



## Nilai *Peak Ground Acceleration* Pada Kecamatan Berbah, Kabupaten Sleman

(*Peak Ground Acceleration Values in Berbah Subdistrict, Sleman Regency*)

**Adelia Saras Nugraheni<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Program Studi Teknik Geologi, Jurusan Teknik Pertambangan dan Geologi, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya, Indonesia

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

**Penulis Korespondensi:** Adelia Saras Nugraheni | **Email:** [adeliasn@unsri.ac.id](mailto:adeliasn@unsri.ac.id)

Diterima (*Received*): 24/11/2025 | Direvisi (*Revised*): 01/12/2025 | Diterima untuk Publikasi (*Accepted*): 02/12/2025

### ABSTRAK

Daerah Istimewa Yogyakarta merupakan salah satu wilayah dengan aktivitas seismik tinggi akibat keberadaannya pada zona pertemuan lempeng tektonik. Kecamatan Berbah, yang dilalui oleh Sesar Opak sebagai struktur aktif utama, memiliki tingkat kerawanan gempabumi yang signifikan. Untuk memahami potensi bahaya seismik di wilayah tersebut, penelitian ini mengestimasi nilai percepatan tanah maksimum (*Peak Ground Acceleration*/PGA) pada batuan dasar dan permukaan menggunakan rumus atenuasi McGuire (1977), yang sesuai untuk zona subduksi dan wilayah dengan dominasi gempa dangkal hingga menengah. Estimasi dilakukan menggunakan 110 titik pengamatan dengan jarak antar titik  $\pm 900$  meter, berdasarkan parameter gempabumi Yogyakarta tahun 2006 bermagnitudo 6,3 Mw. Hasil pemodelan menunjukkan nilai PGA berkisar antara 32,3 hingga 37,4 gal dengan pola gradasi yang meningkat dari utara ke selatan. Bagian selatan Berbah memiliki nilai PGA tertinggi akibat kedekatannya dengan Sesar Opak serta keberadaan sedimen permukaan yang lebih lepas sehingga memperkuat amplifikasi gelombang seismik. Sementara itu, bagian utara menunjukkan nilai PGA lebih rendah karena didominasi litologi vulkanik muda Merapi yang lebih kompak. Temuan ini menegaskan pentingnya kajian geologi lokal dalam pemetaan bahaya seismik serta perlunya prioritas mitigasi pada wilayah selatan Kecamatan Berbah.

**Kata Kunci:** Peak Ground Acceleration, Seismisitas, Sesar Opak

### ABSTRACT

*Berbah Subdistrict, located in Sleman Regency, is particularly vulnerable because it is traversed by the active Opak Fault, which has been associated with several destructive earthquakes, including the 2006 Yogyakarta event. Understanding spatial variations in seismic ground motion is therefore essential for accurate seismic hazard assessment and for supporting earthquake-resilient planning in the region. This study aims to estimate Peak Ground Acceleration (PGA) at both bedrock and ground surface levels in Berbah by applying the McGuire (1977) attenuation relationship, which is widely used for subduction-related and shallow-to-intermediate seismic sources. A total of 110 observation points, spaced approximately 900 meters apart, were analyzed using the seismic parameters of the 2006 Yogyakarta earthquake (Mw 6.3). The resulting PGA values range from 32.3 to 37.4 gal, displaying a distinct spatial gradient from north to south. Lower PGA values are found in the northern part of Berbah, where young Merapi volcanic deposits exhibit higher compaction and better seismic stability. In contrast, the southern region shows significantly higher PGA values, influenced by its proximity to the Opak Fault and the presence of unconsolidated alluvial and volcanic sediments that enhance seismic wave amplification. These spatial variations highlight the dominant role of local geological conditions in controlling ground-motion intensity. The findings emphasize the importance of integrating geological constraints into seismic hazard mapping and indicate that southern Berbah should be prioritized for mitigation strategies, land-use regulation, and earthquake-resistant infrastructure development.*

**Keywords:** Opak Fault, Peak Ground Acceleration, Seismic Hazard

## 1. Pendahuluan

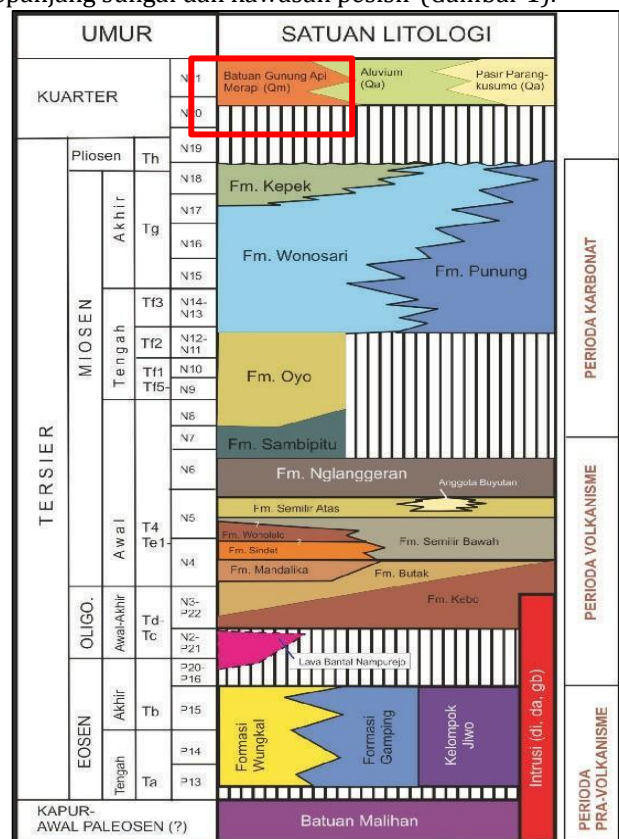
Gempa bumi adalah peristiwa alam yang tidak bisa dicegah dan sukar diperkirakan waktunya, namun langkah-langkah mitigasi tetap perlu dilaksanakan (Harun et al., 2024). Gempa bumi merupakan getaran pada permukaan bumi akibat pelepasan energi dari batuan yang mengalami akumulasi regangan hingga melewati batas elastisnya. Sebagian besar gempa terjadi karena pelepasan energi dari pergerakan dan tumbukan lempeng tektonik. Ketika tegangan pada batuan terus meningkat hingga tidak lagi dapat ditahan, terjadilah gempa tektonik. Indonesia berada pada pertemuan empat lempeng besar-Eurasia, Pasifik, India-Australia, dan mikro-Filipina-sehingga wilayah ini sangat rentan terhadap kejadian gempabumi tektonik (Kumala & Wahyudi, 2016). Sebagian besar dampak bencana gempabumi sebenarnya muncul akibat kerusakan pada bangunan maupun infrastruktur nonbangunan. Selain itu, gempabumi dapat memicu bencana lanjutan seperti kebakaran, kecelakaan industri, serta gangguan pada sistem transportasi (Muhaimin et al., 2016).

Daerah Istimewa Yogyakarta (DIY) merupakan wilayah dengan aktivitas seismik yang relatif tinggi dan telah mengalami berbagai peristiwa gempabumi merusak. Upaya mitigasi terus dilakukan, salah satunya melalui penyusunan serta pembaruan peta gempa secara berkala. Indonesia sendiri telah menjadikan parameter kegempaan sebagai dasar perencanaan infrastruktur sejak 1983 hingga pemutakhiran terakhir pada Peta Gempa Nasional 2017. Namun demikian, peristiwa gempabumi berkekuatan 6,3 SR pada Mei 2006 masih menunjukkan kerentanan bangunan terutama bangunan yang mengalami kerusakan signifikan (Nurhidayatullah & Kurniati, 2020). Gempa tersebut mengguncang wilayah Bantul, Yogyakarta, Sleman, dan Klaten selama kurang lebih 60 detik, disertai sekitar 750 gempa susulan (Bidin et al., 2009).

Sungai Opak di Yogyakarta kembali dikenal luas setelah gempa tektonik yang terjadi pada 27 Mei 2006. Para ahli geologi telah lama mengidentifikasi adanya Sesar Opak, yaitu sesar mendatar berarah barat daya-timur laut yang membentang dari muara Sungai Opak sampai Prambanan. Pasca gempa tersebut, banyak pakar menyimpulkan bahwa pergerakan Sesar Opak dengan pusat gempa berada di dekat muara sungai menjadi penyebab utamanya. Informasi mengenai Sesar Opak sebagai sesar mendatar mengiri juga tercantum dalam Peta Geologi Lembar Yogyakarta oleh Rahardjo dkk. (1995) (Santoso, 2009). Nilai Vs30 pada endapan Merapi Muda (Qmi) berada pada kisaran 183 hingga 301 m/s. Lapisan pada daerah tersebut terdiri dari pasir, lanau-lempung, dengan breksi sebagai batuan dasar (bedrock) (Nugraheni et al., 2024). Endapan vulkanik Merapi Muda cenderung merespons gelombang seismik dengan lebih lambat. Sifat ini muncul karena gelombang gempa bergerak melalui material yang lebih lunak, sehingga proses penyerapan energi berlangsung

lebih lambat dan pengurangannya (atenuasi) juga terjadi secara lebih gradual. Medium yang lembut memiliki karakteristik frekuensi rendah dan panjang gelombang yang panjang, yang mengakibatkan energi getaran terdispersi dengan lebih lambat serta menghasilkan tingkat amplifikasi yang relatif kecil namun dengan atenuasi yang lebih lambat (Nugraheni et al., 2023).

Menurut (Rahardjo et al., 1995) menyatakan bahwa urutan batuan di wilayah penelitian dimulai dari Formasi Semilir, yang terdiri atas breksi dan berbagai jenis tuf sebagai satuan batuan tertua. Formasi ini kemudian ditindih oleh Formasi Nglanggran berumur Miosen Bawah yang tersusun atas breksi gunung api, aglomerat, lava, dan tuf. Di atasnya terdapat Formasi Sambipitu dari Miosen Tengah yang berisi tuf, serpih, batulanau, batupasir, serta konglomerat. Selanjutnya muncul Formasi Kepek dari Pliosen, disertai Formasi Wonosari dan Formasi Sentolo (Miosen Atas-Pliosen) yang didominasi batugamping dan batupasir. Hampir seluruh dataran Yogyakarta-Bantul kemudian tertutupi endapan Kuartar Merapi muda berupa abu, tuf, breksi, aglomerat, dan lava, sementara aluvium muda-pasir, kerikil, lanau, dan lempung-mendominasi sepanjang sungai dan kawasan pesisir (Gambar 1).



Gambar 1 Litostratigrafi Daerah Istimewa Yogyakarta (Surono, 2009)

Morfologi bekas alur Sungai Opak Purba I menampakkan bentuk lembah memanjang yang relatif landai dengan ketinggian berkisar 109–111 m. Seiring meningkatnya jumlah penduduk serta kebutuhan ruang, kawasan ini telah beralih fungsi menjadi lahan pertanian. Pada bagian hulu, sisi kanan lembah dibatasi oleh tebing terjal setinggi sekitar 10 m dengan lebar lembah 250–300 m, sementara sisi kiri dibatasi gawir setinggi kurang lebih 3 m. Tebing di bagian kanan tertutup vegetasi berupa pohon-pohon keras, rumpun bambu, dan semak belukar, sedangkan gawir di sisi kiri didominasi oleh semak dan tanaman pisang. Material pengisi lembah terdiri atas endapan fluvial berupa bongkah, kerakal, kerikil, dan pasir kasar, yang kini dimanfaatkan masyarakat sebagai sumber bahan bangunan (Santoso, 2009).

Besarnya dampak fisik dari suatu gempa bumi dipengaruhi oleh nilai percepatan tanah maksimum (*Peak Ground Acceleration/PGA*) di area terdampak. PGA menggambarkan percepatan getaran tanah tertinggi yang terjadi di suatu titik, dihitung berdasarkan kumpulan data gempa bumi dalam kurun waktu tertentu dan berbagai parameter seismisitas yang terkait (Ashadi & Kaka, 2019; Chasanah et al., 2022). Tahap interseismik merupakan fase awal dalam siklus terjadinya gempa bumi, ketika energi dari dalam bumi menggerakkan lempeng dan mulai tersimpan pada zona-zona yang rentan seperti batas antarlempeng dan sesar. Menjelang terjadinya gempa utama, berlangsung fase praseismik, sedangkan saat gempa utama terjadi disebut fase koseismik. Deformasi koseismik adalah perubahan bentuk kerak bumi yang dipicu oleh gempa utama dan gempa susulan yang signifikan. Deformasi ini dapat berupa pergeseran horizontal maupun vertikal dengan cakupan yang sebanding dengan magnitudo gempa. Setelah itu, sisa energi gempa dilepaskan secara bertahap dalam jangka waktu panjang hingga sistem mencapai kondisi kesetimbangan baru (Bidin et al., 2009).

Nilai guncangan maksimum tanah atau *Peak Ground Acceleration* (PGA) dipengaruhi oleh sumber gempa, jalur penalaran gelombang, dan kondisi geologi lokal. Perbedaan karakter geologi menyebabkan variasi nilai PGA antarwilayah. PGA umumnya diperoleh dari rekaman akselerograf, namun sebaran alat ini masih terbatas di Indonesia. Karena itu, diperlukan pendekatan empiris untuk mengestimasi PGA di daerah yang tidak memiliki data rekaman langsung (Ulfiana et al., 2018). Percepatan tanah puncak (*Peak Ground Acceleration/PGA*) merupakan parameter yang menggambarkan besarnya percepatan tanah pada batuan dasar, sedangkan percepatan permukaan puncak (PGAm) merepresentasikan nilai percepatan yang terukur di permukaan tanah. Kedua parameter ini krusial dalam menilai potensi tingkat kerusakan akibat suatu peristiwa seismik (Raharjo & Ahadi, 2024).

Percepatan tanah maksimum dalam penelitian ini dihitung menggunakan persamaan empiris McGuire (1977) dengan studi kasus gempa bumi Yogyakarta tahun 2006. Parameter gempa tahun 2006 tersebut diambil dari katalog gempa merusak dan signifikan. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa nilai percepatan tanah (PGA) berada pada kisaran 56–88 gal. Berdasarkan peta distribusi PGA (Gambar 4), wilayah Kecamatan Kretek, Pundong, Sanden, Pandak, dan Bambanglipuro memiliki percepatan tanah lebih dari 80 gal. Adapun Kecamatan Bantul, Pleret, Jetis, Sewon, dan Pajangan menunjukkan nilai PGA antara 70–80 gal. Kawasan dengan PGA di bawah 70 gal terletak di Kecamatan Sedayu, Kasihan, dan Banguntapan. Daerah-daerah yang berlokasi lebih dekat terhadap sumber gempa umumnya menunjukkan nilai PGA lebih tinggi, khususnya pada wilayah yang tersusun oleh endapan sedimen kuartar. Kondisi tersebut meningkatkan potensi terjadinya likuifaksi. Dalam konteks ini, wilayah di sekitar Kecamatan Berbah yang memiliki karakter litologi endapan Merapi Muda serupa-juga termasuk zona yang berpotensi mengalami amplifikasi guncangan yang signifikan apabila terjadi gempa, sehingga aspek kerentanan tanah menjadi faktor penting untuk diperhatikan dalam analisis seismik kawasan tersebut (Wibowo, 2019).

Sedimen Merapi Muda (Qmi) memiliki karakteristik geologi yang menyebabkan nilai Percepatan Tanah Puncak (PGA) yang tercatat di wilayah tersebut cenderung lebih tinggi dibandingkan dengan nilai PGA pada area yang didominasi oleh litologi batuan keras. Kondisi ini menunjukkan bahwa lapisan sedimen muda tersebut mampu memperkuat getaran seismik secara lebih signifikan. Hal ini dapat diamati, misalnya, pada perbandingan nilai PGA di sekitar lokasi episenter gempa Yogyakarta, di mana daerah dengan batuan keras tidak memperlihatkan penguatan getaran sebesar yang terjadi pada sedimen Merapi Muda (Pawirodikromo, 2020).

Penelitian ini bertujuan untuk mengestimasi nilai PGA pada batuan dasar serta PGA (gal) di permukaan untuk kejadian gempa di Kecamatan Berbah, Kabupaten Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta.

## 2. Data dan Metodologi

### 2.1. Data dan Lokasi

Dalam penelitian ini, penentuan nilai *Peak Ground Acceleration* (PGA) dilakukan dengan memanfaatkan berbagai parameter seismik, terutama nilai magnitudo gempa, jarak terhadap hiposenter, serta jarak terhadap episenter dari setiap titik pengamatan. Data magnitudo yang digunakan merujuk pada peristiwa gempa Yogyakarta tahun 2006, yang tercatat oleh USGS dengan kekuatan 6.3 Mw. Gempa tersebut berlokasi pada koordinat 7.961° LS dan 110.446° BT dengan kedalaman sumber sekitar 12.5 km. Untuk memperoleh gambaran spasial yang lebih detail,

penelitian ini menggunakan total 110 titik data, dengan jarak antar titik pengamatan berkisar  $\pm 900$  meter.

Area penelitian berlokasi di Kecamatan Berbah, Kabupaten Sleman, yang mencakup empat desa: Jogotirto, Kalitirto, Sendangtirto, dan Tegaltirto. Wilayah ini memiliki karakteristik geologi dan geomorfologi yang cukup variatif, sehingga penting untuk dianalisis dalam konteks respon tanah terhadap guncangan gempa. Selain itu, kawasan tersebut dilalui oleh Sungai Opak yang membentang di tengah Kecamatan Berbah, mengalir dari arah Timur Laut ke arah Selatan. Keberadaan Sungai Opak sebagai elemen geomorfik utama berpotensi memengaruhi kondisi litologi setempat, terutama di sekitar dataran aluvial sungai, yang pada gilirannya dapat berpengaruh terhadap nilai percepatan tanah maksimum (PGA) di wilayah tersebut. Dengan mempertimbangkan keseluruhan parameter tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan estimasi PGA yang lebih representatif bagi kawasan Berbah dan sekitarnya.

## 2.2. Metodologi

Percepatan tanah maksimum (*Peak Ground Acceleration*/PGA) adalah parameter gerakan tanah yang digunakan untuk menilai tingkat kerusakan permukaan akibat guncangan gempa bumi (Gustian, 2009) dalam (Suhada et al., 2023). Metode McGuire digunakan untuk menghitung PGA karena rumus ini dirancang bagi zona subduksi serta wilayah dengan gempa dangkal hingga menengah. Pada metode ini, PGA merupakan percepatan tanah maksimum (dalam gal), M adalah magnitudo (Ms), dan R adalah jarak hiposenter ke titik observasi (km) (Gandini et al., 2022) pada persamaan (1).

*Peak Ground Acceleration* dalam penelitian ini menggunakan perumusan dari McGuire tahun 1977 karena Kecamatan Berbah merupakan zona subduksi serta wilayah dengan frekuensi gempa dangkal hingga menengah. Salah satunya adalah rumus empiris atenuasi McGuire (1977), sebagaimana ditunjukkan pada persamaan 1 berikut:

$$PGA(gal) = \frac{472 \cdot 10^{0.278M}}{(R+25)^{1.301}} \quad (1)$$

Keterangan :

M = Magnitude gempa (Mw)

R = Jarak hiposenter (km) (Gandini et al., 2022).

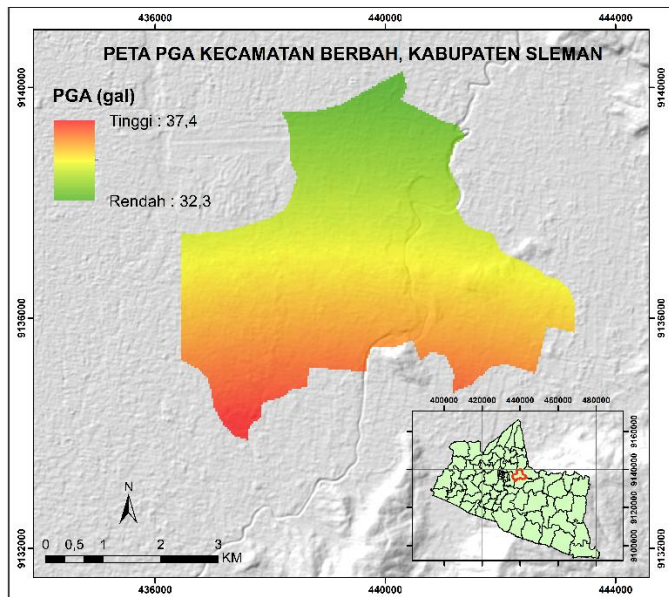
## 3. Hasil dan Pembahasan

Sebaran nilai percepatan tanah maksimum (PGA) di Kecamatan Berbah menunjukkan rentang antara 32,3 hingga 37,4 gal dengan pola distribusi yang jelas memperlihatkan adanya gradasi intensitas guncangan dari utara ke Selatan (Gambar 2). Bagian utara dan timur kecamatan didominasi nilai PGA lebih rendah yang tampak pada warna hijau hingga kuning, sedangkan intensitas

guncangan meningkat menuju bagian selatan dan barat daya yang ditampilkan dengan warna oranye hingga merah. Pola sebaran ini mengindikasikan bahwa respons tanah terhadap gelombang seismik memiliki variasi signifikan dalam skala lokal, yang dipengaruhi oleh kondisi geologi di wilayah tersebut. Dengan demikian, tingkat bahaya gempabumi tidak seragam di seluruh Kecamatan Berbah dan cenderung lebih tinggi pada wilayah yang berada lebih dekat dengan struktur tektonik dan sedimen yang kurang kompak.

Variasi nilai PGA di Kecamatan Berbah sangat dipengaruhi oleh kondisi geologi permukaan dan kedalaman yang membentuk karakteristik tanah setempat. Wilayah ini berada pada transisi antara dataran vulkanik hasil endapan Gunung Merapi di bagian utara dan zona struktur aktif Sesar Opak di bagian selatan. Kedekatan wilayah selatan terhadap Sesar Opak menjadikan bagian tersebut menunjukkan nilai PGA yang lebih tinggi karena struktur sesar aktif berperan dalam memperkuat amplitudo gelombang seismik. Selain itu, sedimen aluvial dan endapan vulkanik lepas di area ini cenderung memiliki sifat amplifikasi yang lebih besar sehingga meningkatkan percepatan tanah saat terjadi gempabumi. Sebaliknya, wilayah utara memiliki litologi yang lebih kompak berupa endapan vulkanik muda Merapi yang memberikan respon seismik lebih stabil dan menghasilkan nilai PGA lebih rendah. Hubungan antara variasi litologi, gradasi material sedimen, dan pengaruh tektonik ini menunjukkan bahwa kondisi geologi lokal merupakan faktor utama yang mengontrol perbedaan intensitas guncangan pada wilayah penelitian.

Distribusi nilai PGA di Kecamatan Berbah menggambarkan tingkat bahaya gempabumi yang berbeda pada setiap bagian wilayahnya. Nilai PGA yang tinggi di bagian selatan mengindikasikan potensi guncangan kuat akibat kedekatannya dengan Sesar Opak, yang telah tercatat sebagai sumber gempa besar seperti peristiwa gempabumi Yogyakarta tahun 2006. Sedimen permukaan yang relatif longgar ikut memperkuat efek amplifikasi gelombang sehingga meningkatkan kerentanan terhadap kerusakan struktural. Sebaliknya, nilai PGA yang lebih rendah di bagian utara menunjukkan bahwa wilayah tersebut memiliki bahaya seismik yang relatif lebih kecil, meskipun tetap berada dalam kawasan aktif tektonik sehingga risiko gempa tetap ada. Secara keseluruhan, pola sebaran PGA ini memberikan gambaran bahwa Kecamatan Berbah memiliki tingkat bahaya gempabumi yang bervariasi, dengan zona selatan sebagai area prioritas mitigasi dan perencanaan pembangunan tahan gempa, terutama untuk infrastruktur vital dan pemukiman padat penduduk.



Gambar 2 Peta Peak Ground Acceleration di Kecamatan Berbah, Kabupaten Sleman

#### 4. Kesimpulan

Penelitian ini menunjukkan bahwa variasi nilai *Peak Ground Acceleration* (PGA) di Kecamatan Berbah sangat dipengaruhi oleh kondisi geologi lokal, posisi terhadap Sesar Opak, serta karakteristik batuan permukaan. Estimasi menggunakan metode McGuire (1977) menghasilkan nilai PGA berkisar antara 32,3–37,4 gal, dengan pola peningkatan intensitas dari wilayah utara menuju selatan. Wilayah selatan Kecamatan Berbah memiliki nilai PGA tertinggi karena berada dekat dengan Sesar Opak, yang merupakan sumber utama gempa tektonik di Yogyakarta, sekaligus memiliki sedimen permukaan yang bersifat lepas dan memperbesar amplifikasi gelombang seismik. Sebaliknya, bagian utara menunjukkan nilai PGA lebih rendah yang dipengaruhi oleh litologi vulkanik muda Merapi yang lebih kompak dan memberikan respon seismik lebih stabil. Hasil penelitian ini menegaskan bahwa tingkat bahaya seismik di Kecamatan Berbah tidak merata, dan area selatan perlu menjadi prioritas dalam perencanaan tata ruang, pembangunan infrastruktur, serta strategi mitigasi risiko gempabumi. Informasi PGA yang dihasilkan dapat menjadi dasar penting untuk evaluasi kerentanan kawasan dan pengembangan kebijakan mitigasi bencana di wilayah Berbah dan sekitarnya.

#### 5. Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada *United States Geological Survey* (USGS) yang telah menyediakan data gempa bumi, termasuk informasi lokasi dan besaran

magnitudo, sehingga penelitian ini dapat dilaksanakan dengan baik.

#### 6. Referensi

- 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/10.36435/jgf.v20i2.535>
- Harun, M., Enggar, A., Jaya, A., & Dwi, Y. (2024). Analysis of Peak Ground Acceleration (PGA) and Modified Mercalli Intensity (MMI) Scale using PSHA Method in Lampung Province. *Inersia - Jurnal Teknik Sipil Dan Arsitektur*, 20(2). <https://doi.org/10.21831/inersia.v20i2.73063>
- Kumala, S. A., & Wahyudi. (2016). Analisis Nilai PGA (Peak Ground Acceleration) Untuk Seluruh Wilayah Kabupaten Dan Kota Di Jawa Timur. *Inersia - Jurnal Teknik Sipil Dan Arsitektur*, 12(1), 37–43. <https://doi.org/10.21831/inersia.v12i1.10348>
- 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., 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/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.
- 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/10.25077/jrs.16.3.217-229.2020>
- Pawirodikromo, W. (2020). Middle Value Ground Acceleration Map and Site Effect in The Merapi Sedimentary Basin under The 2006 Yogyakarta, Indonesia earthquake. *Natural Hazards*, 102(1), 419–

443. <https://doi.org/10.1007/s11069-020-03932-x>  
Rahardjo, W., Sukandarrumidi, & Rosidi, H. M. . (1995). *Peta Geologi Lembar Yogyakarta, Jawa*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.
- Raharjo, F. D., & Ahadi, S. (2024). ESTIMATION MODEL PEAK GROUND ACCELERATION AT BEDROCK AND SURFACE OF THE PASAMAN BARAT EARTHQUAKE ON. *Indonesian Journal of Applied Physics (IJAP)*, 14(1), 34–44. <https://doi.org/10.13057/ijap.v14i1.72221>
- 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>
- Surono. (2009). Litostratigrafi Pegunungan Selatan Bagian Timur Daerah Istimewa Yogyakarta dan Jawa Tengah. *J.S.D.Geologi*, 19(3), 31–43.
- 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>
- Wibowo, N. B. (2019). Analisis Global Geospasial Model (GGM) Untuk Identifikasi Potensi Likuifaksi Di Kabupaten Bantul, D.I.Yogyakarta. *Buletin Meteorologi Daan Geofisika*, 9.