

Pemetaan Mikrozonasi Daerah Rawan Gempa Menggunakan Metode HVSr Di Dusun Kuwon Tengah, Desa Pacarejo, Kecamatan Semanu, Kabupaten Gunungkidul, Yogyakarta
Microzoning Mapping of Earthquake-prone Areas Using the HVSr Method in Kuwon Tengah Hamlet, Pacarejo Village, Semanu District, Gunungkidul Regency, Yogyakarta

Anis Putri^{1*}, Wuri Handayani²

¹Program Studi Fisika, FMIPA, Universitas Negeri Yogyakarta, Jl. Colombo No.1, Caturtunggal, Depok, Sleman, Yogyakarta 55281

²Stasiun Geofisika Kelas I Sleman, Jl. Wates Km. 8, Jitengan, Balekatur, Gamping, Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta 55295

INFO ARTIKEL

Naskah masuk : 30 Desember 2024
 Naskah diperbaiki : 1 Maret 2025
 Naskah diterima : 15 Maret 2025

Kata kunci:
 mikrozonasi
 HVSr
 daerah rawan gempa
 Dusun Kuwon Tengah

Keywords:
 microzonation
 HVSr
 earthquake-prone areas
 Kuwon Tengah Hamlet

*Email Korespondensi :
 anisput29@gmail.com

ABSTRAK

Penelitian ini dilakukan untuk mengidentifikasi zona rawan gempa di Dusun Kuwon Tengah bagian barat, Desa Pacarejo, Kecamatan Semanu, Kabupaten Gunungkidul, Yogyakarta, menggunakan metode HVSr (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*). Metode ini memanfaatkan data mikrotremor yang diperoleh dari 29 titik pengukuran dengan spasi antar titik 250-meter untuk memetakan frekuensi dominan (f_0) dan faktor amplifikasi (A_0) di wilayah tersebut. Data dianalisis menggunakan perangkat lunak Sesarray Geopsy untuk memperoleh frekuensi dominan (f_0) dan faktor amplifikasi (A_0), yang digunakan dalam pemetaan mikrozonasi untuk mengidentifikasi klasifikasi jenis tanah. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai frekuensi dominan berkisar antara 0,68 hingga 8,59 Hz, sedangkan faktor amplifikasi berkisar antara 0,95 hingga 10,82. Berdasarkan klasifikasi tanah, wilayah penelitian didominasi oleh jenis tanah II dan III dengan amplifikasi rendah hingga sedang, yang menunjukkan risiko gempa sedang. Informasi ini diharapkan dapat membantu dalam upaya mitigasi bencana gempa bumi di wilayah tersebut.

ABSTRACT

This study was conducted to identify earthquake-prone zones in the western part of Kuwon Tengah Hamlet, Pacarejo Village, Semanu District, Gunungkidul Regency, Yogyakarta, using the HVSr (Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio) method. This method utilizes microtremor data obtained from 29 measurement points, with a spacing of 250 meters between points, to map the predominant frequency (f_0) and amplification factor (A_0) in the region. The data were analyzed using Sesarray Geopsy software to obtain the predominant frequency (f_0) and amplification factor (A_0), which are used in microzoning mapping to identify soil type classifications. The results showed that the predominant frequency value ranged from 0.68 to 8.59 Hz, while the amplification factor ranged from 0.95 to 10.82. Based on soil classification, the study area is dominated by soil types II and III, with low to moderate amplification, indicating a moderate earthquake risk. This information is expected to help in earthquake disaster mitigation efforts in the region.

© 2025 Jurnal Stasiun Geofisika Sleman

1. Pendahuluan

Indonesia merupakan salah satu negara dengan risiko gempa bumi tinggi karena terletak pada jalur subduksi antara Lempeng Indo-Australia dan Lempeng Eurasia, menjadikannya wilayah yang rawan terhadap aktivitas tektonik [1-2]. Kabupaten Gunungkidul, yang terletak di Daerah Istimewa Yogyakarta, termasuk salah satu area dengan potensi gempa bumi yang signifikan. Selain posisinya yang dekat dengan zona subduksi, Gunungkidul memiliki kompleksitas geologi dengan beragam jenis batuan, seperti batuan sedimen klastik, karbonat, vulkanik, dan batuan beku intrusif. Kombinasi antara faktor tektonik dan karakteristik batuan ini

berpotensi memperparah dampak gempa di wilayah tersebut [3].

Pada Jumat, 30 Juni 2023 pukul 19:57:41 WIB, Daerah Istimewa Yogyakarta, termasuk area Gunungkidul, diguncang gempa bumi tektonik dengan magnitudo 6. Episenter gempa berada pada koordinat 8,75° LS dan 110° BT, sekitar 102 km di barat daya Bantul, DIY, dengan kedalaman hiposenter mencapai 67 km [4]. Guncangan ini menyebabkan kerusakan signifikan di DIY, dengan 172-unit bangunan rusak di berbagai titik. Di Dusun Kuwon Tengah bagian barat, kerusakan parah terjadi pada sejumlah rumah penduduk, dengan 6 rumah mengalami kerusakan cukup berat sementara sebagian

besar lainnya mengalami kerusakan ringan. Selain rumah-rumah penduduk, beberapa fasilitas umum seperti sekolah dan masjid juga terdampak gempa. Situasi ini menekankan pentingnya pemetaan mikrozonasi untuk mengidentifikasi area berisiko tinggi terhadap gempa, khususnya di wilayah yang memiliki kerentanan tinggi terhadap getaran seismik. Kajian semacam ini menjadi langkah penting dalam mitigasi bencana guna mengurangi dampak kerusakan akibat gempa [5].

Untuk memahami kerentanan seismik Dusun Kuwon Tengah, penelitian ini menggunakan metode mikrotremor dengan analisis Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio (HVSr). Metode mikrotremor melalui HVSr merupakan teknik yang efisien untuk memetakan frekuensi dominan dan faktor amplifikasi dari getaran tanah di suatu wilayah. Dengan menganalisis sinyal mikrotremor, HVSr mampu mengidentifikasi frekuensi resonansi lokal dan penguatan gelombang seismik yang terjadi pada berbagai jenis batuan di permukaan. Hasil dari analisis ini dapat memberikan gambaran mikrozonasi, yang mengklasifikasikan zona kerentanan berdasarkan nilai frekuensi dominan dan faktor amplifikasi.

Penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan peta mikrozonasi di Dusun Kuwon Tengah bagian barat, Desa Pacarejo, Kecamatan Semanu, Kabupaten Gunungkidul. Pemetaan ini diharapkan dapat menjadi dasar bagi masyarakat dan pemerintah dalam mengambil langkah mitigasi yang tepat untuk menghadapi potensi gempa di masa mendatang.

2. Metode Penelitian

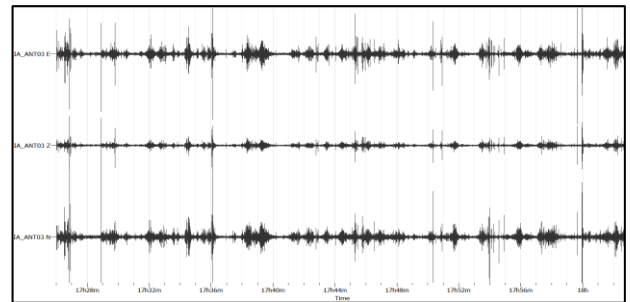
Penelitian dilaksanakan pada bulan April hingga Juni 2024 di Dusun Kuwon Tengah bagian barat. Lokasi ini dipilih karena rentan terhadap aktivitas seismik akibat letaknya di kawasan tektonik yang aktif. Proses pengambilan data dilakukan pada 29 titik yang tersebar di area penelitian dengan jarak antar titik sekitar 250 meter. Instrumen yang digunakan meliputi seismograf Taurus 3DLite untuk merekam sinyal mikrotremor, serta digitizer Taurus yang berfungsi mengonversi sinyal analog menjadi sinyal digital dan menyimpan hasil rekaman. Untuk penentuan posisi setiap titik, digunakan GPS merek Garmin dan kompas untuk memastikan orientasi yang akurat selama pemasangan alat.

Penelitian ini menggunakan metode Mikrotremor untuk memetakan mikrozonasi daerah rawan gempa di Dusun Kuwon Tengah, Desa Pacarejo, Kecamatan Semanu, Kabupaten Gunungkidul. Mikrotremor adalah getaran tanah yang sangat kecil dan kontinu, yang berasal dari aktivitas manusia, angin, lalu lintas, dan sumber lainnya [6]. Metode ini efektif dalam menggambarkan kondisi geologi suatu daerah yang dipengaruhi oleh peristiwa alam atau buatan [7]. Dengan menggunakan metode ini, karakteristik lapisan tanah dapat diketahui melalui periode dominan dan parameter amplifikasinya yang sangat berguna untuk memperkirakan tingkat risiko akibat aktivitas seismik [8].

Metode Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSr) adalah teknik analisis yang menghitung rasio antara komponen horizontal dan vertikal dari kebisingan seismik atau getaran lingkungan. Metode ini awalnya dikembangkan oleh Nogoshi dan Igarashi pada tahun 1971 dan kemudian dipopulerkan oleh Nakamura pada tahun 1989. Teknik ini telah menjadi metode standar dalam studi amplifikasi tanah dan resonansi tanah [9].

Metode HVSr bekerja dengan merekam getaran mikro (mikrotremor) menggunakan sensor seismik tiga komponen, yang mengukur getaran pada arah Utara-Selatan (*North-South*), Timur-Barat (*East-West*), dan vertikal (*Up-Down*). Data dari kedua komponen horizontal digabungkan untuk menghasilkan spektrum horizontal (H), yang kemudian dibandingkan dengan spektrum vertikal (V) untuk menghitung rasio H/V. Rasio ini digunakan untuk mengidentifikasi frekuensi dominan (f_0) yang terkait dengan resonansi lokal dari lapisan tanah [6].

Frekuensi dominan dapat memberikan informasi penting tentang kedalaman dan kekakuan lapisan tanah dan sering dikaitkan dengan lapisan tanah yang lebih lembut di atas lapisan dasar yang lebih keras [10]. Nilai faktor amplifikasi maksimum (A_0) kemudian dihitung untuk menunjukkan besarnya amplifikasi getaran di lokasi tersebut. Setelah nilai f_0 dan A_0 diperoleh, koordinat titik pengukuran digunakan sebagai input untuk membuat peta mikrozonasi menggunakan software Surfer. Peta ini menampilkan distribusi nilai f_0 dan A_0 di daerah penelitian, yang sangat penting untuk mitigasi bencana dan perencanaan pembangunan.



Gambar 1. Sinyal Mikrotremor Titik K01

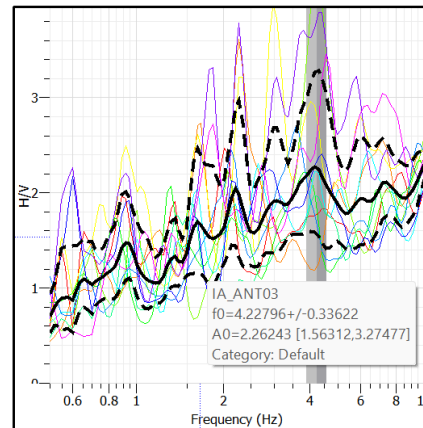
Hasil dari pemetaan ini memberikan informasi mengenai distribusi nilai frekuensi dominan dan faktor amplifikasi, yang kemudian diklasifikasikan berdasarkan jenis tanah. Informasi ini penting untuk memahami tingkat kerentanan seismik di Dusun Kuwon Tengah bagian barat, serta sebagai dasar dalam upaya mitigasi risiko gempa bumi di masa depan. Metode ini dirancang secara sistematis untuk menghasilkan data yang valid dan relevan, guna mendukung upaya pengurangan dampak bencana di wilayah penelitian. Berdasarkan penelitian Arifin, data tersebut dapat digunakan untuk mengetahui klasifikasi tanah yang dikembangkan oleh Kanai. Nilai frekuensi dominan mikrotremor membantu dalam mengidentifikasi jenis tanah dan karakteristik seismiknya.

Tabel 1. Klasifikasi Tanah Berdasarkan Nilai Frekuensi Dominan Mikrotremor Oleh Kanai [11].

Klasifikasi Tanah	f_0 (Hz)	Deskripsi	Deskripsi
Jenis I	6,667 - 20	Batuan tersier atau lebih tua. Terdiri dari batuan pasir berkerikil keras (hard sandy gravel).	Ketebalan sedimen permukaan ya sangat tipis, didominasi oleh batuan keras
Jenis II	4 – 6,67	Batuan alluvial dengan ketebalan 5m. Terdiri dari pasir berkerikil (sandy gravel), lempung keras berpasir (sandy hard clay), tanah liat, lempung (loam) dan sebagainya	Ketebalan sedimen permukaan ya masuk dalam kategori menengah 5-10 meter
Jenis III	2,5 - 4	Batuan alluvial yang hampir sama dengan tanah jenis II, hanya dibedakan oleh adanya formasi yang belum diketahui (buff formation)	Ketebalan sedimen permukaan masuk dalam kategori menengah 5- 10 meter
Jenis IV	< 2,5	Batuan alluvial yang terbentuk dari sedimentasi delta, topsoil, lumpur, tanah lunak, humus, endapan delta atau endapan lumpur dll, yang tergolong ke dalam tanah lembek, dengan kedalaman 30m	Ketebalan sedimen permukaan ya sangatlah tebal

3. Hasil Dan Pembahasan

Parameter frekuensi predomnan dan faktor amplifikasi diperoleh dari kurva hasil pengolahan sinyal mikrotremor menggunakan metode HVSR, seperti ditunjukkan pada Gambar 2. Data hasil pengukuran dari setiap titik dapat dilihat pada Tabel 2. Selanjutnya, visualisasi mikrozonasi dilakukan dengan menyusun peta mikrozonasi frekuensi predomnan (f_0) dan faktor amplifikasi (A_0) serta mengklasifikasikan jenis tanah di Dusun Kuwon Tengah bagian Barat, Desa Pacarejo, Kecamatan Semanu, Kabupaten Gunungkidul.

**Gambar 2. Contoh kurva hasil pengolahan HVSR titik K01****Tabel 2. Data Hasil Pengukuran**

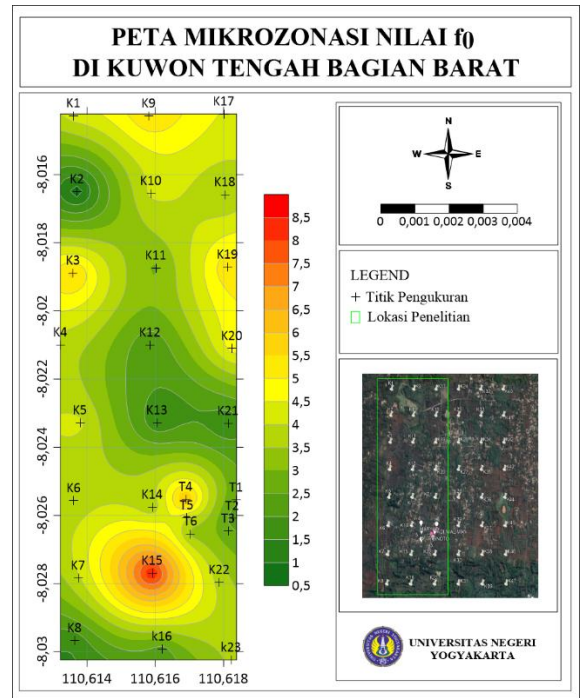
Titik	Longitude	Latitude	f_0	A_0
K01	110,613604	-8,014277	4,23	2,26
K02	110,61371	-8,016503	0,68	1,24
K03	110,613593	-8,018891	5,7	1,22
K04	110,613218	-8,021	4	1,87
K05	110,613794	-8,023284	4,12	3,19
K06	110,61361	-8,02557	3,68	3,37
K07	110,613738	-8,027843	3,91	2,74
K08	110,613635	-8,029673	1,6	1,21
K09	110,615808	-8,014279	5,49	1,27
K10	110,615873	-8,016556	4,12	2
K11	110,616018	-8,018742	2,91	1,86
K12	110,615845	-8,021003	2,07	2,57
K13	110,616052	-8,023287	1,62	1,2
K14	110,615911	-8,025761	3,64	1,88
K15	110,615911	-8,027699	8,59	2,32
K16	110,616195	-8,029923	2,27	1,36
K17	110,618009	-8,014222	4,44	4,29
K18	110,61804	-8,016589	3,5	2,82
K19	110,618117	-8,018715	5,42	2,4
K20	110,618244	-8,021106	4,72	4,64
K21	110,618135	-8,023305	1,6	3,87
K22	110,617876	-8,027966	3,82	2,93
K23	110,618223	-8,030243	3,61	0,95
T1	110,618377	-8,025548	2,53	5,89
T2	110,618259	-8,026091	2,25	10,82
T3	110,618142	-8,026462	2,67	3,66
T4	110,616896	-8,025531	6,2	2,79
T5	110,616926	-8,026073	4,02	2,73
T6	110,617035	-8,026544	3,35	1,3

Frekuensi dominan. Berkaitan dengan ketebalan suatu lapisan sedimen, nilai yang tinggi menggambarkan daerah tersebut memiliki ketebalan sedimen tipis, begitu juga sebaliknya nilai frekuensi dominan rendah menggambarkan lapisan sedimen yang tebal [12]. Pada Gambar 3, terlihat bahwa nilai frekuensi dominan di Dusun Kuwon Tengah bagian Barat berkisar antara 0,68 – 8,59 Hz dengan nilai frekuensi dominan tertinggi berada pada titik K15 dan nilai frekuensi terendah berada pada titik K02. Berdasarkan Gambar 3 dan Tabel 3, Dusun Kuwon Tengah bagian Barat didominasi oleh frekuensi sedang. Titik dengan nilai frekuensi sedang masuk dalam tipe tanah jenis II dan III dimana terdapat 11 titik yang termasuk dalam tipe tanah Jenis II dengan rentang nilai 4 Hz – 6,67 Hz dan terdapat 10 titik yang masuk ke dalam tipe tanah Jenis III dengan rentang nilai 2,5 Hz – 4 Hz. Daerah yang memiliki nilai f_0 sedang mungkin mengalami amplifikasi gelombang seismik yang tidak sekuat daerah dengan f_0 rendah, namun tetap memiliki potensi amplifikasi.

Daerah dengan nilai f_0 rendah berada di daerah tengah menuju utara yang ditunjukkan oleh area berwarna hijau gelap tersebar pada titik K02, K08, K12, K13, K16, K21, T02. Hal ini berarti daerah ini termasuk ke dalam tipe tanah IV sesuai dengan Tabel 3. Lapisan sedimen di wilayah tersebut tebal dan batuan dasar berada jauh di bawah permukaan mencapai 30 m atau lebih dan terdiri dari batuan alluvial yang terbentuk dari sedimentasi. Ketebalan sedimen yang besar cenderung memperlambat perambatan gelombang seismik dan dapat meningkatkan amplifikasi getaran saat gempa bumi, sehingga daerah ini lebih rentan terhadap kerusakan.

Area merah yang terdapat pada bagian Tengah dan selatan menunjukkan area dengan nilai f_0 tinggi yang memiliki lapisan sedimen yang lebih tipis, dengan batuan dasar yang relatif dekat dengan permukaan. Pada daerah ini termasuk dalam tipe tanah I yang menginterpretasikan bahwa ketebalan lapisan sedimen tipis dan didominasi oleh batuan tersier atau lebih tua, sehingga gelombang seismik lebih cepat mencapai batuan dasar dan lebih tahan terhadap amplifikasi saat terjadi gempa bumi.

Daerah penelitian juga difokuskan pada area terdampak yang mengalami kerusakan lebih parah dari daerah lainnya yaitu yang berada pada titik T01, T02, T03, T04, T05, dan T06. Nilai frekuensi dominan pada area terdampak sebelah timur yaitu T01, T02, dan T03 memiliki nilai frekuensi dominan yang lebih rendah daripada area sebelah barat yaitu T04, T05, dan T06. Hal ini menunjukkan bahwa area terdampak sebelah timur memiliki lapisan sedimen permukaan yang lebih tebal dibandingkan dengan area terdampak sebelah barat.



Gambar 3. Peta Mikrozonasi Nilai f_0 di Kuwon Tengah bagian Barat

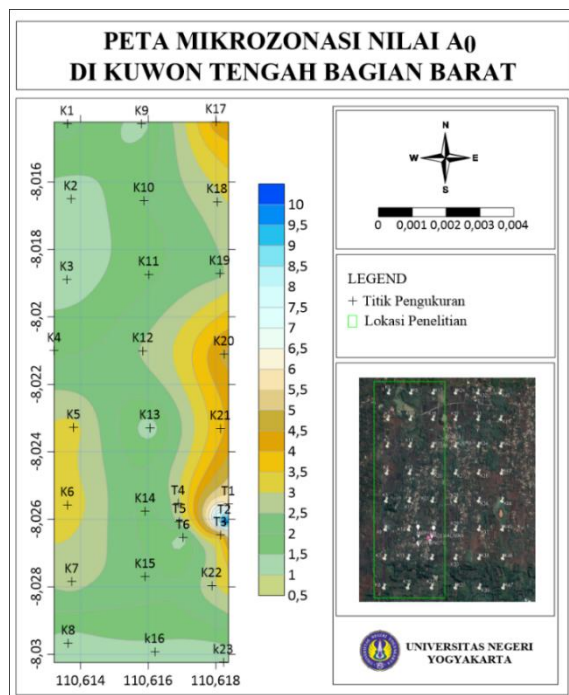
Tabel 3. Klasifikasi Nilai Frekuensi Dominan di Dusun Kuwon Tengah Bagian Barat

Klasifikasi Tanah	Frekuensi Predominan (Hz)	Deskripsi	Titik Penelitian
Jenis I	6,67 - 20	Batuan tersier atau lebih tua. Terdiri dari batuan pasir berkerikil keras (hard sandy gravel).	K15
Jenis II	4 – 6,67	Batuan alluvial dengan ketebalan 5m. Terdiri dari sandy gravel, sandy hard clay, tanah liat, lempung, dll.	K01, K03, K04, K05, K09, K10, K17, K19, K20, T04, T05
Jenis III	2,5 - 4	Batuan alluvial hampir sama dengan tanah jenis II, hanya dibedakan oleh adanya formasi yang belum diketahui (buff formation).	K06, K07, K11, K14, K18, K22, K23, T01, T03, T06
Jenis IV	< 2,5	Batuan alluvial yang terbentuk dari sedimentasi delta, topsoil, lumpur dll, yang tergolong ke dalam tanah lembek, dengan kedalaman 30m.	K02, K08, K12, K13, K16, K21, T02

Faktor Amplifikasi. Tanah merupakan nilai perbesaran amplitudo gelombang dari lapisan *bedrock* (batuan dasar) dari suatu lapisan sedimen, sehingga apabila nilai amplifikasi suatu daerah semakin tinggi, maka resiko kerusakan yang dialami oleh daerah tersebut juga akan semakin tinggi. Pada penelitian ini nilai faktor amplifikasi yang telah diperoleh kemudian dimodelkan dalam bentuk peta mikrozonasi seperti yang tertera pada Gambar 4.

Secara umum, batuan yang lebih keras akan memiliki faktor amplifikasi yang lebih kecil. Hal ini karena batuan yang keras lebih kaku dan kurang mudah bergetar ketika terkena gelombang seismik. Berdasarkan peta yang terdapat pada Gambar 4, nilai faktor amplifikasi di Dusun Kuwon Tengah bagian Barat ini berkisar antara 0,95 – 10,82 dengan nilai faktor amplifikasi terendah terletak pada titik K23 sedangkan nilai amplifikasi tertinggi terletak pada titik T02. Nilai amplifikasi kemudian diklasifikasikan menjadi empat zona seperti pada Tabel 4. Berdasarkan klasifikasi tersebut daerah penelitian didominasi oleh nilai amplifikasi rendah hingga sedang yang menandakan daerah penelitian tersusun oleh batuan sedimen yang keras hingga sedang, kemudian terdapat satu titik yang memiliki nilai amplifikasi sangat tinggi yaitu pada titik T02 yang menandakan batuan penyusunnya sedimen lunak.

Faktor amplifikasi ini penting untuk dipertimbangkan dalam analisis risiko gempa bumi, karena dapat meningkatkan intensitas guncangan gempa bumi di permukaan tanah. Pada area terdampak bagian timur memiliki nilai amplifikasi yang lebih besar daripada area terdampak bagian barat menandakan bahwa area ini merasakan intensitas guncangan gempa yang lebih besar dan potensi kerusakan yang lebih parah.



Gambar 4. Peta Mikrozonasi Nilai A0 di Kuwon Tengah bagian Barat

Tabel 4. Klasifikasi Nilai Faktor Amplifikasi di Dusun Kuwon Tengah Bagian Barat

Zona	Klasifikasi	Nilai Faktor Amplifikasi	Titik Penelitian
1	Rendah	$A_0 < 3$	K01, K02, K03, K04, K07, K08, K09, K10, K11, K12, K13, K14, K15, K16, K18, K19, K22, K23, T04, T05, T06
2	Sedang	$3 \leq A_0 \leq 6$	K05, K06, K17, K20, K21, T01, T03
3	Tinggi	$6 \leq A_0 \leq 9$	-
4	Sangat tinggi	$A_0 > 9$	T02

4. Kesimpulan

Dari penelitian ini, diperoleh bahwa wilayah Dusun Kuwon Tengah bagian barat memiliki variasi frekuensi dominan antara 0,68 - 8,59 Hz dan faktor amplifikasi yang mencapai 10,82. Data ini menunjukkan bahwa area tersebut didominasi oleh tanah jenis II dan III dan termasuk Zona Rendah - Sedang, yang umumnya memiliki risiko kerusakan moderat akibat gempa bumi. Beberapa titik memiliki amplifikasi sangat tinggi, menunjukkan potensi kerusakan yang lebih besar dan pentingnya perhatian khusus untuk mitigasi di area tersebut. Penelitian ini menegaskan bahwa metode HVSR efektif dalam pemetaan mikrozonasi wilayah rawan gempa dan dapat memberikan informasi penting bagi perencanaan mitigasi bencana di daerah dengan kondisi geologi serupa.

Saran

Pengambilan data mikrotremor dilakukan dengan jumlah titik yang lebih banyak dan cakupan wilayah yang lebih luas untuk mendapatkan hasil yang lebih representatif. Selain itu, analisis bisa ditingkatkan dengan mempertimbangkan variabel lain, seperti kedalaman lapisan tanah dan variasi topografi, yang dapat mempengaruhi hasil amplifikasi. Kolaborasi dengan pihak berwenang dalam hal sosialisasi dan penyusunan rencana mitigasi di wilayah dengan amplifikasi tinggi juga sangat penting untuk meningkatkan kesiapsiagaan masyarakat terhadap risiko gempa.

Ucapan Terimakasih

Penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah berkontribusi dalam penyelesaian artikel ini. Ucapan terima kasih khusus disampaikan kepada

Stasiun Geofisika Kelas I Sleman yang telah memberikan kesempatan magang dan dukungan selama proses penulisan artikel ini. Tanpa bantuan dan kerjasama dari semua pihak, artikel ini tidak akan dapat diselesaikan dengan baik.

Daftar Pustaka

- [1] Gurumuda.net, 2023, "Plate Tectonics and Earthquakes in Indonesia." *ILMU PENGETAHUAN*. Internet: <https://gurumuda.net/geography/plate-tectonics-and-earthquakes-in-indonesia.htm>, diakses 30 Juli 2024.
- [2] Earth Observatory of Singapore, 2023, "Subduction Zone Beneath Sumatra, Indonesia." Internet: <https://earthobservatory.sg/>, diakses 30 Juli 2024.
- [3] Widanarto, M., Astuti, D. R., & Supriyadi, S., "The spatial distribution of Vs30 value in Gunungkidul area based on microtremor measurement." *International Journal of GEOMATE*, 22(94), 29-38, 2022.
- [4] Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika. *Ulasan Guncangan Tanah Akibat Gempabumi Barat Daya Bantul DIY, 30 Juni 2023*, Internet: https://prosesweb.bmkg.go.id/wp-content/uploads/Ulasan_gempabumi_30_juni_2023_195741WIB_M6.0-rev2.pdf, diakses 1 Agustus 2024.
- [5] Rukmana, R., Widanarto, M., & Supriyadi, S., "Impact of Earthquake on Building Infrastructure in Gunungkidul, Yogyakarta." *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 2023.
- [6] Bonnefoy-Claudet, S., Cotton, F., dan Bard, P. Y., "The nature of noise wavefield and its applications for site effects studies: A literature review," *Earth-Science Rev.*, vol. 79, no. 3-4, pp. 205–227, 2006.
- [7] Nakamura, Y., "A Method for Dynamic Characteristics Estimation of Subsurface using Microtremor on the Ground Surface Quarterly" Report of Railway Technical Research Institute (RTRI), 30, No.1, 1989.
- [8] SESAME European Research Project, "Guidelines for the implementation of the H/V spectral ratio technique on ambient vibrations: Measurements, processing, and interpretation," *SESAME Project WP12 Deliverable D23.12*, European Commission, 2004.
- [9] Bard, P. Y., "Microtremor measurements: A tool for site effect estimation?" *The Effects of Surface Geology on Seismic Motion*, vol. 3, pp. 1251–1279, 1999.
- [10] Lachet, C., & Bard, P. Y., "Numerical and theoretical investigations on the possibilities and limitations of Nakamura's technique". *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 99(B12), 23937-23947, 1994.
- [11] Arifin, Z., Pramumijoyo, S., dan Haryono, E., "Pengaruh karakteristik fisik batuan terhadap nilai dominan frekuensi mikrotremor: Studi kasus daerah pegunungan," *Jurnal Geofisika Indonesia*, vol. 10, no. 2, pp. 35–45, 2014.
- [12] Isburhan, R., Nuraeni, G., Verdhora, R., Yudistira, T., Cipta, A., Cummin, P., "Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio (HVSr) Method for Earthquake Risk Determination of Jakarta City with Microtremor Data," *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 318 012033, 2019. (buat lapisan tebal dan tipis sedien di pembahasan)