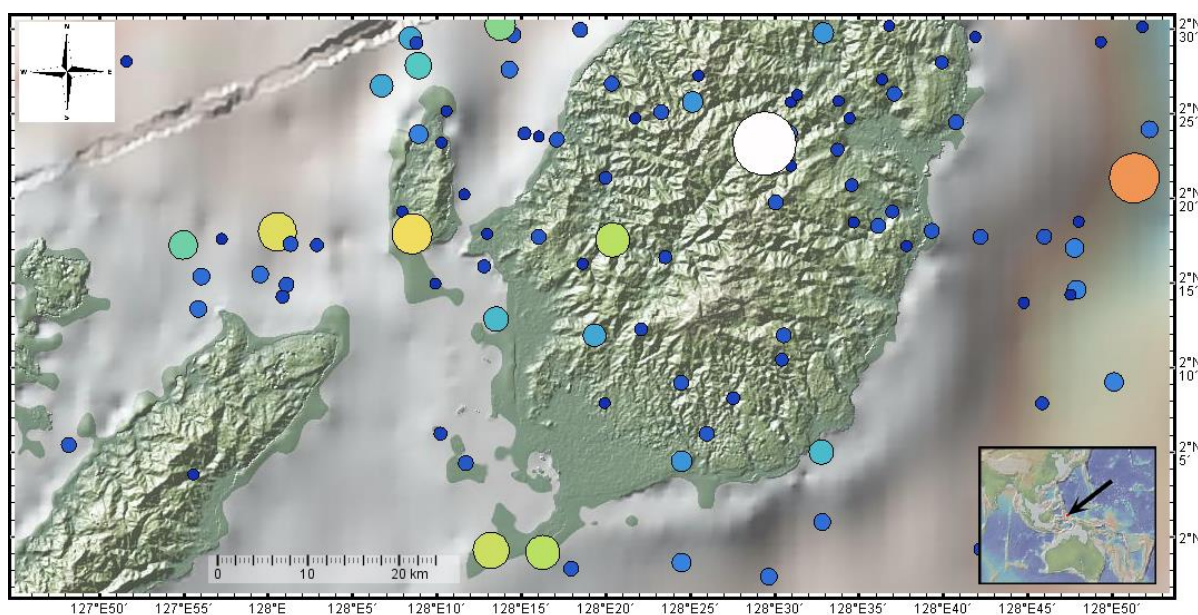
strengthening. The value of the seismic susceptibility index (K_g) in the study area is calculated based on the value of the basic frequency and amplitude with between 5.9 to 44.8. It was concluded that the distribution of a high K_g index and an earthquake prone area was in Darame Village, Muhajirin Village, and Wawama Village with a K_g value > 20 . This area is composed of alluvium consisting of gravel, potential mud, and boulders, so it is classified into soft soil type. Less vulnerable areas are in Gotalamo Village, Daruba Pantai Village, and Darame Village.

Keywords: earthquake; H/V; mitigation; seismic vulnerability index.

Pendahuluan

Kondisi geologi Pulau Morotai dipengaruhi sesar-sesar kecil dan aktivitas tektonik dari beberapa lempeng utama dan lempeng kecil yang membentuk zona subduksi, yaitu Lempeng Pasifik, Lempeng *Philippine*, Lempeng Sangihe, dan Lempeng Laut Maluku. Potensi bahaya gempa bumi yang ada di Pulau Morotai termasuk tinggi

(BNPB, 2015) seperti pada Gambar 1. Namun, potensi bahaya gempa bumi yang tinggi tidak dibarengi dengan kapasitas daerah dalam penanggulangan bencana, terlihat dari data indeks ketahanan atau kapasitas di Kabupaten Pulau Morotai yang masih tergolong rendah (BPBD, 2014).



Gambar 1. Peta seismisitas Pulau Morotai.

Pusat pemerintahan Pulau Morotai terletak di Morotai Selatan yang secara geografis didominasi oleh daerah pesisir dengan topografi daratan. Morotai Selatan memiliki luas wilayah daratan 363,1 km² yang terbagi menjadi 25 desa dengan populasi penduduk 23.340 jiwa (BPS Kabupaten Pulau Morotai, 2021). Morotai Selatan merupakan pusat pemerintahan, jasa, perdagangan, dan perekonomian di Pulau Morotai, maka dari itu perlu dilakukan pemetaan kerentanan seismik

sebagai bentuk mitigasi bencana. Peta kerentanan seismik dapat dijadikan sebagai usulan arahan dalam penentuan kebijakan pengembangan Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW) berbasis kebencanaan untuk daerah Morotai Selatan. Pengkajian kerentanan bencana diharapkan dapat digunakan untuk mengumpulkan data yang terinci sehingga dapat mengetahui tingkat kapasitas terhadap potensi ancaman bencana (Sumekto, 2011).

Dengan memperhatikan gempa yang berpotensi mengguncang wilayah ini, penilaian kerentanan seismik perlu dilakukan dengan menggunakan data mikrotremor. Kerentanan seismik dari pengukuran mikrotremor menunjukkan gambaran dari karakteristik kerentanan tiap struktur bawah permukaan terhadap perubahan bentuk batuan saat gempabumi terjadi (Daryono, 2011). Metode analisis yang digunakan adalah metode mikrotremor dengan teknik analisis rasio spektral H/V atau *Horizontal Vertical Spectral Ratio* (HVSr).

Teknik analisis rasio spektral H/V direkomendasikan sebab operasional lapangan yang sederhana dan biaya rendah baik survei dan analisisnya. Penerapan teknik rasio spektral H/V terbukti untuk evaluasi efek lokasi (*site effect*) dengan mengetahui karakteristik lapisan sedimen dengan menggunakan nilai frekuensi dasar tanah (f_0) dan amplitudo (A_0) (Nakamura et al., 2000). Nilai frekuensi dasar dan amplitudo digunakan untuk menganalisis kerentanan seismik, nilai kerentanan seismik menggambarkan karakteristik efek lokasi untuk menentukan daerah lemah pada suatu daerah (Warnana dkk., 2011).

Teknik analisis rasio spektral H/V dalam penelitian ini digunakan untuk menganalisis sebaran nilai kerentanan seismik di Morotai Selatan berdasarkan pemetaan sebagai upaya mitigasi bencana di Morotai Selatan. Hasil ini diharapkan bermanfaat dalam media informasi bagi masyarakat dan pemerintah tentang kerentanan seismik yang diakibatkan oleh gempabumi dan sebagai informasi dalam pemanfaatan ruang wilayah berbasis kebencanaan

sebagai bentuk mitigasi bencana dalam konteks gempabumi.

Mikrotremor

Metode mikrotremor dapat digunakan untuk mengevaluasi *local site effect* dan karakteristik lapisan tanah permukaan (frekuensi resonansi, dan indeks kerentanan seismik) akibat gerakan seismik tanpa memerlukan informasi geologi lainnya (Nakamura, 2000). Teknik analisis rasio spektral H/V digunakan menganalisis pengaruh efek lokal (*site effect*) terhadap bangunan yang mengalami kerusakan akibat gempabumi (Sungkono and Santosa, 2011; Mirzaoglu and Dýkmen, 2003). Teknik analisis rasio spektral H/V dapat dinyatakan melalui persamaan (Nakamura, 1989):

$$A_s(f) = \frac{S_s^H(f)}{S_s^V(f)} \quad (1)$$

dengan:

S_s^H : spektrum komponal horizontal dari data mikrotremor di atas lapisan sedimen,
 S_s^V : spektrum komponen vertikal di lapisan sedimen permukaan dan
 $A_s(f)$: rasio H/V berdasarkan gelombang permukaan.

Hasil metode HVSr adalah nilai amplitudo (A_0) dan frekuensi dasar tanah (f_0) (Nakamura et al., 2000). Nilai frekuensi dasar tanah dapat dinyatakan dengan nilai periode dasar tanah (T_0) yakni menggambarkan karakter lapisan batuan. Nilai periode dasar tanah biasa digunakan untuk usulan perencanaan bangunan untuk dapat melihat potensi risiko bahaya gempa yang akan terjadi. Adapun klasifikasi tanah berdasarkan nilai frekuensi dominan dan periode disajikan pada Tabel 1 dan 2.

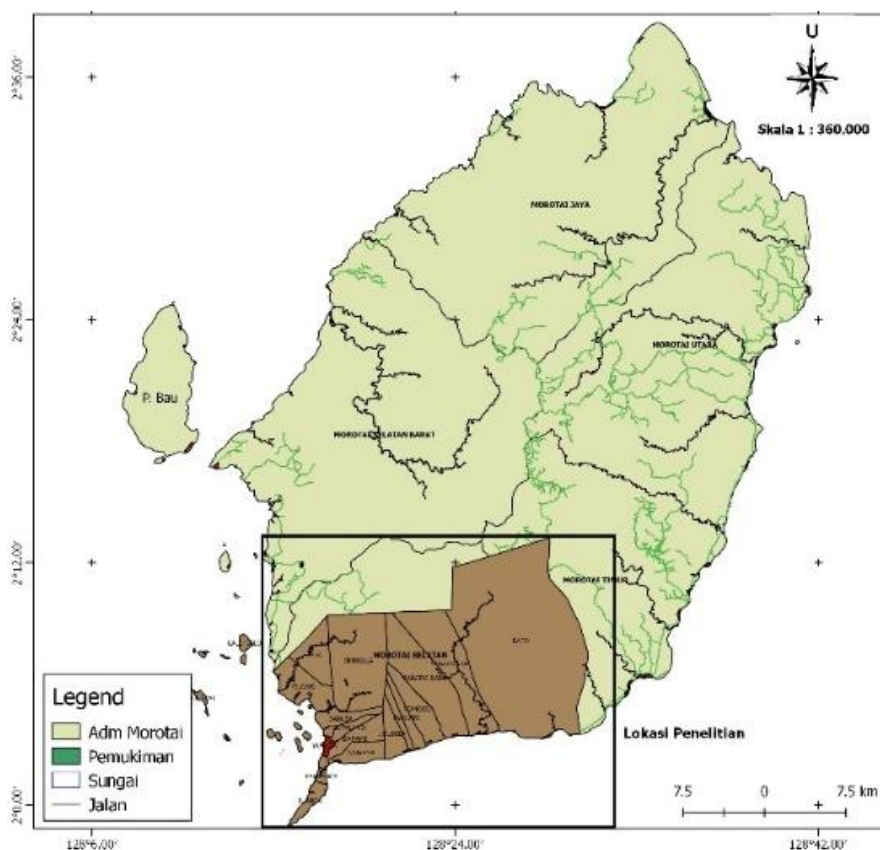
Tabel 1. Klasifikasi Tanah Berdasarkan Nilai Frekuensi Dominan Mikrotremor oleh Kanai (BMKG, 1998)

Klasifikasi Tanah		Frekuensi Dominan (Hz)	Klasifikasi Kanai	Deskripsi
Type	Jenis			
Type IV	Jenis I	6,667 – 20	Batuan tersier atau lebih tua, terdiri dari batuan <i>hard sandy, gravel</i> , dll	Ketebalan sedimen permukaannya sangat tipis, didominasi oleh batuan keras.

	Jenis II	10 – 4	Batuan <i>alluvial</i> , dengan ketebalan 5 m. Terdiri dari <i>sandy-gravel</i> , <i>sandy hard clay</i> , <i>loam</i> , dll.	Ketebalan sedimen permukaannya masuk dalam kategori menengah 5-10 meter
Tipe III	Jenis III	2,5 – 4	Batuan <i>alluvial</i> , dengan ketebalan > 5 meter. Terdiri dari <i>sandy-garvel</i> , <i>sandy hard clay</i> , <i>loam</i> , dll.	Ketebalan sedimen permukaan masuk dalam kategori tebal, sekitar 10-30 meter.
Tipe II Tipe I	Jenis IV	< 2,5	Batuan <i>alluvial</i> , yang terbentuk dari sedimentasi delta, top soil, lumpur, dll. Dengan kedalaman 30 m atau lebih.	Ketebalan sedimen permukaannya sangatlah tebal.

Tabel 2. Klasifikasi Tanah Berdasarkan Periode oleh Kanai, Omote dan Nakajima (BMKG, 1998)

Klasifikasi Tanah		Periode T (detik)	Keterangan	Karakter
Kanai	Omote-Nakajima			
Jenis I		0,05-0,15	Batuan tersier atau lebih tua. Terdiri dari batuan <i>hard sandy</i> , <i>garvel</i> , dan lain-lain	Keras
Jenis II	Jenis A	0,10-0,25	Batuan <i>alluvial</i> , dengan ketebalan 5 meter. Terdiri dari <i>sandy-garvel</i> <i>sandy hard clay</i> , <i>loam</i> , dan lain-lain	Sedang
Jenis III	Jenis B	0,25-0,40	Batuan <i>alluvial</i> , dengan ketebalan > 5 meter dan hampir sama dengan jenis II, hanya dibedakan oleh adanya formasi <i>bluff</i> . Terdiri dari <i>sandy-garvel</i> , <i>sandy hard clay</i> , <i>loam</i> , dan lain-lain.	Lunak
Jenis V	Jenis C	> 0,40	Batuan <i>alluvial</i> , yang terbentuk dari sedimentasi delta, top soil, lumpur, dll. Dengan kedalaman 30 m atau lebih.	Sangat Lunak



Gambar 2. Lokasi penelitian.

Indeks kerentanan seismik menggambarkan kondisi dari tingkat kerawanan bahaya gempabumi berdasarkan kondisi geologi batuan lokal (Nakamura, 2000). Indeks kerentanan seismik dirumuskan oleh Nakamura (2000), Nakamura et al. (2000), Gurler et al. (2000), Saita et al. (2004) sebagai berikut:

$$K_g = A^2 / f_0 \quad (2)$$

dengan:

K_g : indeks kerentanan seismik,
 A^2 : puncak spektrum mikrotremor,
 f_0 : frekuensi resonansi.

Hubungan antara indeks kerentanan seismik dengan rasio tingkat kerusakan bangunan telah banyak dilakukan seperti oleh Nakamura et al. (2000) dan Saita et al. (2004).

Metode Penelitian

Penelitian dilakukan di Kecamatan Morotai Selatan, Kabupaten Pulau Morotai seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 2. Titik pengambilan data diambil di daerah pusat kota sebanyak 8 titik menyebar selama 5 hari.

Analisis kerentanan seismik menggunakan pendekatan parameter sumber gempabumi seperti, kondisi geologi dan geotektonik, karakteristik dan klasifikasi kondisi tanah setempat, kecepatan gelombang geser, gerakan tanah, percepatan tanah maksimum, atenuasi, dan katalog gempa. Metode yang dilakukan dalam analisis kerentanan seismik ini adalah HVSr, digunakan untuk menganalisa tingkat kerusakan bahaya gempabumi berdasarkan nilai indeks kerentanan seismik dengan mempertimbangkan kondisi tanah setempat.

Adapun prosedur pengumpulan data dalam penelitian ini melalui beberapa tahapan, yakni:

1. Persiapan

Persiapan yang dilakukan adalah menyiapkan data-data awal dengan melakukan survei pendahuluan.

2. Penelitian

Tahap penelitian ini adalah melakukan akuisisi data di lokasi penelitian untuk memperoleh data primer dengan menggunakan alat dan bahan, yakni *Global Positioning System (GPS)*, *Portable Digital Broandand Seismograph single-station*, dan peta geologi.

3. Pengolahan dan analisis data

Peta tingkat kerentanan seismik daerah Morotai Selatan dihasilkan dengan menggunakan perangkat lunak (*software*) yang *opensource*: *geopsy*, dan *QuantumGis*. Peta ini kemudian dianalisis untuk dapat digunakan sebagai mitigasi bencana dalam konteks gempabumi dan usulan perencanaan pengembangan wilayah berbasis pengurangan risiko dalam menunjang pembangunan daerah secara berkelanjutan.

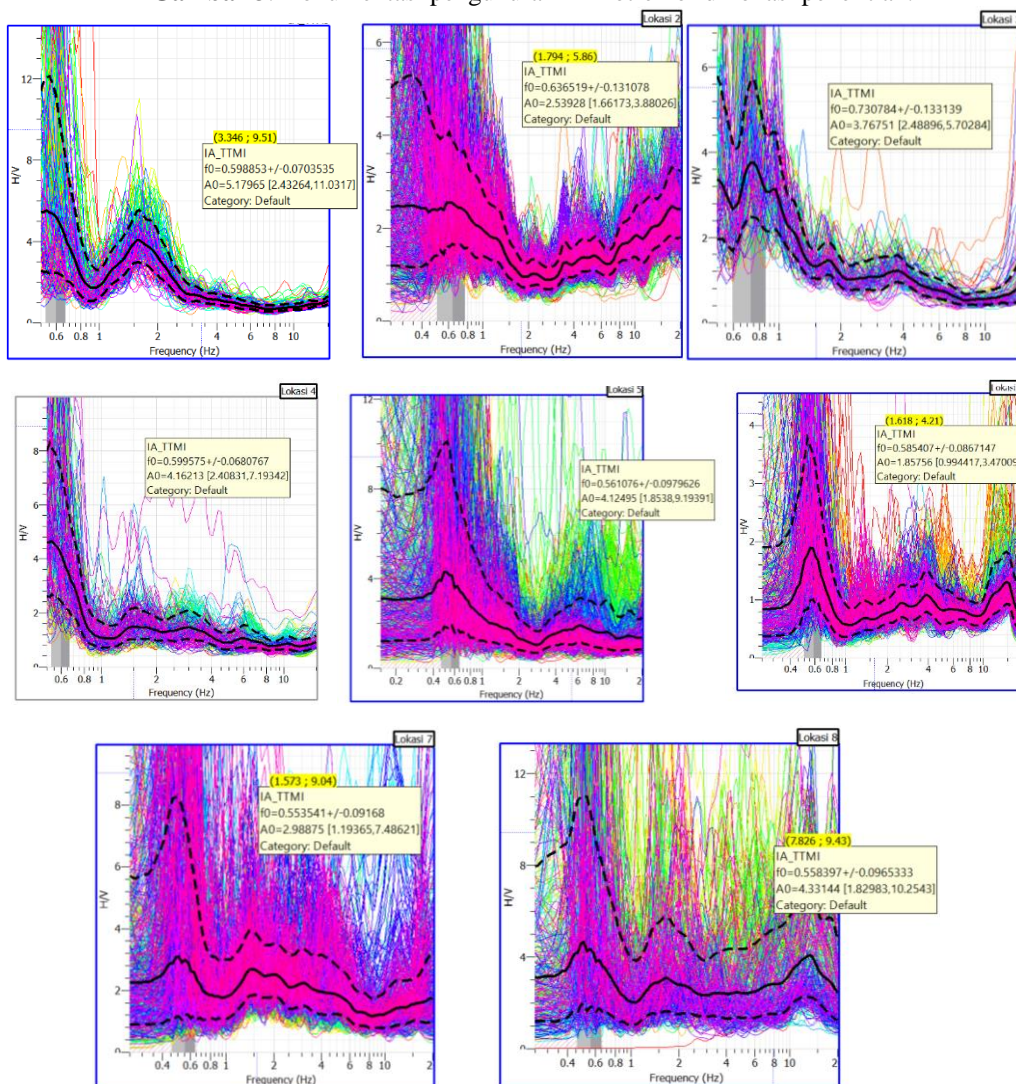
Hasil dan Pembahasan

Alat yang digunakan dalam pengukuran mikrotremor adalah *Portable Digital Broandand Seismograph single-station* dan membutuhkan waktu yang lama dalam pengambilan datanya untuk setiap lokasi. Tahap pertama dalam pengambilan data adalah dengan melakukan kalibrasi alat yang membutuhkan waktu sekitar 2 jam dan untuk rekam data gempa lokal membutuhkan waktu sekitar 30 menit hingga 1 jam.

Kualitas dan reliabilitas data sangat berpengaruh pada parameter perekaman yang telah disarankan oleh Chatelain et al. (2008). Hal ini diharapkan dapat mempercepat proses perekaman. Proses perekaman dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Dokumentasi pengukuran mikrotremor di lokasi penelitian.



Gambar 4. Hasil kurva HVSR di Kecamatan Morotai Selatan.

Data dari pengukuran mikrotremor *single station* kemudian diolah menggunakan teknik analisis rasio spektral H/V dengan bantuan *software* Geopsy. Teknik analisis

rasio spektral H/V digunakan untuk mengetahui karakterisasi respon suatu lokasi yang dipengaruhi oleh gempa lokal dan menilai secara kuantitatif bahaya

gempa melalui perhitungan nilai indeks kerentanan seismik (K_g) sebagai bentuk mitigasi bencana (Kang et al., 2020). Hasil dari pengolahan data berupa kurva *ratio* H/V disertai dengan nilai frekuensi dasar atau dominan (f_0) dan amplitudo (A_0) untuk setiap lokasi penelitian. Kurva H/V yang dihasilkan pada 8 lokasi penelitian terlihat pada Gambar 4.

Nilai frekuensi dasar tanah (f_0) dan amplitudo (A_0) yang ditunjukkan pada kurva HVSR digunakan sebagai masukan untuk mendapatkan nilai Indeks Kerentanan Seismik (K_g). Nilai frekuensi dasar tanah (f_0) yang diperoleh saat pengukuran mikrotremor menunjukkan kisaran antara 0,6 Hz sampai 0,7 Hz dan nilai amplitudo (A_0) sekitar 1,9 – 5,2 kali penguatan. Kemudian nilai indeks kerentanan seismik (K_g) di daerah penelitian dihitung berdasarkan nilai frekuensi dasar tanah dan amplitudo berdasarkan Persamaan 2. Nilai indeks kerentanan seismik (K_g) diperoleh dengan kisaran 5,9 sampai 44,8.

Karakteristik dan jenis batuan dapat diketahui dengan melihat nilai frekuensi dominan pada suatu lokasi penelitian (Haerudin, Alami, dan Rustadi, 2019). Klasifikasi dari 8 lokasi pengukuran berdasarkan nilai frekuensi dominan (f_0) menurut (Chatelain et al., 2008), ditunjukkan bahwa daerah Morotai Selatan termasuk dalam kondisi frekuensi rendah ($f_0 \leq 1 - 2\text{Hz}$). Daerah dengan frekuensi rendah memiliki karakteristik batuan batuan alluvial dan sangat lunak. Untuk ketebalan sedimen permukaannya termasuk dalam kategori sangatlah tebal mencapai 30 meter (Kanai, 1983). Ketebalan sedimen yang tebal dapat membuat gelombang gempa terjebak pada sedimen dan terjadi multirefleksi gelombang sehingga menyebabkan rawan bencana gempabumi (Ambarsari, 2017).

Nilai amplitudo (A_0) > 3 termasuk berbahaya dan berhubungan dengan

frekuensi rendah (Nakamura, 2000). Daerah dengan kecepatan gelombang kecil maka nilai amplifikasinya tinggi sehingga tingkat densitas batuan akan berkurang atau lunak (Ningrum, et al., 2019). Nilai amplifikasi (A_0) yang tinggi > 3 menyebar hampir ke semua lokasi pengukuran, dapat dikatakan bahwa daerah dengan nilai amplifikasi tinggi memiliki tingkat densitas batuan yang semakin lunak. Sehingga memiliki kerentanan yang lebih tinggi terhadap guncangan gempa bumi dan akan mengalami kerusakan pada bangunan.

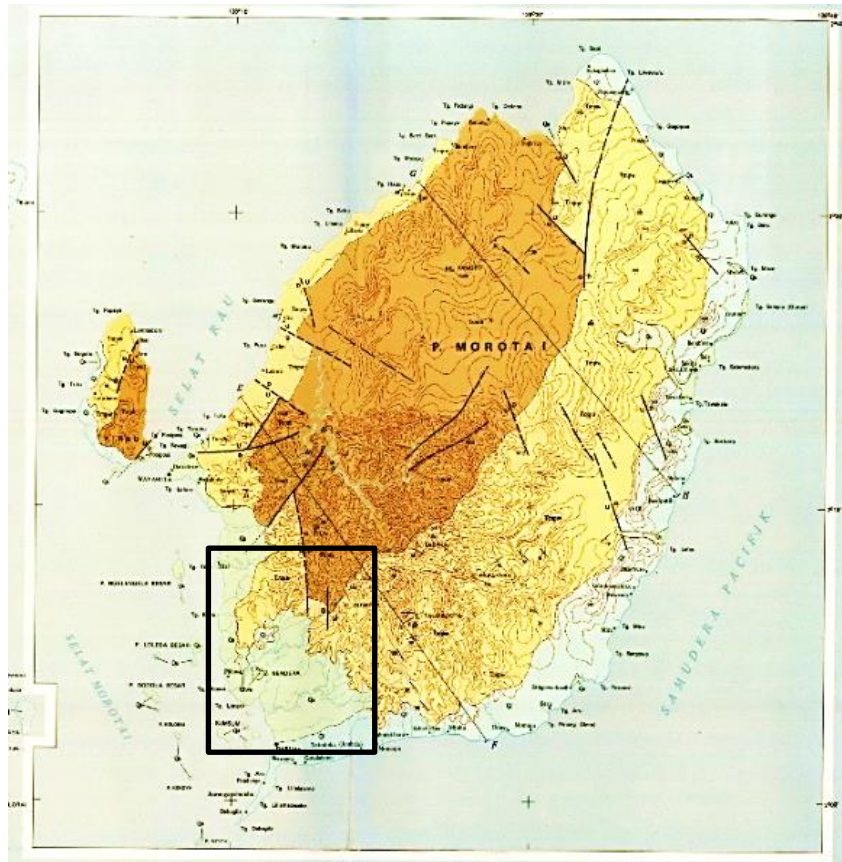
Sebaran daerah rentan berdasarkan data seismik terdapat pada daerah dengan jenis tanah lunak berada di Desa Darame, Desa Muhajirin dan Desa Wawama dengan nilai $K_g > 20$. Terlihat pada Gambar 5-6 bahwa nilai indeks kerentanan seismik yang tinggi terletak di pemukiman yang padat penduduk. Daerah kurang rentan berada di Desa Gotalamo, Desa Daruba Pantai, Desa Darame. Nilai K_g tinggi menunjukkan tingkat jumlah kerusakan bangunan yang tinggi akibat gempabumi sedangkan nilai K_g rendah menunjukkan tingkat jumlah kerusakan yang rendah dikarenakan struktur tanah yang stabil terhadap guncangan gempa bumi (Ningrum et al, 2018).

Hubungan tingkat kerusakan tanah dan bangunan terhadap lapisan sedimen bawah permukaan akibat gempabumi dilihat dari nilai indeks kerentanan seismik. Hal ini juga sangat berkaitan dengan kondisi geologi lokal daerah sekitar penelitian.

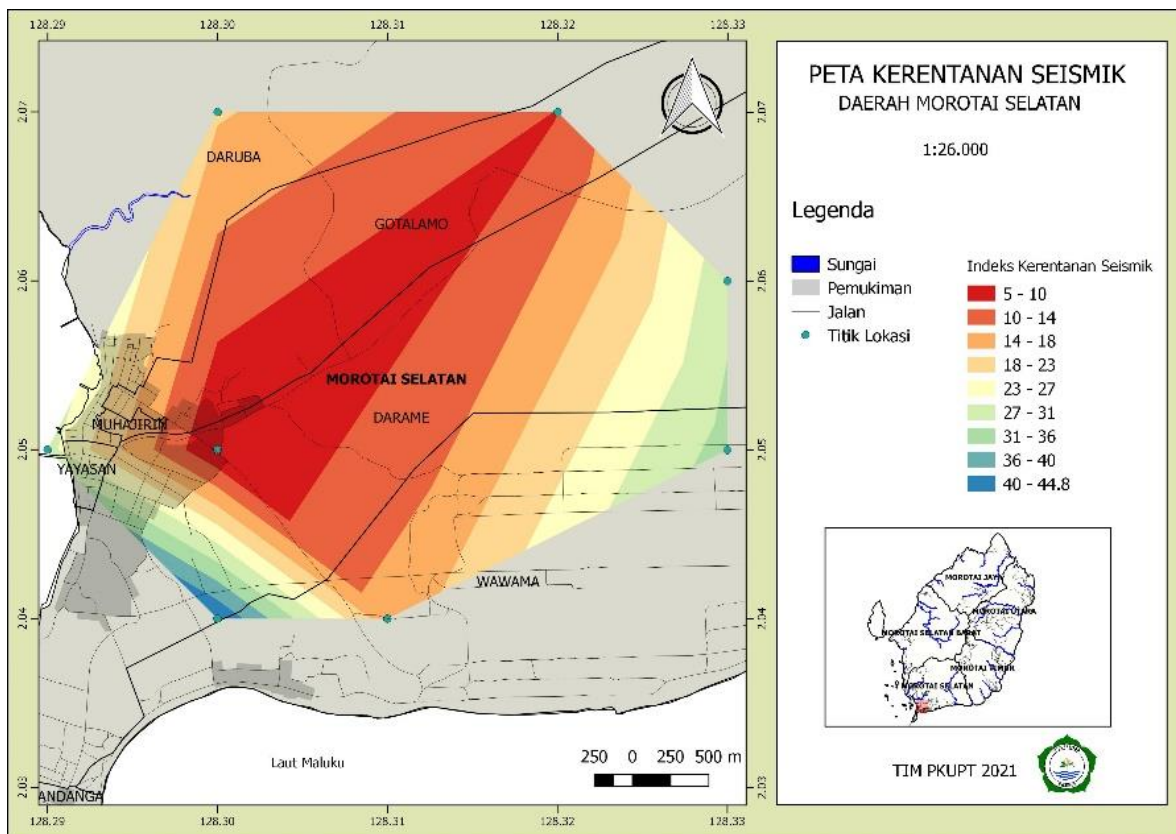
Menurut Gurler et al. (2000) dan Nakamura (2008), nilai indeks kerentanan seismik tinggi berada pada daerah pesisir, rawa dan reklamasi yang tersusun atas alluvium. Sedangkan nilai indeks kerentanan seismik rendah berada pada daerah perbukitan. Daerah dengan indeks kerentanan seismik yang tinggi maka memiliki nilai frekuensi dasar tanah (f_0) yang rendah atau dengan kata lain memiliki ketebalan sedimen yang tebal dan berada pada lapisan lunak

sehingga nilai amplitudo besar (Ambarsari, 2017). Sehingga indeks kerentanan seismik

(K_g) menunjukkan hubungan frekuensi dasar tanah (f_0) dengan amplitudo (A_0).



Gambar 5. Peta struktur geologi Pulau Morotai (Supriatna, 1980). Kotak hitam menunjukkan lokasi Gambar 6.



Gambar 6. Peta distribusi nilai indeks kerentanan seismik (K_g).

Kesimpulan

Sebaran nilai indeks kerentanan seismik yang tinggi dan merupakan potensi daerah rentan terhadap bencana gempa bumi berada di Desa Darame, Desa Muhajirin dan Desa Wawama dengan nilai $K_g > 20$. Daerah ini tersusun atas alluvium yang terdiri dari kerikil, pasir, lumpur dan bongkah, sehingga diklasifikasikan ke dalam jenis tanah lunak. Daerah kurang rentan berada di Desa Gotalamo, Desa Daruba Pantai, Desa Darame.

Ucapan Terima Kasih

Penelitian ini didukung dan didanai oleh Hibah Universitas Khairun melalui Program Penelitian Kompetitif Unggulan Perguruan Tinggi Tingkat Fakultas tahun anggaran 2021.

Daftar Pustaka

- Ambarsari, D. 2017. *Analisis Mikrotremor Dengan Metode HVSR Untuk Mikrozonasi Kabupaten Gunungkidul Yogyakarta*. Undergraduate thesis, ITS. <https://repository.its.ac.id/45998/>
- Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB). 2015. *Kajian Risiko Bencana Maluku Utara 2016-2020*. Jakarta: Deputi Bidang Pencegahan dan Kesiapsiagaan, BNPB.
- Badan Penanggulangan Bencana Daerah (BPBD) Maluku Utara, 2014. *Kajian Potensi Dan Analisa Daerah Rawan Bencana Di Provinsi Maluku Utara*. Laporan Akhir BPBD Provinsi Maluku Utara.
- Badan Pusat Statistik (BPS) Kabupaten Pulau Morotai. 2021. *Kabupaten Pulau Morotai dalam Angka*. Jakarta: CV. Dharmaputra.
- BMKG. 1998. *Sumberdaya Geologi*. Buletin Meteorologi dan Geofisika No. 4. Jakarta: BMKG.
- Chatelain, J.L., Guillier, B., Cara, F., Duval, A.-M., Atakan, K., Bard, P.Y., and The WP02 SESAME team. 2008. *Evaluation of the influence of experimental conditions on H/V results from ambient noise recordings*. Bulletin of Earthquake Engineering, 6, pp.33–74. <https://doi.org/10.1007/s10518-007-9040-7>.
- Daryono. 2011. *Indeks Kerentanan Seismik Berdasarkan Mikrotremor Pada Setiap Satuan Bentuk Lahan di Zona Graben Bantul Daerah Istimewa Yogyakarta*. Ph.D. thesis, Universitas Gadjah Mada. http://etd.repository.ugm.ac.id/home/detail_pencarian/146738
- Gurler, E.D., Nakamura, Y., Saita, J. and Sato, T. 2000. *Local site effect of mexico city based on microtremor measurement*. In: International Conference on Seismic Zonation. Palm Spring Riviera Resort, California, USA, p. 65. https://www.sdr.co.jp/papers/local_site_effect_on_mex.pdf
- Haerudin, N., Alami, F., dan Rustadi. 2019. *Mikroseismik, Mikrotremor dan Microearthquake dalam ilmu kebumihan*. Bandar Lampung: Pusaka Media.
- Kanai, K. 1983. *Seismology in Engineering*. Tokyo: The University of Tokyo.
- Kang, S.Y., Kim, K.H. and Kim, B. 2021. *Assessment of Seismic Vulnerability Using the Horizontal-To-Vertical Spectral Ratio (Hvsvr) Method in Haenam, Korea*. Geosciences Journal, 25, pp.71–81. <https://doi.org/10.1007/s12303-020-0040-9>
- Mirzaoglu, M. and Dýkmen, Ü. 2003. *Aplication of Microtremors to Seismic Microzoning Procedure*, Journal of The Balkan Geophysical Society, 6(3), pp.143-156. <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.931.2698&rep=rep1&type=pdf>

- Nakamura, Y., 1989. *A Method for Dynamic Characteristics Estimation of Subsurface using Microtremor on Ground Surface*. Quarterly Report of Railway Technical Research Institute. 30(1), pp.25-33. https://www.sdr.co.jp/papers/hv_1989.pdf
- Nakamura, Y. 2000. *Clear Identification of Fundamental Idea of Nakamura's Technique and Its Applications*. In: The 12th World Conference on Earthquake Engineering, 30 January-4 February 2000, Auckland, New Zealand. https://www.sdr.co.jp/papers/n_tech_and_application.pdf
- Nakamura, Y., Sato, T., and Nishinaga, M. 2000. *Local Site Effect of Kobe Based on Microtremor Measurement*. In: Proceedings of the Sixth International Conference on Seismic Zonation (6ICSZ): 12-15 November, 2000, Palm Springs, California. https://www.sdr.co.jp/eng_page/papers/local_site_effect_on_kobe.pdf
- Nakamura, Y. 2008. *On The H/V Spectrum*. In: The 14th World Conference on Earthquake Engineering, 12-17 October 2008, Beijing, China. https://www.sdr.co.jp/eng_page/papers/14wcee/14wcee_hv.pdf
- Ningrum, R.W., Fauzi, H., Suryanto, W., and Mei, E.T.W. 2018. *Mapping Seismic Vulnerability Index (kg) For Earthquake Swarm Activity in Western Halmahera, Indonesia*. In: 1st International Conference on Multidisciplinary Engineering (ICoMdEn). 23 – 24 October 2018, Lhokseumwe - Aceh, Indonesia.
- Ningrum, R.W., Fauzi, H., Suryanto, W. and Mei, E.T.W. 2019. *Seismic Hazard Measurement of Earthquake Swarms Activity Based on Horizontal Vertical to Spectral Ratio Analysis (HVSR) in West Halmahera, Indonesia*. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 279, pp.012041. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/279/1/012041>
- Saita, J., Bautista, M.L.P. and Nakamura, Y. 2004. *On Relationship Between the Estimated Strong Motion Characteristic of Surface Layer and The Earthquake Damage: Case Study at Intramuros, Metro Manila*. In: 13th World Conference on Earthquake Engineering, 1-6 August 2004, Vancouver, B.C., Canada. No. 905 https://www.sdr.co.jp/papers/13wcee_micro_in_manila.pdf
- Sumekto, D.R. 2011. *Pengurangan resiko bencana melalui analisis kerentanan dan Kapasitas masyarakat dalam menghadapi bencana*. In: Prosiding Seminar Nasional: Pengembangan Kawasan Merapi, 8 Maret 2011, Yogyakarta. pp.28-38. <http://dx.doi.org/10.31227/osf.io/sxbzk>
- Sungkono and Santosa, B. 2011. *Karakterisasi Kurva Horizontal to Vertical Spectral Ratio: Kajian Literatur dan Pemodelan*. Jurnal Neutrino. 4(1), pp.1-15. <https://doi.org/10.18860/neu.v0i0.1662>
- Supriatna, S. 1980. *Peta Geologi Lembar Morotai, Maluku Utara*. Bandung: Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.
- Warnana, D.D., Soemitro, R.A. and Utama, W. 2011. *Application of Microtremor HVSR Method for Assessing Site Effect in Residual Soil Slope*. International Journal of Basic & Applied Sciences. 11(4), pp.73-78. http://ijens.org/Vol_11_I_04/118804-9393-IJBAS-IJENS.pdf