

Mikrozonasi Frekuensi Dominan (f_0) dan Faktor Amplifikasi (A_0) Di Desa Pacarejo Bagian Barat, Semanu, Gunungkidul, Yogyakarta

Microzonation of Predominant Frequency (f_0) and Amplification Factor (A_0) in Western Part of Pacarejo Village, Semanu, Gunungkidul, Yogyakarta

Salsabiila Anindya Noor Candraningtyas^{1*}, Dwi Budi Susanti²

¹Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Yogyakarta, Jl. Colombo No. 1 Karangmalang Yogyakarta 55281

²Stasiun Geofisika Kelas 1 Sleman, Jl. Wates Km. 8, Jitengan, Balecat, Gamping, Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta 55295

INFO ARTIKEL

Naskah masuk : 29 Oktober 2024
Naskah diperbaiki : 18 November 2024
Naskah diterima : 25 November 2024

Kata kunci:
mikrozonasi
frekuensi dominan
faktor amplifikasi
HVSRR
Pacarejo

Keywords:
microzonation
dominant frequency
amplification factor
HVSRR
Pacarejo

*Email Korespondensi :
salsabiila.anindya7@gmail.com

ABSTRAK

Yogyakarta merupakan wilayah dengan aktivitas seismik yang tinggi, dipengaruhi oleh interaksi lempeng Indo-Australia dan Eurasia serta keberadaan sesar-sesar lokal. Salah satu wilayah yang terdampak signifikan adalah Desa Pacarejo, Kecamatan Semanu, Gunungkidul, yang mencatat kerusakan akibat gempa 30 Juni 2023 berkekuatan M6,0. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan mikrozonasi frekuensi dominan (f_0) dan faktor amplifikasi (A_0) di wilayah tersebut menggunakan metode mikrotremor berbasis *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (HVSRR) sebagai upaya mitigasi bencana gempa bumi. Sebanyak 19 titik pengukuran dilakukan untuk menentukan nilai f_0 dan A_0 . Hasil analisis menunjukkan nilai f_0 berkisar antara 1,46 hingga 11,04 Hz, dengan nilai tinggi berada di bagian selatan wilayah penelitian, menunjukkan lapisan batuan keras dan tipis. Sebaliknya, nilai rendah mengindikasikan lapisan sedimen tebal dan lunak. Nilai A_0 berada pada rentang 1,07 hingga 3,4, dengan dominasi klasifikasi rendah hingga sedang. Nilai A_0 tertinggi ditemukan di dekat lokasi rumah terdampak gempa bumi, mencerminkan interaksi antara karakteristik tanah dan amplifikasi gelombang seismik. Peta mikrozonasi frekuensi dominan dan faktor amplifikasi yang dihasilkan memberikan gambaran karakteristik seismik wilayah tersebut. Hasil penelitian ini diharapkan dapat digunakan sebagai dasar mitigasi bencana gempa bumi di Pacarejo dan sekitarnya, serta mendukung perencanaan pembangunan yang lebih aman dan berkelanjutan.

ABSTRACT

Yogyakarta is a region with high seismic activity influenced by the interaction of the Indo-Australian and Eurasian plates and the presence of local faults. One of the areas significantly affected is Pacarejo Village, Semanu District, Gunungkidul, which experienced damage from the June 30, 2023 earthquake with a magnitude of M6.0. This study aims to conduct microzonation of predominant frequency (f_0) and amplification factor (A_0) in the area using the *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (HVSRR) method based on microtremor analysis as an earthquake disaster mitigation effort. A total of 19 measurement points were conducted to determine the f_0 and A_0 values. The analysis results indicate that f_0 values range from 1.46 to 11.04 Hz, with higher values in the southern part of the study area, reflecting hard and thin rock layers. In contrast, lower values indicate thick and soft sediment layers. The A_0 values range from 1.07 to 3.4, predominantly classified as low to moderate. The highest A_0 value was found near earthquake-affected houses, reflecting the interaction between soil characteristics and seismic wave amplification. The resulting microzonation maps of predominant frequency and amplification factor provide an overview of the area's seismic characteristics. These findings are expected to serve as a basis for earthquake disaster mitigation in Pacarejo and its surroundings and support safer and more sustainable development planning.

© 2024 Jurnal Stasiun Geofisika Sleman

1. Pendahuluan

Yogyakarta memiliki sejarah panjang terkait aktivitas seismik. Letaknya yang berada di kawasan pertemuan lempeng tektonik Indo-Australia dan Eurasia membuat

wilayah ini sangat rentan terhadap gempa bumi. Gempa bumi di Yogyakarta tidak hanya disebabkan oleh aktivitas subduksi lempeng, tetapi juga oleh aktivitas sesar-sesar lokal yang tersebar di wilayah ini [1]. Catatan sejarah menunjukkan bahwa Yogyakarta telah mengalami 12 kali

gempa bumi merusak [2]. Gempa pertama yang tercatat terjadi pada tahun 1840, diikuti oleh gempa pada tahun 1859, 1867, 1875, 1937, 1943, 1957, 1981, 1992, 2001, 2004, dan 2006. Di antara kejadian tersebut, gempa bumi dengan jumlah korban yang sangat besar terjadi pada tahun 1867 (5 orang tewas dan 327 rumah roboh), 1943 (250 orang tewas dan 28.000 rumah roboh), serta 2006 (6.234 orang tewas dan lebih dari 390.077 rumah roboh) [3].

Pada tanggal 30 Juni 2023, gempa bumi berkekuatan 6,0 skala Richter mengguncang Bantul, Yogyakarta, sekitar pukul 19:57 WIB. Gempa ini terjadi di kedalaman 25 km dengan pusat gempa berada di laut, sekitar 86 km barat daya Kabupaten Bantul. Gempa tersebut berdampak pada tiga provinsi, dengan intensitas getaran mencapai skala IV MMI di berbagai daerah seperti Tulungagung, Nganjuk, dan Kebumen, serta skala III MMI di wilayah lain, termasuk Klaten dan Wonogiri.

Dampak gempa bumi ini cukup signifikan, menyebabkan kerusakan pada sekitar 200 rumah di 12 kecamatan. Di Kabupaten Bantul, seorang lansia meninggal akibat terjatuh saat panik, sementara 22 orang lainnya mengalami luka ringan. Lebih dari 3.000 orang terpaksa mengungsi sementara waktu. Selain itu, beberapa fasilitas kesehatan dan pendidikan mengalami kerusakan, termasuk satu fasilitas pemerintah dan satu fasilitas kesehatan.

Pacarejo, yang terletak di Kecamatan Semanu, Gunungkidul, juga merasakan dampak gempa tersebut, meskipun lokasinya cukup jauh dari pusat gempa. Getaran gempa di Pacarejo terasa cukup signifikan, kemungkinan akibat karakteristik tanah di daerah tersebut yang memperkuat efek getaran. Wilayah ini juga termasuk dalam zona rawan gempa bumi karena adanya aktivitas sesar-sesar lokal di daratan.

Penelitian ini bertujuan untuk melakukan mikrozonasi frekuensi dominan (f_0) dan faktor amplifikasi (A_0) di bagian barat Desa Pacarejo menggunakan metode mikrotremor berbasis *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (HVSr) [4] sebagai upaya mitigasi bencana gempa bumi. Hasil studi ini diharapkan dapat memberikan informasi yang bermanfaat bagi pemerintah daerah, masyarakat, dan para perencana pembangunan dalam mengurangi risiko kerusakan serta korban jiwa akibat gempa bumi di masa depan. Selain itu, hasil penelitian ini juga dapat menjadi dasar bagi pengembangan kebijakan mitigasi bencana yang lebih efektif dan berkelanjutan..

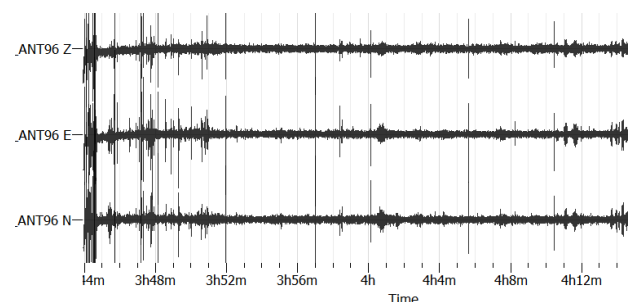
2. Metode Penelitian

Gelombang seismik adalah getaran elastis yang merambat melalui Bumi akibat adanya sumber energi deformasi, baik alami maupun buatan manusia. Gelombang ini dihasilkan oleh berbagai fenomena, seperti gempa bumi, letusan gunung berapi, ledakan, dan aktivitas manusia lainnya [5].

Mikrotremor adalah getaran atau osilasi kecil di permukaan bumi yang disebabkan oleh berbagai sumber alami maupun buatan, seperti angin, aktivitas lalu lintas, dan gelombang laut. Mikrotremor memiliki amplitudo yang sangat rendah dan frekuensi yang bervariasi. Meskipun tidak berbahaya, mikrotremor sangat berguna dalam penelitian seismik karena dapat digunakan untuk memetakan karakteristik tanah dan struktur bawah permukaan tanpa perlu menunggu terjadinya gempa bumi.

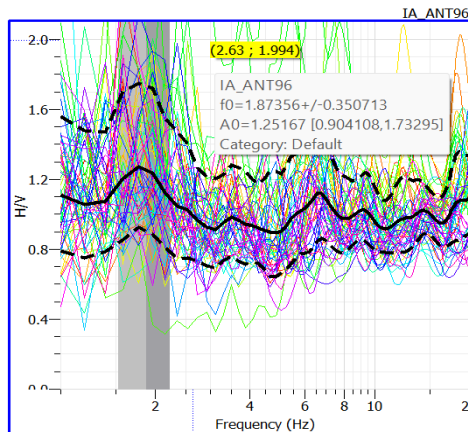
Pengukuran mikrotremor sering dilakukan menggunakan metode HVSr untuk menentukan frekuensi dominan dan amplifikasi gelombang di suatu lokasi [4]. Metode HVSr bekerja dengan mengestimasi rasio spektrum Fourier antara komponen vertikal dan horizontal. Informasi ini penting untuk mengevaluasi karakteristik dinamis tanah serta struktur bawah permukaan. Gambar 1 menunjukkan rekaman sinyal mikrotremor.

Mikrotremor digunakan dalam studi seismik untuk mengevaluasi karakteristik dinamis tanah dan struktur bawah permukaan. Metode HVSr sering digunakan untuk mengidentifikasi frekuensi dominan tanah dan potensi amplifikasi seismik. Mikrotremor adalah getaran latar belakang dengan frekuensi rendah dan amplitudo kecil, yang memberikan informasi tentang kondisi geologi bawah permukaan tanpa memerlukan sumber gempa aktif [6]. Short period mikrotremor (periode < 1 detik) biasanya disebabkan oleh aktivitas manusia seperti lalu lintas dan konstruksi. Long period mikrotremor (periode > 1 detik) berasal dari sumber alami yang lebih dalam, seperti gelombang laut atau proses geologi bawah permukaan [7].



Gambar 1. Sinyal mikrotremor P01

HVSr adalah metode yang memanfaatkan rasio spektral antara komponen horizontal dan vertikal dari sinyal mikrotremor untuk memperkirakan frekuensi resonansi tanah. Teknik ini menggunakan data getaran latar belakang (mikrotremor) yang dihasilkan oleh sumber getaran alami atau antropogenik untuk mengidentifikasi respons frekuensi tanah tanpa memerlukan sumber gempa aktif. Metode HVSr dianggap sebagai pendekatan yang efektif dan efisien dalam pemetaan seismik, khususnya untuk analisis kerentanan tanah dan mikrozonasi seismik [4]. Gambar 2 menunjukkan contoh kurva H/V hasil pengolahan HVSr.



Gambar 2. Kurva HVSR P01

Frekuensi dominan adalah frekuensi di mana tanah atau lapisan tanah mengalami amplifikasi maksimum saat terpapar getaran seismik. Frekuensi ini berkaitan erat dengan sifat fisik dan mekanis lapisan tanah, termasuk kekakuan, kepadatan, dan ketebalan lapisan tersebut. Frekuensi dominan dapat diidentifikasi menggunakan berbagai metode seismik, salah satunya adalah metode HVSR, yang dikenal efektif untuk mengidentifikasi resonansi lokal [6].

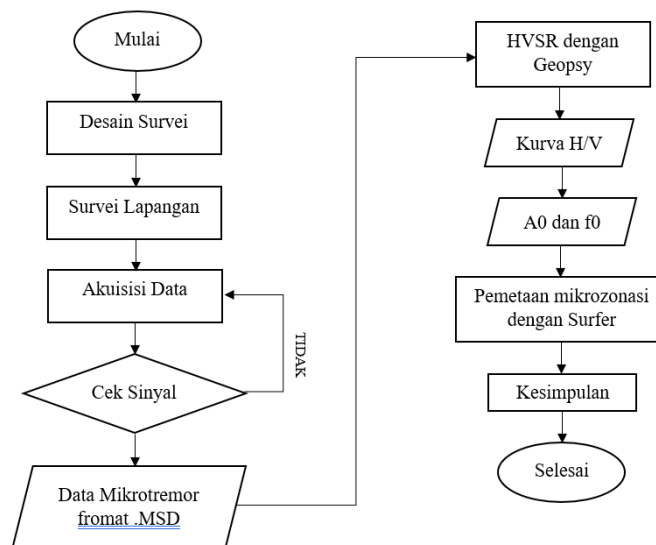
Berbagai faktor memengaruhi frekuensi dominan di suatu lokasi, seperti jenis tanah, ketebalan lapisan tanah, dan topografi. Di kawasan dengan lapisan tanah tebal dan lunak, frekuensi dominan cenderung rendah. Sebaliknya, di daerah dengan lapisan tanah tipis dan keras, frekuensi dominan cenderung lebih tinggi. Pemahaman terhadap variabilitas frekuensi dominan sangat penting dalam mengevaluasi risiko seismik lokal dan merancang bangunan yang lebih tahan gempa [8]. Nilai frekuensi dominan memberikan gambaran tentang ketebalan lapisan tanah yang telah mengalami pelapukan di bawah permukaan. Selain itu, nilai ini juga mencerminkan

kecepatan gelombang seismik yang merambat melalui medium tersebut, yang dapat digunakan untuk menganalisis karakteristik geologi dan potensi kerentanan terhadap gempa bumi [9].

Faktor amplifikasi adalah fenomena di mana gelombang seismik mengalami penguatan saat melewati medium tertentu. Penguatan ini terjadi karena interaksi antara karakteristik sinyal horizontal dan vertikal, dengan nilai amplifikasi berbanding lurus terhadap penguatan gelombang tersebut. Faktor amplifikasi diukur melalui analisis data mikroseismik dan dinyatakan dalam bentuk amplitudo maksimum yang diperoleh dari rasio spektral. Informasi ini memberikan wawasan penting tentang bagaimana gelombang seismik berinteraksi dengan lapisan tanah yang dilalui [10]. Studi faktor amplifikasi sangat berguna untuk memahami potensi bahaya seismik dan meningkatkan desain bangunan serta infrastruktur dalam rangka memitigasi risiko gempa bumi.

Proses analisis menggunakan metode HVSR secara umum digambarkan dalam diagram alir Gambar 3. Proses dimulai dengan perancangan desain survei untuk menentukan lokasi pengukuran dalam survei lapangan. Tahap ini melibatkan pemilihan titik-titik pengukuran strategis berdasarkan tujuan penelitian dan karakteristik geologi daerah studi. Setelah desain survei selesai, dilakukan pengambilan data mikrotremor di lapangan.

Data mikrotremor yang dikumpulkan kemudian melalui proses akuisisi untuk memastikan kualitas sinyal yang memadai. Data yang telah memenuhi standar kualitas kemudian disimpan dalam format .MSD untuk dianalisis lebih lanjut. Pada tahap analisis, data mikrotremor diproses menggunakan perangkat lunak Geopsy untuk melakukan analisis HVSR. Proses ini menghasilkan kurva H/V, yang menjadi dasar untuk menentukan dua parameter utama: frekuensi dominan (f_0) dan faktor amplifikasi (A_0).



Gambar 3. Diagram alir penelitian

Parameter f_0 dan A_0 menggambarkan karakteristik resonansi lokal tanah. Nilai f_0 dan A_0 yang diperoleh digunakan untuk pemetaan mikrozonasi dengan bantuan perangkat lunak Surfer. Dalam tahap ini, hasil analisis diolah menjadi peta yang menggambarkan distribusi frekuensi dominan dan faktor amplifikasi di wilayah penelitian, dalam hal ini di Pacarejo bagian Barat.

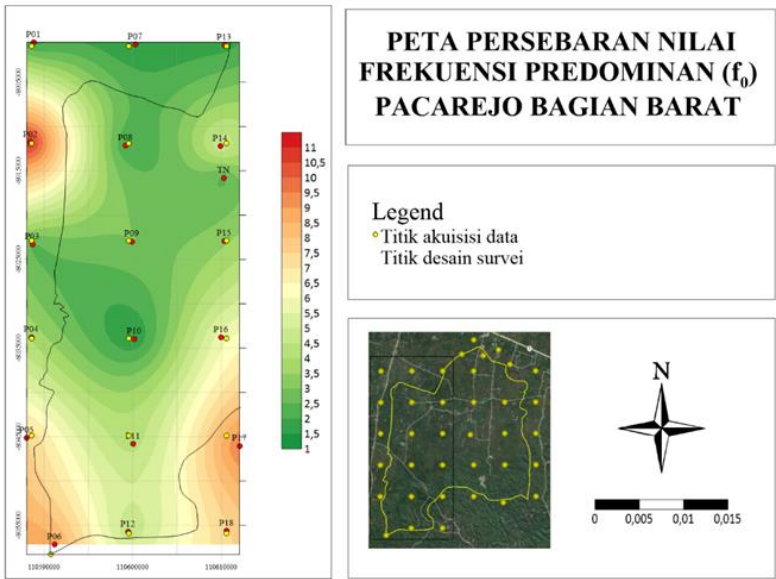
Setelah semua analisis dan pemetaan selesai, hasil penelitian dirangkum dalam bentuk kesimpulan yang menggambarkan potensi risiko seismik atau karakteristik tanah di daerah penelitian, yang dapat digunakan untuk mendukung perencanaan tata ruang, mitigasi bencana, atau desain infrastruktur yang lebih baik.

3. Hasil dan Pembahasan

Frekuensi Dominan (f_0). Hasil analisis frekuensi dominan (f_0) menggunakan metode HVSr dengan software Sessaray Geopsy menunjukkan bahwa nilai frekuensi dominan bervariasi di berbagai lokasi penelitian. Total terdapat 19 titik pengukuran yang tersebar di bagian

barat Pacarejo, Semanu, Gunungkidul. Nilai frekuensi dominan tertinggi berada pada titik P02 dengan nilai 11,04 Hz, sedangkan nilai terendah ditemukan pada titik P10 dengan nilai 1,46 Hz. Frekuensi dominan yang diperoleh dapat digunakan untuk mengidentifikasi karakteristik geologi di lokasi penelitian. Nilai frekuensi dominan yang tinggi menunjukkan bahwa lapisan sedimen di titik tersebut tipis dan tersusun oleh batuan keras, sedangkan nilai frekuensi dominan yang rendah menunjukkan bahwa lapisan sedimen di titik tersebut tebal dan tersusun oleh batuan lunak.

Pada Gambar 4, nilai frekuensi dominan berkisar antara 1–11 Hz, yang didominasi oleh warna hijau gelap di area tengah lokasi penelitian. Area ini termasuk dalam jenis III dan IV (Tabel 1), yang menginterpretasikan adanya lapisan sedimen tebal di lokasi tersebut. Pada titik P02, nilai frekuensi dominan yang tinggi dihasilkan karena di sekitar titik tersebut terdapat telaga. Pengukuran yang dilakukan di dekat telaga menunjukkan jenis batuan yang padat dan keras, sehingga memengaruhi getaran sinyal mikrotremor dan menghasilkan frekuensi dominan yang tinggi.



Gambar 4. Peta sebaran nilai frekuensi dominan (f_0).

Table 1. Klasifikasi nilai frekuensi dominan (f_0).

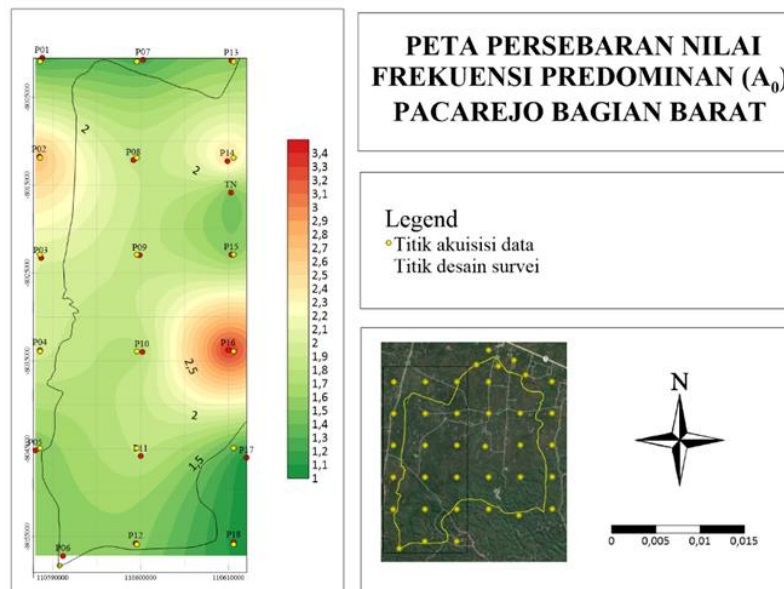
Klasifikasi Tanah	Frekuensi Dominan (Hz)	Klasifikasi Kanai	Titik Penelitian
Jenis I	6,67 – 20	Batuan tersier/lebih tua (hard sandy, gravel, dll)	P02, P05, P06, P17, P18
Jenis II	4 – 6,67	Batuan alluvial ketebalan 5m (sandy-gravel, sandy hard clay, loam, dll)	P11, P12, P14, P16
Jenis III	2,5 – 4	Batuan alluvial ketebalan > 5, terdiri dari sandy - gravel, sandy hard clay, loam, dll	P04, P09, P15
Jenis IV	< 2,5	Batuan alluvial yang terbentuk dari sedimentasi delta, top soil, lumpur, dengan ketebalan 30m atau lebih.	P01, P03, P07, P08, P10, P13, TN

Pada bagian selatan lokasi penelitian, nilai frekuensi dominan ditunjukkan dengan warna kuning hingga jingga, yang termasuk dalam jenis I, dengan rentang nilai frekuensi dominan 6,67–20 Hz. Jenis I menginterpretasikan bahwa ketebalan sedimen di bagian selatan lokasi penelitian relatif tipis dan didominasi oleh batuan tersier atau yang lebih tua.

Faktor Amplifikasi (A₀). Hasil analisis faktor amplifikasi (A₀) dengan metode HVSR oleh software Sessaray Geopsy menunjukkan bahwa nilai factor amplifikasi termasuk dalam klasifikasi rendah dan sedang. Total titik penelitian ini sebanyak 19 titik pengukuran di bagian barat Pacarejo, Semanu, Gunungkidul. Nilai faktor amplifikasi paling tinggi berada pada titik P16 yang bernilai 3,4 dan

nilai terendah pada titik P18 dengan nilai 1,07. Nilai faktor amplifikasi diklasifikasikan pada Gambar 5.

Pada peta mikrozonasi A₀ diatas didominasi oleh warna hijau dengan nilai faktor amplifikasi berkisar 1,07 – 3,4. Nilai faktor amplifikasi diklasifikasikan dan termasuk dalam zona 1 dan 2 dimana nilai faktor amplifikasi di lokasi ini termasuk dalam klasifikasi rendah dan sedang (Tabel 2). Warna merah menunjukkan klasifikasi sedang dimana pada lokasi tersebut dekat dengan lokasi rumah terdampak gempa pada 30 Juni 2024, terdapat getaran tanah yang terekam sehingga berpengaruh pada nilai amplifikasi pada titik P16.



Gambar 5. Peta sebaran nilai faktor amplifikasi (A₀).

Tabel 2. Klasifikasi nilai faktor amplifikasi (A₀)

Zona	Klasifikasi	Nilai Faktor Amplifikasi	Titik Penelitian
1	Rendah	$A_0 < 3$	P01, P02, P03, P04, P05, P06, P07, P08, P09, P10, P11, P12, P13, P14, P15, P17, P18, TN
2	Sedang	$3 \leq A_0 \leq 6$	P16, K28
3	Tinggi	$6 \geq A_0 \geq 9$	-
4	Sangat Tinggi	$A_0 > 9$	-

4. Kesimpulan

Berdasarkan pengolahan data microtremor menggunakan metode HVSR didapatkan persebaran nilai frekuensi dominan (f₀) di desa Pacarejo, Semanu, Gunungkidul bernilai 1,46 Hz – 11,04 Hz. Persebaran nilai factor amplifikasi (A₀) bernilai 1,07 – 3,4. Distribusi nilai Frekuensi Dominan (f₀) tersebar diseluruh wilayah barat

Pacarejo memenuhi seluruh klasifikasi tanah, nilai f₀ yang tinggi tersebar di bagian selatan daerah penelitian. Distribusi nilai Faktor Amplifikasi (A₀) dominan termasuk dalam klasifikasi nilai rendah, nilai terbesar berada di daerah rumah terdampak.

Saran

Untuk meningkatkan pemahaman dan mitigasi risiko gempa bumi di wilayah Pacarejo, Gunung Kidul, sangat disarankan untuk melakukan penelitian lanjutan yang mencakup pengukuran tambahan di lebih banyak titik untuk mengurangi interpolasi (f_0) dan faktor amplifikasi (A_0). Selain itu, penting untuk mengintegrasikan hasil analisis dengan data geologi untuk memperoleh gambaran yang lebih holistik tentang karakteristik dinamis tanah di wilayah tersebut.

Daftar Pustaka

- [1] Surojaya, Ali. *Yogyakarta dan Ring of Fire*, Berita UGM. UGM. “Yogyakarta dan Ring of Fire” Internet :<https://geodesigeodinamik.ft.ugm.ac.id/2019/09/20/yogyakarta-dan-ring-of-fire/>, diakses 7 Juli 2024.
- [2] Koenti, I. J. (2016). Diskresi dalam Penanggulangan Bencana di DIY dengan Paradigma Kontinjensi. *Jurnal Hukum IUS QUIA IUSTUM*, 23(3), 461–485. <https://doi.org/10.20885/iustum.vol23.iss3.art6>
- [3] BPBD DIY. 2013. Rencana Penanggulangan Bencana DIY 2013-2017. Yogyakarta: BPBD DIY.
- [4] Nakamura, Y. (1989). A Method for Dynamic Characteristics Estimation of Subsurface Using Microtremor on the Ground Surface
- [5] Lay, T., & Wallace, T. C. (1995). *Modern global seismology*. Academic Press.
- [6] Bard, P.-Y. (1998). Microtremor measurements: A tool for site effect estimation? <https://www.researchgate.net/publication/235623097>
- [7] Bonnefoy-Claudet, S., Cotton, F., & Bard, P. Y. (2006). The nature of noise wavefield and its applications for site effects studies. A literature review. *Earth-Science Reviews*, 79(3–4), 205–227. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2006.07.004>
- [8] 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), 221–225. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.2011.05064.x>
- [9] Mucciarelli M, Gallipoli MR., “The HVSR technique from microtremor to strong motion: empirical and statistical considerations,” In: Proc. of 13th World Conference of Earthquake Engineering, Vancouver, BC, Canada, Paper. vol. 45. Citeseer, 2004.
- [10] Setiawan, J.R., “Mikrozonasi Seismisitas Daerah Yogyakarta dan Sekitarnya,” Institut Teknologi Bandung, Bandung, 2009.