Analisis Perbandingan Nilai *Peak Ground Acceleration* (PGA) Dengan Metode Esteva dan Oliviera (Studi Kasus : Gempa Bumi Bantul 30 Juni 2023)

Comparison Analysis of Peak Ground Acceleration (PGA) Values Using the Esteva and Oliviera Methods (Case Study: Bantul Earthquake, June 30, 2023)

Rizky Widya Utami^{1*}, Umi Pratiwi¹, Dwi Budi Susanti², Wuri Handayani²

¹Jurusan Fisika, FMIPA, Universitas Jenderal Soedirman, Jl. Dr Soeparno No.61, Purwokerto Utara, Banyumas, Jawa Tengah ²Stasiun Geofisika Kelas I Sleman, Jl. Wates Km. 8, Jitengan, Balecatur, Gamping, Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta 55295

INFO ARTIKEL

Naskah masuk: 24 Maret 2024Naskah diperbaiki: 15 Mei 2024Naskah diterima: 8 Juni 2024

Kata kunci: PGA metode Esteva metode Oliviera skala MMI

Keywords: PGA Esteva method Oliviera method MMI Scale

A B S T R A K

Penelitian ini bertujuan untuk menghitung dan membandingkan nilai percepatan tanah maksimum (PGA) menggunakan metode Esteva dan Oliviera, menganalisis perbedaan pola dan nilai pada peta kontur hasil kedua metode, serta menghubungkan nilai PGA dengan skala Modified Mercalli Intensity (MMI). Studi kasus yang digunakan adalah gempa bumi di Bantul pada 30 Juni 2023, dengan data gempa bumi diperoleh dari BMKG. Data tersebut diolah menggunakan persamaan masing-masing metode untuk menghasilkan peta kontur PGA. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai PGA yang dihitung dengan metode Esteva berkisar antara 5,47 hingga 6,73 gal, sementara metode Oliviera menghasilkan nilai yang lebih tinggi, yaitu antara 9,64 hingga 12,14 gal. Peta kontur dari kedua metode menunjukkan pola distribusi yang serupa namun dengan perbedaan nilai yang signifikan. Peta PGA menggunakan metode Oliviera menunjukkan nilai lebih tinggi dibandingkan Esteva. Hasil penghitungan dari kedua metode sesuai dengan peta intensitas gempa bumi BMKG untuk kejadian 30 Juni 2023, yang menunjukkan intensitas gempa dirasakan pada level III-V MMI. Penelitian ini menunjukkan bahwa baik metode Esteva maupun Oliviera dapat digunakan untuk memetakan distribusi PGA, meskipun memiliki sensitivitas.

ABSTRACT

This study aims to calculate and compare the peak ground acceleration (PGA) values using the Esteva and Oliviera methods, analyze the differences in patterns and values on the contour maps produced by both methods and correlate the PGA values with the Modified Mercalli Intensity (MMI) scale. The case study focuses on the earthquake in Bantul on June 30, 2023, with earthquake data obtained from BMKG. The data were processed using the equations of each method to generate PGA contour maps. The results show that the PGA values calculated using the Esteva method range from 5.47 to 6.73 gal, while the Oliviera method produced higher values, ranging from 9.64 to 12.14 gal. The contour maps of both methods exhibit similar distribution patterns but significant value differences. The Oliviera method's contour map shows higher PGA values than the Esteva method. The results from both methods align with the BMKG earthquake intensity map for the June 30, 2023 event, indicating perceived earthquake intensity at levels III-V MMI. This study demonstrates that the Esteva and Oliviera methods can map PGA distribution, albeit with different sensitivities.

© 2024 Jurnal Stasiun Geofisika Sleman

1. Pendahuluan

Wilayah Indonesia merupakan daerah yang termasuk dalam zona kegempaan tinggi karena terletak pada jalur pertemuan tiga lempeng dunia, yaitu Lempeng Indo-Australia, Lempeng Eurasia, dan Lempeng Pasifik [1, 2]. Pertemuan ketiga lempeng ini membentuk zona subduksi. Masing-masing lempeng memiliki arah gerakan yang berbeda: Lempeng Indo-Australia bergerak ke arah utara, Lempeng Eurasia ke arah tenggara, dan Lempeng Pasifik ke arah barat. Pergerakan lempeng-lempeng ini sering bertabrakan, sehingga menyebabkan terjadinya gempa bumi tektonik [3].

Pergeseran lempeng akibat tenaga tektonik dikenal sebagai lempeng tektonik. Pergeseran lempeng yang saling bertumbukan tidak hanya membentuk lipatan, pegunungan, dan gunung api, tetapi juga menimbulkan getaran pada kerak bumi yang memengaruhi berbagai fenomena di permukaan bumi. Salah satu fenomena tersebut adalah gempa bumi. Akibat gempa bumi ini, lempengan di bawah permukaan laut terus bergerak hingga mencapai titik di mana pergerakan tersebut berhenti karena lempeng tidak dapat bergerak lebih jauh lagi [4].

Gempa bumi merupakan salah satu bencana alam yang sering terjadi di wilayah Indonesia. Pulau Jawa adalah salah satu pulau di Indonesia yang kerap dilanda bencana ini. Salah satu daerah di Pulau Jawa yang sering diguncang gempa bumi adalah Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta (DIY). DIY terletak di bagian selatan Pulau Jawa, berbatasan langsung dengan Samudra Hindia, dan berada di zona subduksi antara Lempeng Eurasia dan Lempeng Indo-Australia. Kondisi ini menyebabkan geomorfologi DIY dipengaruhi oleh aktivitas tumbukan lempeng [5]. Gempa bumi dapat menghasilkan getaran tanah yang berpotensi merusak morfologi permukaan tanah dan berbagai infrastruktur di atasnya. Salah satu faktor penting yang menentukan tingkat kerusakan akibat gempa bumi adalah percepatan tanah maksimum atau Peak Ground Acceleration (PGA) [6].

PGA adalah nilai yang dihitung pada titik pengamatan atau titik penelitian di permukaan bumi yang mencerminkan percepatan tanah maksimum akibat getaran gempa bumi dalam periode waktu tertentu. Periodisitas gempa bumi merujuk pada periode ulang terjadinya gempa bumi, yang diperoleh melalui analisis parameter keaktifan gempa bumi atau kejadian gempa bumi di wilayah tertentu. Gempa bumi merupakan fenomena yang selalu diperbarui dan berulang. Dengan pendekatan untuk menghitung periode ulang gempa bumi dalam rentang waktu tertentu, kita dapat memperoleh manfaat, seperti memprediksi kemungkinan terjadinya gempa bumi di masa depan dan memahami tingkat seismisitas suatu wilayah [7].

PGA adalah nilai percepatan tanah tertinggi yang terjadi di suatu wilayah akibat getaran gempa bumi dalam periode waktu tertentu. Percepatan tanah ini dihitung menggunakan parameter gempa seperti magnitudo, hiposenter, episenter, dan periode tanah di sekitar pusat gempa. Pengukuran PGA dapat dilakukan secara langsung menggunakan alat accelerograph atau secara tidak langsung melalui pendekatan empiris, seperti metode McGuire, Donovan, Esteva, Oliviera, dan metode lainnya. Nilai PGA yang dihasilkan dari perhitungan ini dapat disajikan dalam bentuk peta percepatan tanah maksimum, yang menunjukkan hubungan antara percepatan maksimum dengan intensitas gempa bumi dalam satuan *Modified Mercalli Intensity* (MMI) [8].

Penelitian ini bertujuan untuk menghitung dan membandingkan nilai PGA menggunakan metode Esteva dan Oliveira, menganalisis perbedaan pola serta nilai PGA yang dihasilkan oleh kedua metode, dan menghubungkan nilai PGA dengan skala MMI. Studi kasus yang digunakan adalah gempa bumi yang terjadi di Bantul pada 30 Juni 2023.

2. Metode Penelitian

Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data sekunder yang diperoleh dari Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG), Stasiun Geofisika Kelas I Sleman. Data yang dimaksud mencakup informasi terkait gempa bumi yang terjadi pada hari Jumat, 30 Juni 2023, pukul 19:57:41 WIB. Gempa bumi ini tercatat dengan pusat gempa bumi yang terletak di laut, sekitar 102 km Barat Daya Bantul, dengan magnitudo sebesar 6.4 SR dan kedalaman 65 km. Lokasi episenter gempa berada pada koordinat 8.59 LS dan 110.07 BT. Parameterparameter yang digunakan dalam penelitian ini mencakup tanggal kejadian, episenter yang berupa koordinat longitude dan latitude, jenis gempa bumi, serta lokasi wilayah yang terdampak oleh gempa bumi tersebut. Pemilihan gempa bumi ini didasarkan pada pertimbangan kedekatannya dengan wilayah yang akan dianalisis, serta kekuatan gempa yang cukup signifikan untuk dapat mempengaruhi kondisi seismik di area tersebut.

Perhitungan PGA pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode Esteva dan Oliveira, yang merupakan pendekatan empiris yang umum digunakan untuk memperkirakan percepatan puncak permukaan tanah berdasarkan jarak dari episenter dan kedalaman gempa bumi. Proses ini melibatkan pengaplikasian rumus-rumus yang telah dikembangkan dalam penelitian sebelumnya, yang dapat direpresentasikan dalam persamaan 1 dan 2. Metode ini memungkinkan peneliti untuk memodelkan dampak seismik di permukaan tanah berdasarkan karakteristik gempa bumi yang terjadi. Dengan menggunakan pendekatan ini, diharapkan dapat diperoleh informasi yang lebih akurat mengenai potensi kerusakan akibat gempa bumi pada wilayah yang dianalisis.

Metode Esteva

$$\alpha = \frac{5600 \exp(0.5 \text{Ms})}{(\text{R}+40)^2}$$
(1)

Metode Oliviera

$$\alpha = \frac{1230 \exp(0.8 \text{Ms})}{(\text{R}+25)^2}$$
(2)

dengan α merupakan nilai percepatan tanah maksimum (gal), Ms sebagai magnitudo surface, dan R adalah jarak hiposenter (km). Selanjutnya, dilakukan pembuatan peta kontur PGA dimulai dengan penentuan grid yang akan digunakan. Ukuran jarak untuk tiap titik pengukuran yang digunakan dalam penelitian ini adalah 0,01 x 0,01. Setelah dilakukan gridding didapatkan sebanyak 234 titik pengukuran.

Perhitungan nilai PGA dilakukan menggunakan dua rumus empiris dalam memperkirakan PGA berdasarkan karakteristik gempa bumi yang terjadi, yaitu metode Esteva dan metode Oliveira. Kedua metode ini memiliki pendekatan yang sedikit berbeda, namun keduanya dapat memberikan hasil yang berguna untuk mengevaluasi potensi kerusakan gempa di suatu wilayah. Proses perhitungan ini dilakukan menggunakan perangkat lunak Microsoft Excel 2019, yang memungkinkan pengolahan data secara efisien dan akurat.

Setelah memperoleh nilai PGA pada setiap titik pengukuran dari hasil perhitungan tersebut, langkah berikutnya adalah pembuatan peta kontur untuk menggambarkan distribusi nilai PGA di seluruh wilayah studi. Peta kontur ini dibuat menggunakan software Surfer 17, yang menyediakan alat untuk menghasilkan visualisasi spasial yang jelas dan informatif. Proses pembuatan peta dimulai dengan memplotkan data grid yang telah diperoleh, di mana setiap titik pengukuran PGA diwakili oleh koordinat dan nilai percepatan yang telah diolah. Proses ini kemudian diulang untuk kedua metode, Esteva dan Oliveira, untuk memperoleh peta kontur yang menggambarkan perbedaan distribusi PGA berdasarkan metode yang digunakan.

Setelah data peta kontur dihasilkan, analisis lebih lanjut dilakukan dengan tujuan untuk mengklasifikasikan skala intensitas gempa bumi. Klasifikasi ini penting untuk menilai dampak gempa pada struktur dan infrastruktur di wilayah tersebut. Berdasarkan peta kontur PGA, dilakukan pengelompokkan intensitas gempa menggunakan skala intensitas yang sesuai, yang memungkinkan penilaian terhadap potensi kerusakan dan rekomendasi untuk mitigasi risiko gempa bumi. yang dilakukan dengan menggunakan kedua metode empiris, yaitu metode Esteva dan metode Oliveira, diperoleh peta kontur yang menggambarkan distribusi nilai PGA untuk masing-masing metode. Peta kontur ini menggambarkan variasi percepatan tanah maksimum di seluruh wilayah yang terdampak oleh gempa bumi, yang dihitung berdasarkan persamaan matematis yang telah dikembangkan untuk masing-masing metode.

Metode Esteva menghasilkan nilai percepatan tanah maksimum yang bervariasi antara 5,47 hingga 6,73 gal sebagaimana ditunjukkan Gambar 1. Nilai PGA tersebut mencerminkan intensitas seismik yang lebih rendah dibandingkan dengan hasil dari metode Oliveira. Di sisi lain, perhitungan dengan menggunakan metode Oliveira menunjukkan rentang nilai PGA yang lebih tinggi, yaitu antara 9,64 hingga 12,14 gal sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2.

Berdasarkan Gambar 1 dan Gambar 2, dapat diperoleh informasi mengenai daerah dengan nilai PGA tertinggi hingga daerah dengan nilai terendah. Terlihat bahwa warna merah menunjukkan nilai PGA yang tinggi, yang membuktikan bahwa daerah tersebut lebih berdekatan dengan pusat gempa bumi. Semakin jauh suatu wilayah dari pusat gempa bumi, maka warna pada peta kontur akan beralih ke arah warna biru dengan nilai PGA yang semakin kecil. Terdapat beberapa kecamatan yang memiliki tingkat kerawanan gempa bumi yang tinggi. Tabel 1 dan 2 mengidentifikasi kecamatan-kecamatan dengan nilai PGA untuk masing-masing metode. tertinggi Untuk memberikan gambaran lebih jelas mengenai perbandingan antara kedua metode, Gambar 3 menunjukkan grafik nilai PGA yang dihasilkan oleh metode Esteva dan Oliveira.

3. Hasil Dan Pembahasan

Berdasarkan hasil pengolahan data dan perhitungan nilai percepatan tanah maksimum (PGA) di lokasi gempa bumi,



Gambar 1. Peta kontur PGA dengan metode Esteva.



Longitude

_

Gambar 2. Peta kontur PGA dengan metode Oliviera.

Kecamatan	Warna	PGA (gal)
Sanden	Merah	6,75
Pundong	Jingga tua	6,65
Bambangliporo	Jingga tua	6,55
Lendah	Jingga	6,4
Bantul	Kuning	6,25
Purwosari	Kuning	6,3
Pandak	Hijau muda	6,2
Dlingo	Hijau muda	6,15
Imogiri	Hijau	6,1
Sedayu	Hijau tua	6
Pleret	Biru tua	5,85
Banguntapan	Ungu muda	5,75
Kasihan	Biru	5,7

Tabel 1. Wilayah daerah kerawanan gempa bumi metode Esteva.

Tabel 2. Wilayah daerah kerawanan gempa bumi metode Oliviera.

Kecamatan	Warna	PGA (gal)	
Sanden	Merah	12,2	
Pundong	Jingga tua	12	
Bambangliporo	Jingga tua	11,8	
Lendah	Jingga	11,6	
Bantul	Kuning	11,4	
Purwosari	Kuning	11,2	
Pandak	Hijau muda	11	
Dlingo	Hijau muda	10,8	
Imogiri	Hijau	10,6	
Sedayu	Hijau tua	10,4	
Pleret	Biru tua	10,2	
Banguntapan	Ungu muda	10	
Kasihan	Biru	9,8	



Gambar 3. Grafik nilai PGA dengan metode Esteva dan Oliviera.

Pola kontur nilai PGA yang dihasilkan oleh metode Esteva dan Oliveira relatif serupa, meskipun terdapat perbedaan dalam besaran nilainya. Hasil ini kemudian dibandingkan dengan shakemap gempa bumi yang dikeluarkan oleh BMKG untuk kasus gempa bumi 30 Juni 2023. Perbedaan nilai PGA antara shakemap dengan metode Esteva dan Oliveira disebabkan oleh perbedaan sumber data: shakemap menggunakan data real-time hasil pengukuran alat seismograf, sementara nilai PGA dari metode Esteva dan Oliveira diperoleh melalui persamaan empiris berdasarkan parameter input gempa bumi. Dengan demikian, shakemap memberikan model yang lebih akurat dan mendekati kondisi nyata, sementara metode Esteva dan Oliveira lebih bergantung pada estimasi berdasarkan karakteristik gempa yang diinputkan.

Berdasarkan hasil analisis data akselerograf BMKG pada kejadian gempa bumi 30 Juni 2023, pukul 19:57:41 WIB, nilai percepatan tanah yang terekam oleh sensor akselerograf bervariasi di berbagai lokasi, dengan nilai antara 0,2372 hingga 513,2260 gal. Stasiun Sanden, Bantul (SBJM), yang merupakan stasiun terdekat dengan epicenter gempa bumi, yaitu sekitar 110,58 km, mencatat nilai percepatan tanah maksimum (PGA) sebesar 79,2673 gals. Hal ini menunjukkan perbedaan nilai PGA yang terekam oleh sensor akselerograf dengan menggunakan metode Esteva dan Oliveira. Perbedaan ini terjadi karena nilai PGA yang terekam oleh sensor akselerograf menggunakan data real hasil pengukuran alat, sedangkan nilai PGA yang diperoleh menggunakan metode Esteva dan Oliveira didasarkan pada persamaan empiris. Perbedaan PGA hasil shakemap dan metode Esteva dan Oliviera ditunjukkan pada Tabel 3.

Fabel 3.	Nilai	skala	MMI	percepatan	tanah	Shakemap,
	meto	de Este	eva dar	n Oliviera		

PGA	PGA Min	PGA Max	Skala MMI
Shakemap	28,3886	79,2673	III-V
Metode Esteva	5,4761	6,7335	III-V
Metode Oliviera	9,6469	12,1486	III-V

Berdasarkan Tabel 3, nilai PGA Shakemap berkisar antara 28,3886 hingga 79,2673 gal, sementara metode Esteva menghasilkan nilai antara 5,47 hingga 6,73 gal, yang termasuk dalam klasifikasi skala MMI III-V. Wilayah yang rawan gempa bumi meliputi Kecamatan Sanden, Pundong, Bambanglipuro, Lendah, Bantul, Purwosari, Pandak, Dliongo, Imogiri, Sedayu, Pleret, Banguntapan, dan Kasihan. Sementara itu, untuk nilai PGA yang dihitung menggunakan metode Oliveira, diperoleh nilai antara 9,64 hingga 12,14 gal, yang juga diklasifikasikan dalam skala MMI III-V. Wilayah yang rawan gempa bumi meliputi Kecamatan Sanden, Pundong, Bambanglipuro, Lendah, Bantul, Purwosari, Pandak, Dliongo, Imogiri, Sedayu, Pleret, Banguntapan, dan Kasihan. Perhitungan nilai percepatan tanah maksimum menggunakan metode Esteva dibandingkan dengan metode Oliveira menghasilkan skala MMI yang sama.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil perhitungan, diperoleh nilai percepatan tanah maksimum (PGA) untuk kedua metode yang digunakan. Pada metode Esteva, nilai percepatan tanah berkisar antara 5,47 hingga 6,73 gal, sedangkan pada metode Oliviera, nilai percepatan tanah berkisar antara 9,64 hingga 12,14 gal. Peta kontur PGA yang dihasilkan dengan metode Oliviera menunjukkan nilai yang lebih tinggi dibandingkan dengan metode Esteva, yang berpengaruh pada skala warna pada peta kontur, ditunjukkan dengan warna merah pada peta percepatan tanah maksimum. Klasifikasi intensitas gempa bumi yang dirasakan, sesuai dengan peta intensitas gempa bumi tanggal 30 Juni 2023 yang dirilis oleh BMKG, menunjukkan hasil yang konsisten dengan kedua metode, yaitu dengan skala intensitas III-V MMI.

Saran

Penelitian berikutnya perlu digunakan perhitungan dengan metode lain untuk memperoleh nilai percepatan tanah maksimum (PGA). Batas wilayah perlu diperlebar dalam menentukan batas *grid* titik pengukuran. Upaya mitigasi perlu segera dilakukan dalam menanggulangi gempa bumi yang tidak dapat diprediksi kapan terjadinya untuk meminimalisir risiko akibat bencana gempa bumi yang terdapat di daerah penelitian.

Daftar Pustaka

[1] Van Bemmelen, R. W. *The Geology of Indonesia Vol. 1A*. Netherlands: Goverment Printing Office, Martinus Nijhoff, The Hague, 1949.

- [2] Hall, R., "Cenozoic Geological and Plate tectonic Evolution of SE Asia and The SW Pacific: Computer-Based Reconstuction, Model and Animations," *Journal of Asian Earth Science*, 20, 2002.
- [3] Aliyah, S. M. Pemetaan tingkat resiko akibat gempa bumi di Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta berdasarkan pola percepatan tanah maksimum (studi kasus data gempa bumi tahun 1969–2019). Disertasi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim, 2021.
- [4] Diyanti, M. F. Penentuan Formula Empiris Perecepatan Tanah Zona Gempa Tasikmalaya Tanggal 2 September 2009. Tugas Akhir, Fakultas Sains dan Teknologi, UIN Syarif Hidayatullah Jakarta, 2010.
- [5] Daryono, Sutikno, Prayitno, B. S. *Data Mikrotremor* dan Pemanfaatannya untuk Pengkajian Bahaya Gempa bumi. Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, 2009.
- [6] Korengkeng, F., Pandara, D. P., Pasau, G. "Analisis Resiko Gempa Bumi di Kota Amurang Menggunakan Fungsi Atenuasi Crouse Campbel dan Mc Guire," *Jurnal LPPM Bidang Sains Dan Teknologi*, 8, 2, 66-71, 2023.
- [7] Subardjo. "Intensitas Seismik dan Percepatan Tanah untuk Beberapa Kota di Indonesia," *J. BMG.*, 2, 37-41, 2021.
- [8] Hadi, A. I., Farid, M., Fauzi, Y., "Pemetaan Percepatan Getaran Tanah dan Indeks Kerentanan Seismik Akibat Gempa bumi untuk Mendukung Rencana Tata Ruang dan Wilayah (RTRW) Kota Bengkulu," SIMETRI: Jurnal Ilmu Fisika, 1, 2012.