

Mikrozonasi Seismik Di Dusun Kuwon Tengah Bagian Timur, Desa Pacarejo, Kecamatan Semanu, Kabupaten Gunungkidul

Seismic Microzonation Mapping in the Eastern Part of Kuwon Tengah Hamlet, Pacarejo Village, Semanu District, Gunungkidul Regency

Amy Andriyani^{1*}, Wawan Joko Suwondo²

¹ Jurusan Fisika, Fakultas MIPA, Universitas Negeri Yogyakarta, Jl. Colombo No.1, Depok, Sleman, Yogyakarta 55281

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

INFO ARTIKEL

Naskah masuk : 30 Juni 2025

Naskah diperbaiki : 30 Juli 2025

Naskah diterima : 8 Agustus 2025

Kata kunci:
frekuensi dominan
faktor amplifikasi
HVSR
Kabupaten Gunungkidul

Keywords:
dominant frequency
amplification factor
HVSR
Gunungkidul Regency

*Email:
amyandriyani.2021@student.uny.ac.id

ABSTRAK

Indonesia, sebagai kepulauan yang terletak di pertemuan tiga lempeng tektonik besar, sangat rentan terhadap gempa bumi. Letak geografis ini menyebabkan aktivitas seismik yang tinggi dan sering terjadi gempa bumi dengan berbagai magnitudo. Kabupaten Gunungkidul, salah satu daerah di Yogyakarta, merupakan wilayah dengan aktivitas seismik yang cukup tinggi. Dusun Kuwon Tengah di Kecamatan Semanu, Gunungkidul, secara historis telah mengalami beberapa kali gempa bumi dengan dampak kerusakan yang signifikan. Penelitian ini bertujuan untuk memetakan mikrozonasi seismik di Dusun Kuwon Tengah guna mengidentifikasi daerah yang memiliki kerentanan tinggi terhadap gempa bumi. Metode yang digunakan adalah pengukuran sinyal mikrotremor, yaitu getaran kecil yang terus-menerus terjadi di permukaan bumi. Data mikrotremor akan dianalisis untuk menghasilkan peta yang menunjukkan distribusi kerentanan tanah terhadap guncangan gempa bumi. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi mengenai tingkat kerentanan tanah di Dusun Kuwon Tengah. Peta mikrozonasi seismik ini dapat menjadi dasar dalam perencanaan tata ruang dan mitigasi bencana gempa bumi. Dengan mengetahui daerah-daerah yang memiliki potensi risiko tinggi, upaya mitigasi dapat lebih terfokus, seperti pembuatan bangunan tahan gempa, sistem peringatan dini, dan penyusunan rencana evakuasi.

ABSTRACT

Indonesia, an archipelago situated at the intersection of three major tectonic plates, is highly vulnerable to earthquakes. This geographical location is prone to high seismic activity and frequent earthquakes of varying magnitudes. Gunungkidul Regency, located in Yogyakarta, is an area with high seismic activity. Kuwon Tengah Hamlet in Semanu District, Gunungkidul, has historically experienced several earthquakes that have caused significant damage. This study aims to map the seismic microzonation in Kuwon Tengah Hamlet to identify areas that have high vulnerability to earthquakes. The method used is the measurement of microtremor signals, which are small vibrations that occur constantly on the Earth's surface. Microtremor data will be analyzed to produce a map that shows the distribution of soil vulnerability to earthquake shaking. The results of this study are expected to provide information on the level of soil vulnerability in Kuwon Tengah Hamlet. This seismic microzoning map can be the basis for spatial planning and earthquake disaster mitigation. By identifying areas with high risk potential, mitigation efforts can be more focused, such as constructing earthquake-resistant buildings, implementing early warning systems, and preparing evacuation plans.

© 2025 Jurnal Stasiun Geofisika Sleman

1. Pendahuluan

Indonesia terletak pada pertemuan tiga lempeng tektonik utama, yaitu Lempeng Indo-Australia, Eurasia, dan Pasifik. Interaksi antarlempeng tersebut mengontrol tatanan tektonik regional Asia Tenggara dan wilayah Indonesia serta menyebabkan aktivitas seismik yang tinggi [1]. Kondisi ini menjadikan Indonesia sebagai salah satu kawasan dengan tingkat kegempaan tinggi di dunia [2].

Gempa bumi merupakan peristiwa pelepasan energi secara tiba-tiba di dalam bumi yang menghasilkan gelombang seismik dan menyebabkan getaran pada permukaan tanah [3]. Karakteristik sumber gempa dan media perambatan gelombang sangat memengaruhi besarnya guncangan yang dirasakan di permukaan, sebagaimana dijelaskan dalam teori seismologi kuantitatif [4].

Wilayah Daerah Istimewa Yogyakarta merupakan salah satu kawasan yang terdampak signifikan oleh aktivitas seismik. Pada tanggal 27 Mei 2006 terjadi gempa bumi tektonik dengan magnitudo 5,9 Mw yang menimbulkan kerusakan luas, khususnya di wilayah Bantul dan sekitarnya. Pola kerusakan tersebut dipengaruhi oleh kondisi geologi dan respons lokal tanah [5]. Selain itu, pada tanggal 30 Juni 2023 kembali terjadi gempa bumi bermagnitudo 6,0 Mw yang dirasakan di wilayah Yogyakarta dan sekitarnya, termasuk Kabupaten Gunungkidul.

Kabupaten Gunungkidul merupakan salah satu wilayah di Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta yang tergolong aktif secara seismik. Secara administratif, Kabupaten Gunungkidul terdiri atas 18 kecamatan (Gambar 1), salah satunya Kecamatan Semanu, tempat Dusun Kuwon Tengah berada [6]. Berdasarkan pengamatan lapangan pascagempa 2006 dan 2023, Dusun Kuwon Tengah bagian timur menunjukkan tingkat kerusakan bangunan yang relatif lebih tinggi dibandingkan bagian barat wilayah tersebut, yang mengindikasikan adanya perbedaan karakteristik tanah dan kondisi bawah permukaan.

Untuk mengkaji respons dinamik tanah terhadap guncangan gempa bumi, diperlukan analisis mikrozonasi seismik. Salah satu metode yang banyak digunakan adalah analisis mikrotremor dengan metode *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (HVSР) yang diperkenalkan oleh Nakamura [7]. Metode ini memanfaatkan getaran ambient di permukaan tanah untuk menentukan frekuensi dominan dan faktor amplifikasi yang berkaitan dengan sifat dinamik lapisan sedimen [8], [9]. Parameter HVSР telah banyak diaplikasikan dalam studi mikrozonasi seismik dan penilaian kerentanan wilayah rawan gempa, termasuk di wilayah Yogyakarta dan sekitarnya [10]–[12].

Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini bertujuan untuk memetakan mikrozonasi seismik di Dusun Kuwon Tengah bagian timur, Desa Pacarejo, Kecamatan Semanu, Kabupaten Gunungkidul, berdasarkan analisis parameter frekuensi dominan dan faktor amplifikasi HVSР. Hasil penelitian ini diharapkan dapat mendukung upaya mitigasi bencana gempa bumi dan perencanaan pembangunan yang lebih aman di wilayah penelitian.

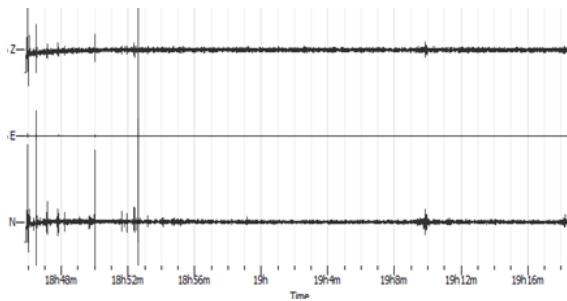


Gambar 1. Peta Geologi Daerah Istimewa Yogyakarta.

2. Metode Penelitian

Mikrotremor merupakan getaran tanah beramplitudo sangat kecil yang terjadi secara kontinu akibat sumber alami maupun aktivitas manusia, seperti angin, gelombang laut, lalu lintas kendaraan, dan aktivitas industri. Getaran ini terkam sebagai ambient seismic noise dan banyak dimanfaatkan untuk mengidentifikasi karakteristik dinamis lapisan bawah permukaan, khususnya pada wilayah yang tersusun oleh sedimen permukaan [7], [13].

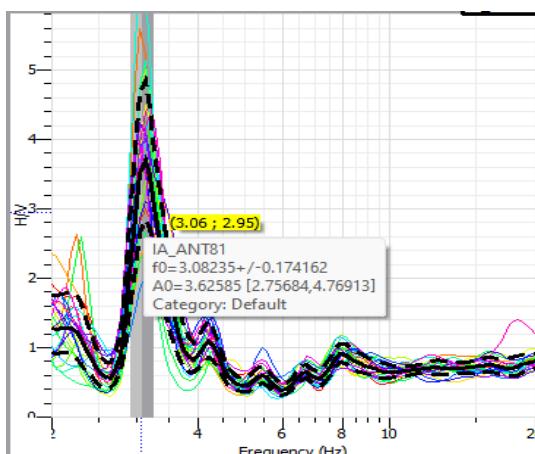
Pengukuran mikrotremor dilakukan menggunakan seismometer tiga komponen yang merekam satu komponen vertikal (up-down) dan dua komponen horizontal, yaitu arah utara-selatan (north-south) dan barat-timur (east-west). Data yang diperoleh berupa sinyal waktu dari ketiga komponen tersebut (Gambar 2). Sinyal mikrotremor selanjutnya diproses melalui tahapan pemilihan time window, penghilangan tren, dan perhitungan spektrum amplitudo menggunakan transformasi Fourier [14].



Gambar 2. Rekaman mikrotremor.

Analisis data mikrotremor dilakukan menggunakan metode Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVS). Metode ini pertama kali diperkenalkan oleh Nakamura [7] dan kemudian banyak digunakan untuk mengestimasi karakteristik dinamis tanah berdasarkan rasio spektrum amplitudo komponen horizontal terhadap komponen vertikal. Prinsip dasar metode HVS adalah bahwa komponen vertikal relatif kurang terpengaruh oleh efek amplifikasi lapisan sedimen, sehingga rasio H/V dapat merepresentasikan frekuensi resonansi alami dan efek tapak (*site effect*) suatu lokasi [8], [9], [15].

Secara matematis, fungsi HVS dinyatakan sebagai perbandingan antara spektrum amplitudo rata-rata komponen horizontal terhadap spektrum amplitudo komponen vertikal pada setiap frekuensi. Hasil analisis HVS ditampilkan dalam bentuk kurva spektral yang dilengkapi dengan nilai rata-rata serta batas standar deviasi atas dan bawah, yang digunakan untuk menilai kestabilan dan keandalan puncak frekuensi yang dihasilkan (Gambar 3) [16].



Gambar 3. Kurva HVSR.

Dari kurva HVS diperoleh dua parameter utama, yaitu frekuensi dominan (f_0) dan faktor amplifikasi (A_0). Frekuensi dominan berkaitan erat dengan ketebalan dan sifat fisik lapisan sedimen, di mana nilai frekuensi yang rendah umumnya menunjukkan sedimen yang tebal dan lunak, sedangkan nilai frekuensi yang lebih tinggi mengindikasikan material yang lebih kaku atau lapisan sedimen yang relatif tipis [10], [11], [15]. Klasifikasi tanah oleh Kanai berdasarkan nilai frekuensi predominan ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Klasifikasi faktor amplifikasi.

Klasifikasi Tanah	f_0 (Hz)	Deskripsi Tanah
Jenis I	6,67 – 20	Batuhan tersier atau lebih tua. Terdiri dari batuan pasir berkerikil keras (hard sandy gravel).
Jenis II	4 – 6,67	Batuhan alluvial dengan ketebalan 5m. Terdiri dari pasir berkerikil (sandy gravel), lempung keras berpasir (sandy hard clay), tanah liat, lempung (loam) dan sebagainya.
Jenis III	2,5 – 4	Batuhan alluvial yang hampir sama dengan tanah jenis II, hanya dibedakan oleh adanya formasi yang belum diketahui (buff formation).
Jenis IV	< 2,5	Batuhan alluvial yang terbentuk dari sedimentasi delta, top soil, lumpur, tanah lunak, humus, endapan delta atau endapan lumpur dll, yang tergolong ke dalam tanah lembek, dengan kedalaman 30 m.

Faktor amplifikasi (A_0) menggambarkan besarnya penguatan gelombang seismik akibat kontras impedansi antara lapisan sedimen permukaan dan lapisan di bawahnya. Semakin besar perbedaan impedansi antar lapisan, maka semakin besar nilai amplifikasi yang terjadi [9], [12]. Nilai faktor amplifikasi ini selanjutnya diklasifikasikan ke dalam beberapa tingkat kerentanan untuk mendukung penyusunan peta mikrozonasi seismik. Nilai faktor amplifikasi dibagi menjadi empat zona yaitu rendah, sedang, tinggi, dan sangat tinggi. Nilai faktor amplifikasi yang ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Klasifikasi faktor amplifikasi.

Zona	Klasifikasi	Nilai Faktor Amplifikasi
1	Rendah	$A_0 < 3$
2	Sedang	$3 \leq A_0 \leq 6$
3	Tinggi	$6 \leq A_0 \leq 9$
4	Sangat Tinggi	$A_0 \geq 9$

3. Hasil Dan Pembahasan

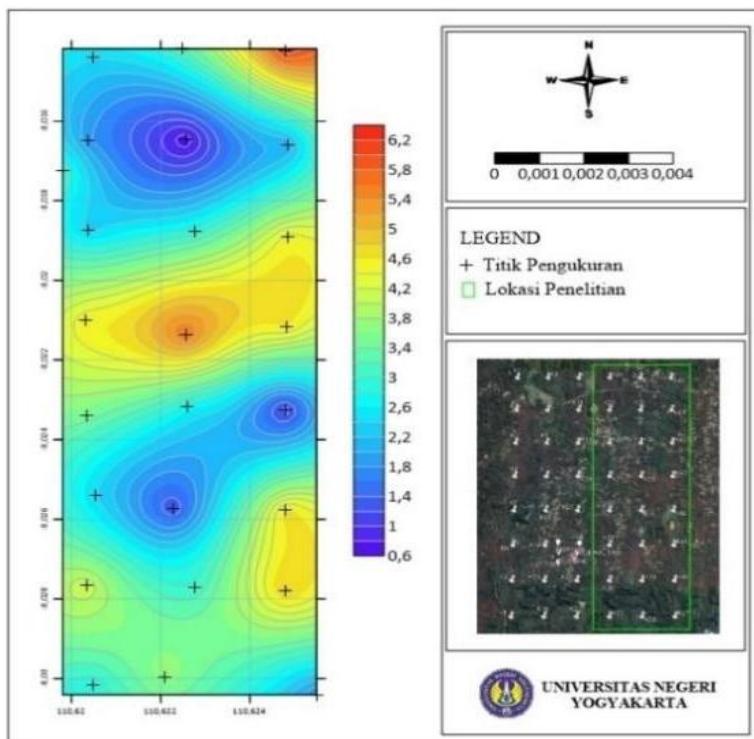
Identifikasi karakteristik tanah di Dusun Kuwon Tengah Bagian Timur, Desa Pacarejo, Kecamatan Semanu, Kabupaten Gunungkidul, Daerah Istimewa Yogyakarta dilakukan menggunakan parameter frekuensi predominan (f_0) dan faktor amplifikasi tanah (A_0) yang diperoleh dari analisis Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVS) data mikrotremor.

Frekuensi predominan (f_0) merupakan frekuensi pada nilai puncak kurva HVS yang berkaitan dengan ketebalan sedimen bawah permukaan dan kecepatan gelombang geser rata-rata (V_s) [17]. Nilai f_0 dipengaruhi

oleh sifat fisik lapisan tanah, khususnya keras–lunaknya sedimen. Secara umum, frekuensi predominan berbanding terbalik dengan ketebalan sedimen dan berbanding lurus dengan kecepatan gelombang geser. Lapisan sedimen yang tebal dan lunak cenderung menghasilkan nilai f_0 yang rendah, sedangkan sedimen yang lebih tipis dan kaku menunjukkan nilai f_0 yang lebih tinggi.

Berdasarkan hasil pengolahan data mikrotremor, diperoleh peta sebaran frekuensi predominan yang ditunjukkan pada Gambar 4. Nilai frekuensi predominan di wilayah penelitian berkisar antara 0,64–6,17 Hz. Nilai frekuensi tertinggi dijumpai pada titik K40, sedangkan nilai terendah berada pada titik K33.

Berdasarkan klasifikasi jenis tanah menggunakan parameter frekuensi predominan, wilayah penelitian termasuk dalam jenis tanah II hingga IV. Daerah dengan frekuensi rendah ($f_0 < 2,5$ Hz) tergolong dalam jenis tanah IV, yang mengindikasikan ketebalan sedimen permukaan sangat besar, umumnya lebih dari 30 m. Daerah dengan frekuensi sedang (2,5–4 Hz) termasuk dalam klasifikasi tanah tipe III, sedangkan daerah dengan frekuensi tinggi (4,6–6,7 Hz), yang ditunjukkan oleh indeks warna merah pada peta, tergolong dalam klasifikasi tanah tipe II. Pola ini menunjukkan hubungan yang jelas antara ketebalan sedimen dan frekuensi predominan, di mana semakin besar nilai frekuensi predominan maka ketebalan sedimen bawah permukaan semakin tipis.

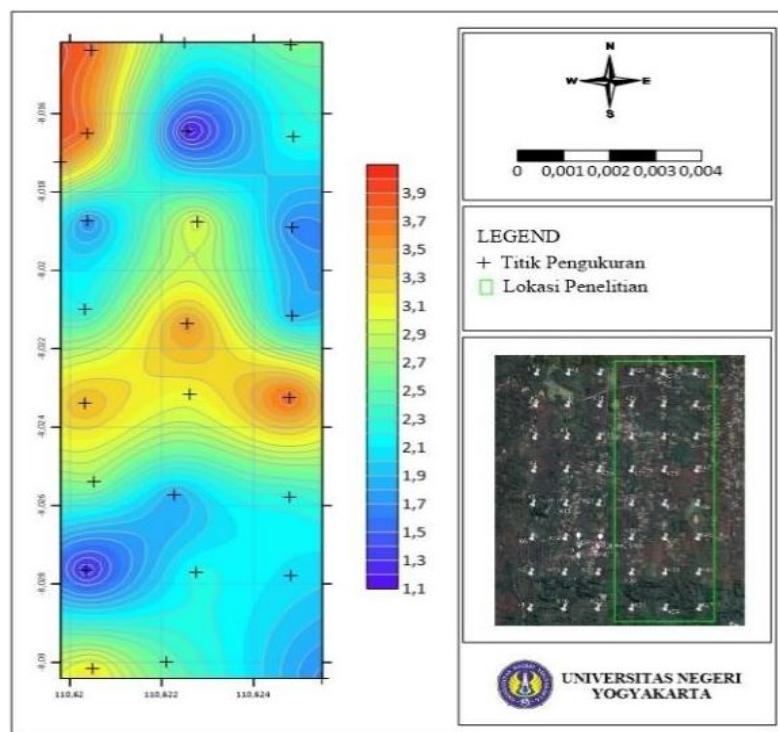


Gambar 4. Peta mikrozonasi frekuensi predominan f_0 .

Selain frekuensi predominan, karakteristik respon tanah terhadap guncangan gempa juga ditentukan oleh faktor amplifikasi tanah (A_0). Faktor amplifikasi merupakan nilai puncak pada sumbu vertikal kurva HVSR yang mencerminkan tingkat penguatan gelombang seismik dari batuan dasar menuju permukaan tanah. Secara teoritis, nilai A_0 yang tinggi menunjukkan kondisi sedimen yang lebih lunak, sedangkan nilai A_0 yang rendah mencerminkan lapisan sedimen yang lebih keras. Oleh karena itu, daerah dengan nilai A_0 tinggi memiliki potensi kerusakan bangunan yang lebih besar ketika mengalami guncangan gempa bumi.

Peta sebaran faktor amplifikasi tanah di wilayah penelitian ditunjukkan pada Gambar 5. Nilai faktor amplifikasi di Dusun Kuwon Tengah Bagian Timur berkisar antara 1,09–3,79.

Sebaran nilai amplifikasi tanah di wilayah penelitian didominasi oleh zona amplifikasi rendah hingga sedang. Zona 1 merupakan daerah dengan klasifikasi amplifikasi rendah ($A_0 < 3$), sedangkan Zona 2 menunjukkan amplifikasi tanah sedang ($3 \leq A_0 < 6$). Perbedaan nilai amplifikasi antar titik pengukuran dipengaruhi oleh variasi kondisi geologi dan topografi setempat, yang berperan dalam mengontrol karakteristik perambatan dan penguatan gelombang seismik.



Gambar 4. Peta mikrozonasi faktor amplifikasi tanah A_0 .

Pengontrol utama tingkat respon penguatan gelombang gempa adalah kondisi batuan dan sedimen setempat, meliputi jenis batuan, berat jenis, serta ketebalan lapisan sedimen. Nilai amplifikasi dapat meningkat pada batuan atau sedimen yang telah mengalami deformasi, seperti pelapukan, pelipatan, atau pensesaran, yang menyebabkan perubahan sifat fisik material. Akibatnya, meskipun berada pada satuan batuan yang sama, nilai amplifikasi dapat bervariasi sesuai dengan tingkat deformasi dan pelapukan yang terjadi.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis mikrotremor menggunakan metode HVSR di Dusun Kuwon Tengah Bagian Timur, diperoleh nilai frekuensi predominan (f_0) berkisar antara 0,64–6,17 Hz dan nilai faktor amplifikasi tanah (A_0) antara 1,09–3,79. Berdasarkan nilai frekuensi predominan tersebut, klasifikasi jenis tanah di wilayah penelitian termasuk dalam jenis tanah II hingga IV. Daerah dengan frekuensi rendah ($f_0 < 2,5$ Hz) tergolong dalam jenis tanah IV, frekuensi sedang (2,5–4 Hz) termasuk dalam jenis tanah III, sedangkan frekuensi tinggi (4,6–6,7 Hz) tergolong dalam jenis tanah II.

Sementara itu, berdasarkan nilai faktor amplifikasi tanah, wilayah penelitian terbagi ke dalam zona amplifikasi rendah dan sedang. Zona amplifikasi rendah ($A_0 < 3$) diklasifikasikan sebagai Zona 1, sedangkan zona amplifikasi sedang ($3 \leq A_0 < 6$) diklasifikasikan sebagai Zona 2. Variasi nilai frekuensi predominan dan faktor amplifikasi menunjukkan adanya perbedaan karakteristik sedimen bawah permukaan yang berpotensi memengaruhi tingkat respon tanah terhadap guncangan gempa bumi di wilayah tersebut.

Saran

Untuk meningkatkan ketelitian interpretasi hasil penelitian, disarankan dilakukan integrasi dengan data bawah permukaan tambahan, seperti data bor atau uji geoteknik, sebagai titik ikat dalam penentuan karakteristik sedimen. Selain itu, perlu dilakukan perluasan cakupan wilayah penelitian agar diperoleh gambaran mikrozonasi yang lebih komprehensif.

Dalam rangka mengurangi risiko kerusakan akibat gempa bumi, hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi bahan pertimbangan dalam perencanaan pembangunan, khususnya dalam pemilihan kualitas material bangunan dan penerapan konstruksi yang memenuhi kaidah tahan gempa, sehingga potensi kerusakan dapat diminimalkan.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada seluruh pihak yang telah memberikan dukungan sehingga artikel ini dapat diselesaikan. Ucapan terima kasih secara khusus disampaikan kepada Stasiun Geofisika Kelas I Sleman atas kesempatan magang dan dukungan data yang diberikan selama proses penelitian dan penulisan artikel ini.

Daftar Pustaka

- [1] Hall, R., "Plate tectonics of SE Asia and the Indonesian region," Geological Society, London, Special Publications, vol. 106, pp. 153–184, 1996.
- [2] Bolt, B. A., Earthquakes, 4th ed. New York: W. H. Freeman, 1999.

- [3] Shearer, P. M., *Introduction to Seismology*, 2nd ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2009.
- [4] Aki, K., dan Richards, P. G., *Quantitative Seismology*, 2nd ed. Sausalito: University Science Books, 2002.
- [5] Husein, S., Karnawati, D., dan Pramumijyo, S., "Kontrol geologi terhadap respon lahan dalam gempa bumi Yogyakarta 27 Mei 2006: Upaya pemutuan peta mikro di daerah Bantul," 2007.
- [6] BAPPEDA Kabupaten Gunungkidul, Peta Administrasi Kabupaten Gunungkidul, 2023. [Online]. Available: <http://bappeda.gunungkidulkab.go.id>
- [7] Nakamura, Y., "A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface," *Quarterly Report of Railway Technical Research Institute*, 1989.
- [8] Nakamura, Y., "Seismic vulnerability indices for ground and structures using microtremor," in *Proceedings of the World Congress on Railway Research*, Florence, 1997.
- [9] Nakamura, Y., "Clear identification of fundamental idea of Nakamura's technique and its application," Japan: System and Data Research, 2000.
- [10] Arai, H., dan Tokimatsu, K., "S-wave velocity profiling by joint inversion of microtremor H/V spectrum," *Bulletin of the Seismological Society of America*, vol. 94, no. 1, pp. 53–63, 2004.
- [11] Setiawan, J. R., *Mikrozonasi Seismisitas Daerah Yogyakarta dan Sekitarnya*, Tesis, Institut Teknologi Bandung, Bandung, 2009.
- [12] Arifin, S. S., Mulyatno, B. S., Marjiono, dan Setianegara, R., "Penentuan zona rawan guncangan bencana gempa bumi berdasarkan analisis nilai amplifikasi HVSR mikrotremor dan periode dominan daerah Liwa dan sekitarnya," *Jurnal Geofisika Eksplorasi*, 2014.
- [13] Bard, P. Y., "Microtremor measurements: A tool for site effect estimation?" in *Proceedings of the 2nd International Symposium on the Effects of Surface Geology on Seismic Motion*, Yokohama, Japan, pp. 1251–1279, 1999.
- [14] SESAME European Research Project, "Guidelines for the implementation of the H/V spectral ratio technique on ambient vibrations: Measurements, processing and interpretation," *Deliverable D23.12*, 2004.
- [15] Fäh, D., Kind, F., dan Giardini, D., "A theoretical investigation of average H/V ratios," *Geophysical Journal International*, vol. 145, no. 2, pp. 535–549, 2001.
- [16] Lachet, C., dan Bard, P. Y., "Numerical and theoretical investigations on the possibilities and limitations of Nakamura's technique," *Journal of Physics of the Earth*, vol. 42, pp. 377–397, 1994.
- [17] Herak, M. 2008. Model HVSR: a Matlab Tool to Model Horizontal to Vertical Spectral Ratio of Ambient Noise. *Journal Computers and Geosciences*.