

BAHAYA GEMPA BUMI BERDASARKAN KONDISI GEOLOGI LOKAL DALAM UPAYA MITIGASI BENCANA DI KAPANEWON PLERET, KABUPATEN BANTUL

Agus Triyono^{1,2}, Eko Teguh Paripurno², Arif Rianto Budi Nugroho², Sorja Koesuma³, Yohana Noradika Maharani^{2*}

¹ Stasiun Geofisika Kelas I Sleman, Jl. Wates Km. 8, Balekatur, Gamping, Sleman, Yogyakarta, Indonesia 55294

² Program Studi Magister Manajemen Bencana, UPN Veteran Yogyakarta, Jl. Babarsari 2 Yogyakarta, Indonesia 55281

³ Jurusan Fisika, Fakultas MIPA, Universitas Sebelas Maret, Jl. Ir. Sutami 36A Ketingan Surakarta, Indonesia 57126

email: yohanam@upnyk.a.id

ABSTRAK

Kapanewon Pleret merupakan salah satu wilayah dengan tingkat kerusakan tertinggi saat gempa bumi Bantul 27 Mei 2006. Namun hingga saat ini, belum terdapat kajian yang secara khusus memetakan karakteristik geologi lokal dan kerentanan seismik di wilayah ini. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi potensi bahaya gempa bumi di Kapanewon Pleret, Kabupaten Bantul, berdasarkan karakteristik geologi lokal yang diperoleh melalui metode Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSr). Data mikrotremor dari 70 titik diolah untuk memperoleh parameter frekuensi dominan (f_0), faktor amplifikasi (A_0), indeks kerentanan seismik (K_g), percepatan tanah maksimum (PGA), dan Ground Shear Strain (GSS). Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai f_0 berkisar antara 0,62–12,17 Hz, A_0 antara 0,89–6,41, dan K_g dalam rentang 0,18–26,02. Nilai PGA berada pada kisaran 0,08 hingga $>0,79$ g, sementara GSS tercatat antara $1,06 \times 10^{-4}$ hingga $1,42 \times 10^{-2}$. Zona dengan nilai f_0 rendah, A_0 tinggi, serta K_g dan GSS tinggi banyak ditemukan pada wilayah yang tersusun atas endapan Merapi muda, yang menunjukkan tingkat kerentanan seismik yang signifikan. Temuan ini menegaskan pentingnya karakterisasi geologi lokal sebagai dasar perencanaan mitigasi bencana gempa bumi.

Kata Kunci: Bahaya gempa bumi; HVSr; Kapanewon Pleret; Mikrotremor; Mitigasi bencana

ABSTRACT

[Title: *Earthquake Hazard Based on Local Geological Conditions for Disaster Mitigation in Kapanewon Pleret, Bantul Regency*]. Kapanewon Pleret was one of the most severely affected areas during the Bantul earthquake on May 27, 2006. However, no specific study has been conducted to map this region's local geological characteristics and seismic vulnerability. This study aims to evaluate the earthquake hazard potential in Kapanewon Pleret, Bantul Regency, based on local geological conditions using the Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSr) method. Microtremor data collected from 70 measurement points were processed to obtain parameters such as dominant frequency (f_0), amplification factor (A_0), seismic vulnerability index (K_g), peak ground acceleration (PGA), and Ground Shear Strain (GSS). The results show that f_0 values range from 0.62 to 12.17 Hz, A_0 values from 0.89 to 6.41, and K_g values between 0.18 and 26.02. PGA ranges from 0.08 to over 0.79 g, while GSS values are recorded between 1.06×10^{-4} and 1.42×10^{-2} . Zones with low f_0 , high A_0 , and elevated K_g and GSS values are predominantly found in areas composed of young Merapi volcanic deposits, indicating significant seismic vulnerability. These findings highlight the importance of local geological characterization for earthquake disaster mitigation planning.

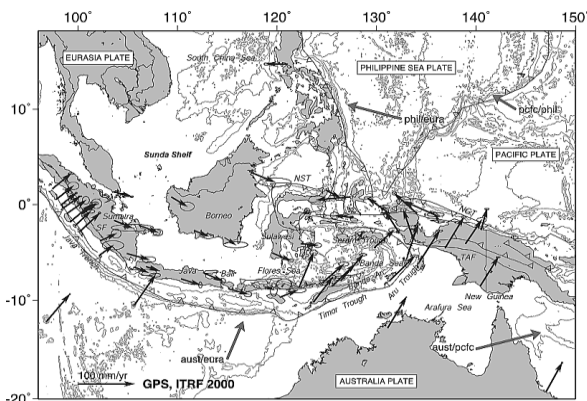
Keywords: Earthquake hazard; HVSr; Kapanewon Pleret; Microtremor; Disaster mitigation

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan salah satu wilayah dengan tingkat aktivitas seismik tertinggi di dunia karena berada pada pertemuan empat lempeng tektonik utama, yaitu Lempeng Indo-Australia,

Eurasia, Pasifik, dan Laut Filipina sebagaimana ditunjukkan Gambar 1 (Bock, 2003). Interaksi antar lempeng tersebut membentuk zona subduksi aktif yang berperan sebagai sumber utama gempa bumi, termasuk di Daerah Istimewa Yogyakarta. Kondisi tektonik ini menyebabkan Yogyakarta memiliki

tingkat bahaya seismik yang tinggi, baik terhadap gempa bumi yang bersumber dari subduksi maupun dari sesar aktif lokal (Azifah *dkk.*, 2025; Librian *dkk.*, 2024). Beberapa sesar yang diduga masih aktif di sekitar wilayah ini antara lain Sesar Opak, Sesar Oyo, Sesar Dengkeng, Sesar Progo, serta sejumlah sesar mikro yang belum teridentifikasi secara pasti (Sulaeman, 2008). Salah satu peristiwa seismik signifikan yang mencerminkan tingkat kerentanan ini adalah gempa bumi pada 27 Mei 2006, yang menyebabkan kerusakan infrastruktur secara masif serta korban jiwa dalam jumlah besar, khususnya di wilayah Kabupaten Bantul.



Gambar 1. Lempeng tektonik di Indonesia (Bock, 2003)

Berdasarkan laporan BAPPENAS (2006), gempa bumi yang terjadi pada 27 Mei 2006 menyebabkan kerugian ekonomi sebesar 29,1 triliun rupiah, atau sekitar 41% dari PDB regional Daerah Istimewa Yogyakarta (DIY). Salah satu wilayah yang mengalami dampak paling parah adalah Kapanewon Pleret di Kabupaten Bantul, dengan lebih dari 200 korban jiwa dan ribuan bangunan yang rusak (Miura *et al.*, 2007). Tingkat kerusakan yang terjadi tidak hanya bergantung pada karakteristik dan jarak terhadap pusat gempa bumi, tetapi juga sangat dipengaruhi oleh kondisi geologi lokal, struktur bangunan, serta interaksi di antara keduanya (Song *et al.*, 2025; Alikhazadeh *et al.*, 2023; Al-Amri *et al.*, 2022; Nakamura, 1997).

Temuan tersebut mengindikasikan bahwa teori tingkat kerusakan selalu menurun seiring bertambahnya jarak dari pusat gempa bumi tidak sepenuhnya berlaku pada kasus ini. Sebagai contoh, pada peristiwa gempa bumi Bantul 2006, kerusakan paling parah justru terjadi di wilayah yang relatif jauh dari pusat gempa bumi, termasuk di Kapanewon Pleret. Penelitian mengenai efek geologi lokal sangat penting untuk mengidentifikasi wilayah dengan kerentanan tinggi terhadap amplifikasi gelombang seismik, termasuk di wilayah Kapanewon Pleret.

Untuk menilai potensi bahaya seismik yang disebabkan oleh geologi lokal, diperlukan pendekatan geofisika yang mampu menggambarkan kondisi bawah permukaan secara non-destruktif dan efisien. Salah satu metode yang efektif adalah metode *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (HVSr), yang dikembangkan oleh Nakamura (1989). Metode ini menganalisis rasio spektral antara komponen horizontal dan vertikal mikrotremor untuk menentukan parameter frekuensi dominan (f_0), faktor amplifikasi (A_0), dan indeks kerentanan seismik (K_g). Metode ini terbukti efektif digunakan dalam berbagai studi mitigasi bahaya seismik (Nakamura, 1997, 2008; Arai *et al.*, 2000).

Beberapa studi telah dilakukan untuk memetakan potensi bahaya seismik menggunakan metode HVSr di wilayah Yogyakarta. Setiawati *et al.* (2017) mengaplikasikan HVSr untuk mengevaluasi potensi resonansi tanah di wilayah perkotaan Yogyakarta. Daryono *et al.* (2018) mengkaji karakteristik seismik Cekungan Yogyakarta menggunakan pendekatan mikrotremor. Studi internasional lainnya seperti oleh Sunardi, *et al.*, 2025; Khadrouf *et al.*, 2024, dan Mokhberi, 2015 juga menunjukkan efektivitas metode HVSr dalam menentukan parameter kerentanan seismik di wilayah urban. Namun, fokus utama dari penelitian-penelitian tersebut berada pada wilayah skala regional atau pusat kota, bukan wilayah administratif yang lebih kecil seperti Kapanewon Pleret.

Hingga saat ini, belum terdapat kajian yang secara khusus memetakan karakteristik geologi lokal dan kerentanan seismik di wilayah Kapanewon Pleret menggunakan metode HVSr. Padahal, wilayah ini memiliki kompleksitas geologi yang tinggi serta tingkat kerusakan signifikan pada gempa bumi 2006. Ketiadaan data spasial frekuensi dominan, faktor amplifikasi, dan indeks K_g yang spesifik untuk Pleret menjadi celah penelitian yang harus diisi. Oleh karena itu, studi ini memiliki kebaruan dalam hal fokus wilayah kajian dan pemanfaatan metode HVSr untuk mengisi kekosongan data kerentanan seismik lokal.

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi potensi bahaya gempa bumi di Kapanewon Pleret, Kabupaten Bantul, berdasarkan karakteristik geologi lokal yang diperoleh melalui metode HVSr. Parameter yang dikaji meliputi frekuensi dominan (f_0), faktor amplifikasi (A_0), indeks kerentanan seismik (K_g), percepatan tanah maksimum (PGA), dan *Ground Shear Strain* (GSS). Hasil penelitian diharapkan memberikan kontribusi terhadap upaya mitigasi bencana dan perencanaan tata ruang berbasis risiko di wilayah studi.

METODE

Penelitian ini dilaksanakan di wilayah Kapanewon Pleret, Kabupaten Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta, yang mencakup lima kalurahan yaitu Pleret, Wonokromo, Segoroyoso, Bawuran, dan Wonolelo. Secara geografis, wilayah penelitian terletak pada koordinat 7,90° LS – 110,38° BT hingga 7,85° LS – 110,45° BT. Lokasi ini dipilih karena karakteristik geologis dan seismiknya yang relevan dengan tujuan penelitian.

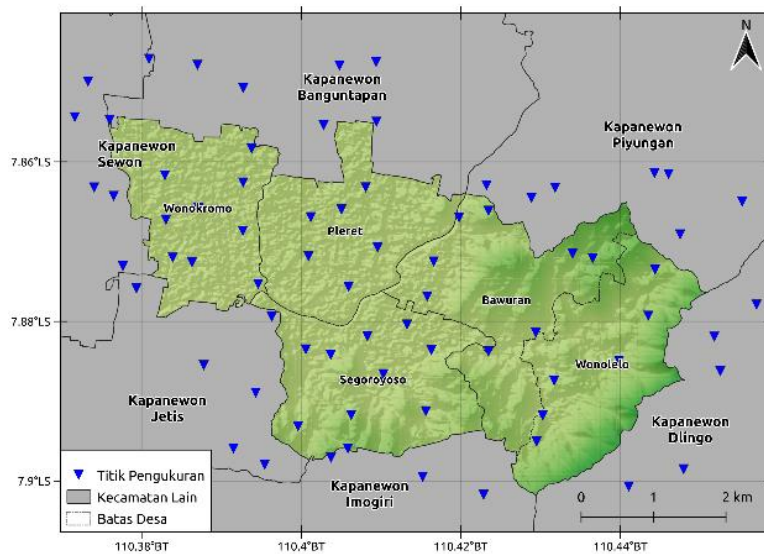
Pengumpulan Data

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan survei lapangan yang difokuskan pada pengukuran langsung gelombang mikrotremor untuk menghasilkan peta bahaya gempa bumi skala mikrozonasi. Data dikumpulkan pada 70 titik menggunakan metode *purposive proportional sampling*. Metode *purposive proportional sampling* adalah teknik pengambilan sampel yang menggabungkan pendekatan purposif dan proporsional. Dalam konteks penelitian mikrotremor, metode ini

digunakan untuk memilih titik pengamatan secara sengaja (purposif) berdasarkan kriteria tertentu yang relevan dengan tujuan studi, seperti variasi litologi, topografi, serta potensi kerentanan seismik.

Proporsionalitasnya ditentukan berdasarkan luas atau sebaran satuan geomorfologi atau litologi di wilayah studi. Artinya, jumlah titik pengamatan dalam setiap satuan disesuaikan secara proporsional dengan luas wilayah atau pentingnya karakteristik geologi/topografi yang diwakilinya, agar seluruh variasi kondisi bawah permukaan dapat terwakili secara seimbang.

Pengukuran dilakukan minimal 30 menit per titik sesuai standar SESAME (2004), menggunakan portable seismograph Lunitek Triton, GPS, dan laptop. Data dianalisis secara deskriptif kuantitatif dan komparatif spasial untuk memodelkan kondisi seismik aktual di wilayah penelitian. Lokasi titik pengukuran ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Titik lokasi pengukuran mikrotremor

Pengolahan dan Analisis Data

Pengolahan data dilakukan menggunakan perangkat lunak Geopsy (Wathelet *et al.*, 2020), Microsoft Excel, dan QGIS. Data mikrotremor dianalisis dengan metode HVSR untuk memperoleh kurva H/V, yang menghasilkan parameter frekuensi dominan (f_0) dan faktor amplifikasi (A_0). Nilai f_0 dan A_0 selanjutnya digunakan untuk menghitung indeks kerentanan seismik (K_g) guna mengidentifikasi sebaran potensi bahaya gempa bumi di wilayah penelitian. Metode HVSR bekerja dengan membandingkan spektrum komponen horizontal dan vertikal dari sinyal mikrotremor, dan digunakan

untuk mengkarakterisasi kondisi bawah permukaan berdasarkan puncak spektrum yang menunjukkan nilai f_0 dan A_0 . Persamaan dasar metode HVSR dinyatakan sebagai berikut (Nakamura (1989):

$$HVSR = \sqrt{\frac{[(S_{N-S})^2 + (S_{E-W})^2]}{S_V}} \quad (1)$$

Dengan S_{N-S} adalah spektrum horizontal utara-selatan, S_{E-W} adalah spektrum horizontal barat-timur, dan S_V adalah spektrum vertikal.

Indeks kerentanan seismik (K_g) merupakan parameter yang menggambarkan tingkat kerentanan lapisan permukaan tanah terhadap deformasi akibat

gempa bumi (Akkaya, 2020; Kang *et al.*, 2021). Nilai Kg yang rendah mengindikasikan potensi kerusakan minimal, sedangkan nilai yang tinggi menunjukkan kerentanan lebih besar terhadap dampak gempa bumi. Parameter ini diperoleh dari hubungan antara frekuensi dominan (f_0) dan faktor amplifikasi (A_0), serta mencerminkan tingkat ketahanan tanah terhadap getaran seismik. Nilai Kg sangat dipengaruhi oleh kondisi geologi dan sifat dinamis lapisan tanah. Berdasarkan studi Nakamura, nilai Kg berkorelasi dengan tingkat kerusakan yang terjadi, sebagaimana ditunjukkan pada kasus gempa bumi di San Francisco. Perhitungan nilai Kg mengikuti persamaan berikut (Nakamura, 2000):

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

dengan Kg adalah indeks kerentanan seismik, A_0 adalah faktor amplifikasi, dan f_0 adalah frekuensi dominan.

Percepatan tanah maksimum (PGA) merupakan salah satu parameter penting dalam penilaian potensi bahaya gempa bumi. Semakin tinggi nilai PGA di suatu wilayah, semakin besar pula potensi kerusakan yang dapat ditimbulkan. Untuk memperkirakan nilai PGA pada batuan dasar, digunakan persamaan empiris yang dikembangkan oleh Fukusima dan Tanaka (1990). Persamaan ini mempertimbangkan magnitudo gempa bumi dan jarak antara titik pengamatan dan sumber gempa bumi sebagai variabel utama dalam perhitungannya. Bentuk lengkap dari persamaan tersebut adalah sebagai berikut:

$$\log \alpha = 0,41M - \log(R + 0,032 \times 100,41M) - 0,0034R + 1,30 \quad (3)$$

Dengan α adalah PGA di batuan dasar, M adalah magnitudo, dan R adalah jarak ke pusat gempa bumi.

Ground Shear Strain (GSS) merepresentasikan kemampuan lapisan tanah untuk mengalami pergeseran akibat gaya geser selama terjadinya gempa bumi. Nilai GSS yang tinggi menunjukkan kecenderungan tanah untuk mengalami deformasi, bahkan keruntuhan. Berdasarkan Ishihara (1986), perilaku non-linier mulai terlihat pada GSS sekitar 1000×10^{-6} , sedangkan deformasi signifikan dan potensi keruntuhan dapat terjadi jika GSS melebihi 10.000×10^{-6} . Korelasi antara nilai GSS dan dampak kerusakan akibat gempa bumi ditunjukkan dalam Tabel 1. Nilai GSS (γ) dapat dihitung menggunakan persamaan berikut (Nakamura, 2008; Gemintang, 2022):

$$\gamma = Kg \times (10^{-6}) \times \alpha \quad (4)$$

Dengan γ mewakili GSS, Kg merupakan indeks kerentanan seismik, 10^{-6} adalah konstanta untuk estimasi nilai regangan, dan α menunjukkan PGA pada batuan dasar (dalam satuan gal).

Tabel 1. Hubungan antara regangan dengan sifat dinamis tanah (Ishihara, 1986)

Nilai (γ)	10^{-6}	10^{-5}	10^{-4}	10^{-3}	10^{-2}	10^{-1}
Fenomena	Gelombang Getaran		Retak, Penurunan tanah	Longsor, Penurunan tanah, Likuifaksi		
Sifat dinamis	Elastis		Plastik elastis	Keruntuhan		
Efek ulangan, efek kelajuan dari pemuatan						

Pada kondisi GSS di atas 10^{-2} , tanah berpotensi mengalami fenomena seperti tanah longsor dan likuifaksi. Tanah longsor biasanya dipicu oleh faktor-faktor seperti curah hujan tinggi, kemiringan lereng yang curam, dan getaran akibat gempa bumi (McCull, 2022). Sementara itu, likuifaksi merupakan proses di mana lapisan tanah kehilangan kekuatannya akibat getaran seismik, umumnya terjadi pada tanah berpasir yang longgar dan jenuh air (Fatima *et al.*, 2023).

HASIL DAN PEMBAHASAN

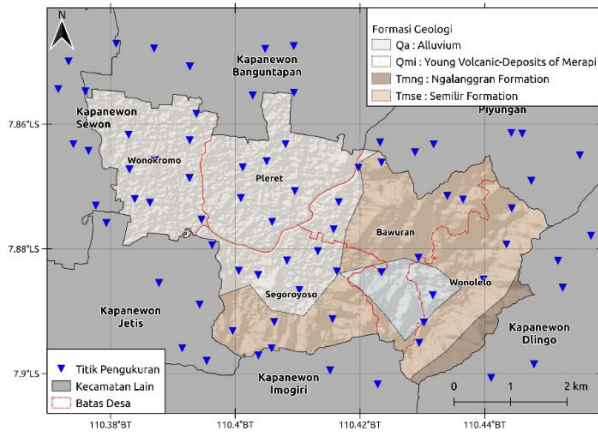
Sebanyak 70 titik pengukuran mikrotremor tersebar di seluruh wilayah studi. Secara geologi, terdapat empat formasi batuan yang ada di Kapanewon Pleret, yaitu Formasi Alluvium (Qa), Endapan Vulkanik Muda Merapi (Qmi), Formasi Nglanggran (Tnmg), dan Formasi Semilir (Tsmc), sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 3. Formasi Qa dan Qmi didominasi oleh material lepas hingga semi-terkonsolidasi, sedangkan Formasi Tnmg dan Tsmc memiliki kondisi geologi yang lebih keras. Karakteristik litologi ini berpengaruh terhadap respon mikrotremor di setiap lokasi pengukuran.

Data mikrotremor yang dikumpulkan selanjutnya diolah menggunakan perangkat lunak Geopsy untuk menghasilkan kurva HVSR. Kurva HVSR ini merepresentasikan nilai frekuensi dominan (f_0) dan faktor amplifikasi (A_0) di setiap titik pengukuran. Contoh hasil pengolahan HVSR pada titik B29 ditampilkan pada Gambar 4. Kurva HVSR pada titik B29 tersebut memiliki nilai f_0 sebesar 1,58 Hz dan A_0 mencapai 6,41.

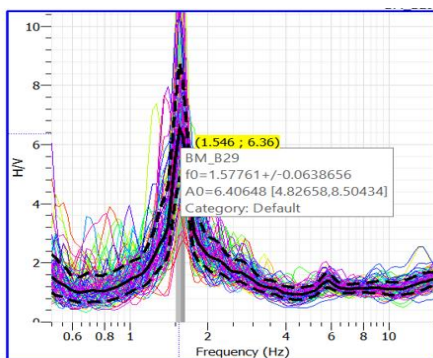
Analisis Frekuensi Dominan (f_0)

Nilai f_0 mencerminkan jenis dan karakteristik batuan serta ketebalan lapisan sedimen di suatu

wilayah. Nilai ini diperoleh dari puncak kurva H/V dan memiliki hubungan langsung dengan kondisi geologi bawah permukaan. Nilai fo yang rendah menunjukkan lapisan sedimen yang tebal dan batuan lunak, sedangkan nilai yang tinggi mengindikasikan sedimen tipis dan batuan keras (Nakamura, 2008). Resonansi antara frekuensi alami tanah dan bangunan dapat memperbesar dampak guncangan gempa bumi dan meningkatkan potensi kerusakan.



Gambar 3. Peta geologi Kapanewon Pleret (Modifikasi Rahardjo et al., 1995)



Gambar 4. Contoh hasil pengolahan HVSR titik B29

Hasil pengukuran menunjukkan rentang fo antara 0,62 hingga 12,17 Hz sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 5. Nilai fo tersebut diklasifikasikan menjadi empat jenis tanah menurut Kanai (1983). Frekuensi <2,5 Hz (jenis IV) tersebar di Kalurahan Pleret dan Wonokromo bagian selatan, menunjukkan keberadaan endapan vulkanik Merapi muda dengan sedimen tebal dan tanah lunak. Frekuensi 2,6–4 Hz (jenis III) ditemukan di Kalurahan Segoroyoso, sementara frekuensi 4,1–6,66 Hz (jenis II) berada di Bawuran bagian barat. Nilai >6,66 Hz (jenis I) terdapat di Kalurahan Wonolelo dan Segoroyoso bagian selatan.

Sebaran nilai fo di wilayah penelitian didominasi oleh nilai rendah (jenis III dan IV), yang mencerminkan kondisi geologi berupa endapan Merapi muda yang tersusun atas material lunak dan belum terkonsolidasi. Sedimen yang tebal cenderung menghasilkan fo rendah, sedangkan lapisan yang tipis menghasilkan fo lebih tinggi. Wilayah dengan nilai fo tinggi umumnya memiliki respons seismik yang lebih stabil, sehingga lebih aman untuk penempatan struktur bangunan. Sebaliknya, daerah dengan fo rendah lebih rentan terhadap amplifikasi gelombang gempa bumi, yang dapat meningkatkan risiko kerusakan pada bangunan saat terjadi gempa bumi.

Tabel. 2 Tabel klasifikasi tanah berdasarkan nilai frekuensi dominan (Kiyoshi Kanai, 1983)

Klasifikasi Tanah	Frekuensi Dominan	Deskripsi tanah	Karakter	
				Tipe
IV	I	6,66-20,00	Batuan tersier atau lebih tua. Terdiri dari batuan pasir kerikil keras (hard sandy gravel). Ketebalan sedimen permukaannya sangat tipis, didominasi oleh batuan keras <5m	Keras
	II	4,00-6,66	Batuan alluvia, terdiri dari pasir berkerikil (sandy gravel), lempung keras berpasir (sandy hard clay), tanah liat, lempung dan sebagainya. Ketebalan sedimen permukaan dalam kategori menengah 5-10m.	Sedang
III	III	2,50-4,00	Batuan alluvial, terdiri dari sandy gravel, sandy hard clay, loam. Ketebalan sedimen permukaannya sekitar 10-30m.	Lunak
II	IV	<2,50	Batuan alluvial yang terbentuk dari sedimen delta, top soil, lumpur, tanah lunak, humus, endapan delta atau endapan lumpur yang tergolong kedalam tanah lembek dengan ketebalan sedimen permukaannya lebih dari 30m.	Sangat Lunak

Analisis Faktor Amplifikasi (Ao)

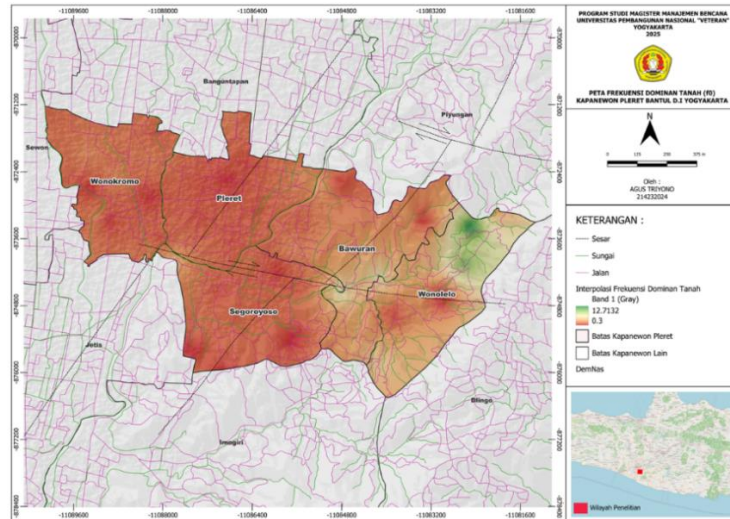
Faktor amplifikasi terjadi ketika gelombang seismik merambat melalui medium yang lebih lunak dibandingkan sebelumnya. Lapisan batuan lunak menghasilkan nilai amplifikasi yang lebih tinggi, sedangkan lapisan keras menghasilkan nilai yang lebih rendah. Kecepatan gelombang seismik dipengaruhi oleh kepadatan batuan. Penurunan kepadatan menyebabkan kecepatan gelombang berkurang dan amplifikasi meningkat. Faktor amplifikasi (Ao) berkorelasi negatif dengan kepadatan batuan.

Nilai Ao pada penelitian ini berkisar antara 0,89 hingga 6,41, dengan peta sebaran warna menunjukkan intensitas amplifikasi dari rendah

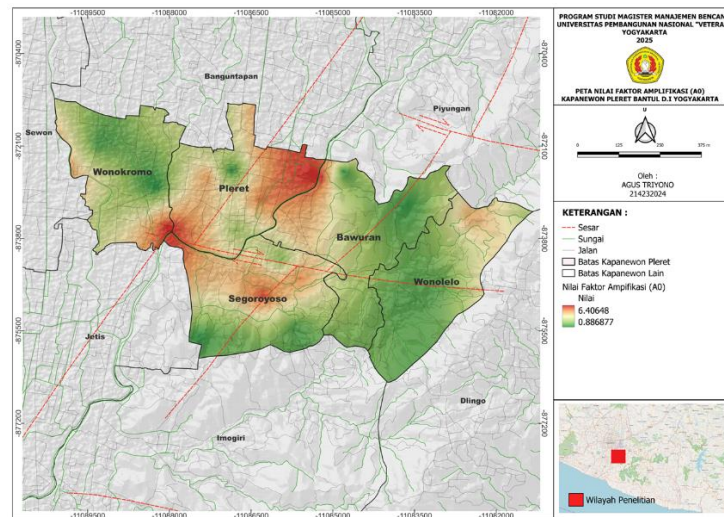
hingga tinggi seperti pada Gambar 6. Daerah dengan amplifikasi tertinggi terletak di barat daya (perbatasan Wonokromo–Segoroyoso), tengah (sekitar Pleret), dan sebagian utara Bawuran. Sebaliknya, nilai amplifikasi terendah ditemukan di selatan dan tenggara, seperti wilayah Kalurahan Wonolelo dan bagian selatan Kalurahan Segoroyoso.

Berdasarkan formasi geologi, amplifikasi sedang hingga tinggi dominan di Formasi Merapi

Muda, sedangkan amplifikasi rendah terutama terdapat di Formasi Semilir. Hal ini sejalan dengan konsep amplifikasi, di mana tanah lunak dengan kepadatan rendah memiliki inersia kecil sehingga rentan terhadap guncangan besar saat gempa bumi. Oleh karena itu, Kapanewon Pleret dengan faktor amplifikasi sedang hingga tinggi berpotensi mengalami guncangan kuat dan kerusakan signifikan saat gempa bumi terjadi.



Gambar 5. Peta sebaran nilai frekuensi dominan (fo)



Gambar 6. Peta sebaran nilai faktor amplifikasi (Ao)

Analisis Indeks Kerentanan Seismik (Kg)

Nilai Kg menggambarkan tingkat kerentanan lapisan permukaan tanah terhadap guncangan gempa bumi, yang berperan dalam menilai potensi kerusakan suatu wilayah. Analisis HVSR di wilayah penelitian menghasilkan nilai Kg antara 0,1795 hingga 26,0159. Sebaran spasial Kg menunjukkan nilai tertinggi di bagian barat, selatan, dan tengah, khususnya Kalurahan Pleret, Segoroyoso, dan

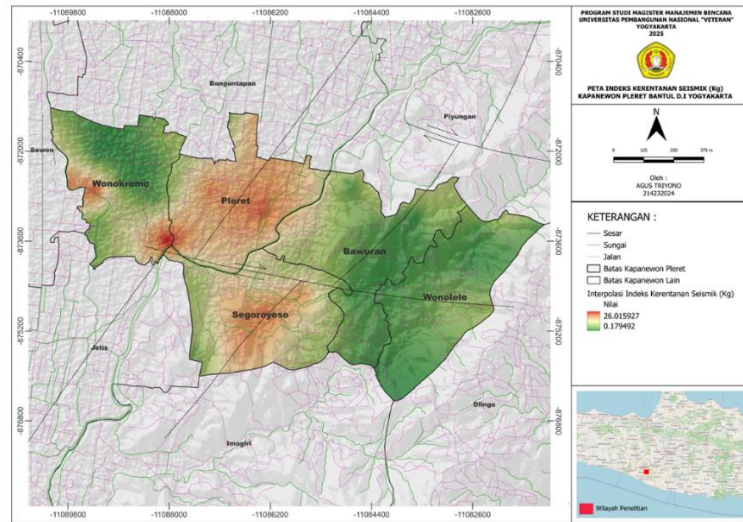
Wonokromo, sedangkan nilai terendah terdapat di timur dan tenggara, seperti Kalurahan Wonolelo dan sebagian Bawuran (Gambar 7).

Sebagian besar kawasan dengan nilai Kg tinggi berada pada Formasi endapan vulkanik Merapi Muda (Qmi). Daerah-daerah ini memiliki tingkat kerentanan yang lebih besar terhadap guncangan gempa bumi karena gelombang seismik mengalami amplifikasi saat merambat melalui material tersebut.

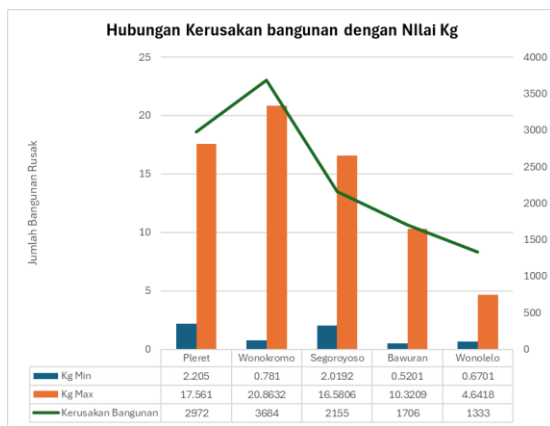
Akibatnya, intensitas guncangan yang dirasakan meningkat, sehingga potensi kerusakan infrastruktur menjadi lebih tinggi dibandingkan dengan wilayah yang memiliki nilai Kg lebih rendah.

Hubungan antara nilai Kg hasil penelitian ini dan tingkat kerusakan bangunan akibat gempa Bantul pada 27 Mei 2006 disajikan pada Gambar 8. Dalam penelitian ini, kerusakan bangunan dianalisis secara kuantitatif berdasarkan jumlah bangunan terdampak, tanpa mempertimbangkan variabel kualitas

konstruksi maupun faktor lainnya (BPS, 2007). Hasil penelitian menunjukkan bahwa wilayah dengan nilai Kg rendah cenderung mengalami kerusakan bangunan yang lebih sedikit, sedangkan wilayah dengan nilai Kg tinggi menunjukkan tingkat kerusakan yang lebih besar. Hal ini disebabkan oleh tingginya nilai Kg yang mencerminkan rendahnya kestabilan tanah, sehingga bangunan menjadi lebih rentan terhadap kerusakan saat terjadi gempa bumi.



Gambar 7. Peta distribusi indeks kerentanan seismik (Kg)



Gambar 8. Hubungan nilai Kg hasil penelitian terhadap kerusakan bangunan per Kelurahan akibat gempa bumi Yogyakarta 2006

Analisis PGA

Pengolahan PGA di batuan dasar dilakukan menggunakan rumus atenuasi Fukushima dan Tanaka (1990). Perhitungan ini didasarkan pada parameter gempa bumi Bantul 27 Mei 2006 dengan magnitudo 6,3 (U.S. Geological Survey, 2025), menggunakan dua variabel utama yaitu magnitudo dan jarak episentrum ke lokasi penelitian.

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa nilai PGA pada batuan dasar berkisar antara 0,08 hingga >0.79 g. Distribusi spasial PGA ditampilkan pada Gambar 9. Nilai PGA tertinggi umumnya terletak di wilayah yang berdekatan dengan pusat gempa bumi, seperti Kalurahan Wonolelo dan bagian tenggara Segoroyoso. Hal ini sejalan dengan karakteristik rumus Fukushima dan Tanaka, yang menyatakan bahwa nilai PGA menurun seiring bertambahnya jarak dari sumber gempa bumi.

Analisis Ground Shear Strain (GSS)

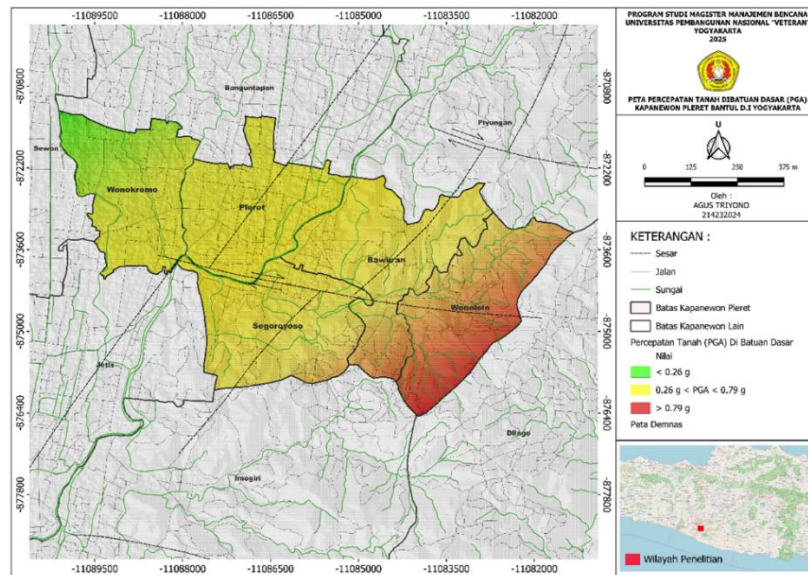
Ground Shear Strain (GSS) mencerminkan kemampuan batuan untuk mengalami deformasi akibat gaya tekan (*stress*). Nilai GSS berperan penting dalam menentukan tingkat kerentanan wilayah terhadap guncangan seismik. Berdasarkan studi Nakamura pada gempa Kobe tahun 1995 (M 6,9), GSS sebesar $1,2 \times 10^{-3}$ berkorelasi kuat dengan kerusakan bangunan yang tinggi. Semakin besar nilai Kg dan PGA, semakin tinggi pula nilai GSS yang terjadi.

Hasil perhitungan pada wilayah penelitian menunjukkan nilai GSS berkisar antara $1,06 \times 10^{-4}$ hingga $1,42 \times 10^{-2}$, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 10. Nilai GSS rendah ditemukan di sebagian besar Kalurahan Wonolelo, bagian selatan dan timur

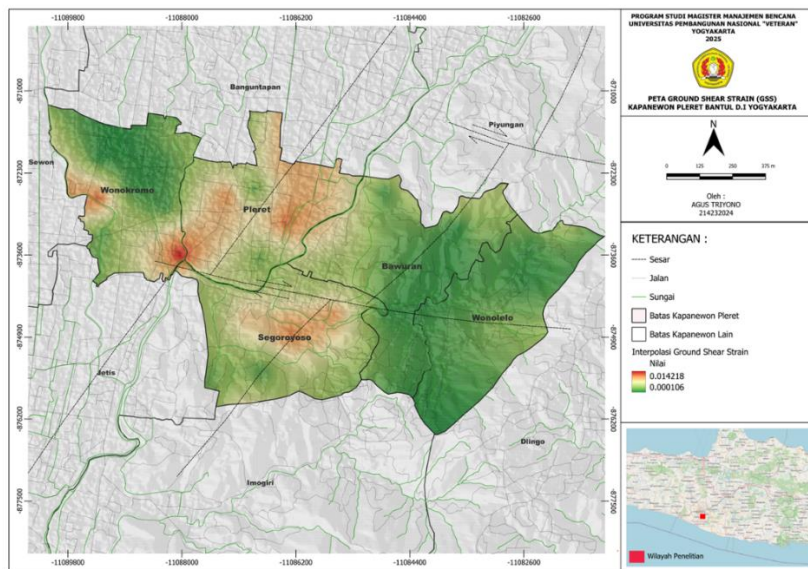
Bawuran, serta utara Wonokromo. Sebaliknya, nilai tinggi teridentifikasi di sebagian besar wilayah Pleret, tengah Segoroyoso, dan bagian selatan serta barat Wonokromo.

Rentang nilai tersebut mengindikasikan kemungkinan terjadinya deformasi elasto-plastik hingga kegagalan struktur (retakan, penurunan tanah, dan likuefaksi). Berdasarkan Miura *et al.* (2007), Kapanewon Pleret merupakan salah satu

wilayah dengan tingkat kerusakan bangunan tertinggi (75–100%). Kerusakan dominan terjadi pada rumah tembok sederhana tanpa penguatan struktural berupa tulangan besi pada kolom, yang umumnya mengalami kerusakan berat hingga roboh. Bangunan dengan penguatan struktural pun tetap terdampak, meskipun sebagian besar tidak mengalami keruntuhan total.



Gambar 9. Peta PGA di batuan dasar dengan metode Fukushima dan Tanaka (1990)



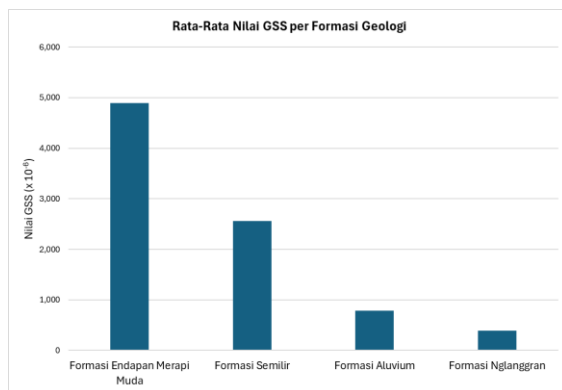
Gambar 10. Peta distribusi *Ground Shear Strain* (GSS)

Menurut Natawidjaja (2007), fenomena likuefaksi akibat gempa bumi 27 Mei 2006 teridentifikasi di beberapa wilayah Kapanewon di Kabupaten Bantul, antara lain Bantul, Jetis, Imogiri, Pleret, Piyungan, dan Banguntapan. Sebaran

kejadian likuefaksi menunjukkan pola memanjang dari barat daya ke timur laut, sejajar dengan aliran Sungai Opak. Fenomena rekahan tanah yang didokumentasikan oleh Pramumijoyo dan Sudarno (2008) juga menunjukkan pola distribusi serupa, dengan arah rekahan sejajar alur Sungai Opak.

Rekahan tersebut terjadi di berbagai lokasi, termasuk persawahan, jalan raya, dan kawasan permukiman.

Nilai GSS berkorelasi erat dengan kondisi geologi lokal. Variasi GSS lebih dominan dipengaruhi oleh nilai K_g , mengingat nilai PGA pada wilayah kajian relatif homogen. Karena nilai K_g sangat terkait dengan karakteristik geologi permukaan, maka GSS secara tidak langsung mencerminkan pengaruh geologi lokal terhadap respons seismik. Hasil perhitungan rata-rata GSS memperlihatkan adanya variasi yang mengikuti sebaran formasi geologi (Gambar 11).



Gambar 11. Rata-rata GSS per formasi geologi

Formasi Endapan Merapi Muda menunjukkan rata-rata GSS tertinggi (4.896×10^{-6}), diikuti Formasi Semilir, Aluvium, dan terendah pada Formasi Nglanggran (392×10^{-6}). Pola ini menunjukkan bahwa formasi dengan material lepas (*unconsolidated*) menghasilkan regangan geser lebih besar dibandingkan dengan formasi yang tersusun dari batuan kompak (*consolidated*).

Temuan ini sejalan dengan klasifikasi dari Ishihara (1986), yang menyatakan bahwa nilai GSS yang tinggi ($\geq 10^{-2}$) berpotensi menyebabkan longsor, rekahan, dan likuefaksi, sementara nilai rendah ($\leq 10^{-6}$) hanya menghasilkan getaran tanpa kerusakan signifikan. Dengan demikian, analisis GSS merupakan alat yang efektif untuk menilai kerentanan tanah terhadap bahaya seismik.

KESIMPULAN DAN SARAN

Penelitian ini berhasil mengevaluasi potensi bahaya gempabumi di Kapanewon Pleret, Kabupaten Bantul, berdasarkan karakteristik geologi lokal yang diperoleh melalui metode HVSR. Hasil analisis menunjukkan bahwa wilayah penelitian didominasi oleh nilai frekuensi dominan (f_0) yang rendah, berkisar antara 0,62 hingga 12,17 Hz, yang mengindikasikan adanya lapisan sedimen tebal dan

batuan lunak. Kondisi ini sesuai dengan keberadaan Formasi Endapan Merapi Muda yang menyusun sebagian besar wilayah tersebut.

Nilai faktor amplifikasi (A_0) berkisar antara 0,89 hingga 6,41, menunjukkan potensi penguatan gelombang seismik yang cukup signifikan. Indeks kerentanan seismik (K_g) berada dalam rentang 0,1795 hingga 26,0159, nilai PGA pada batuan dasar berkisar antara 0,08 hingga >0.79 g, sedangkan nilai *Ground Shear Strain* (GSS) berkisar antara $1,06 \times 10^{-4}$ hingga $1,42 \times 10^{-2}$. Dominasi zona dengan nilai K_g dan GSS yang tinggi di wilayah penelitian menunjukkan tingkat kerentanan tanah yang signifikan terhadap guncangan seismik, sehingga area-area tersebut perlu diprioritaskan dalam perencanaan mitigasi bencana.

Secara keseluruhan, karakteristik geologi lokal yang didominasi oleh batuan lunak dan sedimen tebal menyebabkan wilayah ini memiliki potensi bahaya gempa bumi yang tinggi. Temuan ini menunjukkan bahwa metode HVSR efektif dalam mengidentifikasi zona kerentanan seismik berdasarkan kondisi geologi lokal, serta dapat menjadi pertimbangan dalam upaya mitigasi bencana dan perencanaan pembangunan yang berkelanjutan di wilayah rawan gempa bumi.

DAFTAR PUSTAKA

- Akkaya, I. 2020. Availability of seismic vulnerability index (K_g) in the assessment of building damage in Van, Eastern Turkey. *Earthq. Eng. Vib.* 19, 189–204. <https://doi.org/10.1007/s11803-020-0556-z>
- Alikhanzadeh, R., Zafarani, H. & Hassani, B. 2023. Site effect estimation in the Tehran basin and its impact on simulation results. *J Seismol.*, 27, 429–453. <https://doi.org/10.1007/s10950-023-10149-5>
- Al-Amri, A. M., Abdelrahman, K., & Fnais, M. S. (2022). Evaluation of seismic vulnerability index in Makkah Al-Mukarramah urban area, Saudi Arabia, using microtremor measurements. *Arabian Journal of Geosciences*, 15(14), 1–10. <https://doi.org/10.1007/s12517-022-10594-5>
- Arai, H., Hibino, H., Okuma, Y., Matsuoka, M., Kubo, T., & Yamazaki, F. 2000. Estimation of Ground Motion Characteristics and Damage Distribution in Golcuk, Turkey, Based on Microtremor

- Measurements. *Proc. 6th International Conference on Seismic Zonation*, 12–15
- Azifah, G.B., Fathani, T.F. & Setiawan, H. 2025. Seismic microzonation studies in the Southern part of Progo River, special Region of Yogyakarta, Indonesia. *Geoenviron Disasters*, 12, 6. <https://doi.org/10.1186/s40677-025-00310-2>
- BAPPENAS. (2006). Penilaian Awal Kerusakan dan Kerugian, 1–146
- Bock, Y. 2003. Crustal motion in Indonesia from Global Positioning System measurements. *Journal of Geophysical Research*, 108(B8). <https://doi.org/10.1029/2001jb000324>
- Daryono, Brotospito, K. S., Sutikno. 2018. Hubungan antara Indeks Kerentanan Seismik dan Rasio Kerusakan pada Satuan Bentuklahan di Zona Graben Bantul Yogyakarta
- Fatima, T., Sadique, M.R. & Alam, A.A. 2023. A Review on Impacts and Mitigation of Liquefaction of Soil Around the Tunnels. *J Fail. Anal. and Preven.* 23, 1822–1840. <https://doi.org/10.1007/s11668-023-01759-9>
- Fukushima, Y., & Tanaka, T. 1990. A new attenuation relation for peak horizontal acceleration of strong earthquake ground motion in Japan. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 80(4), 757–783
- Kanai, K. (1983). *Engineering Seismology*
- Kang, S.Y., Kim, K. H. & Kim, B. 2021. Assessment of seismic vulnerability using the horizontal-to-vertical spectral ratio (HVSR) method in Haenam, Korea. *Geosci J.*, 25, 71–81. <https://doi.org/10.1007/s12303-020-0040-9>
- Khadrouf, I., El Hammoumi, O., El Goumi, N., & Oukassou, M. 2024. Contribution of HVSR, MASW, and geotechnical investigations in seismic microzonation for safe urban extension: A case study in Ghabt Admin (Agadir), western Morocco. *Journal of African Earth Sciences*, 210, 105138. <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2023.105138>
- Librian, V., Ramdhan, M., Nugraha, A. D., Mukti, M. M., Syuhada, S., Lühr, B.-G., Widiyantoro, S., Mursitantyo, A., Anggraini, A., Zulfakriza, Z., Muttaqy, F., & Husni, Y. M. 2024. Detailed seismic Measurements. *Proc. 6th International Conference on Seismic Zonation*, 12–15
- structure beneath the earthquake zone of Yogyakarta 2006 (Mw ~6.4), Indonesia, from local earthquake tomography. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 351, 107170. <https://doi.org/10.1016/j.pepi.2024.107170>
- McCull, S. T. 2022. Landslide causes and triggers. In *Landslide Hazards, Risks, and Disasters* (2nd ed., *Hazards and Disasters Series*, pp. 13–41). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818464-6.00011-1>
- Miura, H., Yamazaki, F., & Matsuoka, M. (2007). Identification of damaged areas due to the 2006 Central Java, Indonesia earthquake using satellite optical images. 2007 Urban Remote Sensing Joint Event, URS, 2, 2–6. <https://doi.org/10.1109/URS.2007.371837>
- Mokhberi, M. (2015). Vulnerability evaluation of the urban area using the H/V spectral ratio of microtremors. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 13, 369–374. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2015.06.012>
- Nakamura, Y. 2008. What is the Nakamura method?
- Nakamura, Y. 2000. Clear identification of fundamental idea of Nakamura's technique and its applications. *Proceedings of the 12th World Conference on Earthquake Engineering*, Auckland, New Zealand
- Nakamura, Y. (1989). A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface.
- Nakamura, Y. (1997). Seismic Vulnerability Indices for Ground and Structures using Microtremor. *World Congress on Railway Research*, 1–7
- Natawidjaja. 2007. Gempabumi dan Tsunami di Sumatera dan Upaya Untuk Mengembangkan Lingkungan Hidup Yang Aman Dari Bencana Alam
- Pramumijoyo, S. and Sudarno, I. 2008. Surface Cracking Due to Yogyakarta Earthquake 2006. In: Karnawati, D., Pramumijoyo, S., Anderson, R. and Husein, S., Eds., *The Yogyakarta Earthquake of May 27, 2006*, Star Publisher, Los Angeles (in Press)
- Rahardjo, W., Sukandarrumidi, & Rosidi, H. M. D. 1995. Peta Geologi Lembar Yogyakarta, Jawa (Edisi ke-2, Skala 1:100.000). Pusat
- Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung

- Setiawati, Y., Wibowo, N., & Darmawan, D. 2017. Analisis Gss (Ground Shear Strain) Dengan Metode HVSR. *Jurnal Fisika*, 6(2), 132–138.
- Song, Q., Ren, Y., Zhou, B. 2025. Deciphering the site effect as one of reasons causing severe building damages in Kahramanmaraş and Antakya in February 6 2023 earthquakes, Turkey. *Environ Earth Sci* 84, 205. <https://doi.org/10.1007/s12665-025-12103-9>
- Sulaeman, C. (2008). Karakterisasi sumber gempa Yogyakarta 2006 berdasarkan data GPS. *Indonesian Journal on Geoscience*, 3(1), 49–56. <https://doi.org/10.17014/ijog.vol3no1.20085>
- Sunardi, B., Sismanto, Hartantyo, E., & Nukman, M. (2025). Seismic vulnerability in Yogyakarta Basin based on HVSR frequency domain window rejection algorithm. *International Journal of Design & Nature and Ecodynamics*, 20(4), 813–823. <https://doi.org/10.18280/ijdne.200412>
- U.S. Geological Survey. 2025. M 6.3 - central Italy. Retrieved June 1, 2025, from <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/usp000ej1c>
- Wathelet, M., Chatelain, J.-L., Cornou, C., Di Giulio, G., Guillier, B., Ohrnberger, M., and Savvaidis, A. 2020. Geopsy: A User-Friendly Open-Source Tool Set for Ambient Vibration Processing. *Seismological Research Letters*, 91(3), 1878--1889, doi: 10.1785/0220190360