

Analisis Peak Ground Acceleration (PGA) Kabupaten Bantul Menggunakan Metode McGuire dan Esteva (Studi Kasus Gempa Bumi Bantul 30 Juni 2023)

Analysis of Peak Ground Acceleration (PGA) in Bantul Regency Using McGuire and Esteva Methods (Case Study of the Bantul Earthquake 30 June 2023)

Muammar Haidar Hakim^{1*}, Budi Legowo¹, Wuri Handayani²

¹ Fisika, Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sebelas Maret, Jl. Ir. Sutami 36 Kentingan, Jebres, Surakarta, 57126

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

INFO ARTIKEL

Naskah masuk : 2 Januari 2025

Naskah diperbaiki : 4 Juli 2025

Naskah diterima : 10 Juli 2025

Kata kunci:

PGA

gempa bumi

Bantul

McGuire

Esteva

Keywords:

PGA

earthquake

Bantul

McGuire

Esteva

ABSTRAK

Gempa bumi yang terjadi pada 30 Juni 2023 dengan pusat gempa di laut barat daya Kabupaten Bantul merupakan salah satu peristiwa gempa bumi yang menimbulkan dampak kerusakan di wilayah Daerah Istimewa Yogyakarta. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis distribusi nilai Peak Ground Acceleration (PGA) serta menentukan metode persamaan empiris yang paling sesuai untuk wilayah Kabupaten Bantul. Perhitungan PGA dilakukan menggunakan metode empiris McGuire dan Esteva, dengan data gempa bumi yang diperoleh dari Shakemap Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG). Hasil analisis disajikan dalam bentuk peta distribusi PGA dan diagram batang untuk setiap kecamatan di Kabupaten Bantul. Nilai PGA digunakan sebagai indikator tingkat kuat guncangan tanah yang berkaitan dengan potensi kerusakan bangunan akibat gempa bumi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode McGuire menghasilkan nilai PGA yang lebih representatif dengan rentang intensitas Modified Mercalli Intensity (MMI) antara III–V, sedangkan metode Esteva menghasilkan rentang MMI antara III–IV. Kecamatan Sanden menunjukkan nilai PGA tertinggi pada kedua metode. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi awal dalam kajian bahaya gempa bumi dan upaya mitigasi bencana di Kabupaten Bantul.

ABSTRACT

The earthquake that occurred on 30 June 2023, with its epicenter located in the southwest offshore area of Bantul Regency, was one of the damaging seismic events in the Special Region of Yogyakarta. This study aims to analyze the distribution of Peak Ground Acceleration (PGA) values and to determine the most suitable empirical equation for estimating PGA in Bantul Regency. PGA values were calculated using the McGuire and Esteva empirical methods, while earthquake data were obtained from Shakemap products released by the Meteorology, Climatology, and Geophysics Agency (BMKG). The results are presented in the form of PGA distribution maps and bar charts for each district in Bantul Regency. PGA is used as an indicator of ground shaking intensity associated with potential building damage caused by earthquakes. The results indicate that the McGuire method produces more representative PGA values, corresponding to Modified Mercalli Intensity (MMI) levels ranging from III to V, whereas the Esteva method yields MMI levels ranging from III to IV. Sanden District shows the highest PGA values for both methods. These findings are expected to provide a preliminary reference for seismic hazard assessment and earthquake mitigation efforts in Bantul Regency.

© 2025 Jurnal Stasiun Geofisika Sleman

1. Pendahuluan

Indonesia merupakan wilayah yang memiliki tingkat aktivitas seismik tinggi karena terletak pada pertemuan tiga lempeng tektonik utama, yaitu Lempeng Eurasia, Indo-Australia, dan Pasifik. Interaksi antar lempeng tersebut menyebabkan terjadinya deformasi kerak bumi yang memicu gempa bumi dengan frekuensi dan intensitas yang relatif tinggi. Selain berpotensi menimbulkan kerusakan struktural dan korban jiwa,

gempa bumi yang terjadi di wilayah laut juga dapat memicu bencana ikutan seperti tsunami yang berdampak luas terhadap kawasan pesisir [1].

Gempa bumi merupakan salah satu bencana alam yang paling merusak, terutama akibat runtuhnya bangunan dan infrastruktur yang tidak dirancang untuk menahan beban gempa. Oleh karena itu, upaya mitigasi bencana gempa bumi menjadi sangat penting, khususnya melalui pemahaman karakteristik guncangan tanah di suatu

wilayah. Salah satu parameter utama yang digunakan untuk merepresentasikan tingkat kuat guncangan gempa adalah Peak Ground Acceleration (PGA), yaitu percepatan maksimum gerakan tanah akibat gempa bumi [2]. Nilai PGA sangat dipengaruhi oleh magnitudo gempa, jarak sumber gempa terhadap lokasi pengamatan, serta kondisi geologi setempat.

PGA memiliki peranan penting dalam evaluasi kerentanan bangunan dan perencanaan struktur tahan gempa. Nilai percepatan tanah yang tinggi akan menghasilkan gaya inersia yang besar pada bangunan, sehingga meningkatkan potensi kerusakan struktural. Oleh karena itu, PGA menjadi parameter dasar dalam peraturan bangunan tahan gempa dan analisis bahaya seismik [3]. Selain itu, distribusi spasial nilai PGA dapat digunakan untuk menggambarkan variasi tingkat guncangan gempa di suatu wilayah serta dikorelasikan dengan skala intensitas gempa, seperti Modified Mercalli Intensity (MMI) [4].

Kabupaten Bantul merupakan salah satu wilayah di Daerah Istimewa Yogyakarta yang memiliki tingkat kerawanan gempa bumi cukup tinggi. Wilayah ini terletak di bagian selatan Pulau Jawa yang dipengaruhi oleh aktivitas subduksi Lempeng Indo-Australia di bawah Lempeng Eurasia. Selain itu, keberadaan endapan sedimen aluvial dan dataran pantai di sebagian wilayah Bantul berpotensi memperkuat efek guncangan tanah akibat fenomena amplifikasi lokal. Gempa bumi yang terjadi pada 30 Juni 2023, dengan pusat gempa berada di laut barat daya Kabupaten Bantul, dilaporkan menimbulkan kerusakan bangunan dan dirasakan oleh masyarakat di berbagai wilayah Yogyakarta, sehingga menjadi salah satu peristiwa gempa bumi yang perlu dikaji secara mendalam.

Perhitungan PGA dapat dilakukan menggunakan berbagai pendekatan, salah satunya melalui persamaan empiris yang menghubungkan magnitudo dan jarak gempa dengan percepatan tanah maksimum. Metode empiris yang umum digunakan antara lain persamaan McGuire dan Esteva, yang telah banyak diaplikasikan dalam studi bahaya seismik di berbagai wilayah [5][6]. Meskipun bersifat empiris, metode-metode tersebut masih relevan untuk analisis awal bahaya gempa, terutama di wilayah dengan keterbatasan data accelerograph.

Penelitian sebelumnya telah menganalisis korelasi nilai PGA di Kabupaten Bantul menggunakan metode McGuire, Esteva, dan Shakemap BMKG untuk kasus gempa 16 Januari 2022, dan menunjukkan adanya kesesuaian pola distribusi PGA antar metode tersebut [7]. Namun demikian, setiap kejadian gempa memiliki karakteristik sumber dan respons tanah yang berbeda, sehingga diperlukan kajian lanjutan untuk mengevaluasi konsistensi dan kesesuaian metode empiris pada peristiwa gempa yang berbeda.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis distribusi nilai Peak Ground Acceleration (PGA) di Kabupaten Bantul akibat gempa bumi 30 Juni 2023 menggunakan metode empiris McGuire dan Esteva. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan gambaran tingkat guncangan gempa di Kabupaten Bantul serta menjadi referensi dalam upaya mitigasi dan pengurangan risiko bencana gempa bumi di wilayah tersebut.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan membandingkan nilai *Peak Ground Acceleration* (PGA) yang dihitung menggunakan persamaan empiris McGuire dan Esteva pada studi kasus gempa bumi Bantul tanggal 30 Juni 2023. Lokasi penelitian mencakup wilayah Kabupaten Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta, yang secara geografis berada pada koordinat $7,75^{\circ}$ – $8,08^{\circ}$ Lintang Selatan dan $110,17^{\circ}$ – $110,59^{\circ}$ Bujur Timur.

Data utama yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari *Quality Control* (QC) bulanan BMKG periode Juni 2023, yang meliputi parameter waktu kejadian gempa, lintang, bujur, magnitudo, kedalaman, tipe gempa, serta keterangan wilayah terdampak. Selain itu, data Shakemap BMKG digunakan sebagai data pendukung untuk validasi tingkat guncangan. Data spasial berupa batas administrasi Kabupaten Bantul diperoleh dari peta rupa bumi Indonesia dalam format shapefile (shp).

Perhitungan nilai PGA dilakukan menggunakan dua persamaan empiris. Persamaan McGuire dinyatakan sebagai:

$$\alpha = \frac{473.3 \times 10^{0.278 Ms}}{(R + 25)^{1.301}} \quad (1)$$

dengan α adalah *Peak Ground Acceleration* (gal), Ms adalah magnitudo gelombang permukaan, dan R adalah jarak episenter terhadap lokasi pengamatan (km). Selanjutnya, perhitungan PGA juga dilakukan menggunakan persamaan Esteva, yang dinyatakan sebagai:

$$\alpha = 560 \times \frac{10^{0.5M}}{(R + 40)^2} \quad (2)$$

dengan α adalah *Peak Ground Acceleration* (gal), M adalah magnitudo gempa, dan R adalah jarak episenter terhadap lokasi pengamatan (km).

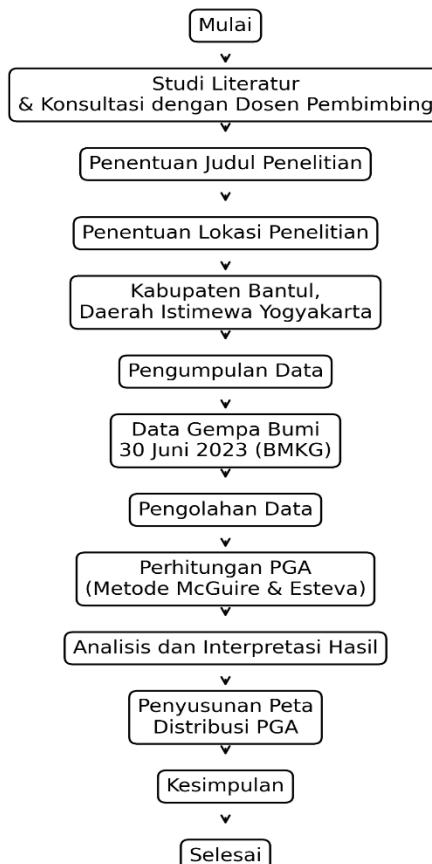
Nilai PGA yang diperoleh dari kedua metode selanjutnya diolah menggunakan Microsoft Excel dan divisualisasikan dalam bentuk peta sebaran menggunakan ArcGIS 10.3. Pemetaan ini bertujuan untuk menganalisis variasi spasial tingkat guncangan tanah di Kabupaten Bantul. Nilai PGA kemudian dikonversi ke dalam skala Modified Mercalli Intensity (MMI) untuk

menginterpretasikan tingkat kuat guncangan dan potensi dampak kerusakan bangunan akibat gempa bumi.

Perangkat yang digunakan dalam penelitian ini meliputi laptop, Microsoft Excel untuk pengolahan data numerik dan perhitungan PGA, serta ArcGIS untuk pemetaan dan analisis spasial distribusi PGA. Perhitungan nilai PGA dilakukan menggunakan persamaan empiris McGuire dan Esteva dengan mempertimbangkan parameter magnitudo dan jarak episenter terhadap masing-masing kecamatan di Kabupaten Bantul. Selanjutnya, nilai PGA yang diperoleh diklasifikasikan ke dalam skala Modified Mercalli

Intensity (MMI) untuk menginterpretasikan tingkat kuat guncangan dan potensi kerusakan bangunan.

Tahapan penelitian meliputi pengumpulan data gempa bumi, perhitungan PGA menggunakan kedua metode empiris, pengolahan dan visualisasi data dalam bentuk peta distribusi PGA dan diagram batang, serta analisis perbandingan hasil antar metode. Hasil penelitian ini diharapkan dapat mengidentifikasi wilayah di Kabupaten Bantul yang memiliki potensi risiko kerusakan paling tinggi akibat gempa bumi 30 Juni 2023. Alur metode penelitian secara ringkas disajikan dalam Gambar 1.



Gambar 1. Diagram alir metode penelitian.

3. Hasil Dan Pembahasan

Penelitian ini menggunakan data gempa bumi yang terjadi pada 30 Juni 2023 dengan pusat gempa berada di laut barat daya Kabupaten Bantul, pada koordinat $8,59^{\circ}$ LS dan $110,07^{\circ}$ BT, waktu kejadian 19:57:44 WIB, kedalaman 65 km, dan magnitudo Mw 6,4. Parameter kejadian gempa tersebut diperoleh dari data resmi Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG). Nilai Peak Ground Acceleration (PGA) dihitung menggunakan dua metode persamaan empiris, yaitu McGuire dan Esteva, yang menghubungkan magnitudo dan jarak sumber gempa terhadap lokasi pengamatan untuk memperkirakan percepatan tanah maksimum [5][6].

Hasil perhitungan PGA selanjutnya divisualisasikan dalam bentuk peta sebaran menggunakan perangkat lunak ArcGIS 10.3 untuk menganalisis variasi spasial tingkat guncangan tanah. Pemetaan PGA merupakan salah satu pendekatan yang umum digunakan dalam kajian bahaya seismik untuk mengidentifikasi wilayah dengan potensi dampak guncangan yang lebih besar [3].

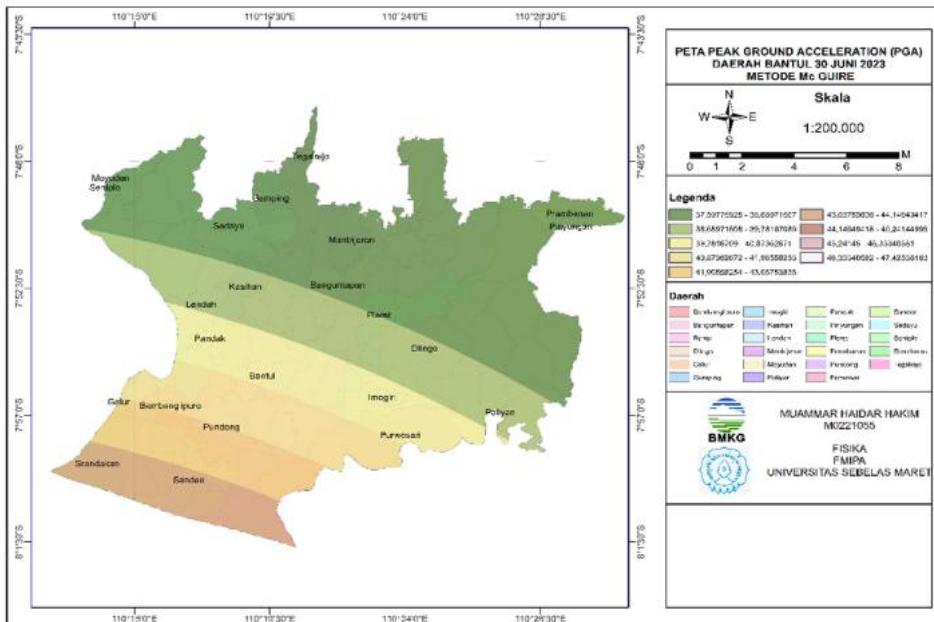
Distribusi PGA Metode McGuire. Gambar 2 menunjukkan peta sebaran nilai PGA di Kabupaten Bantul berdasarkan metode McGuire. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa nilai PGA berada pada rentang $\pm 32,17$ gal hingga 47,98 gal. Secara spasial, wilayah dengan nilai PGA tertinggi ditunjukkan oleh warna merah

hingga jingga, sedangkan nilai PGA yang lebih rendah ditunjukkan oleh warna hijau hingga putih.

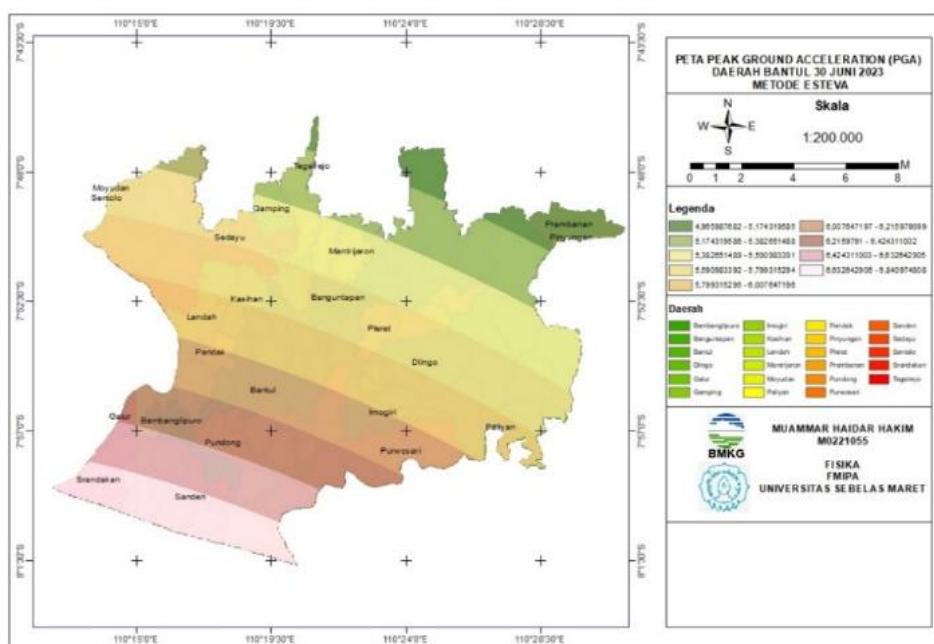
Nilai PGA tertinggi teridentifikasi di Kecamatan Sanden, khususnya Kelurahan Gadingsari, dengan nilai PGA berkisar antara 43,04–44,15 gal. Kondisi ini dipengaruhi oleh lokasi Kecamatan Sanden yang berada paling dekat dengan pusat gempa di laut barat daya Bantul. Hubungan antara jarak sumber gempa dan besarnya percepatan tanah maksimum telah banyak dilaporkan dalam studi bahayagempa, di mana percepatan tanah cenderung

menurun seiring bertambahnya jarak dari sumber gempa [8].

Konversi nilai PGA ke dalam skala Modified Mercalli Intensity (MMI) menunjukkan bahwa intensitas gempa bumi di Kabupaten Bantul berdasarkan metode McGuire berada pada rentang MMI III–V, yang termasuk kategori gempa terasa. Skala ini menggambarkan getaran yang dirasakan oleh manusia dan dampaknya terhadap bangunan non-struktural, seperti benda ringan bergoyang hingga bunyi berderik pada pintu dan jendela [4].



Gambar 2. Peta PGA Kabupaten Bantul gempa bumi 30 Juni 2023 metode McGuire.

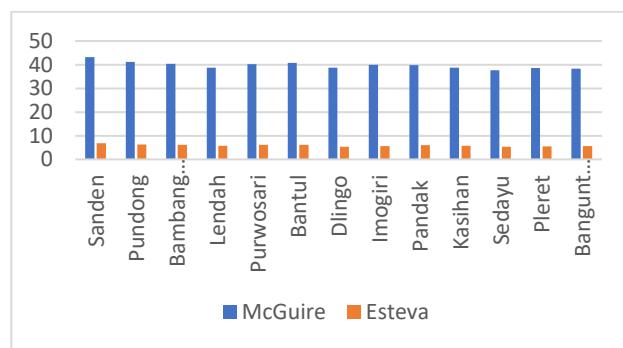


Gambar 3. Peta PGA Kabupaten Bantul gempa bumi 30 Juni 2023 metode Esteva.

Distribusi PGA Metode Esteva. Gambar 3 memperlihatkan peta sebaran nilai PGA menggunakan metode Esteva. Nilai PGA yang dihasilkan metode ini berada pada rentang $\pm 4,42$ gal hingga $7,66$ gal, yang secara umum lebih rendah dibandingkan hasil metode McGuire. Nilai PGA tertinggi juga teridentifikasi di Kecamatan Sanden, dengan nilai sekitar $6,8$ gal. Perbedaan besaran nilai PGA antara metode McGuire dan Esteva disebabkan oleh perbedaan formulasi empiris serta basis data yang digunakan dalam pengembangan masing-masing metode. Metode Esteva pada umumnya menghasilkan estimasi PGA yang lebih konservatif untuk kejadian gempa dengan karakteristik tertentu [6][9].

Perbandingan Nilai PGA Antar Kecamatan. Gambar 4 menampilkan diagram perbandingan nilai PGA untuk setiap kecamatan di Kabupaten Bantul, meliputi Kecamatan Sanden, Pundong, Bambanglipuro, Lendah, Purwosari, Bantul, Dlingo, Imogiri, Pandak, Kasihan, Sedayu, Pleret, dan Banguntapan. Diagram tersebut menunjukkan bahwa Kecamatan Sanden secara konsisten memiliki nilai PGA tertinggi pada kedua metode, sedangkan kecamatan yang berada lebih jauh dari pusat gempa menunjukkan nilai PGA yang lebih rendah.

Secara umum, nilai PGA yang diperoleh menggunakan metode McGuire lebih besar dibandingkan metode Esteva. Rentang skala MMI yang dihasilkan metode McGuire berada pada MMI III–V, sedangkan metode Esteva berada pada MMI III–IV. Hasil ini sejalan dengan penelitian sebelumnya yang menunjukkan bahwa metode McGuire cenderung memberikan estimasi PGA yang lebih tinggi dibandingkan metode Esteva untuk kejadian gempa dangkal hingga menengah [7].



Gambar 4. Diagram Perbandingan Nilai PGA Setiap Kecamatan.

Meskipun demikian, perlu ditekankan bahwa metode empiris hanya memberikan estimasi nilai PGA. Pengukuran PGA yang paling representatif diperoleh melalui instrumen accelerograph, sebagaimana digunakan dalam produk Shakemap BMKG. Oleh karena itu, hasil penelitian ini lebih tepat digunakan sebagai analisis awal bahaya gempa dan pembanding antar metode empiris, dengan mempertimbangkan keterbatasan masing-masing metode [3][10].

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis nilai Peak Ground Acceleration (PGA) akibat gempa bumi Bantul tanggal 30 Juni 2023, diperoleh bahwa nilai PGA di Kabupaten Bantul menggunakan metode McGuire berada pada rentang $32,17$ – $47,98$ gal, sedangkan menggunakan metode Esteva berada pada rentang $4,42$ – $7,66$ gal. Perbedaan nilai PGA tersebut menunjukkan adanya variasi estimasi percepatan tanah maksimum yang dipengaruhi oleh karakteristik masing-masing persamaan empiris.

Distribusi spasial nilai PGA yang disajikan dalam peta sebaran dan diagram perbandingan antar kecamatan menunjukkan bahwa Kecamatan Sanden secara konsisten memiliki nilai PGA tertinggi pada kedua metode. Hal ini berkaitan dengan kedekatan wilayah tersebut terhadap pusat gempa yang berada di laut barat daya Kabupaten Bantul.

Konversi nilai PGA ke dalam skala Modified Mercalli Intensity (MMI) menunjukkan bahwa metode McGuire menghasilkan intensitas gempa pada rentang MMI III–V, sedangkan metode Esteva menghasilkan intensitas pada rentang MMI III–IV. Berdasarkan hasil tersebut, metode McGuire dinilai lebih representatif dalam menggambarkan tingkat guncangan gempa pada kasus gempa bumi Bantul 30 Juni 2023, meskipun kedua metode masih bersifat estimatif dan memiliki keterbatasan.

Saran

Penelitian selanjutnya disarankan untuk menggunakan dan membandingkan lebih dari dua metode empiris, serta mengintegrasikannya dengan data pengukuran langsung dari accelerograph guna memperoleh estimasi nilai PGA yang lebih akurat dan representatif. Selain itu, kajian lanjutan dapat mempertimbangkan pengaruh kondisi geologi lokal dan karakteristik tanah terhadap amplifikasi gelombang gempa. Hasil penelitian ini diharapkan dapat dimanfaatkan sebagai informasi awal bagi Pemerintah Kabupaten Bantul dan masyarakat dalam upaya mitigasi bencana gempa bumi, khususnya di wilayah pesisir yang memiliki tingkat kerentanan lebih tinggi. Informasi distribusi PGA dapat menjadi dasar dalam peningkatan kesiapsiagaan dan perencanaan mitigasi apabila terjadi gempa bumi dengan karakteristik sumber yang serupa di masa mendatang.

Daftar Pustaka

- [1] Bolt, B. A., *Earthquakes*, 4th ed. New York: W. H. Freeman, 1999.
- [2] Kanamori, H., "The energy release in great earthquakes," *J. Geophys. Res.*, vol. 82, no. 20, pp. 2981–2987, 1977.

- [3] Kramer, S. L., *Geotechnical Earthquake Engineering*. New Jersey: Prentice Hall, 1996.
- [4] U.S. Geological Survey, “Modified Mercalli Intensity Scale,” USGS, 2017.
- [5] McGuire, R. K., “Seismic ground motion parameters,” *Earthquake Engineering Research Institute*, Berkeley, 1977.
- [6] Esteva, L., “Seismicity,” dalam *Seismic Risk and Engineering Decisions*. Amsterdam: Elsevier, 1970.
- [7] Kurniawan, A., dkk., “Analisis koefisien korelasi Peak Ground Acceleration dengan metode McGuire, Esteva, dan Shakemap BMKG (Studi kasus gempabumi Bantul 16 Januari 2022),” *Jurnal Stasiun Geofisika Sleman*, 2023.
- [8] Ambraseys, N. N., dan Bommer, J. J., “Empirical ground-motion models for seismic hazard analysis,” *European Journal of Earthquake Engineering*, 1995.
- [9] Bormann, P. (Ed.), *New Manual of Seismological Observatory Practice*. Potsdam: GFZ German Research Centre for Geosciences, 2012.
- [10] BMKG, “Shakemap gempabumi 30 Juni 2023,” Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika, 2023.