

Analisis Percepatan Tanah Maksimum Menggunakan Metode Donovan dan MC Guirre (Studi Kasus Gempabumi Bantul 30 Juni 2023)

Peak Ground Acceleration Analysis Using the Donovan and MC Guirre Method (Bantul Earthquake June 30, 2023 Case Study)

Maylialfinatun Safitri¹, Sugito¹, Dwi Budi Susanti², Wuri Handayani²

¹Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Jenderal Soedirman, Jl. Dr. Soeparno Utara Purwokerto 53123

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

INFO ARTIKEL

Naskah masuk : 16 Maret 2024
Naskah diperbaiki : 20 April 2024
Naskah diterima : 25 Mei 2024

Kata kunci:

Percepatan tanah maksimum
metode Donovan
metode MC Guirre
skala MMI

Keywords:

Peak ground acceleration
Donovan method
MC Guirre method
Modified Mercalli Intensity scale

ABSTRAK

Penelitian ini mengolah data percepatan tanah maksimum menggunakan metode Donovan dan MC Guirre di Kabupaten Bantul berdasarkan data gempa 30 Juni 2023 yang didapatkan dari Seiscomp4. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai percepatan tanah maksimum wilayah Bantul berdasarkan kedua metode tersebut, menganalisis nilai percepatan tanah maksimum dari setiap metode, dan mengetahui hubungan nilai percepatan tanah maksimum dengan skala *Modified Mercalli Intensity* (MMI). Hasil pengolahan data menunjukkan nilai percepatan tanah maksimum metode Donovan berkisar antara 36,99 hingga 43,06 gal sedangkan metode MC Guirre berkisar antara 38,80 hingga 45,18 gal. Nilai percepatan tanah maksimum menggunakan metode MC Guirre lebih tinggi dibandingkan metode Donovan. Peta percepatan tanah yang berwarna merah menunjukkan nilai percepatan tanah maksimum tertinggi lebih banyak ditunjukkan dengan metode MC Guirre dibandingkan metode Donovan. Berdasarkan hubungan percepatan tanah maksimum dengan skala MMI didapatkan nilai klasifikasi skala III-V untuk kedua metode.

ABSTRACT

This study processes peak ground acceleration (PGA) data using the Donovan and MC Guirre methods in Bantul Regency, based on the earthquake data from June 30, 2023, obtained from Seiscomp4. The study aims to determine the peak ground acceleration values for the Bantul region using these two methods, analyze the PGA values from each method, and understand the relationship between PGA values and the Modified Mercalli Intensity (MMI) scale. The data processing results show that the peak ground acceleration values using the Donovan method range from 36.99 to 43.06 gal, while the MC Guirre method ranges from 38.80 to 45.18 gal. The PGA values using the MC Guirre method are higher than the Donovan method. The acceleration maps indicate that the highest peak ground acceleration values are more frequently shown by the MC Guirre method than by the Donovan method. Based on the relationship between peak ground acceleration and the MMI scale, a classification scale of III-V was obtained for both methods.

© 2024 Jurnal Stasiun Geofisika Sleman

1. Pendahuluan

Wilayah Indonesia terletak pada pertemuan lempeng tektonik dunia. Secara geografis, Indonesia terletak di seberang Cincin Api Pasifik [Pambudi 1]. Salah satu bencana alam yang sering terjadi di Indonesia adalah gempabumi. Gempabumi merupakan getaran tanah yang

ditimbulkan oleh lewatnya gelombang seismik yang dipancarkan oleh suatu sumber energi elastik yang dilepaskan secara mendadak, gelombang ini menjalar melalui batuan yang ada di dalam bumi. Gempabumi adalah kejadian alam yang bisa terjadi kapan saja serta tidak dapat diprediksi. Besarnya gempabumi berkisar dari gempabumi yang sangat kuat yang dapat menyebabkan

kerusakan harta benda dan korban jiwa hingga gempabumi yang sangat kecil yang hampir tidak dapat dirasakan.

Indonesia menjadi satu dari beberapa negara yang memiliki peringkat aktivitas kegempaan yang tinggi, karena Indonesia memiliki letak geografis pada perpotongan tiga lempeng besar di bumi, yaitu: lempeng Pasifik, lempeng Indo-Australia, dan lempeng Eurasia [2]. Lempeng Indo-Australia dan Lempeng Eurasia bertabrakan di selatan Jawa, lepas pantai barat Sumatera dan selatan kepulauan Nusa Tenggara, kemudian membelok ke bagian utara ke arah perairan selatan Maluku. Pada saat yang sama, lempeng Australia dan Pasifik bertabrakan di dekat New Guinea. Akibat tumbukan atau gerak lempeng, pertemuan antar lempeng tersebut dapat menyebabkan seringnya terjadi gempabumi. Sehingga, Indonesia disebut sebagai wilayah struktural yang rentan gempa [3].

Salah satu daerah Indonesia yang sering terjadi gempabumi yaitu pulau Jawa wilayah Provinsi Jawa Tengah dan Daerah Istimewa Yogyakarta. Pulau Jawa masuk dalam bagian dari satuan seismotektonik busur aktif dan busur sangat aktif berdasarkan seismotektonik. Kawasan ini merupakan salah satu kawasan dengan kondisi tektonik yang kompleks dan memiliki tingkat aktivitas kegempaan yang cukup tinggi di Indonesia [4]. Kondisi ini disebabkan karena wilayah tersebut berdekatan dengan zona tumbukan lempeng di Samudera Indonesia. Selain sangat rawan gempabumi akibat aktivitas tumbukan lempeng tektonik, wilayah Jawa Tengah dan Yogyakarta juga sangat rawan gempabumi akibat aktivitas jalur patahan atau sesar-sesar lokal di daratan.

Salah satu wilayah Yogyakarta yang rawan bencana gempabumi yaitu wilayah Kabupaten Bantul. Kabupaten Bantul memiliki karakteristik tanah yang lunak dan terdapat sesar opak yang menyebabkan Bantul memiliki seismisitas yang tinggi. Sesar opak ini membentuk zona yang cukup lebar dari arah Parangtritis di Bantul hingga Prambanan di Sleman. Dari daerah Parangtritis kemudian ke Pleret, Piyungan, Prambanan, semuanya dilalui zona sesar.

Salah satu gempabumi yang terjadi di Bantul yaitu peristiwa gempabumi 30 Juni 2023 yang berpusat di laut 83 km BaratDaya Bantul menjadi salah satu kejadian gempabumi yang cukup besar. Gempabumi tersebut memiliki magnitudo 6.4 Skala Richter dengan kedalaman 65 km, mengakibatkan 1 korban meninggal, 24 orang luka-luka dan 172 bangunan yang rusak [5].

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai percepatan tanah maksimum wilayah Bantul berdasarkan metode Donovan dan Mc Guirre, menganalisis nilai percepatan tanah maksimum dari setiap metode, dan mengetahui hubungan nilai percepatan tanah maksimum dengan skala *Modified Mercalli Intensity* (MMI).

Geologi Daerah Istimewa Yogyakarta. Daerah Istimewa Yogyakarta memiliki kondisi geologi yang unik dan beragam karena terdiri dari bentang alam pegunungan di

utara dan pantai di selatan. Kondisi geologi yang berada diantara pertemuan tiga lempeng tektonik membuat posisi Indonesia memiliki potensi geoheritage yang sangat besar salah satunya D.I.Yogyakarta. Yogyakarta memiliki karakteristik yang beragam, yaitu tidak lepas dari proses geologis yang terjadi di daerah ini. Daerah ini juga punya jenis tanah yang cukup kompleks meliputi lapisan aluvial, regosol, grumusol, lateritic, dan lapisan gamping. Sebaran tanah regosol terletak di dataran tinggi Merapi, Sleman dan kawasan pesisir Bantul. Tanah lateritic di teras Progo, Pegunungan Kulon Progo, dan Batur Agung [6].

Daerah Istimewa Yogyakarta mempunyai struktur geologi lipatan dan patahan. Lipatan terdiri dari antiklin dan sinklin terdapat pada Formasi Semilir (Tms), Formasi Oya (Tmo), Formasi Wonosari-Punung (Tmwl) dan Formasi Kepek (TmPk). Patahan berupa sesar turun dengan pola antithetic fault block, terdapat antara lain pada terban Bantul.

Geologi Kabupaten Bantul. Kabupaten Bantul terletak di bagian selatan Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta, di sebelah utara berbatasan dengan Kota Yogyakarta dan Kabupaten Sleman, di sebelah selatan berbatasan dengan Samudera Hindia, di sebelah timur berbatasan dengan Kabupaten Gunungkidul, dan di sebelah barat berbatasan dengan Kabupaten Kulon Progo. Kabupaten Bantul secara geografis terletak pada koordinat $110^{\circ}12'34''$ – $110^{\circ}31'08''$ BT dan $07^{\circ}44'04''$ – $08^{\circ}00'27''$ LS. Luas area Kabupaten Bantul adalah 508,85 km² dan terdiri dari 17 kecamatan [5].

Kabupaten Bantul didominasi oleh endapan vulkanik gunung merapi muda yang merupakan batuan gunung api yang berupa endapan vulkanik Gunung Merapi yang tergolong muda, terbentuk pada periode Kwartir. Terdapat juga Sesar Opak yang terdapat di Kabupaten Bantul. Pola perpindahannya memperlihatkan terdapat tiga blok yang bergerak masing-masing ke arah timur laut, barat daya, dan barat. Berdasarkan data geologi, Sesar Opak di Kabupaten Bantul berarah barat daya-timur laut [7].

Intensitas gempabumi. Skala intensitas gempabumi umumnya menggunakan skala *Modified Mercalli Intensity* (MMI) sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 1 [8].

Percepatan tanah maksimum. PGA atau percepatan tanah maksimum adalah parameter yang sangat penting karena pada percepatan tanah maksimum menyatakan perubahan pergerakan tanah yang awalnya dalam keadaan diam hingga kecepatan tertentu. Perhitungan nilai percepatan tanah maksimum dihitung berdasarkan besarnya magnitudo dan kedalaman sumber gempabumi. Nilai tersebut akan menunjukkan resiko kerusakan terhadap bangunan. Selanjutnya, nilai tersebut juga disesuaikan dengan ketahanan bangunan dalam menahan guncangan. Nilai PGA yang semakin besar maka semakin meningkat pula tingkat resiko bahaya gempabumi yang dirasakan [9].

Pengukuran percepatan tanah menggunakan metode empiris dapat dilakukan dengan pendekatan dari beberapa rumus empiris yang diturunkan dari parameter gempabumi, beberapa jenis rumus empiris yaitu metode Donovan dan metode MC Guirre rumusan tersebut antara lain metode Donovan sebagaimana persamaan (1).

Tabel 1. Skala MMI (Modified Mercally Intensity).

Skala MMI	PGA (gal)	Deskripsi Rincian
I	<2,9	Getaran tidak dirasakan kecuali dalam keadaan luarbiasa oleh beberapa orang
II	<2,9	Getaran dirasakan oleh beberapa orang, benda-benda ringan yang digantung bergoyang.
III	2,9-88	Getaran dirasakan nyata dalam rumah. Terasa getaran seakan-akan ada truk berlalu.
IV	2,9-88	Pada siang hari dirasakan oleh orang banyak dalam rumah, di luar oleh beberapa orang, gerabah pecah, jendela/pintu berderik dan dinding berbunyi.
V	2,9-88	Getaran dirasakan oleh hampir semua penduduk, orang banyak terbangun, gerabah pecah, barang-barang terpelanting, tiang-tiang dan barang besar tampak bergoyang, bandul lonceng dapat berhenti.
VI	89-167	Getaran dirasakan oleh semua penduduk. Kebanyakan semua terkejut dan lari keluar, plester dinding jatuh dan cerobong asap pada pabrik rusak, kerusakan ringan.
VII	168-564	Tiap-tiap orang keluar rumah. Kerusakan ringan pada rumah-rumah dengan bangunan dan konstruksi yang baik. Sedangkan pada bangunan yang konstruksinya kurang baik terjadi retak-retak bahkan hancur, cerobong asap pecah. Terasa oleh orang yang naik kendaraan.
VIII	168-564	Kerusakan ringan pada bangunan dengan konstruksi yang kuat. Retak-retak pada bangunan dengan konstruksi kurang baik, dinding dapat lepas dari rangka rumah, cerobong asap pabrik dan monumen-monumen roboh, air menjadi keruh.
IX	>564	Kerusakan pada bangunan yang kuat, rangka-rangka rumah menjadi tidak lurus, banyak retak. Rumah tampak agak berpindah dari pondamennya. Pipa-pipa dalam rumah putus.
X	>564	Bangunan dari kayu yang kuat rusak, rangka rumah lepas dari pondamennya, tanah terbelah rel melengkung, tanah longsor di tiap-tiap sungai dan di tanah-tanah yang curam.
XI	>564	Bangunan-bangunan hanya sedikit yang tetap berdiri. Jembatan rusak, terjadi lembah. Pipa dalam tanah tidak dapat dipakai sama sekali, tanah terbelah, rel melengkung sekali.
XII	>564	Hancur sama sekali, Gelombang tampak pada permukaan tanah. Pemandangan menjadi gelap. Benda-benda terlempar ke udara.

$$\alpha = \frac{(1080)\exp(0.5Ms)}{(R+25)^{1.32}} \quad (1)$$

dengan α merupakan nilai percepatan tanah maksimum (gal), Ms adalah magnitudo surface, dan R sebagai jarak hiposenter (km). Disamping itu ada juga metode MC Guirre, sebagaimana persamaan (2).

$$\alpha = \frac{(472) 10^{0.278Ms}}{(R+25)^{1.32}} \quad (2)$$

dengan α merupakan nilai percepatan tanah maksimum (gal), Ms adalah magnitudo surface, dan R sebagai jarak hiposenter (km).

Adapun persamaan yang dapat digunakan dalam menghitung jarak episenter dan hiposenter dari sumber gempabumi ke titik koordinat terpasangnya *accelerograph* adalah sebagaimana persamaan (3 dan 4).

$$\Delta = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2} \quad (3)$$

$$R = \sqrt{\Delta^2 + H^2} \quad (4)$$

dengan Δ merupakan jarak episenter, R merupakan jarak hiposenter, x_2 merupakan titik koordinat lintang stasiun, x_1 merupakan titik koordinat sumber gempabumi, y_2 merupakan titik koordinat bujur stasiun, y_1 merupakan titik koordinat sumber gempabumi dan h merupakan kedalaman gempabumi dan h merupakan kedalaman gempabumi [6].

2. Metode Penelitian

Pada penelitian ini peralatan yang digunakan sebagai penunjang dalam pengolahan data adalah laptop, perangkat lunak WPS Office, dan Surfer 17 (Tipe golden software surfer 17.1.288). Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data parameter gempabumi sistem analisis SeisComp4 Stasiun Geofisika BMKG Yogyakarta, meliputi data gempabumi yang terjadi pada hari Jumat, 30 Juni 2023 pukul 19:57:41 WIB dengan pusat gempa berada di laut 102 km Barat Daya Bantul. Data gempabumi dari Stasiun Geofisika BMKG Yogyakarta kemudian diklasifikasikan berdasarkan parameter gempabumi yaitu koordinat lintang 8.59LS, koordinat bujur 110.07BT, magnitudo 6.4 SR, dan kedalaman 65 Km.

Data gempabumi yang diperoleh dari Stasiun Geofisika BMKG Yogyakarta memiliki magnitudo jenis magnitudo body (Mb) dan dirubah menjadi magnitudo surface (Ms). Konversi magnitudo ini dilakukan berdasarkan persamaan (5).

$$Ms = \frac{Mb - 2.9}{0.56} \quad (5)$$

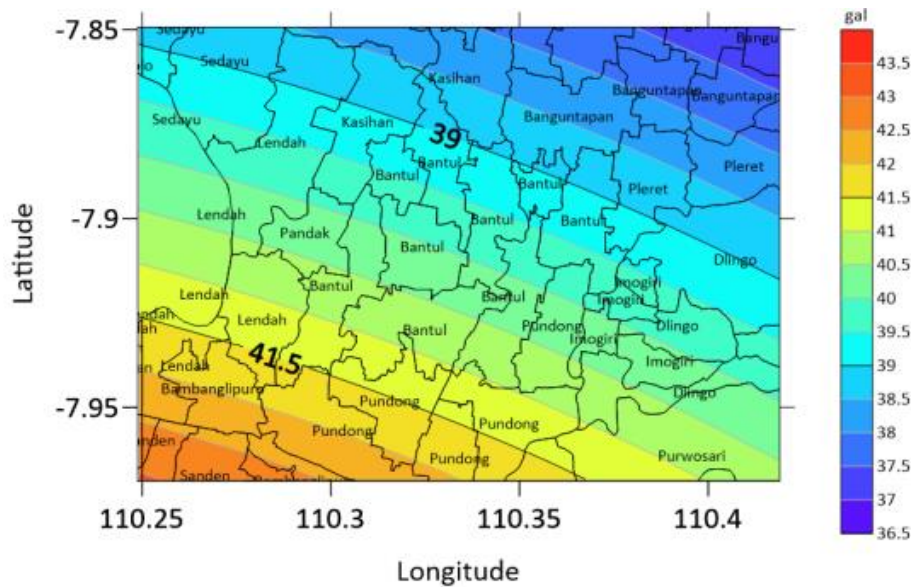
Sebelum menghitung nilai percepatan tanah maksimum (PGA), ditentukan terlebih dahulu jarak antar grid. Jarak grid untuk tiap titik pengukuran adalah 0,01 x 0,01 atau sekitar 1 km x 1 km. Pada daerah yang telah di grid ini terdapat 234 titik pengukuran. Perhitungan nilai percepatan tanah dilakukan menggunakan dua metode,

yakni metode Donovan dan MC Guirre. Perhitungan metode Donovan dilakukan dengan menggunakan persamaan (1) dan perhitungan metode MC Guirre dilakukan dengan menggunakan persamaan (2). Kedua perhitungan dilakukan dengan menggunakan WPS Office 2010 sesuai dengan formula matematisnya. Setelah diperoleh nilai percepatan tanah maksimum disetiap titik pengukuran, kemudian dibuat peta kontur percepatan tanah maksimum menggunakan Surfer 17 [10].

3. Hasil Dan Pembahasan

Berdasarkan hasil perhitungan diperoleh nilai percepatan tanah maksimum untuk gempa bumi tanggal 30 Juni 2023 dengan pusat gempa bumi berada di laut 102 km Barat Daya Bantul yang memiliki magnitudo sebesar 6,4 SR dan kedalaman 65 km. Nilai perhitungan menggunakan metode Donovan dan MC Guirre, hasil masing-masing untuk kedua metode sebagai berikut.

Nilai PGA metode Donovan. Menggunakan rumus empiris metode Donovan diperoleh nilai percepatan tanah maksimum (PGA) berkisar 36,99 hingga 43,06 gal. Gambar 1 dan Tabel 2 menunjukkan hasil PGA dengan metode Donovan. Hasil pengolahan data menggunakan metode Donovan menunjukkan bahwa nilai PGA tertinggi terdapat di kecamatan yang terletak lebih dekat dengan pusat gempa seperti kecamatan Sanden, Pundong, dan Banganglipuro. Nilai yang mempengaruhi perhitungan menggunakan metode Donovan yaitu nilai magnitudo, hiposenter, episenter, dan juga kedalaman sumber gempa bumi. Daerah yang memiliki nilai percepatan tanah tertinggi ditandai dengan warna merah dan nilai percepatan tanah terendah ditandai dengan warna biru tua. Perubahan warna dari jingga tua menjadi biru tua menunjukkan perubahan nilai percepatan tanah dari yang tertinggi menuju yang terendah. nilai PGA metode Donovan berkisar antara 36,99 gal hingga 43,06 gal masuk ke dalam klasifikasi skala MMI III-V.

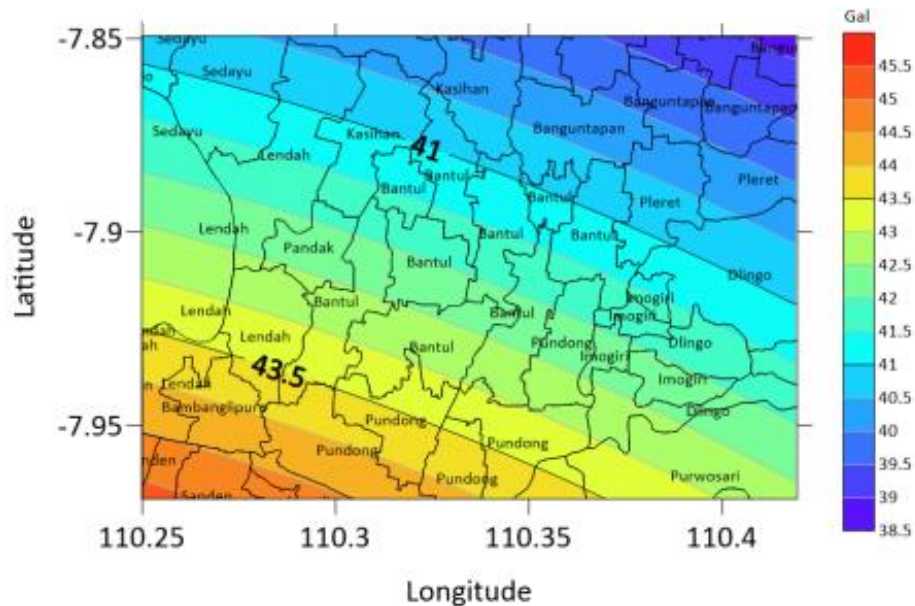


Gambar 1. Peta nilai PGA menggunakan metode Donovan.

Tabel 2. Nilai PGA setiap Kecamatan berdasarkan metode Donovan.

Kecamatan	Warna Kontur	Nilai PGA (gal)
Sanden	Merah	43,5
Pundong	Jingga	41,5
Bambanglipuro	Jingga	41,75
Lendah	Kuning	41
Purwosari	Hijau	40,5
Bantul	Hijau	40,25
Dlingo	Hijau tua	39
Imogiri	Hijau	40
Pandak	Hijau	39,75
Kasihan	Biru	38,5
Sedayu	Hijau tua	38,5
Pleret	Biru	38,25
Banguntapan	Biru tua	37

Nilai PGA metode MC Guirre. Selain menggunakan rumus empiris metode Donovan dilakukan juga perhitungan menggunakan rumus empiris yang lain yaitu rumus empiris metode MC Guirre. Menggunakan metode MC Guirre diperoleh nilai percepatan tanah maksimum berkisar antara 38.81 gal sampai dengan 45.18 gal (Gambar 2 dan Tabel 3). Hasil pengolahan data menggunakan Metode MC Guirre menunjukkan bahwa nilai PGA tertinggi terdapat di kecamatan yang sama dengan yang terletak lebih dekat dengan pusat gempa seperti kecamatan Sanden, Pundong, dan Bambanglipuro. Nilai yang mempengaruhi perhitungan menggunakan metode MC Guirre yaitu nilai magnitudo, hiposenter, episenter, dan juga kedalaman sumber gempa bumi. nilai PGA metode MC Guirre berkisar antara 38,80 gal sampai dengan 45,18 gal masuk ke dalam klasifikasi skala MMI III-V.



Gambar 2. Peta nilai PGA menggunakan metode MC Guirre.

Tabel 3. Nilai PGA setiap Kecamatan berdasarkan metode Donovan.

Kecamatan	Warna Kontur	Nilai PGA (gal)
Sanden	Merah	45,18
Pundong	Jingga	44
Bambanglipuro	Jingga	43,75
Lendah	Kuning	43
Purwosari	Kuning	42,75
Bantul	Hijau	42,5
Dlingo	Biru muda	42
Imogiri	Hijau kuning	42
Pandak	Hijau kuning	41,75
Kasihan	Hijau	41
Sedayu	Hijau	40,75
Pleret	Biru muda	40,25
Banguntapan	Biru tua	38,80

Berdasarkan nilai PGA Stasiun Sanden, Bantul, D.I. Yogyakarta (SBJM) yang merupakan stasiun dengan jarak terdekat dari epicenter gempa bumi yaitu sekitar 110.58 km mencatat nilai PGA sebesar 28,39 - 79,27 gal. Hasil pengolahan dan perhitungan menggunakan metode Donovan dan MC Guirre jika dibandingkan dengan nilai PGA dari shakemap yang paling mendekati nilainya yaitu hasil PGA dari metode MC Guirre sebesar 45,18 gal (Tabel 4). Perhitungan menggunakan persamaan empiris jauh lebih kecil dibandingkan dengan hasil shakemap BMKG. Faktor yang mempengaruhi hasil dari nilai PGA tersebut yaitu latar belakang pembuatan persamaan empiris yang berbeda-beda. Umumnya persamaan empiris memiliki latar belakang data dengan batas magnitudo dan jarak hiposenter tertentu dalam membuat model persamaan empiris. Kondisi geologi yang cocok untuk menggunakan rumus empiris tertentu juga bisa mengakibatkan perbedaan nilai PGA yang dihasilkan.

Tabel 4. Nilai skala MMI percepatan tanah maksimum metode Donovan, MC Guirre, dan shakemap.

Metode	PGA Minimum	PGA Maximum	Skala MMI
Donovan	36,99	43,06	III-V
Mc Guirre	38,81	45,18	III-V
Shakemap	28,39	79,27	III-V

4. Kesimpulan

Hasil perhitungan PGA metode Donovan diperoleh nilai berkisar 36,99 hingga 43,06 gal. Untuk metode MC Guirre diperoleh nilai PGA 38,80 hingga 45,18 gal. Nilai PGA metode Donovan lebih rendah dibandingkan dengan metode MC Guirre. Berdasarkan hubungan PGA dengan skala MMI menunjukkan perhitungan dengan metode Donovan masuk ke dalam klasifikasi skala III-V MMI, demikian juga dengan metode MC Guirre. Nilai MMI tersebut memiliki deskripsi gempa dirasakan oleh banyak orang dan terdapat beberapa kerusakan ringan. Daerah penelitian yang memiliki nilai PGA terbesar berdasarkan perhitungan kedua metode yaitu Kecamatan Sanden. Daerah ini perlu adanya mitigasi gempa bumi karena rawan gempa bumi.

Saran

Penelitian berikutnya perlu menggunakan perhitungan dengan metode lain untuk memperoleh nilai percepatan tanah maksimum dan perlu diperlebar dalam penentuan batas grid titik pengukuran. Hasil penelitian dapat digunakan untuk mitigasi gempa bumi bagi pemerintah dan masyarakat setempat.

Daftar Pustaka

- [1] Pambudi, N. A., “Geothermal power generation in Indonesia, a country within the ring of fire: Current status,” future development and policy. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 81, 2893-2901, 2018.
- [2] Irsyam M, Cummins PR, Asrurifak M, et al., “Development of the 2017 national seismic hazard maps of Indonesia,” *Earthquake Spectra*, 36, 112-136, 2020.
- [3] Kurniawan, R., “Kajian Penentuan Nilai Epsilon Optimal Pada Algoritma DMDBSCAN Dan Pemetaan Daerah Rawan Gempabumi di Indonesia Tahun 2014-2020,” Politeknik Statistika STIS: Jakarta, 2021.
- [4] Pasari, S., Simanjuntak, A.V.H., Mehta, A. et al., “The Current State of Earthquake Potential on Java Island, Indonesia.” *Pure Appl. Geophys.* 178, 2789–2806, 2021.
- [5] Putra, M. F. N, Rustadi, Herudin N, dan Sulaeman, C., “Analisis Site Effect Berdasarkan Data Mikrotremor Dan Nilai Peak Ground Acceleration Pada Sesar Opak, Kabupaten Bantul Daerah Istimewa Yogyakarta,” Universitas Lampung: Lampung, 2019.
- [6] Rohman, I, Darmawan D, dan Wibowo, N.B., “Penentuan Formula Empiris Percepatan Tanah Maksimum Di Daerah Istimewa Yogyakarta,” Universitas Negeri Yogyakarta, Yogyakarta, 2022.
- [7] Putra, R. R., “Assesment Tingkat Kerentanan Bangunan Bertingkat di Kampus Universitas Negeri Padang Menggunakan Gelombang Rayleigh,” *Jurnal Serambi Engineering*, 11, 2022.
- [8] Rois, I.L.N dan Somantri, L. (2021). Analisis Bencana Gempa Bumi Dan Mitigasi Bencana Di Daerah Kertasari. UPI: Bandung.
- [9] Ainun, N, Lubis, H.L, Sirait, R. , “Pemetaan Tingkat Rawan Gempa Berdasarkan Nilai PGA (Peak Ground Acceleration) Menggunakan Metode MC Guirre R.K Dan Donovan,” UIN Sumatera Utara, Sumatera, 2023.
- [10] Golden Software. Internet: <https://www.goldensoftware.com/products/surfer/>