

## ***PROBABILISTIC SEISMIC HAZARD ANALYSIS BALI: FOKUS PADA SUMBER GEMPA LOKAL DAN SHALLOW BACKGROUND***

### ***PROBABILISTIC SEISMIC HAZARD ANALYSIS BALI: FOCUS ON LOCAL EARTHQUAKE SOURCES AND SHALLOW BACKGROUND***

**Riski Kurniawan<sup>1,\*</sup>, Adistina Lailia Fajar Dewi<sup>2</sup>, Ajimas Pascaning Setiahadwibowo<sup>3</sup>**

<sup>1,3</sup>Jurusan Teknik Geofisika, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Yogyakarta  
Jalan Babarsari, Caturtunggal, Depok, Sleman, Yogyakarta 55281, Indonesia

\*Email corresponding: riski.kurniawan@upnyk.ac.id

Email: ajimas@upnyk.ac.id

<sup>2</sup>Jurusan Teknik Geologi, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Yogyakarta  
Jalan Babarsari, Caturtunggal, Depok, Sleman, Yogyakarta 55281, Indonesia

Email: adistina.lailiafd@upnyk.ac.id

**Cara sitasi:** R. Kurniawan, A. L. F. Dewi, and A. P. Setiahadwibowo, “Probabilistic Seismic Hazard Analysis Bali: Fokus pada Sumber Gempa Lokal dan Shallow Background,” *Kurvatek*, vol. 11, no. 1, pp. 119–124, 2026. doi: 10.33579/krvtk.v11i1.6532 [Online].

**Abstrak** — Penelitian ini mengevaluasi bahaya gempa di Pulau Bali dengan mempertimbangkan sumber gempa lokal berupa sesar aktif dan sumber gempa dangkal (*shallow background*) menggunakan *Probabilistic Seismic Hazard Analysis* (PSHA). Perhitungan *Peak Ground Acceleration* (PGA) dilakukan dengan *Ground Motion Prediction Equation* (GMPE) untuk gempa kerak dangkal (*shallow crustal*), yang disesuaikan dengan karakteristik sumber *fault* lokal dan *shallow background*. Hasil menunjukkan nilai PGA dari *fault* lokal sebesar 0,02–0,20 g untuk periode ulang 500 tahun dan 0,05–0,30 g untuk 2500 tahun. Sumber *shallow background* menghasilkan PGA 0,02–0,30 g untuk 500 tahun dan 0,30–0,60 g untuk 2500 tahun. Wilayah selatan Bali menunjukkan PGA tertinggi, sedangkan wilayah tengah dan utara memiliki PGA menengah hingga rendah. Integrasi kedua sumber gempa menghasilkan peta hazard yang lebih representatif untuk mitigasi risiko, tata ruang, dan desain bangunan tahan gempa.

**Kata kunci:** Bali, PSHA, sumber gempa lokal, *shallow background*, hazard gempa

**Abstract** — *This study evaluates seismic hazard in Bali Island by considering local fault sources and shallow background seismicity using Probabilistic Seismic Hazard Analysis (PSHA). Peak Ground Acceleration (PGA) was estimated using Ground Motion Prediction Equations (GMPEs) for shallow crustal earthquakes, adjusted to the characteristics of local fault and shallow background sources. The results show that PGA values from local fault sources range from 0.02–0.20 g for a 500-year return period and 0.05–0.30 g for a 2500-year return period. Meanwhile, shallow background sources produce PGA values of 0.02–0.30 g for 500 years and 0.30–0.60 g for 2500 years. Southern Bali shows the highest PGA values, while central and northern Bali exhibit moderate to low values. The integration of both seismic sources provides a more representative hazard map to support risk mitigation, spatial planning, and earthquake-resistant building design.*

**Keywords:** Bali, PSHA, local earthquake sources, shallow background, seismic hazard

#### **I. PENDAHULUAN**

Pulau Bali, sebagai salah satu pusat ekonomi, budaya, dan pariwisata di Indonesia, berada di zona tektonik aktif yang kompleks akibat interaksi antara Lempeng Indo-Australia dan Lempeng Eurasia. Aktivitas seismik di wilayah ini tidak hanya dipicu oleh subduksi megathrust, tetapi juga oleh sumber gempa lokal dan *shallow background*, yang sering memberikan kontribusi signifikan terhadap percepatan tanah secara lokal [1],[2] [3]

Sejauh ini, studi PSHA di Bali lebih banyak menitikberatkan pada megathrust dan zona *Benioff*, sementara sumber gempa dangkal dan lokal kurang diperhitungkan. Padahal, gempa dangkal dapat menghasilkan guncangan tanah yang lebih besar di permukaan, meningkatkan risiko kerusakan pada

infrastruktur dan mengancam keselamatan masyarakat. Oleh karena itu, integrasi sumber lokal dan *Shallow Background* menjadi aspek krusial dalam pemetaan *hazard* gempa yang akurat.

*Probabilistic Seismic Hazard Analysis* (PSHA) merupakan pendekatan yang memungkinkan perhitungan *Peak Ground Acceleration* (PGA) dengan mempertimbangkan karakteristik spasial dan temporal dari berbagai sumber gempa. Metode ini memungkinkan penanganan ketidakpastian dalam magnitudo, lokasi episenter, kedalaman fokus, dan fungsi atenuasi tanah [4],[5]. Integrasi sumber lokal dan *Shallow Background* ke dalam PSHA tidak hanya meningkatkan akurasi peta *hazard*, tetapi juga memberikan informasi praktis untuk perencanaan tata ruang, desain bangunan tahan gempa, dan mitigasi bencana.

Penelitian ini difokuskan pada:

1. Estimasi bahaya gempa di Bali dari sumber gempa lokal dan shallow background.
2. Perhitungan PGA untuk periode ulang 500 dan 2500 tahun.
3. Identifikasi wilayah rawan berdasarkan distribusi *hazard*.

Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi ilmiah untuk penilaian risiko gempa di Bali, serta mendukung pengambilan keputusan terkait mitigasi bencana dan pembangunan infrastruktur yang lebih aman.

## II. METODE PENELITIAN

PSHA menghitung *Annual Rate of Exceedance* ( $\lambda_{PGA \geq x}$ ) untuk setiap lokasi dengan mengintegrasikan distribusi sumber gempa, frekuensi kejadian, dan Ground Motion Prediction Equation (GMPE). PSHA memerlukan tiga komponen utama: model sumber, GMPE, dan logika perhitungan probabilistik [6].

### A. Annual Rate of Exceedance

*Annual Rate of Exceedance* ( $\lambda$ ) untuk nilai PGA tertentu ( $x$ ) dihitung dengan persamaan integral [6],[7]:

$$\lambda(X \geq x) = \int_{M_{min}}^{M_{max}} \int_{R_{min}}^{R_{max}} v(M) \cdot f_{M,R}(M, R) \cdot P(Y \geq x | M, R) dR dM$$

dengan:

- $\lambda(X \geq x)$  = laju tahunan guncangan tanah yang melebihi  $x$
- $M$  = magnitudo gempa
- $R$  = jarak sumber ke lokasi output
- $v(M)$  = laju kejadian gempa untuk magnitudo  $M$
- $f_{\{M,R\}}(M,R)$  = distribusi bersama magnitudo dan jarak gempa
- $P(Y \geq x | M,R)$  = probabilitas PGA melebihi  $x$  berdasarkan GMPE

### B. Ground Motion Prediction Equation (GMPE)

GMPE digunakan untuk memodelkan hubungan antara magnitudo, jarak, dan respons guncangan tanah seperti PGA. Secara umum [8],[9] :

$$\ln(Y) = f(M, R, \theta) + \varepsilon$$

dengan:

- $Y$  = respon gempa (contoh: PGA)
- $f(M, R, \theta)$  = fungsi GMPE bergantung pada parameter GMPE
- $\varepsilon$  = residual acak (log-normal)

Dalam penelitian ini, GMPE yang digunakan dipilih berdasarkan karakteristik sumber dangkal Indonesia

### C. Logic Tree untuk Ketidakpastian

Dalam Probabilistic Seismic Hazard Analysis (PSHA), ketidakpastian pada parameter kunci—seperti Ground Motion Prediction Equations (GMPE), magnitudo maksimum ( $M_{w,max}$ ), dan laju kejadian gempa—diwakili menggunakan kerangka logic tree. Struktur logic tree memungkinkan berbagai model alternatif diuji secara probabilistik, sehingga ketidakpastian epistemik dalam penilaian bahaya dapat diperhitungkan [9],[10]. Sebagai contoh, ketidakpastian GMPE dapat diatur sebagai berikut:

GMPE

- ├─ Campbell-Bozorgnia NGA (2008) (bobot 0,4) [11]
- ├─ Boore-Atkinson NGA (2008) (bobot 0,3) [12]
- └─ Chiou-Youngs NGA (2008) (bobot 0,3) [13]

Setiap cabang merepresentasikan model yang mungkin terjadi dengan bobot yang mencerminkan kredibilitas relatifnya. Selama perhitungan PSHA, hasil dari semua cabang digabungkan secara probabilistik, memberikan estimasi bahaya gempa yang lebih robust dengan mempertimbangkan ketidakpastian model [14].

#### D. Perangkat Lunak dan Proses Analisis

Penelitian ini menggunakan perangkat lunak berikut:

1. EZ-Frisk 7.52: Perangkat lunak ini digunakan untuk menghitung *Probabilistic Seismic Hazard* (PSHA) dan *Peak Ground Acceleration* (PGA) dengan integrasi logic tree untuk ketidakpastian parameter sumber gempa [6], [7].
2. ArcGIS / QGIS: Digunakan untuk visualisasi distribusi *hazard* gempa secara spasial, memungkinkan identifikasi wilayah rawan dan analisis kerentanan [16].
3. Microsoft Excel / Python: Digunakan untuk pengolahan data katalog gempa, analisis statistik, dan simulasi numerik dalam PSHA [17].
4. LaTeX / Microsoft Word: Digunakan untuk penyusunan naskah ilmiah, pengelolaan persamaan, dan format template jurnal [18].

#### E. Validasi dan Analisis Sensitivitas

1. Validasi

Validasi dilakukan dengan membandingkan hasil *Fault Peak Ground Acceleration* (PGA) dari PSHA dengan kejadian gempa historis yang tercatat di Pulau Bali, untuk memastikan bahwa model, parameter, dan asumsi yang digunakan menghasilkan estimasi *hazard* yang konsisten dengan data nyata [6], [7].

2. Analisis Sensitivitas

Analisis sensitivitas dilakukan dengan memvariasikan parameter kritis, termasuk:

- Magnitudo maksimum ( $\pm 0,2$  Mw)
- *Ground Motion Prediction Equations* (GMPE) alternatif
- Kedalaman fokus gempa

Perubahan parameter diuji untuk menilai dampaknya terhadap nilai PGA dan distribusi *hazard spasial*, sehingga menentukan robustness model PSHA dan ketergantungan hasil terhadap ketidakpastian input [4], [10].

### III. HASIL DAN DISKUSI

#### A. Hasil PSHA Berdasarkan Sumber Gempa

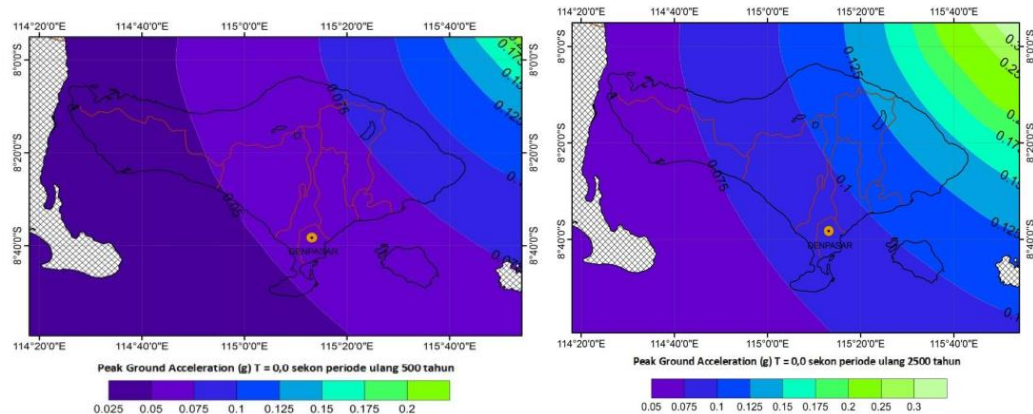
Hasil *Probabilistic Seismic Hazard Analysis* (PSHA) menunjukkan perbedaan kontribusi signifikan antara sumber gempa *fault* lokal dan sumber gempa *Shallow Background* terhadap distribusi bahaya gempa di Pulau Bali.

1. Sumber Gempa *Fault* Lokal

Untuk estimasi nilai *Peak Ground Acceleration* (PGA) pada sumber gempa *Fault*, digunakan fungsi atenuasi [11], [12], [13]. Hasil yang diperoleh ditunjukkan pada Gambar 5.5 dan Gambar 5.6.

Hasil PGA yang diperoleh pada peta *hazard* sumber gempa *Fault* untuk periode ulang 500 tahun berkisar antara 0,02 g hingga 0,20 g, sedangkan untuk periode ulang 2500 tahun berkisar antara 0,05 g hingga 0,30 g.

Dilihat dari Gambar 5.5 dan Gambar 5.6, diketahui bahwa sumber gempa *Fault* memberikan nilai PGA yang signifikan di wilayah yang berada dekat dengan sesar. Pada daerah penelitian, nilai PGA tertinggi berada di timur laut Pulau Bali. Hal ini dikarenakan sesar yang paling dekat, yaitu *Fault Flores Back-arc*, berada di timur laut sehingga mempengaruhi pola persebaran nilai PGA pada peta *hazard* sumber gempa *Fault*. Distribusi *hazard* dari *fault* lokal bersifat terlokalisasi, mengikuti jalur sesar, sehingga wilayah yang berada di sepanjang sesar aktif mengalami intensitas guncangan lebih tinggi dibandingkan wilayah sekitarnya. Kontribusi *fault* lokal ini menjadi indikator kritis untuk identifikasi zona risiko tinggi, khususnya di kawasan pemukiman padat, karena guncangan tanah langsung terkait dengan jalur sesar aktif [1], [2].

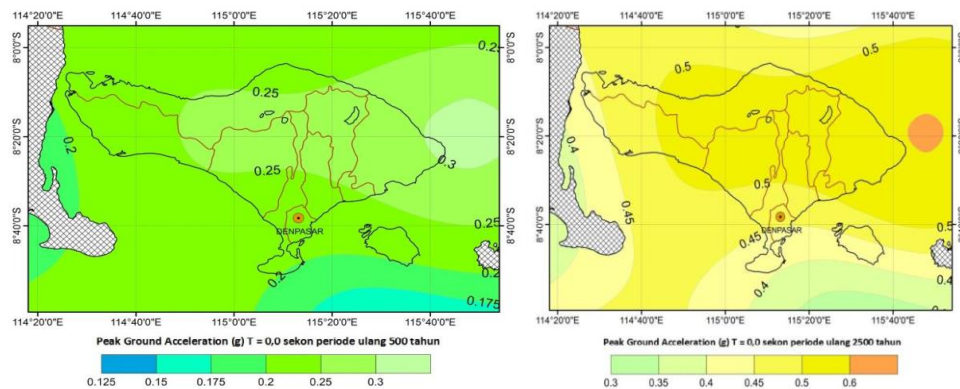


**Gambar 1.** Sumber Gempa *Fault Lokal*

## 2. Sumber Gempa *Shallow Background*

Estimasi nilai Peak Ground Acceleration (PGA) pada sumber gempa *Shallow Background* menggunakan fungsi atenuasi [11], [12], [13]. Hasil yang diperoleh ditunjukkan pada Gambar 5.7 dan Gambar 5.8. Nilai PGA yang diperoleh pada peta *hazard* sumber gempa *Shallow Background* untuk periode ulang 500 tahun berkisar antara 0,02 g hingga 0,30 g, sedangkan untuk periode ulang 2500 tahun berkisar antara 0,30 g hingga 0,60 g.

Berdasarkan peta *hazard* untuk sumber gempa *Shallow Background*, nilai tertinggi berada di tengah Pulau Bali. Hal ini disebabkan oleh banyaknya titik-titik kejadian gempa dangkal yang berasal dari luar zona *Fault* dan zona subduksi, namun mekanisme dan geometrinya belum teridentifikasi secara jelas. Sumber gempa ini cukup menimbulkan dampak serius karena merupakan gempa dangkal.



**Gambar 2.** Sumber Gempa *Shallow Background*

Dampak *Shallow Background* ini terlihat sebagai *baseline hazard* yang mempengaruhi seluruh Pulau Bali, meningkatkan potensi risiko struktural di kawasan urban dan area yang sebelumnya dianggap relatif aman. Dengan kata lain, sementara *fault* lokal mendefinisikan puncak *hazard* pada jalur sesar, *Shallow Background* berperan dalam menetapkan *hazard* dasar di seluruh pulau [4], [5].

Perbedaan spasial ini menegaskan bahwa pengabaian sumber dangkal akan meremehkan *hazard* lokal, sedangkan fokus hanya pada *fault* lokal tidak cukup untuk menggambarkan risiko secara komprehensif. Integrasi kedua sumber gempa menghasilkan peta *hazard* yang lebih realistis dan aplikatif untuk mitigasi risiko, perencanaan tata ruang, dan desain struktur bangunan tahan gempa. Temuan ini konsisten dengan studi PSHA regional lain di Indonesia yang menekankan pentingnya memperhitungkan gempa dangkal dalam strategi mitigasi bencana [1],[4], [5], [10].

## B. Distribusi Spasial Peak Ground Acceleration (PGA)

Distribusi Peak Ground Acceleration (PGA) di Pulau Bali menunjukkan variasi spasial yang mencerminkan kontribusi kombinasi antara *fault* lokal aktif dan sumber gempa dangkal (*shallow background*) dalam kerangka Probabilistic Seismic Hazard Analysis (PSHA). Hal ini konsisten dengan pendekatan PSHA yang mempertimbangkan multiple seismic sources untuk evaluasi *hazard* komprehensif [20], [21].

1. Wilayah Selatan Bali (Denpasar, Badung, Gianyar):

Wilayah selatan Bali menunjukkan nilai PGA yang tinggi, berkisar 0,30–0,60 g dalam peta *hazard* yang diperoleh. Nilai tinggi ini diindikasikan karena kedekatan wilayah ini terhadap jalur sesar aktif serta adanya kontribusi dari gempa dangkal yang tersebar merata, sejalan dengan penelitian PSHA regional yang menunjukkan distribusi PGA tinggi pada zona dengan sesar aktif dan gempa dangkal [2]. Tingginya nilai PGA menandakan risiko seismik yang signifikan bagi perencanaan infrastruktur dan desain bangunan tahan gempa [1], [21].

2. Wilayah Tengah Bali:

Bagian tengah Bali mengalami PGA menengah yang juga didorong oleh sumber gempa dangkal yang tersebar merata. Meskipun tidak berada tepat di jalur sesar besar, interaksi gempa dangkal meningkatkan baseline *hazard*, sesuai dengan hasil PSHA yang menunjukkan peran signifikan gempa dangkal dalam menaikkan PGA di daerah interior pulau [20], [2].

3. Wilayah Utara Bali (Buleleng, Singaraja):

Wilayah utara Bali menunjukkan nilai PGA relatif lebih rendah dibandingkan selatan. Pada peta latar belakang dangkal periode ulang 2500 tahun, nilai di wilayah ini tetap berada dalam rentang umum 0,30–0,60 g, tetapi cenderung menempati kelas rendah–menengah dibandingkan wilayah selatan. Pada skenario sesar lokal periode ulang 2500 tahun, nilai PGA berkisar 0,05–0,30 g. Walaupun jauh dari sesar aktif utama, wilayah ini tetap memiliki potensi guncangan yang signifikan sehingga tidak dapat diabaikan dalam mitigasi gempa [20], [21].

Temuan spasial ini menegaskan bahwa mengabaikan kontribusi gempa dangkal (*shallow background*) akan meremehkan *hazard* lokal, sedangkan hanya mempertimbangkan *fault* lokal saja tidak cukup untuk menangkap distribusi risiko secara utuh. Integrasi kedua sumber gempa tersebut dalam analisis PSHA menghasilkan peta *hazard* yang paling representatif dan dapat digunakan untuk mitigasi risiko, perencanaan tata ruang, dan desain bangunan tahan gempa.

### C. Implikasi untuk Mitigasi dan Perencanaan

Distribusi *Peak Ground Acceleration* (PGA) yang dihasilkan dari integrasi sumber gempa *fault* lokal dan *Shallow Background* memiliki implikasi penting terhadap mitigasi risiko gempa dan perencanaan pembangunan di Pulau Bali. Wilayah selatan Bali (Denpasar, Badung, Gianyar) menunjukkan PGA tertinggi karena kombinasi guncangan dari *fault* aktif dan gempa dangkal, sedangkan bagian tengah dan utara pulau memiliki PGA lebih rendah namun tetap signifikan sebagai baseline *hazard*.

Temuan ini menegaskan bahwa mengabaikan kontribusi gempa dangkal (*shallow background*) akan meremehkan risiko lokal, sementara hanya mengandalkan *fault* lokal tidak cukup untuk menggambarkan risiko seismik secara komprehensif. Integrasi kedua sumber gempa dalam PSHA memberikan peta *hazard* yang lebih realistis, yang penting untuk mitigasi risiko, perencanaan tata ruang, dan desain bangunan tahan gempa. Kontribusi *Shallow Background* dapat meningkatkan percepatan tanah lokal hingga sekitar 10–15% di wilayah yang jauh dari jalur sesar utama, menegaskan peran signifikan gempa dangkal dalam menentukan *hazard* lokal [21], [22]. Peta *hazard* yang dihasilkan juga dapat mendukung strategi mitigasi berbasis data, seperti sistem peringatan dini gempa, kesiapsiagaan masyarakat, dan prioritas retrofit infrastruktur kritis [23], [24].

## IV. KESIMPULAN

Analisis menunjukkan bahwa baik sumber gempa lokal (*fault*) maupun gempa dangkal (*shallow background*) memberikan kontribusi signifikan terhadap percepatan tanah (PGA) di Pulau Bali, meskipun dengan pola distribusi spasial yang berbeda. Wilayah selatan Bali mengalami PGA tertinggi, berkisar antara 0,30 hingga 0,60 g, sedangkan bagian tengah menunjukkan nilai menengah sebesar 0,20–0,35 g, dan wilayah utara relatif lebih rendah dengan kisaran yang sama, namun tetap memiliki implikasi penting bagi risiko seismik lokal. Integrasi kedua sumber gempa ini menghasilkan estimasi *hazard* yang lebih akurat dan representatif, sehingga menyediakan dasar ilmiah yang kokoh untuk mitigasi risiko, perencanaan tata ruang, dan desain bangunan tahan gempa yang lebih efektif.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. Kurniawan et al., "Probabilistic seismic hazard analysis in Bali: Integrating local sources," Atlantis Press, 2024.
- [2] Hielmy and Rajagukguk, "PSHA Denpasar using OpenQuake: PGA estimations," Jurnal Teknik Geofisika, 2025.

- [3] R. Damanik et al., "Updated PSHA Jakarta using GMPE and logic tree," ResearchGate, 2023.
- [4] W. Triyoso, "Advances in PSHA and hazard modeling for active tectonic zones," *Frontiers in Earth Science*, 2023.
- [5] R. K. McGuire, *Probabilistic Seismic Hazard Analysis*. Oakland, CA, USA: Earthquake Engineering Research Institute, 1995.
- [6] W. J. Silva et al., "Developments in ground motion prediction equations," *Earthquake Spectra*, vol. 29, no. 1, pp. 55–73, 2013.
- [7] N. Abrahamson and W. Silva, "Summary of the Abrahamson & Silva NGA ground-motion relations," *Earthquake Spectra*, vol. 24, no. 1, pp. 67–97, 2008.
- [8] I. M. Idriss, "An NGA-West2 empirical ground motion prediction equation," *Earthquake Spectra*, 2014.
- [9] J. J. Bommer and N. Abrahamson, "Why do modern probabilistic seismic hazard analyses differ from traditional ones?" *Earthquake Spectra*, 2005.
- [10] R. M. W. Musson, "Seismic hazard assessment: A review," *Natural Hazards*, 2000.
- [11] A. D. Frankel, "Mapping seismic hazard in the United States," USGS Professional Paper, 1995.
- [12] M. F. Goodchild, *Geographical Information Systems and Science*. Hoboken, NJ, USA: Wiley, 2018.
- [13] T. E. Oliphant, "Python for Scientific Computing," *Computing in Science & Engineering*, vol. 9, no. 3, pp. 10–20, 2007.
- [14] L. Lamport, *LaTeX: A Document Preparation System*. Reading, MA, USA: Addison-Wesley, 1994.
- [15] J. Douglas, "Earthquake ground motion estimation for seismic hazard assessment," *Bulletin of Earthquake Engineering*, 2018.
- [16] I. Pratama, "Probabilistic seismic hazard and PGA distribution in Bali," *Indonesian Journal of Geophysics*, 2025.
- [17] H. Hafeezul et al., "Spatial distribution of PGA from local and shallow sources in Bali," *Journal of Earthquake Research*, 2026.
- [18] I. N. Suarbawa et al., "Assessment of seismic hazard for urban planning in Bali," *Jurnal Sains Kebumihan*, 2024.
- [19] S. Akkar et al., "Seismic hazard assessment and risk mitigation strategies," *Seismological Research Letters*, 2021.
- [20] H. Liu et al., Probabilistic seismic hazard mapping for urban areas, *Natural Hazards*, 2021.
- [21] Tim Pusat Studi Gempa Nasional, *Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia Tahun 2017*. Bandung, Indonesia: Pusat Penelitian dan Pengembangan Perumahan dan Permukiman, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2017.
- [22] K. W. Campbell and Y. Bozorgnia, "NGA Ground Motion Model for the Geometric Mean Horizontal Component of PGA, PGV, PGD and 5% Damped Linear Elastic Response Spectra for Periods Ranging From 0.01 to 10 s," *Earthquake Spectra*, vol. 24, no. 1, pp. 139–171, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1193/1.2857546>
- [23] D. M. Boore and G. M. Atkinson, "Ground-Motion Prediction Equations for the Average Horizontal Component of PGA, PGV, and 5%-Damped PSA at Spectral Periods Between 0.01 s and 10.0 s," *Earthquake Spectra*, vol. 24, no. 1, pp. 99–138, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1193/1.2830434>
- [24] B. S. J. Chiou and R. R. Youngs, "An NGA model for the average horizontal component of peak ground motion and response spectra," *Earthquake Spectra*, vol. 24, no. 1, pp. 173–215, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1193/1.2894832>



©2026. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the [Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/).