

Analisis Peak Ground Acceleration Kabupaten Bantul Menggunakan Metode Campbell dan Oliviera (Studi Kasus Gempa Bumi Bantul 30 Juni 2023)

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

Melda Gian Priyanita^{1*}, Darsono¹, Wuri Handayani²

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

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

INFO ARTIKEL

Naskah masuk : 6 Mei 2024
Naskah diperbaiki : 5 Juni 2024
Naskah diterima : 20 Juni 2024

Kata kunci:

Percepatan tanah maksimum
gempa bumi
Bantul
Campbell
Oliviera

Keywords:

Peak ground acceleration
earthquake
Bantul
Campbell
Oliviera

*Email :

meldagianpriyanita@student.uns.ac.id

ABSTRAK

Gempa bumi yang terjadi pada 30 Juni 2023, dengan pusat di laut, barat daya Kabupaten Bantul, merupakan salah satu gempa bumi merusak di Yogyakarta. Salah satu tujuan penelitian ini adalah menentukan metode persamaan empiris yang sesuai untuk Kabupaten Bantul dalam menghitung Peak Ground Acceleration (PGA) dalam bentuk peta distribusi dan diagram. Nilai PGA dapat memberikan gambaran mengenai tingkat kerusakan bangunan akibat gempa bumi. Dalam penelitian ini, perhitungan PGA dilakukan menggunakan persamaan empiris Campbell dan Oliveira. Data gempa bumi diperoleh dari Shakemap yang dirilis oleh BMKG. Berdasarkan hasil analisis, metode Campbell menunjukkan nilai PGA dengan skala MMI berkisar antara II-IV, sedangkan metode Oliveira menghasilkan skala MMI berkisar antara II-III. Kelurahan di Kabupaten Bantul yang memiliki nilai PGA tertinggi untuk setiap metode adalah Parangtritis, Tirtohargo, Gadingsari, Gadingharjo, Srigading, dan Poncosari.

ABSTRACT

The earthquake on June 30, 2023, centered in the southwest sea of Bantul The earthquake that occurred on June 30, 2023, with its epicenter located southwest of Bantul Regency, was one of the destructive earthquakes in Yogyakarta. One of the objectives of this study is to determine the most suitable empirical formula method for Bantul Regency in calculating the Peak Ground Acceleration (PGA) in the form of distribution maps and bar charts. The PGA value provides an indication of the level of building damage caused by the earthquake. This study conducted the PGA calculations using Campbell and Oliveira's empirical formula methods. Earthquake data were obtained from Shakemap released by BMKG. Based on the analysis, the Campbell method yielded PGA values with an MMI scale ranging from II to IV, while the Oliveira method resulted in an MMI scale ranging from II to III. The villages in Bantul Regency with the highest PGA values for each method are Parangtritis, Tirtohargo, Gadingsari, Gadingharjo, Srigading, and Poncosari.

© 2024 Jurnal Stasiun Geofisika Sleman

1. Pendahuluan

Indonesia adalah negara berbentuk kepulauan yang memiliki 17.504 pulau. Dari perspektif geologi, Indonesia merupakan titik temu 3 lempeng yaitu Eurasia, Indo Australia, dan Pasifik. Pergeseran lempeng di wilayah Indonesia mengakibatkan getaran pada kulit bumi. Getaran kulit bumi ini yang dikenal dengan Gempa bumi. merusak sarana dan prasarana fisik dan manusia sebagai penghuninya. Namun, jika pusat gempa terjadi di laut, dapat memicu gelombang laut yang besar dan mempengaruhi daerah-daerah di sepanjang pantai sampai ke pedalaman. Gempa bumi yang terjadi di laut dan menimbulkan gelombang laut disebut tsunami [1]. Menurut CNBC 2023 [2], sejak tahun 1840, Daerah Istimewa Yogyakarta telah dilanda gempa bumi merusak

sebanyak 13 kali. Sejarah kegempaan Jawa mencatat bahwa pada rentang tahun 1821 hingga 2009, Daerah Istimewa Yogyakarta telah dilanda gempa bumi merusak sebanyak 4 kali dan ratusan gempa bumi terasa. Dari catatan sejarah kegempaan Jawa, gempa pertama yang ditemukan terjadi pada tahun 1840, disusul kemudian 1859, 1867, 1875, 1937, 1943, 1957, 1981, 1992, 2001, 2004, 2006 dan 2023.

Gempa bumi dapat mengakibatkan banyak korban jiwa dan kerugian materi. Keruntuhan bangunan menjadi penyebab utama korban dalam gempa bumi. Oleh karena itu, penting untuk melakukan upaya mitigasi untuk meminimalkan dampak gempa bumi. Salah satu cara untuk melakukan ini adalah dengan memahami informasi tentang gerakan tanah di suatu area. Informasi

ini bisa berupa guncangan maksimum tanah yang pernah terjadi di suatu wilayah. Tingkat kerusakan yang disebabkan oleh gempa bumi diukur berdasarkan percepatan maksimum gerakan tanah atau Peak Ground Acceleration (PGA). Nilai PGA dapat dihitung berdasarkan magnitudo dan jarak dari sumber gempa ke titik pengukuran [3].

Besarnya nilai PGA pada suatu wilayah menunjukkan tingkat risiko gempa di wilayah tersebut. Semakin tinggi nilai PGA suatu wilayah, semakin tinggi pula potensi bahaya dan risiko gempa yang dapat terjadi. Percepatan tanah adalah faktor kunci yang mempengaruhi struktur bangunan dan menciptakan momen gaya yang tersebar merata di titik-titik bangunan, sehingga percepatan tanah menjadi dasar dalam perhitungan bangunan tahan gempa [4]. Nilai PGA sangat penting digunakan dalam mengetahui informasi kuat lemahnya guncangan di suatu wilayah untuk memahami karakteristik getaran gempa bumi [5].

Gempa bumi Kabupaten Bantul pada 30 Juni 2023 merupakan salah satu kasus gempa bumi merusak yang mengakibatkan kerugian. Daerah Kabupaten Bantul sebagai daerah pesisir pantai selatan Jawa dengan berbagai bangunan dan tempat wisata menjadi daerah yang rawan bencana gempa bumi. Penelitian sebelumnya dilakukan dalam menganalisis PGA di Kabupaten Bantul salah satunya adalah dengan Metode Oliviera dan Shakemap BMKG, Studi Kasus Gempabumi Bantul 16 Januari 2022. Penelitian tersebut menghasilkan koefisien korelasi yang sesuai antara metode Oliviera dan Shakemap BMKG.

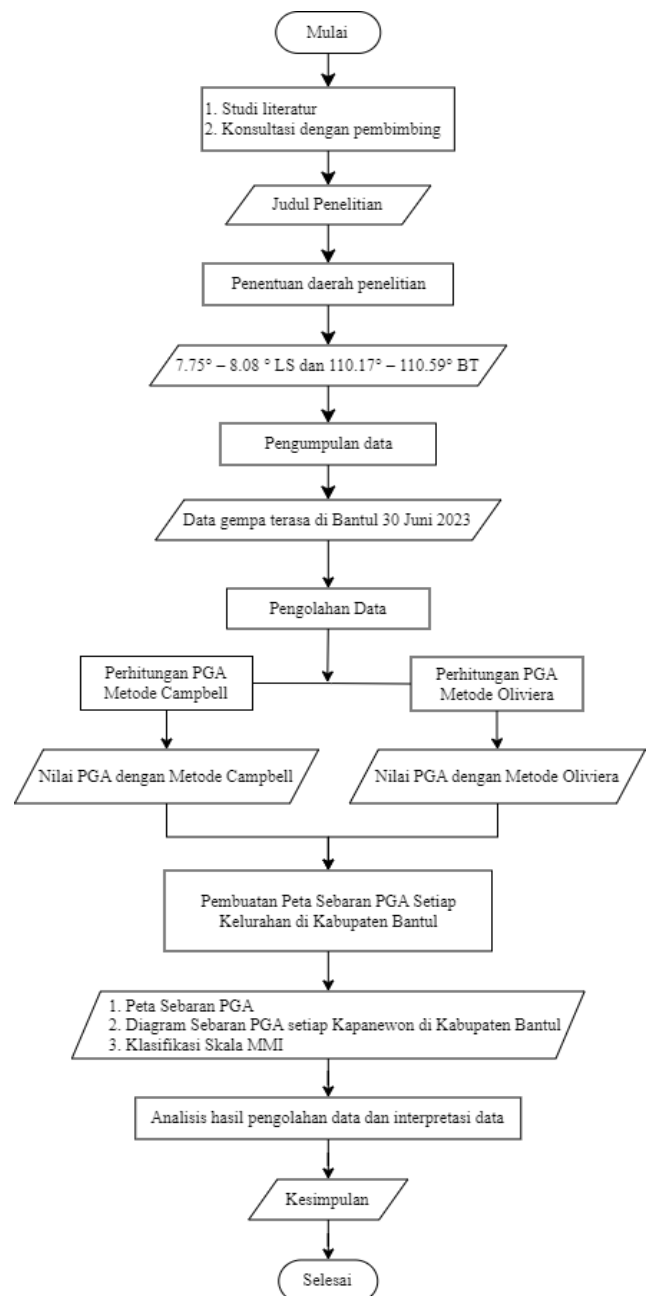
Sedangkan penelitian oleh Campbell (1981) menganalisa redaman percepatan gempa berdasarkan gempa dangkal antar lempeng kerak di pantai barat Amerika Serikat. Gempa ini terjadi pada kedalaman kurang dari 25 km dan memiliki letak yang relatif dekat dengan sumbernya (*near source*). Jarak pusat gempa berkisar antara 30 hingga 50 km [6]. Oleh karena itu penelitian ini menghitung nilai PGA menggunakan metode Campbell dan Oliviera dalam menentukan tingkat risiko Kabupaten Bantul terhadap gempa bumi sebagai bagian dari upaya mitigasi bencana gempa.

2. Metode Penelitian

Metode penelitian dilakukan dengan membandingkan nilai PGA dengan metode persamaan empiris Campbell 1981 [7] dan Oliviera [8] pada studi kasus gempa bumi Bantul 30 Juni 2023. Lokasi penelitian adalah wilayah Kabupaten Bantul dengan titik koordinat 7.75° – 8.08° LS dan 110.17° – 110.59° BT. Alat dan bahan yang digunakan berupa Laptop, Software Microsoft Excel, Software ArcGis 10.3, data QC bulanan bulan Juni tahun 2023 dari Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) berupa waktu kejadian gempa bumi, latitude, longitude, magnitudo, kedalaman, tipe, dan keterangan daerah, serta batas administrasi Kabupaten Bantul berdasarkan peta rupa bumi wilayah Bantul berupa

unduhan file Administrasi Kabupaten Bantul dalam format shp.

Penelitian ini dilakukan dengan mengumpulkan dan mengolah data gempa bumi serta membuat peta. Hasil dari penelitian ini akan didapatkan informasi daerah yang memiliki risiko kerusakan paling besar akibat gempa bumi Bantul 30 Juni 2023. Uraian singkat mengenai metode penelitian dapat dirangkum dalam diagram alir Gambar 1.

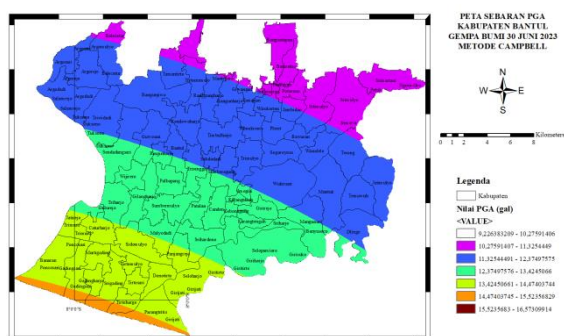


Gambar 1. Diagram alir metode penelitian.

3. Hasil Dan Pembahasan

Penelitian ini menggunakan data gempa bumi barat daya Bantul pada tanggal 30 Juni 2023 pada $-8,59^{\circ}\text{LS}$ dan $110,07^{\circ}\text{BT}$ 19:57:44 WIB dengan kedalaman 65 km dan magnitudo 6,4 SR. Nilai PGA dihitung dengan metode Campbell dan Oliviera. Kemudian dilakukan plotting pembuatan peta sebaran untuk nilai PGA menggunakan software ArcGis 10.3. Plotting tersebut digunakan untuk menganalisis dan mengklasifikasikan area berdasarkan risiko gempa bumi, yang ditentukan oleh PGA. Wilayah dengan nilai PGA tinggi diklasifikasikan sebagai wilayah dengan risiko gempa bumi tertinggi. Nilai PGA yang telah diperoleh kemudian akan diklasifikasikan lagi untuk menentukan skala MMI gempa bumi di area tersebut.

Gambar 2 menunjukkan peta persebaran nilai Peak Ground Acceleration (PGA) dengan menggunakan metode Campbell di Kabupaten Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta. Parameter untuk menghitung nilai PGA dengan menggunakan metode Campbell adalah jarak dan magnitudo yang mengacu pada gempa bumi Bantul tanggal 30 Juni 2023. Dilihat dari peta tersebut, nilai PGA maksimum berada pada 16,57 gal dan nilai PGA minimum pada 9,23 gal. Berdasarkan skala warna, secara berurutan yaitu merah, jingga, kuning hijau, biru, ungu, putih, nilai PGA semakin kecil. Karena gempa bumi pada tanggal 30 Juni 2023 ini berpusat di laut yaitu barat daya Bantul, maka yang paling terdampak besar adalah wilayah pesisir pantai dimana pada peta tersebut pada daerah Kelurahan Parangtritis, Tirtohargo, Gadingsari, Gadingharjo, Sri Gading, dan Poncosari dengan rentang nilai PGA sebesar 13,9 hingga 14,7 gal.

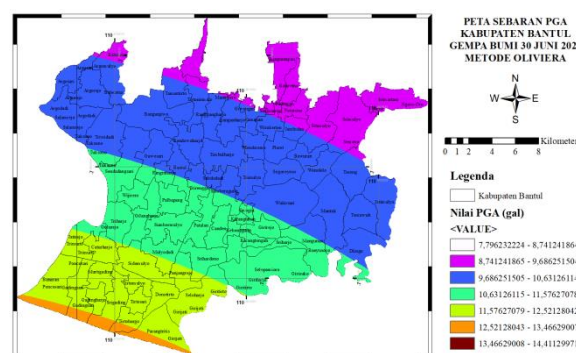


Gambar 2. Peta sebaran PGA Kabupaten Bantul gempa bumi 30 Juni 2023 metode Campbell.

Skala MMI yang didapatkan dari konversi nilai PGA berkisar pada rentang II-IV. Dimana pada skala tersebut, gempa bumi yang terjadi pada 30 Juni 2023 termasuk kategori gempa bumi terasa. Dengan skala II menunjukkan getaran dirasakan oleh beberapa orang, benda-benda ringan yang digantung bergoyang. Skala III mengindikasikan getaran dirasakan nyata dalam rumah, terasa getaran seakan-akan ada truk berlalu. Sedangkan skala IV menunjukkan bahwa gempa dirasakan oleh orang banyak dalam rumah, di luar oleh beberapa orang,

gerabah pecah, jendela atau pintu berderik dan dinding berbunyi. Perolehan nilai PGA di Kapanewon Sanden tepatnya pada Kelurahan Gadingsari yang sangat dekat dengan laut secara perhitungan metode Campbell sebesar 14,76 gal. Semakin besar nilai PGA suatu daerah maka akan semakin besar pula intensitas gempa bumi di daerah tersebut. Dikarenakan Kapanewon Sanden berada lebih dekat dengan titik pusat gempa maka, daerah tersebut mengalami dampak paling besar. Jika dibandingkan perhitungan empiris metode Campbell didapatkan hasil yang jauh dikarenakan perhitungan empiris hanya dapat memperkirakan nilai PGA dengan persamaan, sedangkan Shakemap menghitung nilai PGA berdasarkan alat ukur yaitu accelerometer.

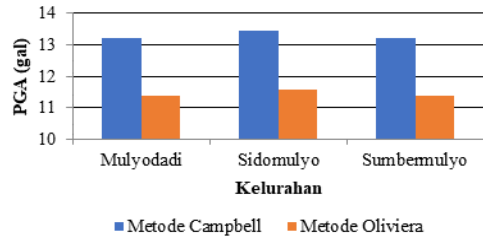
Gambar 3 merupakan peta persebaran nilai PGA dengan menggunakan metode Oliviera di Kabupaten Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta. Parameter untuk menghitung nilai PGA dengan menggunakan metode Oliviera adalah jarak dan magnitudo yang mengacu pada gempa bumi Bantul tanggal 30 Juni 2023. Dilihat dari peta tersebut, nilai PGA maksimum berada pada 14,41 gal dan nilai PGA minimum pada 7,79 gal. Perolehan nilai PGA di Kapanewon Sanden tepatnya pada Kelurahan Gadingsari yang sangat dekat dengan laut secara perhitungan metode Oliviera sebesar 12,78 gal. aik, sehingga semua informasi dalam gambar terbaca.



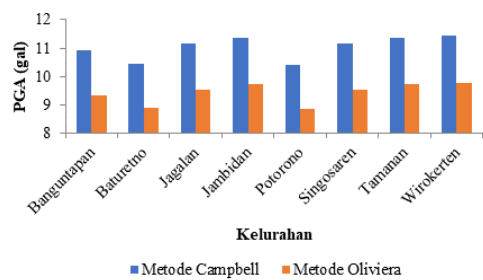
Gambar 3. Peta sebaran PGA Kabupaten Bantul gempa bumi 30 Juni 2023 metode Oliviera.

Berikut adalah diagram sebaran PGA di setiap Kapanewon pada Kabupaten Bantul pada saat gempa bumi 30 Juni 2023. Gambar 4 menunjukkan diagram sebaran PGA Kapanewon Bambanglipuro yang terdiri dari Kelurahan Mulyodadi, Sidomulyo, dan Sumbermulyo. Dimana nilai PGA tertinggi pada Kelurahan Sidomulyo. Gambar 5 menunjukkan diagram sebaran PGA Kapanewon Banguntapan yang terdiri dari Kelurahan Banguntapan, Baturetno, Jagalan, Potorono, Singosaren, Tamanan, dan Winokerten. Dimana nilai PGA tertinggi pada Kelurahan Winokerten. Gambar 6 menunjukkan diagram sebaran PGA Kapanewon Bambanglipuro yang terdiri dari Kelurahan Mulyodadi, Sidomulyo, dan Sumbermulyo. Dimana nilai PGA tertinggi pada Kelurahan Sidomulyo. Dari diagram diatas, Kapanewon Bantul terdiri dari Kelurahan Bantul,

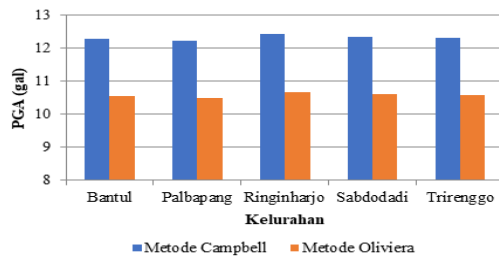
Palbapang, Ringinharjo, Sabdodadi, dan Tirirenggo. Dimana nilai PGA tertinggi pada Kelurahan Ringinharjo. Gambar 7 menunjukkan diagram sebaran PGA Kapanewon Dlingo yang terdiri dari Kelurahan Dlingo, Jatimulyo, Mangunan, Muntuk, Temuwuh, dan Terong. Dimana nilai PGA tertinggi pada Kelurahan Mangunan.



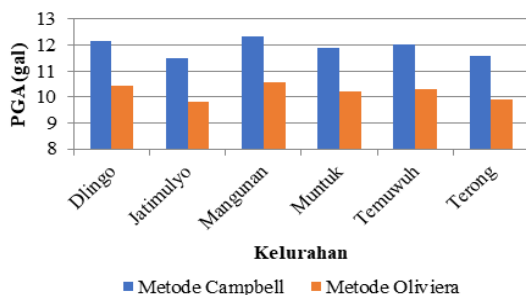
Gambar 4. Diagram Sebaran PGA Kapanewon Bambanglipuro.



Gambar 5. Diagram Sebaran PGA Kapanewon Banguntapan.

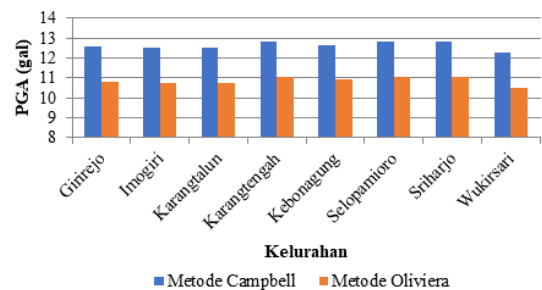


Gambar 6. Diagram Sebaran PGA Kapanewon Bantul.

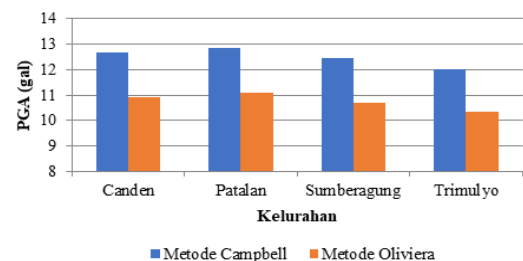


Gambar 7. Diagram Sebaran PGA Kapanewon Dlingo.

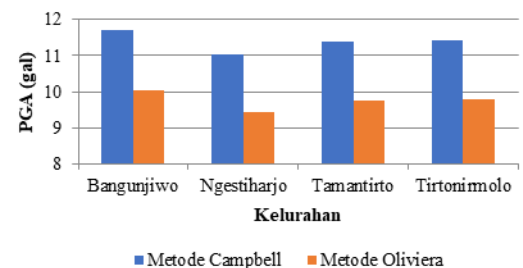
Gambar 8 menunjukkan diagram sebaran PGA Kapanewon Imogiri yang terdiri dari Kelurahan Ginirejo, Imogiri, Karangtalun, Karangtengah, Kebonagung, Selopamiro, Sriharjo, dan Wukirsari. Dimana nilai PGA tertinggi pada Kelurahan Selopamiro. Gambar 9 menunjukkan diagram sebaran PGA Kapanewon Jetis yang terdiri dari Kelurahan Canden, Patalan, Sumberagung, dan Trimulyo. Dimana nilai PGA tertinggi pada Kelurahan Patalan. Gambar 10 menunjukkan diagram sebaran PGA Kapanewon Kasihan yang terdiri dari Kelurahan Bangunjiwo, Ngestiharjo, Tamantirto, dan Tirtonirmolo. Dimana nilai PGA tertinggi pada Kelurahan Bangunjiwo. Gambar 11 menunjukkan diagram sebaran PGA Kapanewon Kretek yang terdiri dari Kelurahan Donotirto, Parangtritis, Tirtoharjo, Tirtomulyo, dan Tirtosari. Dimana nilai PGA tertinggi pada Kelurahan Tirtoharjo. Gambar 12 menunjukkan diagram sebaran PGA Kapanewon Pajangan yang terdiri dari Kelurahan Guvosari, Sendangsari, dan Triwidadi. Dimana nilai PGA tertinggi pada Kelurahan Sendangsari.



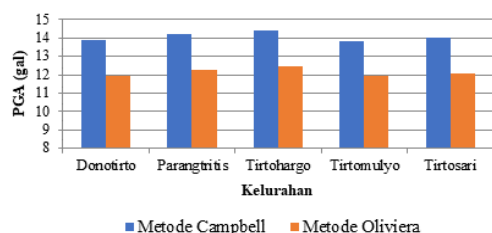
Gambar 8. Diagram Sebaran PGA Kapanewon Imogiri.



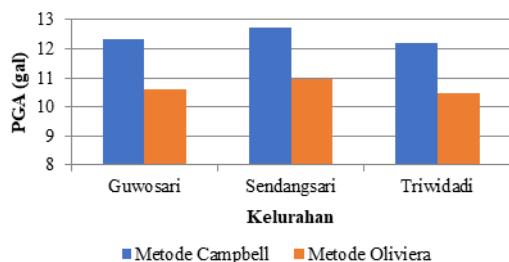
Gambar 9. Diagram Sebaran PGA Kapanewon Jetis.



Gambar 10. Diagram Sebaran PGA Kapanewon Kasihan.

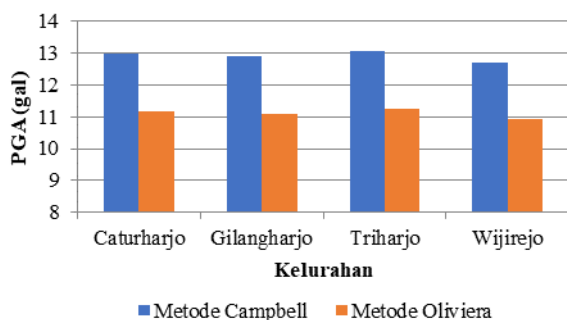


Gambar 11. Diagram Sebaran PGA Kapanewon Kretek.

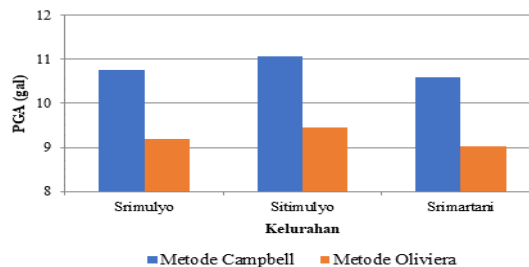


Gambar 12. Diagram Sebaran PGA Kapanewon Pajangan.

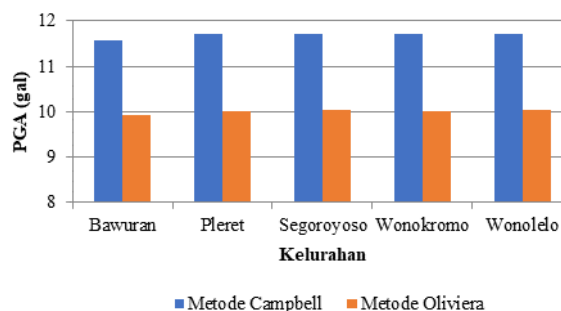
Gambar 13 menunjukkan diagram sebaran PGA Kapanewon Pandak yang terdiri dari Kelurahan Caturharjo, Gilangharjo, Triharjo, dan Wijirejo. Dimana nilai PGA tertinggi pada Kelurahan Triharjo. Gambar 14 menunjukkan diagram sebaran PGA Kapanewon Piyungan yang terdiri dari Kelurahan Srimulyo, Sitimulyo, dan Srimartani. Dimana nilai PGA tertinggi pada Kelurahan Sitimulyo. Gambar 15 menunjukkan diagram sebaran PGA Kapanewon Pleret yang terdiri dari Kelurahan Bawuran, Pleret, Segoroyoso, Wonokromo, dan Wonolelo. Dimana nilai PGA tertinggi pada Kelurahan Wonolelo. Gambar 16 menunjukkan diagram sebaran PGA Kapanewon Pundong yang terdiri dari Kelurahan Pajangrejo, Seloharjo, dan Srihardono. Dimana nilai PGA tertinggi pada Kelurahan Seloharjo. Gambar 17 menunjukkan diagram sebaran PGA Kapanewon Sanden yang terdiri dari Kelurahan Gadingsari, Gadingharjo, Murtigading, dan Srigading. Dimana nilai PGA tertinggi pada Kelurahan Gadingsari.



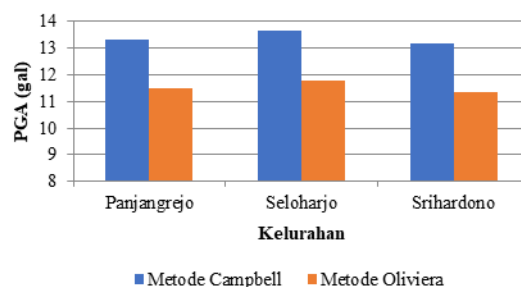
Gambar 13. Diagram Sebaran PGA Kapanewon Pandak.



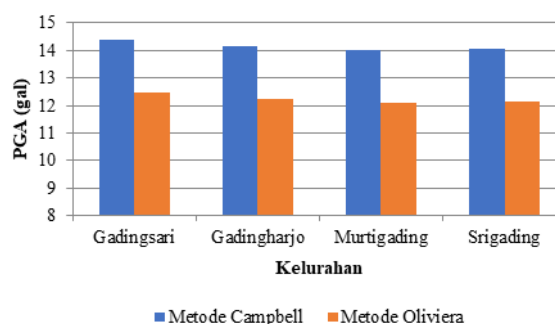
Gambar 14. Diagram Sebaran PGA Kapanewon Piyungan.



Gambar 15. Diagram Sebaran PGA Kapanewon Pleret.



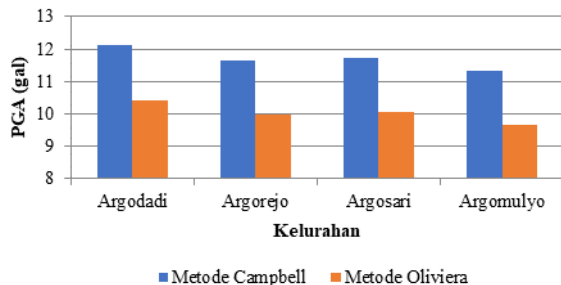
Gambar 16. Diagram Sebaran PGA Kapanewon Pundong.



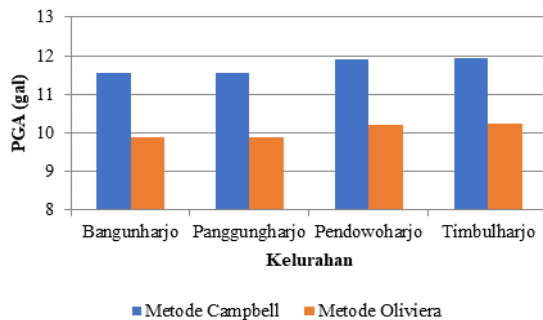
Gambar 17. Diagram Sebaran PGA Kapanewon Sanden.

Gambar 18 menunjukkan diagram sebaran PGA Kapanewon Sedayu yang terdiri dari Kelurahan Argodadi, Argorejo, Argosari, dan Argomulyo. Dimana nilai PGA tertinggi pada Kelurahan Argodadi. Gambar 19 menunjukkan diagram sebaran PGA Kapanewon Sewon

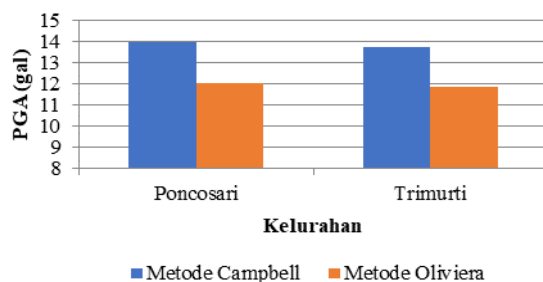
yang terdiri dari Kelurahan Bangunharjo, Panggungharjo, Pendowoharjo, dan Timbulharjo. Dimana nilai PGA tertinggi pada Kelurahan Timbulharjo. Gambar 20 menunjukkan diagram sebaran PGA Kapanewon Srandakan yang terdiri dari Kelurahan Poncosari dan Trimurti. Dimana nilai PGA tertinggi pada Kelurahan Poncosari.



Gambar 18. Diagram Sebaran PGA Kapanewon Sedayu.



Gambar 19. Diagram Sebaran PGA Kapanewon Sewon.



Gambar 20. Diagram Sebaran PGA Kapanewon Srandakan.

Dari semua diagram PGA setiap kapanewon di Kabupaten Bantul, nilai PGA yang didapatkan dari pengukuran metode Campbell lebih tinggi daripada metode Oliviera. Skala MMI yang didapatkan dari metode Campbell berkisar pada II-IV sedangkan metode Oliviera hanya berkisar pada II-II. Dimana pada skala tersebut, gempa yang terjadi tergolong gempa terasa yang tidak menimbulkan kerusakan.

Dilihat dari fakta, dilansir dari Harian Jogja [9], terdapat kerusakan yang tersebar di 31 kelurahan dan 16 kapanewon. Terbanyak ada di kapanewon yaitu Sanden 45 lokasi, kemudian disusul Kretek 12 lokasi, Imogiri 10

lokasi. Kemudian kapanewon Srandakan, Pundong, dan Bambanglipuro masing-masing lima lokasi. Kapanewon Jetis empat lokasi, kapanewon Dlingo, Pandak Banguntapan, dan Kasihan masing-masing tiga lokasi. Sehingga pada penelitian ini dapat disimpulkan bahwa metode Campbell lebih akurat saat diklasifikasikan dari skala MMI daripada metode Oliviera. Namun pada dasarnya nilai PGA akan lebih akurat dengan pengukuran menggunakan accelerograph karena metode empiris hanya digunakan untuk memperkirakan nilai PGA di wilayah tertentu, dan setiap metode memiliki kelebihan dan kekurangan.

4. Kesimpulan

Nilai percepatan tanah maksimum di wilayah Kabupaten Bantul studi kasus data gempa bumi 30 Juni 2023 berdasarkan metode Campbell didapatkan 9,23 gal – 16,57 gal dan metode Oliviera didapatkan 7,79 gal – 14,41 gal. Perbandingan nilai percepatan tanah maksimum yang dihasilkan dari metode Campbell dan Oliviera dapat dilihat pada skala warna pada peta sebaran PGA dan diagram nilai PGA pada setiap kapanewon di Kabupaten Bantul. Skala Modified Mercalli Intensity (MMI) nilai percepatan tanah maksimum metode Campbell sebesar II-IV sedangkan metode Oliviera sebesar II-III. Kelurahan dengan nilai percepatan tanah maksimum yang tinggi berdasarkan perhitungan nilai PGA untuk setiap metode adalah Kelurahan Parangtritis dan Tirtoharjo di Kapanewon Kretek, Gadingsari, Gadingharjo, dan Srigading di Kapanewon Sanden, serta Poncosari di Kapanewon Srandakan.

Daftar Pustaka

- [1] Riyadi, R., "Analisis Peta Bentuk Rupa Bumi dalam Menentukan Lokasi dari Pengaruh Tsunami di Kabupaten Cilacap," *Journal of science teaching*, 3 (02), 86-186, 2019.
- [2] Setiawati, S. "13 Kali Yogyakarta Diguncang Gempa, Terungkap Penyebabnya." Internet. <https://www.cnbcindonesia.com/news/20230701163410-4-450411/13-kali-yogyakarta-diguncang-gempa-terungkap-penyebabnya>, diakses 30 Januari 2024
- [3] Ulfiana, E., Rummy, S. A., Pratama, R., dan Ariyanto, P., "Analisis Pendekatan Empiris PGA (Peak Ground Acceleration) Pulau Bali Menggunakan Metode Donovan, MC. Guirre, dan M.V. Mickey," *Jurnal Ilmu dan Inovasi Fisika*, 2 (02), 155-161, 2018.
- [4] Maramis, C., Pasau, G., dan Tamuntuan, G. H., "Analisis Percepatan Tanah Maksimum Akibat Adanya Gempa Bumi di Lengan Utara Pulau Sulawesi Menggunakan Metode Fukushima Tanaka," *Jurnal MIPA*, 9(2), 97-105, 2020.
- [5] Kusumawardani, B. N., Didik, L. A., & Bahtiar, B., "Analisis PGA (Peak Ground Acceleration) Pulau Lombok Menggunakan Metode Pendekatan

- Empiris,” *Jurnal Fisika dan Aplikasinya*, 16(3), 122-127, 2020.
- [6] Wibowo, N. B., dan Sembri, J.N. “Analisis Peak Ground Acceleration (PGA) dan Intensitas Gempabumi berdasarkan Data Gempabumi Terasa Tahun 1981 - 2014 di Kabupaten Bantul Yogyakarta,” *Indonesian Journal of Applied Physics*, 6 (1), 65-72, 2016.
- [7] Campbell, K.W., “Near-source attenuation of peak horizontal acceleration,” *Bulletin of the Seismological Society of America*, 71, 2039-207, 1981
- [8] Oliveira, C.S., “Probabilistic Models for Assessment of Strong Ground Motion. In: Erdik, M.Ö., Toksöz, M.N. (eds) Strong Ground Motion Seismology,” NATO ASI Series, vol 204. Springer, Dordrecht, 1987.
- [9] Hasanudin, U. “Dampak Gempa Bumi, 29 Bangunan Sekolah di Bantul Rusak.” Internet. <https://jogjapolitan.harianjogja.com/read/2023/07/04/511/1140729/dampak-gempa-bumi-29-bangunan-sekolah-di-bantul-rusak>, diakses 30 Januari 2024.