

Pemetaan Mikrozonasi dan Indeks Kerentanan Seismik Berbasis Data Mikrotremor di Daerah Pondidaha, Kabupaten Konawe, Sulawesi Tenggara

Laode Ihksan Juarzan✉, La Hamimu^{id}, Indrawati, Siti Harming

Program Studi Teknik Geofisika, Universitas Halu Oleo, Kendari, Indonesia

ARTICLE INFO

Article history:

Received: April 10, 2026

Accepted: June 14, 2026

Published: June 23, 2026

Keywords:

mikrotremor
frekuensi dominan
faktor amplifikasi
indeks kerentanan seismik

Corresponding author:

Laode Ihksan Juarzan

Email: juarzan.ode@uho.ac.id

Read online:



Scan this QR code
with your smart
phone or mobile
device to read online.

Copyright © 2026 Authors



This work is
licensed under
a Creative Commons
Attribution-ShareAlike 4.0 International
License.

ABSTRAK

Indonesia merupakan wilayah dengan tingkat seismisitas tinggi akibat interaksi lempeng tektonik aktif sehingga kajian mikrozonasi seismik diperlukan untuk mendukung mitigasi risiko gempabumi. Kecamatan Pondidaha, Kabupaten Konawe, dipilih sebagai lokasi penelitian karena terjadinya gempabumi pada 2 Februari 2024 sekitar 2,5 km di tenggara wilayah tersebut. Penelitian ini bertujuan menentukan frekuensi dominan (f_0), faktor amplifikasi (A_0), dan indeks kerentanan seismik (K_g) berdasarkan data mikrotremor. Pengukuran dilakukan pada 24 titik menggunakan seismometer MBB2 (Mini BroadBand) dengan frekuensi sampling 50 Hz. Data dianalisis menggunakan metode Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSr) dengan perangkat lunak Geopsy versi 3.4.2. Hasil analisis menunjukkan nilai f_0 berkisar antara 0,890–5,382 Hz, A_0 sebesar 0,994–3,634, dan K_g sebesar 0,196–6,983 s^2/cm . Zona kerentanan rendah dengan nilai K_g 0,196–1,778 s^2/cm tersebar di Desa Pondidaha, Amesi, Wawolemo, Wawolahumbuti, Tirawuta, dan Lahonggumbi yang menunjukkan kondisi bawah permukaan relatif kompak dan stabil terhadap guncangan. Zona kerentanan sedang berada di Desa Pondidaha dan Amesi dengan nilai K_g 4,706–5,641 s^2/cm , sedangkan zona kerentanan tinggi ditemukan pada titik PD13 di Desa Amesi dengan nilai K_g 6,983 s^2/cm yang mengindikasikan keberadaan sedimen lunak dan potensi amplifikasi gelombang seismik yang lebih besar. Hasil penelitian ini dapat digunakan sebagai dasar mikrozonasi seismik, perencanaan tata ruang, dan pembangunan infrastruktur tahan gempabumi di Kecamatan Pondidaha.

ABSTRACT

Indonesia is characterized by high seismicity due to active tectonic plate interactions; therefore, local-scale seismic microzonation studies are essential for earthquake risk mitigation. Pondidaha District, Konawe Regency, was selected as the study area following an earthquake that occurred on February 2, 2024, approximately 2.5 km southeast of the district. This study aims to determine the dominant frequency (f_0), amplification factor (A_0), and seismic vulnerability index (K_g) using microtremor data. Measurements were conducted at 24 observation points using an MBB2 (Mini BroadBand) seismometer with a sampling frequency of 50 Hz. The data were analyzed using the Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSr) method implemented in Geopsy version 3.4.2. The results show that the f_0 values range from 0.890 to 5.382 Hz, A_0 values from 0.994 to 3.634, and K_g values from 0.196 to 6.983 s^2/cm . Low-vulnerability zones with K_g values of 0.196–1.778 s^2/cm are distributed in Pondidaha, Amesi, Wawolemo, Wawolahumbuti, Tirawuta, and Lahonggumbi villages, indicating relatively compact and stable subsurface conditions. Moderate vulnerability zones occur in Pondidaha and Amesi villages with K_g values of 4.706–5.641 s^2/cm , while the high-vulnerability zone is identified at point PD13 in Amesi Village with a K_g value of 6.983 s^2/cm , suggesting the presence of soft sediments and stronger seismic wave amplification potential. These findings provide a basis for seismic microzonation, spatial planning, and earthquake-resistant infrastructure development in Pondidaha District.

How to cite: Juarzan, L.I., La Hamimu, Indrawati, dan Harming, S. (2026). Pemetaan Mikrozonasi dan Indeks Kerentanan Seismik Berbasis Data Mikrotremor di Daerah Pondidaha, Kabupaten Konawe, Sulawesi Tenggara. OPHIOLITE: Jurnal Geologi Terapan, 8(1), pp. 76-85. <https://doi.org/10.56099/ophi.v8i1.p76-85>

1 Pendahuluan

Kecamatan Pondidaha, Kabupaten Konawe, merupakan salah satu wilayah yang memiliki potensi risiko seismik akibat aktivitas tektonik di Sulawesi Tenggara. Pada 2 Februari 2024 terjadi gempa bumi bermagnitudo 2,2 pada koordinat 3,98° LS dan 122,26° BT atau sekitar 2,5 km di tenggara Pondidaha (Raidi, 2024). Kejadian tersebut menunjukkan bahwa wilayah Pondidaha dipengaruhi oleh aktivitas seismik yang berpotensi menimbulkan gempa bumi berulang. Tingkat kerusakan akibat gempa bumi tidak hanya dipengaruhi oleh magnitudo dan kedalaman sumber gempa, tetapi juga oleh kondisi geologi lokal dan karakteristik tanah permukaan (Kramer, 1996; Molnar dkk., 2022). Lapisan sedimen lunak dan tidak terkonsolidasi dapat menyebabkan amplifikasi gelombang seismik melalui fenomena *site effects*, sehingga intensitas guncangan di permukaan menjadi lebih besar dibandingkan wilayah dengan batuan dasar yang kompak (Ávila-Barrientos dkk., 2022; Sánchez-Sesma dkk., 2011). Kondisi tersebut menjadikan daerah dengan dominasi sedimen lepas lebih rentan mengalami kerusakan bangunan dan infrastruktur saat terjadi gempa bumi.

Kajian mengenai respons dinamik tanah lokal menjadi penting dalam mendukung mitigasi risiko bencana, terutama pada wilayah yang berkembang sebagai kawasan pemukiman dan pusat aktivitas masyarakat seperti Kecamatan Pondidaha. Namun, hingga saat ini informasi mengenai karakteristik bawah permukaan dan zonasi kerentanan seismik di wilayah tersebut masih sangat terbatas. Keterbatasan data tersebut menyebabkan perencanaan tata ruang dan pembangunan infrastruktur belum sepenuhnya mempertimbangkan variasi kondisi geologi lokal yang dapat memengaruhi tingkat kerusakan akibat gempa bumi (Molnar dkk., 2022; Sánchez-Sesma dkk., 2011). Tanpa adanya peta zonasi kerentanan seismik yang detail dan representatif, pengembangan wilayah berpotensi meningkatkan risiko kerusakan dan kerugian pada masa mendatang.

Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini dilakukan untuk mengidentifikasi karakteristik dinamik tanah dan tingkat kerentanan seismik di Kecamatan Pondidaha menggunakan metode *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (HVSr) berbasis data mikrotremor. Metode HVSr merupakan metode nondestruktif yang efektif untuk menentukan frekuensi dominan dan faktor amplifikasi tanah berdasarkan respons alami getaran lingkungan (Nakamura, 1989; SESAME, 2004). Parameter tersebut selanjutnya digunakan untuk menghitung indeks kerentanan seismik sebagai indikator tingkat potensi kerusakan akibat gempa bumi (Rezaei dan Choobbasti, 2017; Sánchez-Sesma dkk., 2011). Hasil penelitian ini

diharapkan dapat memberikan informasi zonasi kerentanan seismik secara lebih rinci dan menjadi acuan strategis bagi pemerintah daerah dalam mitigasi bencana, perencanaan tata ruang, dan pengembangan infrastruktur yang tangguh terhadap gempa bumi (*seismic-resilient urban planning*).

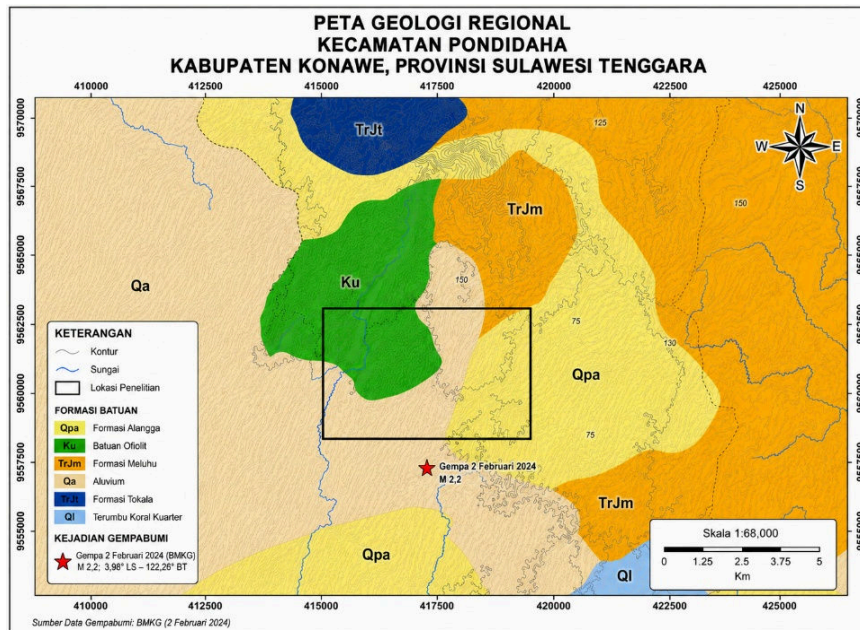
2 Tinjauan Pustaka

2.1 Geologi Regional

Berdasarkan Peta Geologi Lembar Kolaka (Simandjuntak dkk., 1993), Kecamatan Pondidaha secara morfologi didominasi oleh dataran rendah aluvial yang berkembang di bagian timur Kabupaten Konawe. Morfologi dataran rendah ini tersusun oleh endapan sedimen muda yang relatif tebal dan belum terkonsolidasi dengan baik, sehingga berpotensi memperkuat guncangan gempa akibat efek tapak lokal (Nakamura, 2000). Selain itu, wilayah Sulawesi Tenggara secara tektonik dipengaruhi oleh aktivitas sesar regional yang berasosiasi dengan interaksi Lempeng Indo-Australia, Eurasia, dan mikroblok Sulawesi, sehingga memicu terjadinya gempa bumi dangkal di sekitar wilayah Konawe dan sekitarnya. Kondisi ini berkaitan dengan kejadian gempa bumi yang episentrumnya berada di sekitar Kecamatan Pondidaha dan wilayah Konawe bagian timur.

Secara stratigrafi, daerah penelitian didominasi oleh endapan Aluvium (Qa) berumur Holosen yang tersusun atas lumpur, lempung, pasir, kerikil, dan kerakal. Selain itu, dijumpai pula Formasi Alangga (Qpa) yang tersusun atas konglomerat dan batupasir, satuan Batuan Ofiolit (Ku), serta Formasi Meluhu (Trjm) yang terdiri atas batupasir kuarsa, serpih, batulanau, dan batugamping (Simandjuntak dkk., 1993). Namun demikian, satuan yang paling dominan di wilayah penelitian adalah endapan aluvium (Qa) dengan penyebaran terbatas Formasi Alangga (Qpa), Kompleks Ultramafik (Ku), dan Formasi Meluhu (Trjm) seperti pada Gambar 1.

Daerah Pondidaha didominasi oleh endapan aluvial berumur Holosen yang tersusun atas sedimen tidak terkonsolidasi sempurna, seperti lempung, pasir, kerikil, dan kerakal. Kondisi geologi tersebut berpengaruh terhadap karakteristik respons dinamik tanah karena sedimen lunak cenderung memperkuat gelombang seismik yang merambat dari batuan dasar menuju permukaan. Selain itu, kejadian gempa bumi di Kecamatan Pondidaha, menunjukkan bahwa wilayah ini masih dipengaruhi oleh aktivitas seismik regional. Kombinasi antara keberadaan sedimen aluvial yang tebal dan kejadian gempa bumi di sekitar wilayah penelitian mengindikasikan adanya potensi amplifikasi gelombang seismik yang lebih besar, terutama pada area dengan ketebalan sedimen yang tinggi.



Gambar 1 Peta geologi daerah penelitian (modifikasi Simandjuntak dkk., 1993) mencakup Kecamatan Pondidaha. Daerah penelitian tersusun oleh Kompleks Ultramafik (Ku), sedimen klastik Formasi Meluhu (TrJm), sedimen Molasa Sulawesi (Qpa), dan endapan aluvium (Qa)

2.2 Mikrotremor

Mikrotremor adalah getaran tanah beramplitudo kecil yang terjadi secara kontinyu akibat sumber alami (gelombang laut, angin, proses atmosfer) maupun proses antropogenik (lalu lintas, mesin, aktivitas industri). Getaran ini bersifat acak (*ambeint vibration*) dan mengandung informasi tentang sifat dinamik bawah permukaan karena dipengaruhi oleh struktur geologi setempat (Sánchez-Sesma dkk., 2011). Metode mikrotremor banyak digunakan karena nondestruktif, hemat biaya, dan efektif untuk estimasi frekuensi alami serta efek tapak (*site effect*) yang penting dalam mikrozonasi seismik.

2.3 Metode Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSr)

Metode HVSr memanfaatkan perbandingan spektrum komponen horizontal terhadap komponen vertikal dari rekaman mikrotremor untuk mengidentifikasi karakteristik dinamik tanah (Lunedei dan Albarello, 2015; Nakamura, 1989). Secara matematis dirumuskan dalam persamaan 1 berikut:

$$HVSr(f) = \frac{\sqrt{S_{NS}(f)^2 + S_{EW}(f)^2}}{2S_V(f)} \quad (1)$$

Dengan

$S_{NS}(f)$ = spektrum komponen utara Selatan

$S_{EW}(f)$ = spektrum komponen timur barat

$S_V(f)$ = spektrum komponen vertikal

Puncak kurva HVSr menunjukkan frekuensi dominan (f_0), sedangkan amplitudo maksimum menunjukkan faktor amplifikasi (A_0) (Molnar dkk.,

2022). Metode ini terbukti andal untuk mengestimasi efek tapak, terutama pada kondisi sedimen tebal (Molnar dkk., 2022; Sánchez-Sesma dkk., 2011).

2.4 Faktor Amplifikasi

Faktor amplifikasi (A_0) adalah nilai puncak kurva HVSr yang menggambarkan besarnya penguatan gelombang seismik akibat kondisi lokal tanah. Dirumuskan dalam persamaan 2 berikut:

$$A_0 = HVSr_{max} \quad (2)$$

Nilai (A_0) yang tinggi mengidentifikasi kontras impedansi yang kuat antara lapisan sedimen lunak dan batuan dasar, sehingga gelombang seismik teramplifikasi (Rezaei dan Choobasti, 2017). Kondisi ini berpotensi meningkatkan Risiko kerusakan struktur, khususnya pada sedimen tebal lunak (Molnar dkk., 2022).

2.5 Frekuensi Dominan

Frekuensi dominan (f_0) merupakan parameter kunci dalam analisis mikrotremor (Gambar 2) yang mencerminkan karakteristik dinamik lapisan tanah, khususnya terkait ketebalan sedimen dan kontras impedansi antara lapisan permukaan dan batuan dasar. Nilai f_0 yang rendah umumnya menunjukkan keberadaan lapisan sedimen yang tebal dan lunak, sedangkan nilai f_0 yang tinggi mengindikasikan lapisan sedimen yang tipis atau material yang lebih keras (Lunedei dan Albarello, 2015; Molnar dkk., 2022).

Selain itu, frekuensi dominan memiliki keterkaitan erat dengan fenomena resonansi antara

tanah dan bangunan. Apabila frekuensi alami bangunan mendekati nilai f_0 tanah, maka dapat terjadi amplifikasi getaran yang signifikan sehingga meningkatkan risiko kerusakan struktural (Vijayan dkk., 2022; Gallipoli dkk., 2004). Oleh karena itu, parameter ini menjadi sangat penting dalam perencanaan bangunan tahan gempa dan evaluasi risiko seismik berbasis lokasi.

2.6 Indeks Kerentanan Seismik

Indeks Kerentanan Seismik (K_g) digunakan untuk menilai tingkat kerentanan suatu lokasi terhadap deformasi tanah akibat gempabumi. Dirumuskan dalam persamaan 3 berikut:

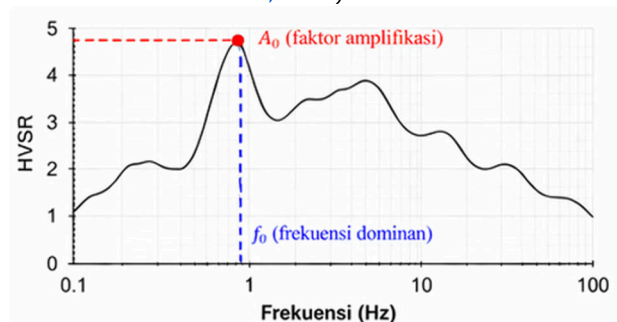
$$K_g = \frac{A_0^2}{f_0} \quad (3)$$

Dengan

A_0 = faktor amplifikasi

(f_0) = Frekuensi dominan (Hz)

Semakin besar nilai K_g , semakin tinggi potensi kerusakan akibat guncangan gempabumi karena tanah lebih mudah terdeformasi (Molnar dkk., 2022; Rezaei dan Choobbasti, 2017).



Gambar 2 Kurva HVSR tipikal dan parameter yang diekstraksi

2.7 Klasifikasi Tingkat Kerusakan Gempabumi

Refrizon dkk. (2013) mengusulkan klasifikasi tingkat kerusakan akibat gempabumi (Tabel 1) berdasarkan nilai Indeks Kerentanan Seismik (K_g). Klasifikasi ini memudahkan interpretasi potensi bahaya dan menjadi dasar penyusunan peta mikrozonasi seismik.

3 Metode Penelitian

3.1 Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Kecamatan Pondidaha, Kabupaten Konawe, Sulawesi Tenggara, yang secara geologi didominasi oleh endapan aluvial dan material sedimen permukaan yang berpotensi mengalami penguatan gelombang seismik. Akuisisi data lapangan dilakukan pada tanggal 15–17 Oktober 2024 menggunakan seismometer tiga komponen tipe

MBB2 (Mini BroadBand) untuk merekam data mikrotremor pada 24 titik pengukuran yang tersebar di wilayah penelitian (Gambar 3). Jarak antar titik pengukuran berkisar antara 300–800 meter, yang ditentukan berdasarkan kondisi morfologi wilayah, aksesibilitas lapangan, serta asumsi variasi ketebalan sedimen permukaan yang menjadi target penelitian. Spasi tersebut dianggap mampu merepresentasikan perubahan karakteristik lapisan sedimen secara lateral pada daerah penelitian.

Tabel 1 Kelas klasifikasi tingkat kerusakan akibat gempabumi berdasarkan nilai Indeks Kerentanan Seismik (K_g) oleh Refrizon dkk. (2013)

Kelas Kerentanan	K_g (s^2/cm)	Tingkat kerusakan yang mungkin terjadi
Rendah	< 3	Kerusakan ringan umumnya nonstruktural
Sedang	3–6	Kerusakan sedang pada elemen nonstruktural dan sebagian struktural
Tinggi	> 6	Kerusakan berat pada struktur, potensi deformasi tanah tinggi

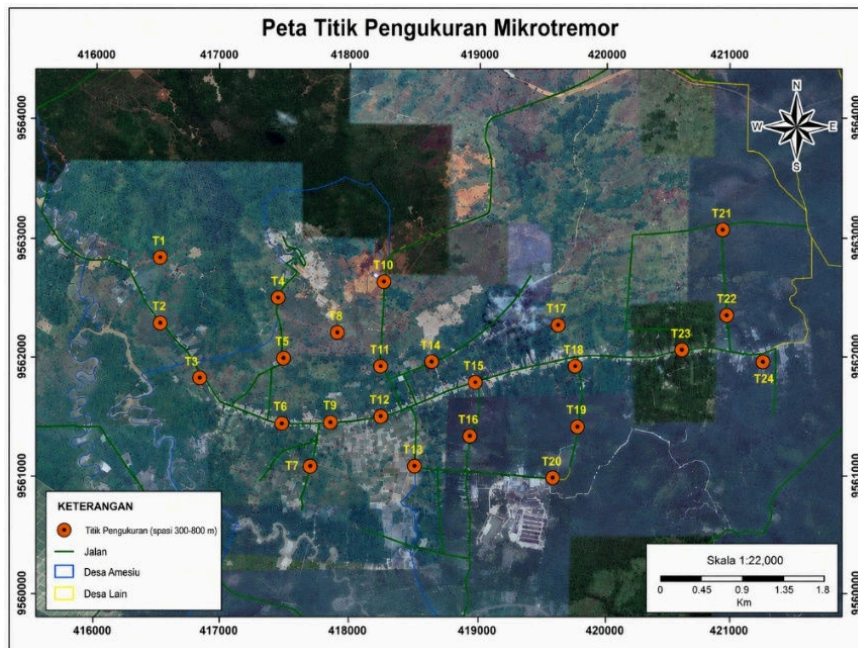
Setiap pengukuran dilakukan selama 30–40 menit dengan frekuensi sampling sebesar 50 Hz guna memperoleh data mikrotremor yang stabil dan memenuhi standar analisis HVSR, di mana durasi perekaman lebih dari 20 menit dinilai memadai untuk mengidentifikasi frekuensi rendah dan karakteristik resonansi lokal. Untuk meminimalkan pengaruh *noise* antropogenik, pengukuran diupayakan dilakukan pada lokasi yang relatif jauh dari jalan utama, aktivitas transportasi, serta sumber getaran mekanik lainnya. Selain itu, proses *preprocessing* dilakukan melalui seleksi *window signal* stasioner dengan menghilangkan sinyal transien menggunakan algoritma anti-triggering berbasis rasio STA/LTA. Nilai parameter STA (*Short Time Average*) ditetapkan sebesar 1,0 s dan LTA (*Long Time Average*) sebesar 30 s untuk mendeteksi dan mengurangi gangguan sinyal non-mikrotremor.

3.2 Pengolahan Data

Pengolahan data dilakukan menggunakan perangkat lunak Geopsy versi 3.4.2 melalui beberapa tahapan, yaitu *preprocessing*, transformasi Fourier, perhitungan HVSR, dan seleksi kurva HVSR. Pada tahap *preprocessing*, data mentah terlebih dahulu dikoreksi menggunakan proses detrending dan band-pass filter untuk menghilangkan tren serta *noise* yang tidak diinginkan. Selanjutnya dilakukan seleksi *window signal* stasioner guna memperoleh data mikrotremor yang representatif. Proses seleksi sinyal transien dilakukan menggunakan algoritma anti-

triggering berbasis rasio STA/LTA, dengan nilai STA sebesar 1 s dan LTA sebesar 30 s. Kombinasi parameter tersebut dipilih karena dinilai efektif dalam memisahkan sinyal mikrotremor yang stabil dari gangguan transien akibat aktivitas antropogenik maupun getaran sesaat lainnya, serta masih banyak digunakan pada penelitian mikrotremor modern dan analisis HVSR terkini (Molnar dkk., 2022; Lunedei dan Albarello, 2015; SESAME, 2004).

Data dalam domain waktu ditransformasikan ke domain frekuensi menggunakan metode Fast Fourier Transform (FFT) untuk memperoleh spektrum setiap komponen getaran. Nilai HVSR dihitung menggunakan persamaan 1. Selanjutnya dilakukan proses *smoothing* menggunakan metode Konno-Ohmachi dengan koefisien bandwidth sebesar 40 untuk memperhalus spektrum dan mengurangi efek aliasing tanpa mengubah karakteristik utama sinyal.



Gambar 3 Titik lokasi pengukuran mikrotremor

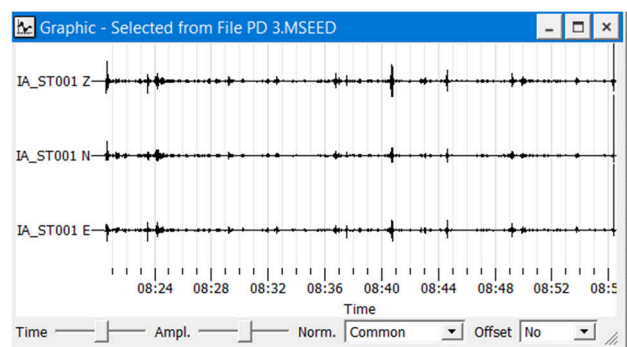
Kurva HVSR yang digunakan dalam analisis lanjutan dipilih berdasarkan kriteria reliabilitas (SESAME, 2004), yaitu memiliki puncak frekuensi yang jelas, stabil, dan konsisten antar-window. Parameter dinamik tanah yang diperoleh dari analisis HVSR meliputi frekuensi dominan (f_0), faktor amplifikasi (A_0), dan indeks kerentanan seismik (K_g). Nilai indeks kerentanan seismik kemudian diklasifikasikan berdasarkan klasifikasi Refrizon dkk. (2013), yaitu $K_g < 3$ sebagai kerentanan rendah, $3 \leq K_g < 6$ sebagai kerentanan sedang, dan $K_g \geq 6$ sebagai kerentanan tinggi. Hasil klasifikasi tersebut selanjutnya dipetakan untuk menghasilkan zonasi kerentanan seismik di wilayah penelitian.

4 Hasil dan Pembahasan

4.1 Penentuan Parameter Mikrotremor

Data mikrotremor hasil pengukuran lapangan terlebih dahulu dikonversi ke dalam format miniSEED (MSD), kemudian diolah menggunakan metode *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (HVSR) dengan bantuan perangkat lunak Geopsy versi 3.4.2 untuk menampilkan seismogram tiga komponen, yaitu vertikal (Z), East-West (E), dan North-South (N),

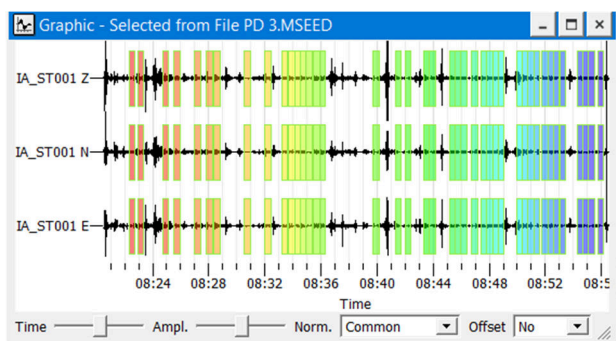
tampilan seismogram pada titik pengukuran disajikan pada Gambar 4.



Gambar 4 Data rekaman mikrotremor di titik PD3

Selanjutnya, data dalam domain waktu ditransformasikan ke domain frekuensi untuk mengidentifikasi rentang frekuensi dominan dari sinyal mikrotremor. Proses *filtering* dilakukan menggunakan band-pass filter pada rentang frekuensi 0,1–15 Hz untuk mengurangi pengaruh *noise* yang berasal dari gelombang permukaan dan aktivitas antropogenik. Rentang frekuensi tersebut dipilih karena dianggap mampu merepresentasikan respon resonansi lapisan sedimen dangkal hingga menengah

pada wilayah Kecamatan Pondidaha yang didominasi endapan aluvial dengan ketebalan sedimen relatif bervariasi. Selain itu, rentang frekuensi 0,1–15 Hz umum digunakan dalam analisis HVSr untuk mengidentifikasi karakteristik dinamik tanah pada lingkungan sedimen lunak hingga menengah (Molnar dkk., 2020; Rezaei dan Choobbasti, 2017). Deteksi sinyal transient dilakukan dengan mengaktifkan algoritma anti-triggering on raw signal menggunakan parameter *Short Time Average* (STA) sebesar 1 s dan *Long Time Average* (LTA) sebesar 30 s. Tahap selanjutnya adalah pemilihan *window* untuk memperoleh sinyal yang stasioner (Gambar 5).



Gambar 5 Proses *windowing* di titik PD3

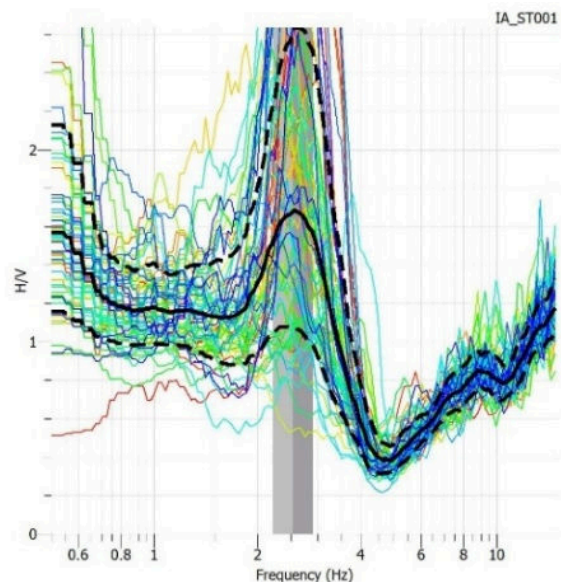
Setelah proses *windowing*, dilakukan *smoothing* menggunakan metode Konno–Ohmachi dengan koefisien bandwidth sebesar 40 dan taper cosine untuk meminimalkan efek aliasing tanpa mengubah karakteristik utama sinyal (Konno dan Ohmachi, 1998). Tahap berikutnya adalah penyusunan kurva H/V yang digunakan untuk menentukan nilai frekuensi dominan (f_0) dan faktor amplifikasi (A_0). Kurva H/V pada titik pengukuran PD3 disajikan pada Gambar 6, yang diperoleh dari perbandingan amplitudo komponen horizontal terhadap vertikal.

Pada kurva H/V tersebut terdapat dua garis hitam putus-putus di bagian atas dan bawah yang menunjukkan nilai standar deviasi, satu garis hitam utuh di bagian tengah sebagai nilai rata-rata H/V, serta garis berwarna yang merepresentasikan masing-masing *window* hasil seleksi data. Kurva HVSr yang digunakan dalam penelitian ini dipilih berdasarkan kriteria reliabilitas (SESAME, 2004), yaitu memiliki puncak frekuensi yang jelas (*clear peak*), konsisten antar-*window*, serta menunjukkan standar deviasi yang relatif kecil pada frekuensi dominan. Berdasarkan interpretasi kurva H/V pada titik PD3, diperoleh nilai frekuensi dominan sebesar 2,53535 Hz dan faktor amplifikasi sebesar 1,67762.

4.2 Pemetaan Frekuensi Dominan

Pemetaan frekuensi dominan dilakukan berdasarkan klasifikasi Kanai (1983) yang mengelompokkan kondisi tanah berdasarkan nilai

frekuensi dominan (f_0) yang berkaitan dengan jenis material dan ketebalan sedimen. Hasil analisis menunjukkan bahwa nilai frekuensi dominan di wilayah penelitian berkisar antara 0,890–5,381 Hz. Sebaran spasial parameter ini diperoleh menggunakan metode interpolasi Inverse Distance Weighting (IDW), sehingga distribusi nilai antar titik pengukuran dapat direpresentasikan secara kontinu pada peta sebaran (Gambar 7).



Gambar 6 Hasil kurva H/V di titik PD3

Nilai frekuensi dominan rendah (<2,5 Hz) yang termasuk dalam tipe IV mendominasi sebagian besar wilayah penelitian, terutama di Desa Pondidaha, Amesiu, Wawolemo, Wawolahumbuti, Tirawuta, dan Lahonggumbi. Nilai frekuensi rendah mengindikasikan keberadaan sedimen lunak dengan ketebalan yang relatif besar. Kondisi ini sejalan dengan karakteristik geologi daerah penelitian yang didominasi oleh satuan aluvium (Qa) berupa lempung, lanau, pasir, dan kerikil hasil sedimentasi dataran rendah. Ketebalan sedimen yang besar diperkirakan terbentuk akibat proses pengendapan material secara terus-menerus pada zona morfologi dataran aluvial.

Sebaliknya, nilai frekuensi dominan sedang hingga tinggi (2,5–6,6 Hz) teridentifikasi pada beberapa lokasi di Desa Amesiu, Wawolemo, Wawolahumbuti, dan Tirawuta. Nilai frekuensi dominan yang lebih tinggi mengindikasikan keberadaan lapisan sedimen yang relatif lebih tipis dengan material bawah permukaan yang lebih kompak. Kondisi tersebut diduga berkaitan dengan pengaruh Kompleks Ofiolit (Ku) yang berkembang pada bagian barat hingga barat laut wilayah penelitian serta Formasi Alangga (Qpa) yang berkembang pada bagian timur wilayah penelitian. Kehadiran kedua

satuan geologi tersebut menyebabkan ketebalan sedimen penutup relatif lebih tipis dibandingkan wilayah yang didominasi oleh endapan aluvial Holosen. Oleh karena itu, variasi nilai frekuensi dominan di Kecamatan Pondidaha mencerminkan perbedaan ketebalan sedimen dan karakteristik litologi bawah permukaan yang dikontrol oleh kondisi geologi regional.

4.3 Pemetaan Amplifikasi

Pemetaan faktor amplifikasi dilakukan untuk mengidentifikasi tingkat penguatan gelombang seismik akibat kontras impedansi antara batuan dasar dan lapisan sedimen (Daryono, 2011). Berdasarkan hasil analisis HVSr, nilai faktor amplifikasi di daerah penelitian berkisar antara 0,994 hingga 3,6336. Sebaran spasial nilai amplifikasi diperoleh menggunakan interpolasi IDW dan disajikan pada Gambar 8. Berdasarkan klasifikasi Marjiyono (2010), wilayah penelitian didominasi oleh kategori amplifikasi rendah (<3), sedangkan amplifikasi sedang (3–6) hanya ditemukan secara lokal.

Zona amplifikasi rendah tersebar hampir di seluruh wilayah penelitian, meliputi Desa Pondidaha, Amesiu, Wawolemo, Wawolahumbuti, Tirawuta, dan Lahonggumbi. Kondisi ini menunjukkan bahwa sebagian besar lapisan bawah permukaan relatif lebih kompak sehingga tidak menghasilkan penguatan gelombang yang signifikan. Sementara itu, nilai amplifikasi sedang ditemukan pada bagian Desa Amesiu, khususnya pada titik PD8. Tingginya nilai amplifikasi di lokasi tersebut mengindikasikan adanya lapisan sedimen lunak yang relatif lebih tebal dibandingkan wilayah sekitarnya. Kondisi ini diduga berkaitan dengan adanya kontras impedansi yang cukup besar antara endapan aluvial permukaan dan batuan dasar yang lebih kompak. Secara geologi, wilayah Amesiu berada pada zona transisi yang dipengaruhi oleh Kompleks Ophiolit (Ku) di bagian barat wilayah penelitian. Batuan ophiolit yang memiliki densitas dan kecepatan gelombang geser lebih tinggi dibandingkan sedimen aluvial dapat menghasilkan perbedaan impedansi yang besar pada batas sedimen-batuan dasar. Kontras impedansi tersebut menyebabkan energi gelombang seismik mengalami penguatan ketika merambat dari batuan dasar menuju lapisan sedimen di atasnya, sehingga menghasilkan nilai amplifikasi yang lebih tinggi pada titik PD8.

Keberadaan zona amplifikasi sedang di Desa Amesiu menunjukkan adanya variasi lateral sifat fisik sedimen yang dipengaruhi oleh perubahan ketebalan endapan aluvial dan kedalaman batuan dasar. Hasil ini mengindikasikan bahwa respons dinamik tanah di wilayah penelitian tidak hanya dikontrol oleh jenis

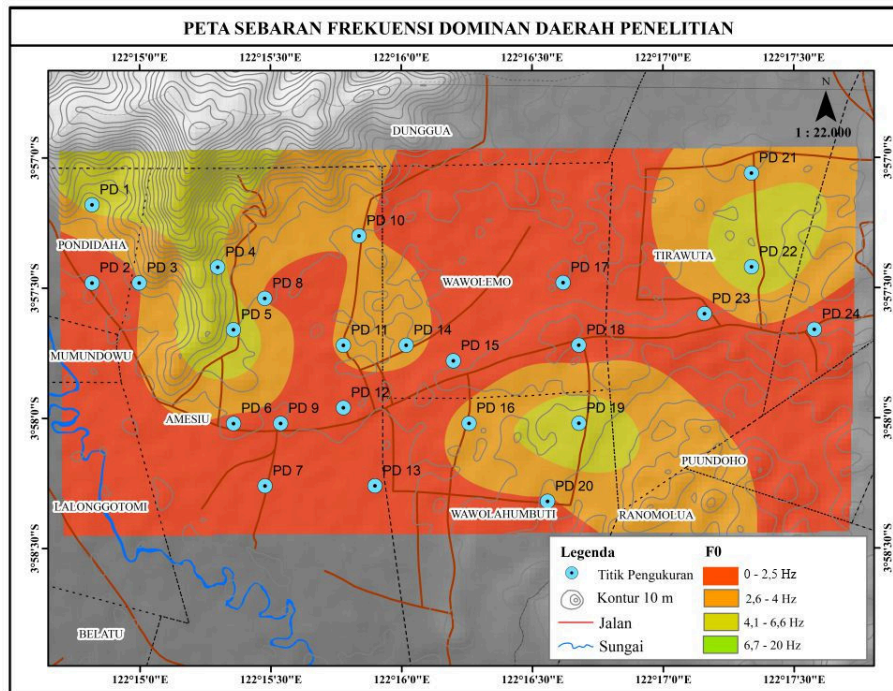
litologi permukaan, tetapi juga oleh kontras impedansi antara sedimen aluvial dan satuan batuan dasar yang lebih kompak, seperti Kompleks Ophiolit, yang berperan dalam meningkatkan efek tapak lokal (*site effects*) pada lokasi tertentu.

4.4 Pemetaan Indeks Kerentanan Seismik

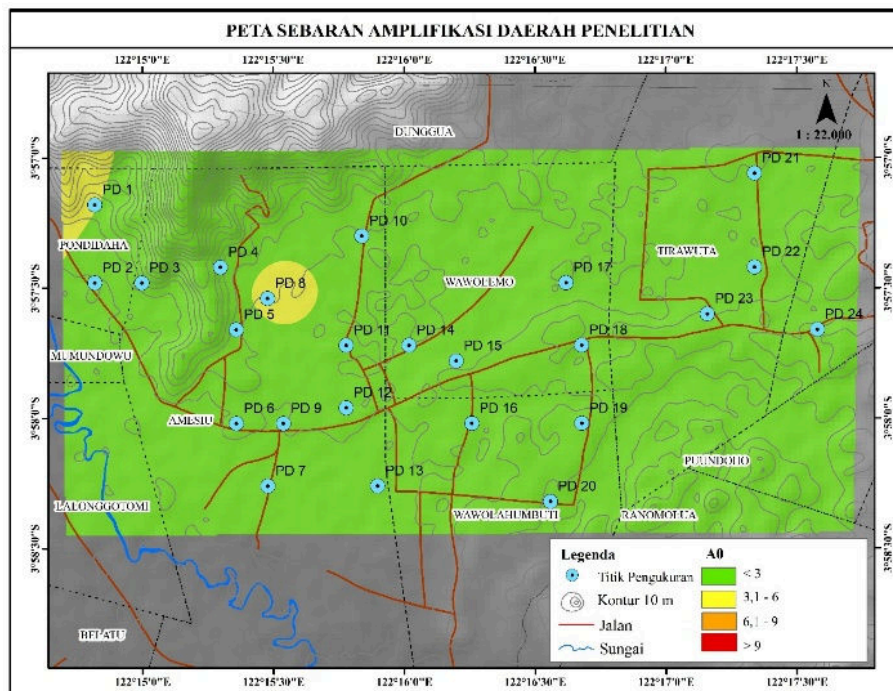
Pemetaan indeks kerentanan seismik (K_g) dilakukan untuk mengevaluasi potensi kerusakan akibat gempa bumi berdasarkan karakteristik dinamik tanah. Klasifikasi tingkat kerentanan mengacu pada Refrizon dkk. (2013) yang membagi wilayah ke dalam kategori rendah, sedang, dan tinggi. Nilai K_g yang diperoleh dari hasil pengukuran berkisar antara 0,279 hingga 6,982 s^2/cm , dengan distribusi spasial yang diperoleh melalui interpolasi IDW seperti ditunjukkan pada Gambar 9.

Hasil pemetaan menunjukkan bahwa wilayah penelitian secara umum didominasi oleh zona kerentanan rendah, sedangkan zona sedang dan tinggi hanya berkembang secara lokal. Zona kerentanan tinggi teridentifikasi pada titik PD13 di Desa Amesiu dengan nilai K_g sebesar 6,982 s^2/cm . Tingginya nilai tersebut berkaitan dengan kombinasi nilai frekuensi dominan yang rendah dan faktor amplifikasi yang relatif tinggi. Kondisi ini mengindikasikan keberadaan sedimen lunak dengan ketebalan besar yang mampu memperkuat amplitudo gelombang seismik.

Secara geologi, tingginya nilai indeks kerentanan seismik K_g di bagian selatan Desa Amesiu diduga berkaitan dengan akumulasi endapan aluvial yang berkembang pada dataran rendah. Zona ini berpotensi mengalami penebalan sedimen akibat proses sedimentasi yang berlangsung dalam waktu yang lama, sehingga menghasilkan lapisan sedimen yang relatif lunak dan belum terkonsolidasi dengan baik. Kondisi ini menyebabkan nilai frekuensi dominan menjadi rendah, sementara nilai amplifikasi meningkat akibat tingginya kontras impedansi antara sedimen penutup dan batuan dasar. Kombinasi kedua parameter ini menghasilkan nilai indeks kerentanan seismik yang lebih tinggi dibandingkan wilayah lainnya. Keberadaan episenter gempa bumi tanggal 2 Februari 2024 magnitudo 2,2 SR yang berlokasi sekitar 2,5 km di tenggara Kecamatan Pondidaha menunjukkan bahwa wilayah ini masih dipengaruhi oleh aktivitas seismik regional. Apabila terjadi gempa bumi di sekitar wilayah tersebut, zona dengan nilai K_g tinggi berpotensi mengalami penguatan guncangan yang lebih besar akibat efek tapak lokal, sehingga tingkat kerentanannya terhadap deformasi dan kerusakan tanah relatif lebih tinggi dibandingkan zona lainnya (Kramer, 1996; Nakamura, 2000).



Gambar 7 Peta sebaran frekuensi dominan tanah



Gambar 8 Peta sebaran nilai amplifikasi tanah

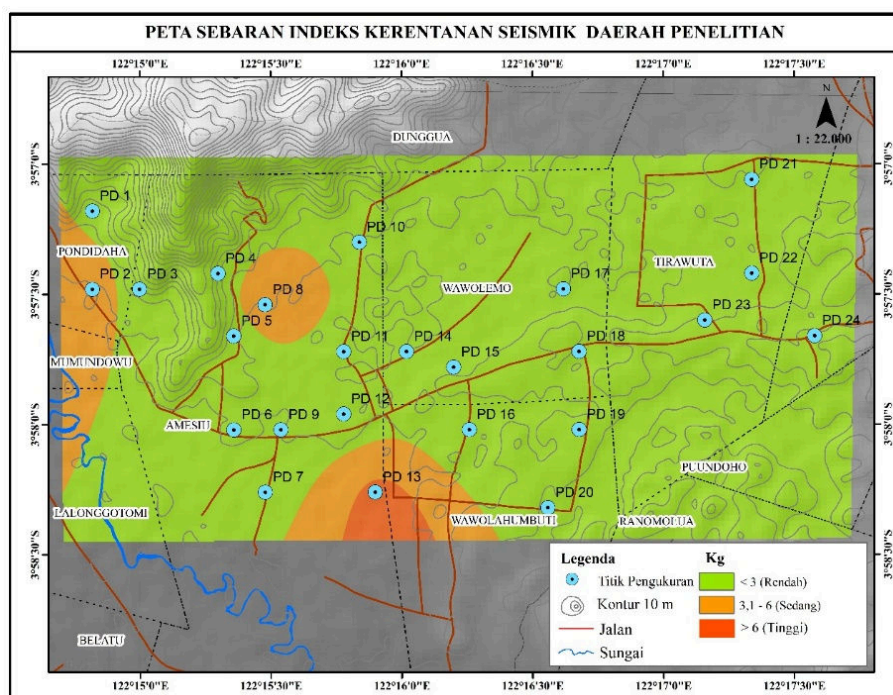
Zona kerentanan sedang ditemukan pada Desa Pondidaha dan sebagian Desa Amesiu. Zona ini menunjukkan kondisi sedimen dengan ketebalan menengah yang masih berpotensi mengalami penguatan gelombang seismik, namun tidak sebesar zona kerentanan tinggi. Sementara itu, zona kerentanan rendah tersebar luas di Desa Wawolemo, Wawolahumbuti, Tirawuta, dan Lahonggumbi. Rendahnya nilai K_g pada wilayah tersebut menunjuk-

kan bahwa lapisan tanah relatif lebih padat dan stabil sehingga respon terhadap gelombang seismik cenderung lebih kecil.

Secara teoritis, nilai indeks kerentanan seismik diperoleh dari perbandingan kuadrat faktor amplifikasi (A_0^2) terhadap frekuensi dominan (f_0). Oleh karena itu, wilayah dengan frekuensi dominan rendah dan amplifikasi tinggi akan memiliki nilai K_g yang besar dan lebih rentan terhadap kerusakan

akibat gempabumi. Hasil penelitian ini menunjukkan adanya hubungan yang kuat antara parameter HVSR,

kondisi geologi bawah permukaan, dan tingkat kerentanan seismik di Kecamatan Pondidaha.



Gambar 9 Peta sebaran nilai indeks kerentanan seismik

5 Kesimpulan

Hasil analisis data mikrotremor menggunakan metode HVSR di Kecamatan Pondidaha Kabupaten Konawe menunjukkan nilai frekuensi dominan (f_0) berkisar antara 0,890–5,381 Hz, nilai faktor amplifikasi (A_0) sebesar 0,994–3,6336, dan nilai indeks kerentanan seismik (K_g) antara 0,279–6,982 s^2/cm . Variasi nilai tersebut menunjukkan adanya perbedaan karakteristik dinamik tanah oleh variasi litologi bawah permukaan, terutama ketebalan sedimen aluvial dan keberadaan ultramafik sebagai batuan dasar. Nilai frekuensi dominan yang rendah umumnya berkaitan dengan sedimen lunak yang tebal, sedangkan nilai frekuensi tinggi menunjukkan sedimen yang lebih tipis dan kompak.

Pemetaan indeks kerentanan seismik menunjukkan bahwa wilayah penelitian didominasi oleh zona kerentanan rendah di Desa Pondidaha, Amesiu, Wawolemo, Wawolahumbuti, Tirawuta, dan Lahonggumbi. Zona kerentanan sedang ditemukan secara lokal di Desa Pondidaha dan Amesiu, sedangkan zona kerentanan tinggi hanya

teridentifikasi pada bagian Desa Amesiu. Kerentanan tinggi pada lokasi tersebut diduga berkaitan dengan penebalan sedimen aluvial pada dataran rendah yang dapat menyebabkan peningkatan amplifikasi gelombang seismic, berpotensi meningkatkan risiko kerusakan akibat gempabumi.

Hasil penelitian ini dapat digunakan sebagai informasi awal dalam mitigasi bencana dan perencanaan pembangunan berbasis risiko gempabumi di Kecamatan Pondidaha. Wilayah dengan tingkat kerentanan tinggi memerlukan perhatian khusus dalam penerapan konstruksi tahan gempa, sedangkan wilayah dengan kerentanan rendah dapat diprioritaskan untuk pengembangan infrastruktur. Namun penelitian ini memiliki keterbatasan pada jumlah titik pengukuran dan metode HVSR yang bersifat interpretative. Untuk itu, diperlukan studi lanjutan melalui integrasi data pengeboran geologi teknik (profil Vs30) dan analisis percepatan tanah maksimum (PGA) untuk model kerentanan seismik yang lebih komprehensif.

Referensi

- Ávila-Barrientos, L., Yegres-Herrera, L. A., Flores-Estrella, H. & González-Fernández, A. 2022. Estimation of shallow VP and VS models in La Reforma Caldera, Baja California Sur, Mexico, using H/V ratios. Preliminary results. *Journal of Applied Geophysics*, 204, pp. 104736. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jappgeo.2022.104736>

- Daryono. 2011. Indeks Kerentanan Seismik Berdasarkan Mikrotremor pada Setiap Satuan Bentuklahan di Zona Graben Bantul Daerah Istimewa Yogyakarta, Disertasi, Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.
- Gallipoli, M. R., Mucciarelli, M., Castro, R. R., Monachesi, G., & Contri, P. 2004. Structure, soil – structure response and effects of damage based on observations of horizontal-to-vertical spectral ratios of microtremors, 24(6), pp. 487–495. <https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2003.11.009>
- Kanai, K. 1983. Engineering Seismology. University of Tokyo Press.
- Kramer, S. L. 1996. Geotechnical Earthquake Engineering. Prentice Hall.
- Lunedei, E. & Albarello, D. 2015. Horizontal-to-vertical spectral ratios from a full-wavefield model of ambient vibrations generated by a distribution of spatially correlated surface sources. *Geophysical Journal International*, 201(2), pp. 1142–1155. <https://doi.org/10.1093/gji/ggv046>
- Marjiyono. (2010). Estimasi Karakteristik Dinamika Tanah dari Data Mikrotremor Wilayah Bandung, Tesis, Institut Teknologi Bandung.
- Molnar, S., Sirohey, A., Assaf, J., Bard, P.-Y., Castellaro, S., Cornou, C., Cox, B., Guillier, B., Hassani, B., Kawase, H., Matsushima, S., Sánchez-Sesma, F.J., Yong, A. 2022. A review of the microtremor horizontal-to-vertical spectral ratio (MHVSR) method. *Journal of Seismology*, 26, pp. 653–685. <https://doi.org/10.1007/s10950-021-10062-9>
- Nakamura, Y. 1989. A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface. *Quarterly Report of RTRI*, 30(1), pp. 25–33.
- Nakamura, Y. 2000. Clear Identification of Fundamental Idea of Nakamura's Technique and Its Applications. *Proceedings of the 12th World Conference on Earthquake Engineering*. pp. 2656.
- Konno, K. & Ohmachi, T. 1998. Ground-motion characteristics estimated from spectral ratio between horizontal and vertical components of microtremor. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 88(1), pp. 228–241. <https://doi.org/10.1785/BSSA0880010228>
- Raidi, A. 2024. Wilayah Konawe diguncang gempa 2.2 SR. *Radio Republik Indonesia*. https://berita.rri.co.id/kendari/regional/541602/wilayah-konawe-diguncang-gempa-2-2-sr#google_vignette
- Refrizon, Hadi, A. I., Lestari, K., & Oktari, T. 2013. Analisis percepatan getaran tanah maksimum dan tingkat kerentanan seismik Daerah Ratu Agung Kota Bengkulu. *Prosiding Semirata FMIPA Universitas Lampung*, pp. 323–328.
- Reiter, L. (1990). *Earthquake Hazard Analysis: Issues and Insights*. Columbia University Press.
- Rezaei, S., & Choobbasti, A. J. 2017. Application of the microtremor measurements to a site effect study. *Earthquake Science*, 30(3), pp. 157–164. <https://doi.org/10.1007/s11589-017-0187-2>
- Sánchez-Sesma, F. J., Rodríguez, M., Iturrarán-Viveros, U., Luzón, F., Campillo, M., Margerin, L., García-Jerez, A., Suarez, M., Santoyo, M. A., & Rodríguez-Castellanos, A. 2011. A theory for microtremor H/V spectral ratio: Application for a layered medium. *Geophysical Journal International*, 186(1), pp. 221–225. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.2011.05064.x>
- SESAME. 2004. Guidelines for the Implementation of the H/V Spectral Ratio Technique on Ambient Vibrations. Measurements, Processing and Interpretation SESAME European Research Project, Deliverable D23, 62p.
- Simandjuntak, T. O., Surono & Sukido 1993. Peta Geologi Lembar Kolaka, Sulawesi (Skala 1:250000). Bandung, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.
- Vijayan, A., Agrawal, M., & Gupta, R. K. 2022. Seismic Site Characterization Using Ambient Noise and Earthquake HVSR in the Easternmost Part of Shillong Plateau, India. *Journal of the Geological Society of India*, 98(4), pp. 471–478. <https://doi.org/10.1007/s12594-022-2004-3>