



## Variasi Nilai *Peak Ground Acceleration* di Kecamatan Prambanan, Kabupaten Klaten

Adelia Saras Nugraheni\*

Program Studi Teknik Geologi, Jurusan Teknik Pertambangan dan Geologi, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya, Indonesia

\*Penulis Korespondensi: [adeliasn@unsri.ac.id](mailto:adeliasn@unsri.ac.id)<sup>1</sup>

**Abstract.** *The Special Region of Yogyakarta (DIY) is characterized by high seismic activity due to its proximity to the subduction zone and the presence of active fault systems, particularly the Opak Fault. The 2006 Yogyakarta earthquake revealed significant vulnerability in local building structures and highlighted the complex geological conditions governing seismic wave propagation. This study aims to calculate and map the Peak Ground Acceleration (PGA) distribution in Prambanan District, Klaten Regency—one of the areas closest to the 2006 earthquake source. PGA values were estimated using the McGuire attenuation relationship, based on a moment magnitude of Mw 6.3 and the hypocentral distance to 88 observation points distributed at approximately 900-meter intervals. The resulting PGA map indicates values ranging from 26.7 to 31.7 gal, with a clear spatial trend showing increasing intensity from the northern to the southern parts of the study area. Higher PGA values occur in regions near the Opak Fault and in areas dominated by unconsolidated volcanic deposits of the young Merapi formation. These loose sediments amplify seismic waves, resulting in stronger ground motion compared to areas composed of more compact sedimentary rocks. The spatial pattern of PGA corresponds well with the distribution of structural damage recorded during the 2006 earthquake. The findings emphasize the significant role of local geology and fault proximity in shaping seismic hazard levels. Consequently, this study provides essential insights for disaster mitigation strategies, land-use planning, and structural vulnerability assessment within the Prambanan area.*

**Keywords:** 2006 Yogyakarta Earthquake; Opak Fault; Peak Ground Acceleration; Prambanan; Seismik Attenuation

**Abstrak.** Wilayah Daerah Istimewa Yogyakarta (DIY) merupakan kawasan dengan aktivitas seismik tinggi akibat keberadaannya di dekat zona subduksi dan sejumlah sesar aktif, termasuk Sesar Opak. Gempa besar tahun 2006 memperlihatkan besarnya kerentanan struktur bangunan dan kompleksitas kondisi geologi bawah permukaan, sehingga diperlukan kajian parameter bahaya seismik yang lebih detail. Penelitian ini bertujuan untuk menghitung dan memetakan nilai Peak Ground Acceleration (PGA) di Kecamatan Prambanan, Kabupaten Klaten, sebagai wilayah yang berdekatan dengan sumber gempa 2006. Perhitungan PGA dilakukan menggunakan persamaan atenuasi McGuire berdasarkan magnitudo Mw 6,3 dan jarak hiposenter terhadap 88 titik pengukuran. Hasil pemetaan menunjukkan nilai PGA berkisar antara 26,7 hingga 31,7 gal dengan pola peningkatan dari utara ke selatan. Nilai tertinggi teridentifikasi pada zona yang dekat dengan Sesar Opak dan wilayah yang tersusun oleh sedimen vulkanik lepas Merapi Muda. Kondisi litologi tersebut menyebabkan amplifikasi gelombang seismik yang memperkuat percepatan tanah. Distribusi PGA ini konsisten dengan pola kerusakan parah pada gempa 2006. Temuan ini menegaskan bahwa karakter geologi dan kedekatan dengan struktur patahan aktif berperan besar dalam menentukan tingkat bahaya seismik, sehingga hasil penelitian ini penting untuk mitigasi, perencanaan ruang, serta evaluasi ketahanan bangunan di wilayah Prambanan.

**Kata kunci:** Atenuasi Seismik; Gempa Yogyakarta 2006; Percepatan Tanah Maksimum; Prambanan; Sesar Opak

### 1. LATAR BELAKANG

Pulau Jawa, yang merupakan pusat aktivitas penduduk dan salah satu pulau dengan tingkat kepadatan penduduk tertinggi di Indonesia, semakin rentan terhadap bahaya geologi yang muncul. Kepadatan penduduk yang besar memperkuat tingkat risiko karena dampak bencana dapat menjangkau lebih banyak wilayah dan menimbulkan kerusakan yang lebih luas. Oleh karena itu, Pulau Jawa memiliki tingkat ancaman bahaya alam yang signifikan, termasuk

potensi terjadinya berbagai jenis bencana seperti gempa bumi, tanah longsor, dan fenomena lainnya (Hadi A L et al 2016; Supriyadi et al., 2024). Setelah gempa besar 2006, penelitian tomografi seismik menunjukkan struktur bawah permukaan yang rumit: sesar-sesar bawah tanah, zona patahan, dan variasi kecepatan gelombang semua ini mempengaruhi cara guncangan menyebar. Setelah gempa besar Yogyakarta tahun 2006, berbagai penelitian tomografi seismik yang dilakukan oleh lembaga seperti BMKG, Pusat Studi Gempa Nasional (PusGeN), serta beberapa kelompok riset geofisika dari ITB dan UGM menunjukkan bahwa struktur bawah permukaan di wilayah Yogyakarta jauh lebih kompleks daripada yang diperkirakan sebelumnya. Hasil pemodelan kecepatan gelombang dan inversi tomografi mengungkap keberadaan sistem sesar bawah tanah yang saling berhubungan, zona-zona patahan yang aktif secara tektonik, serta variasi signifikan pada kecepatan gelombang P dan S di sepanjang Sesar Opak dan sekitarnya. Kompleksitas ini berpengaruh langsung terhadap pola propagasi gelombang seismik—beberapa zona menunjukkan efek amplifikasi kuat akibat material sedimen kuartar yang lepas, sementara area berbatuan lebih kompak cenderung meredam energi gelombang. Temuan-temuan tersebut secara konsisten menggambarkan bahwa struktur geologi bawah permukaan Yogyakarta memiliki kontrol dominan terhadap distribusi intensitas guncangan, sehingga memainkan peran penting dalam pola kerusakan pada peristiwa gempa 2006 sebagaimana dilaporkan dalam berbagai publikasi geofisika satu dekade terakhir (Librian et al., 2024).

Daerah Istimewa Yogyakarta (DIY) sendiri merupakan wilayah dengan aktivitas seismik yang cukup intens dan telah beberapa kali diguncang gempa yang menyebabkan kerusakan signifikan. Berbagai upaya mitigasi terus digalakkan, termasuk penyusunan serta pembaruan rutin peta kegempaan. Di Indonesia, parameter seismik telah digunakan sebagai dasar perencanaan infrastruktur sejak 1983 dan terakhir diperbarui pada Peta Gempa Nasional 2017. Meski demikian, gempa bermagnitudo 6,3 SR pada Mei 2006 memperlihatkan bahwa tingkat kerentanan bangunan di wilayah ini masih tinggi, terutama pada bangunan yang tidak dirancang mengikuti kaidah ketahanan gempa sehingga mengalami kerusakan parah (Nurhidayatullah & Kurniati, 2020). Gempa bumi Yogyakarta tahun 2006 terjadi akibat pergerakan tektonik pada Sesar Opak. Guncangan sebesar 6,4 Mw tersebut menimbulkan dampak besar, mengakibatkan 6.234 orang meninggal dan 36.299 lainnya mengalami luka-luka (Nugraheni et al., 2024; PusGeN, 2017). Kajian terhadap data kegempaan Yogyakarta dari 1960 hingga 2024 menunjukkan bahwa DIY berada pada zona bahaya seismik yang tinggi, terutama karena kedekatannya dengan zona subduksi dan keberadaan sesar aktif seperti Sesar Opak yang berpotensi memicu gempa berulang (R & Madrinovella, 2024).

Kejadian ini menunjukkan bahwa banyak struktur belum memenuhi standar konstruksi tahan gempa akibat usia bangunan, mutu material yang kurang baik, atau metode pembangunan yang tidak sesuai aturan teknis (Bidin et al., 2009). Pada banyak kasus, bencana gempa bumi terutama disebabkan oleh runtuhnya bangunan dan kerusakan berbagai struktur non bangunan (Muhaimin et al., 2016). Guncangan kuat selama sekitar satu menit menggoyang Bantul, Yogyakarta, Sleman, dan Klaten, memicu kerusakan masif dan jatuhnya banyak korban. Selain itu, gempa utama diikuti sekitar 750 gempa susulan (Bidin et al., 2009) yang memperburuk kondisi dan meningkatkan beban psikologis serta risiko bagi penduduk terdampak.

Endapan vulkanik Merapi Muda memiliki kecenderungan merespons gelombang seismik secara lebih lamban. Hal ini terjadi karena gelombang gempa melewati lapisan material yang lebih lunak, sehingga penyerapan energi berlangsung pelan dan proses pelemahannya (atenuasi) terjadi secara bertahap. Medium yang lunak umumnya menghasilkan gelombang dengan frekuensi rendah dan panjang gelombang lebih besar, sehingga energi getarannya hilang secara perlahan dan memunculkan amplifikasi yang tidak terlalu besar, namun dengan atenuasi yang berjalan lebih lambat (Nugraheni et al., 2023). Daerah penelitian yang berdekatan dengan Sesar Opak cenderung memiliki nilai PGA yang tinggi. Kondisi ini diperkuat apabila lokasi tersebut juga tersusun oleh sedimen permukaan yang bersifat lepas, karena material tersebut dapat meningkatkan amplifikasi gelombang seismik (Nugraheni, 2025). PGA (*Peak Ground Acceleration*) merupakan parameter utama untuk menilai tingkat bahaya dan potensi kerusakan akibat gempa bumi, karena menggambarkan percepatan maksimum yang dialami permukaan tanah saat terjadi getaran seismik (Meitawati et al., 2018). Penelitian ini bertujuan untuk menghitung estimasi nilai PGA pada batuan dasar serta percepatan tanah maksimum (PGA dalam satuan gal) di permukaan akibat kejadian gempa di Kecamatan Prambanan, Kabupaten Klaten, Jawa Tengah.

## 2. KAJIAN TEORITIS

### Geologi Daerah Penelitian

Indonesia dikenal sebagai negara dengan aktivitas seismik yang sangat tinggi karena letaknya berada pada pertemuan tiga lempeng tektonik utama dunia, yaitu Lempeng Eurasia, Lempeng Indo-Australia, dan Lempeng Pasifik (Syafitri Y et al., 2019; Supriyadi et al., 2024). Gempa Yogyakarta tahun 2006 diduga kuat dipicu oleh pergerakan Sesar Opak, yakni sesar mendatar sinistral yang memanjang dari wilayah Parangtritis hingga timur Kota Yogyakarta. Peran Sesar Dengkeng, yang berada di timur laut ujung Sesar Opak, belum sepenuhnya dipahami dalam kejadian tersebut. Aktivitas kedua sesar ini berkaitan dengan proses subduksi

Lempeng Australia yang menunjam ke bawah Lempeng Eurasia di selatan Jawa (Abidin et al., 2009). Setelah gempa 27 Mei 2006, Sesar Opak kembali menjadi fokus penelitian karena pusat gempanya terletak dekat muara Sungai Opak. Keberadaan dan karakter sesar ini telah lama tercatat dalam Peta Geologi Lembar Yogyakarta yang disusun Rahardjo et al. (1995) (Santoso, 2009).

Urutan batuan di area penelitian diawali oleh Formasi Semilir, yang merupakan satuan batuan tertua dan tersusun atas breksi serta berbagai tipe tuf. Lapisan ini kemudian tertutup oleh Formasi Nglanggran berumur Miosen Bawah, yang mengandung breksi gunung api, aglomerat, lava, dan tuf. Di atasnya terendapkan Formasi Sambipitu dari Miosen Tengah, yang terdiri atas tuf, serpih, batulanau, batupasir, dan konglomerat. Setelah itu, muncul Formasi Kepek berumur Pliosen, diikuti oleh Formasi Wonosari dan Sentolo (Miosen Atas–Pliosen) yang didominasi oleh batugamping dan batupasir. Sebagian besar wilayah penelitian berada di dataran Yogyakarta–Bantul yang terselimuti oleh endapan Kuarter Merapi Muda, yang terdiri atas abu, tuf, breksi, aglomerat, dan lava. Sepanjang sungai dan kawasan pesisir, material permukaan ini dilapisi oleh aluvium muda berupa pasir, kerikil, lanau, dan lempung (Rahardjo et al., 1995).

### **Peak Ground Acceleration**

PGA diperoleh melalui fungsi atenuasi yang menghubungkan intensitas getaran tanah dengan magnitudo gempa dan jarak dari sumbernya, sehingga memberikan perkiraan kekuatan guncangan yang mungkin terjadi di suatu titik (Irwansyah et al., 2013). Sebagai nilai percepatan tanah tertinggi, PGA digunakan untuk menilai potensi kerusakan yang ditimbulkan oleh gempa (Gustian, 2009; Suhada et al., 2023). Idealnya, nilai PGA diperoleh dari rekaman *accelerograph*, namun keterbatasan jumlah dan sebaran alat tersebut di Indonesia menyebabkan data yang tersedia sering tidak memadai. Untuk itu, estimasi PGA umumnya dilakukan menggunakan fungsi atenuasi, sebagaimana diterapkan dalam berbagai studi terdahulu (Ulfiana et al., 2018; Kelo et al., 2023; Supriyadi et al., 2024). Secara fisik, besar kecilnya dampak gempa di suatu wilayah ditentukan oleh nilai percepatan tanah puncak yang dihitung berdasarkan kumpulan data kejadian gempa dalam periode tertentu serta mempertimbangkan berbagai parameter seismik (Ashadi & Kaka, 2019; Chasanah et al., 2022).

### **3. METODE PENELITIAN**

Dalam penelitian ini, nilai *Peak Ground Acceleration* (PGA) dihitung dengan memasukkan parameter magnitudo gempa, jarak setiap titik ke hiposenter, serta jarak terhadap

episenter. Magnitudo yang digunakan berasal dari gempa Yogyakarta 2006 menurut data USGS, yaitu 6,3 Mw pada koordinat  $7.961^{\circ}$  LS dan  $110.446^{\circ}$  BT dengan kedalaman sekitar 12,5 km. Sebanyak 88 titik pengukuran dengan jarak antartitik  $\pm 900$  meter digunakan untuk menggambarkan sebaran PGA secara lebih detail.

Lokasi penelitian berada di Kecamatan Prambanan, Kabupaten Klaten, yang memiliki kondisi geologi dan geomorfologi beragam. Keberadaan Sungai Opak di bagian barat kawasan ini turut memengaruhi karakter litologi setempat, terutama pada dataran aluvial, sehingga berpotensi menimbulkan variasi nilai PGA. Pertimbangan kondisi ini penting untuk menghasilkan estimasi percepatan tanah maksimum yang representatif bagi wilayah Prambanan.

PGA merupakan parameter untuk menunjukkan percepatan maksimum permukaan tanah akibat gempa (Gustian, 2009; Suhada et al., 2023). Penelitian ini menggunakan metode McGuire, yang sesuai untuk wilayah subduksi dan daerah dengan gempa dangkal hingga menengah. Dalam metode tersebut, PGA dinyatakan dalam gal,  $M$  adalah magnitudo gempa (Mw), dan  $R$  adalah jarak hiposenter ke titik observasi (km) (Gandini et al., 2022). Rumus empiris McGuire (1977) dalam (Ulfiana et al., 2018) yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$PGA \text{ (gal)} = \frac{472 \times 10^{0.278M}}{(R + 25)^{1.301}}$$

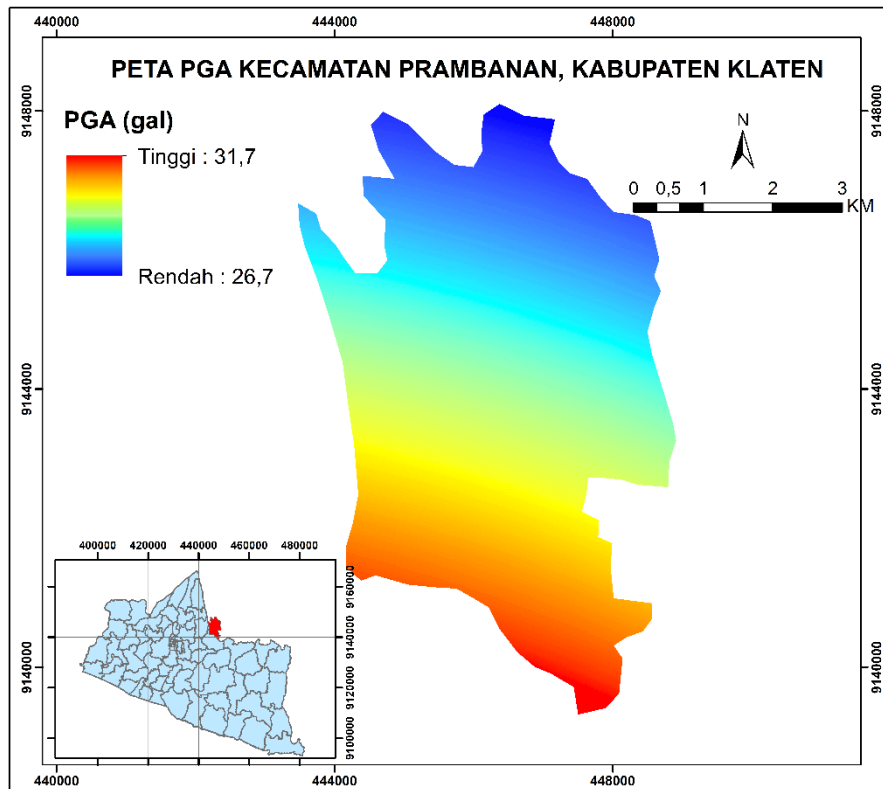
**Keterangan:**

- $M$  = Magnitudo gempa (Mw)
- $R$  = Jarak hiposenter (km)

#### 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bagian ini Peta *Peak Ground Acceleration* (PGA) Kecamatan Prambanan menggambarkan sebaran percepatan tanah maksimum yang berada pada kisaran 26,7 hingga 31,7 gal, dengan pola gradasi nilai yang meningkat dari bagian utara menuju selatan wilayah penelitian (Gambar 1). Variasi spasial ini tidak dapat dipisahkan dari kondisi geologi regional, terutama pengaruh signifikan Sesar Opak sebagai struktur patahan aktif yang membentang di sisi timur–barat kawasan Yogyakarta dan Klaten. Patahan ini merupakan sumber utama gempa besar yang terjadi pada 27 Mei 2006 dengan magnitudo 6,3 Mw, yang menyebabkan kerusakan parah dan korban jiwa dalam jumlah besar. Kedekatan Kecamatan Prambanan, khususnya bagian selatan dan tenggaranya, terhadap zona patahan mengakibatkan tingkat percepatan tanah yang lebih tinggi, sebagaimana tercermin dalam peta melalui dominasi warna merah hingga kuning pada area tersebut. Kondisi ini menunjukkan bahwa intensitas guncangan di

wilayah dekat patahan tidak hanya dipengaruhi oleh kekuatan gempa itu sendiri, tetapi juga oleh respon lokal tanah dan litologi yang memperkuat amplitudo guncangan.



**Gambar 1.** Peta *Peak Ground Acceleration* di Kecamatan Prambanan, Kabupaten Klaten.

Secara litologi, daerah Prambanan tersusun oleh kombinasi endapan vulkanik muda dari aktivitas Gunung Merapi, endapan aluvial, serta satuan batuan sedimen yang lebih tua. Bahan vulkanik lepas seperti abu, pasir vulkanik, dan lapili yang menutupi sebagian besar wilayah bagian selatan memiliki tingkat konsolidasi rendah dan sifat mekanik yang memungkinkan terjadinya amplifikasi gelombang seismik. Material lepas tersebut cenderung memperkuat percepatan tanah ketika gelombang gempa merambat melaluinya, sehingga menghasilkan nilai PGA yang lebih tinggi dibandingkan wilayah yang tersusun atas batuan yang lebih kuat dan terkonsolidasi. Sebaliknya, bagian utara Prambanan yang didominasi oleh batuan sedimen lebih kompak menunjukkan nilai PGA yang lebih rendah, yang tercermin dari gradasi warna biru hingga hijau pada peta. Perbedaan karakteristik litologi ini menjadi salah satu faktor kunci yang menjelaskan variabilitas PGA di wilayah yang relatif berdekatan secara geografis.

Hubungan antara peta PGA dan kejadian gempa bumi tahun 2006 juga terlihat konsisten. Area dengan nilai PGA tinggi pada peta merupakan wilayah yang pada saat gempa 2006 mengalami tingkat kerusakan struktural yang paling berat, termasuk runtuhnya bangunan, retakan besar pada permukaan tanah, serta kerusakan infrastruktur transportasi dan fasilitas umum. Hal ini menunjukkan bahwa peta PGA tidak hanya berfungsi sebagai representasi

teoretis bahaya seismik, tetapi juga mencerminkan rekaman empiris dari pola kerusakan yang terjadi pada masa lalu. Dengan demikian, hasil pemetaan ini memberikan pemahaman komprehensif mengenai interaksi antara kondisi geologi, litologi, dan intensitas guncangan seismik, serta menunjukkan pentingnya integrasi ketiga aspek tersebut dalam penilaian risiko gempa. Peta PGA Kecamatan Prambanan menjadi dasar penting untuk mitigasi bencana, perencanaan tata ruang, evaluasi kerentanan bangunan, dan upaya mengurangi dampak gempa di masa depan dalam konteks wilayah rawan sesar aktif seperti Klaten dan sekitarnya.

## 5. KESIMPULAN DAN SARAN

Hasil penelitian memperlihatkan bahwa variasi PGA di Kecamatan Prambanan, Kabupaten Klaten dipengaruhi oleh kedekatan area terhadap Sesar Opak serta jenis litologi permukaan. Wilayah dengan endapan vulkanik lepas dan berada dekat zona patahan menunjukkan percepatan tanah yang lebih besar, mencapai sekitar 31,7 gal. Pola distribusi PGA yang dihasilkan juga sejalan dengan sebaran kerusakan pada peristiwa gempa Yogyakarta 2006, menegaskan bahwa kondisi geologi lokal berperan signifikan dalam memperkuat guncangan. Dengan demikian, peta PGA ini dapat dimanfaatkan sebagai dasar mitigasi bencana, penyusunan rencana tata ruang berbasis risiko, serta peningkatan standar konstruksi di kawasan rentan seperti Prambanan.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis memberikan penghargaan kepada United States Geological Survey (USGS) atas ketersediaan data gempa bumi yang sangat komprehensif, mencakup lokasi, kedalaman sumber, dan magnitudo. Informasi yang akurat dan terpercaya tersebut menjadi bagian krusial yang memungkinkan penelitian ini dapat dirancang, dianalisis, dan diselesaikan dengan baik.

## DAFTAR REFERENSI

- Abidin, H. Z., Andreas, H., Kato, T., Ito, T., Meilano, I., Kimata, F., Natawidjaya, D. H., & Harjono, H. (2009). Crustal Deformation Studies In Java (Indonesia) Using GPS. *Journal of Earthquake and Tsunami*, 3(2), 77–88. <https://doi.org/10.1142/S1793431109000445>
- Bidin, H. A. Z. A., Ndreas, H. A., Eilano, I. M., Amal, M. G., & Umilar, I. G. (2009). Deformasi Koseismik dan Pascaseismik Gempa Yogyakarta 2006 dari Hasil Survei GPS. *Jurnal Geologi Indonesia*, 4, 275–284. <https://doi.org/10.17014/ijog.v4i4.87>
- Chasanah, U., Handoyo, E., Rahmawati, N. N., & Musfiana, M. (2022). *Mapping Risk Level Based on Peak Ground Acceleration and Earthquake Intensity Using Multi-event Earthquake Data in Malang Regency , East Java , Indonesia*. 14(1), 64–72.

- Gandini, D. R. A., Setiawan, Y. A., Madrinovella, I., Abdullah, A., Pranata, B., Suhardja, S. K., & Aisy, S. R. (2022). Hasil Awal Analisis Peak Ground Acceleration di Bali. *Jurnal Geofisika*, 20(02), 71–75. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.36435/jgf.v20i2.535>
- Irwansyah, E., Winarko, E., Rasjid, Z. E., & Bkti, R. D. (2013). Earthquake hazard zonation using peak ground acceleration (PGA) approach. *Journal of Physics: Conference Series*, 423(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/423/1/012067>
- Librian, V., Ramdhan, M., Dian, A., & Maruf, M. (2024). Detailed seismic structure beneath the earthquake zone of Yogyakarta 2006 (  $M_w \sim 6.4$  ), Indonesia , from local earthquake tomography. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 351(October 2023), 107170. <https://doi.org/10.1016/j.pepi.2024.107170>
- Meitawati, P. M., Mulyatno, B. S., Setiadi, A., Geofisika, T., Teknik, F., Lampung, U., Geofisika, J. T., & Unila, F. T. (2018). PERBANDINGAN NILAI PERCEPATAN TANAH MAKSIMUM BERDASARKAN MODIFIKASI KONSTANTA ATENUASI DAN DATA ACCELEROGRAPH TAHUN 2008-2016 PADA STASIUN BMKG LAMPUNG. *Jurnal Geofisika Eksplorasi*, 4, 201–215. <https://doi.org/10.23960/jge.v4i2.1>
- Muhaimin, M., Tjahjono, B., & Darmawan, D. (2016). Analisis Risiko Gempabumi Di Cilacap Provinsi Jawa Tengah. *Jurnal Ilmu Tanah Dan Lingkungan*, 18(1), 28. <https://doi.org/10.29244/jitl.18.1.28-34>
- Nugraheni, A. S. (2025). Nilai Peak Ground Acceleration Pada Kecamatan Berbah, Kabupaten Sleman. *Jurnal Ilmiah Teknik Dan Sains*, 3(2), 242–247. <https://doi.org/https://doi.org/10.62278/jits.v3i2.81>
- Nugraheni, A. S., Budi, N., & Yudianto, D. (2023). Modeling Of Liquefaction Potential Zone Using The Global Geospatial Model ( Case Study : Special Region of Yogyakarta and Klaten Regency ). *Jurnal Geofisika*, 21(01), 1–9. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.36435/jgf.v21i1.529>
- Nugraheni, A. S., Setianto, A., & Setiawan, H. (2024). *Comparison of Vs 30 Value from Microtremor Data Based on SPT Drill Test of Young Merapi Deposits in Opak River , Yogyakarta*. 5(2), 101–110. <https://doi.org/https://doi.org/10.23960/jgrs.ft.unila.304>
- Nurhidayatullah, E. K. A. F., & Kurniati, D. W. I. (2020). PEMETAAN SPECTRAL ACCELERATION DAERAH YOGYAKARTA DENGAN PENDEKATAN PROBABILISTIC SEISMIC HAZARD ANALYSIS. *JURNAL REKAYASA SIPIL (JRS-UNAND)*, 16(3), 217–229. <https://doi.org/https://doi.org/10.25077/jrs.16.3.217-229.2020>
- PusGeN. (2017). Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia Tahun 2017. In *Pusat Litbang Perumahan dan Pemukiman, Badan Penelitian dan Pengembangan Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (PUPR), Jakarta*.
- R, S. R., & Madrinovella, I. (2024). SPATIAL AND TEMPORAL B-VALUE ANALYSIS OF THE YOGYAKARTA REGION USING EARTHQUAKE DATA PADA WILAYAH YOGYAKARTA MENGGUNAKAN DATA. *Jurnal Geofisika Eksplorasi*, 10(03), 191–203. <https://doi.org/https://doi.org/10.23960/jge.v9i2.468> **SPATIAL**
- Rahardjo, W., Sukandarrumidi, & Rosidi, H. M. . (1995). *Peta Geologi Lembar Yogyakarta, Jawa*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.



- Santoso. (2009). *Morfologi dan umur perpindahan alur sungai opak di daerah berbah sleman*. 19(4), 239–249.
- Suhada, A. S., Kardoso, R., Zuhdi, M., Fisika, P. S., Mataram, U., Studi, P., Fisika, P., & Mataram, U. (2023). Penghitungan Peak Ground Acceleration ( PGA ) di Desa Kuta Menggunakan Persamaan Empiris pada Gempabumi 19 Agustus 1977 (Mw=8.3). *Jurnal Penelitian Dan Pembelajaran Fisika Indonesia Original*, 5, 20–24. <https://doi.org/10.29303/jppfi.v5i1.221>
- Supriyadi, Hikmah, A. N., Ardenti, E., & Khumaedi. (2024). Analysis of Peak Ground Acceleration ( PGA ) and earthquake disaster risk in the Central Java Region based on earthquake data 1980-2022 Analysis of Peak Ground Acceleration ( PGA ) and earthquake disaster risk in the Central Java Region based on earthquak. *Journal of Physics: Conference Series PAPER*. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2900/1/012025>
- Ulfiana, E., Rummy, S. A., Pratama, R., & Ariyanto, P. (2018). Analisis Pendekatan Empiris PGA (Peak Ground Acceleration) Pulau Bali Menggunakan Metode Donovan, Mc. Guirre, Dan M.V. Mickey. *Jurnal Ilmu Dan Inovasi Fisika*, 2(2), 155–161. <https://doi.org/10.24198/jiif.v2i2.19730>