

## ANALISIS PROBABILISTIK BAHAYA SEISMIK DI DENPASAR DAN SEKITARNYA BERDASARKAN PENDEKATAN PSHA

**Rayhan Irfan Hielmy<sup>\*</sup>, Martha Lisauli Rajagukguk**

*Program Studi Geofisika, Sekolah Tinggi Meteorologi Klimatologi, Jl. Meteorologi No.5, Kel. Tanah Tinggi, Kec. Tangerang, Kota Tangerang, Banten, 15119, Indonesia*

\*email: rayhanirfanhielmy1@gmail.com

### ABSTRAK

*Indonesia berada di wilayah dengan aktivitas seismik tinggi akibat pertemuan tiga lempeng tektonik utama, menjadikannya rawan gempa, termasuk Kota Denpasar yang berdekatan dengan Subduksi Sunda, Flores Back Arc Thrust, dan Sesar Lombok. Penelitian ini menganalisis bahaya seismik di Denpasar menggunakan metode Probabilistic Seismic Hazard Analysis (PSHA) dengan perangkat OpenQuake Engine dari Global Earthquake Model. Perhitungan menghasilkan nilai percepatan tanah maksimum (PGA) dan percepatan spektral (SA) pada periode 0,2 s dan 1 s, dengan periode ulang 50 tahun untuk Probability of Exceedance 2%, 5%, dan 10%. Hasil menunjukkan PGA untuk Probability of Exceedance 2%, 5%, dan 10% berturut-turut berkisar 0,474–0,483 gal, 0,344–0,349 gal, dan 0,265–0,269 gal. SA 0,2 s masing-masing 1,094–1,123 gal, 0,769–0,782 gal, dan 0,575–0,583 gal, sedangkan SA 1 s berkisar 0,278–0,285 gal, 0,197–0,200 gal, dan 0,146–0,148 gal. Nilai tertinggi terletak di Denpasar Selatan karena lokasinya yang dekat dengan zona subduksi, sedangkan terendah di Denpasar Timur, Utara, dan Barat. Hasil ini dapat menjadi acuan perencanaan tata ruang, desain bangunan tahan gempa, dan strategi mitigasi bencana.*

**Kata Kunci:** Seismik; OpenQuake; PSHA; Denpasar

### ABSTRACT

**[Title: Probabilistic seismic hazard analysis in Denpasar and surrounding areas based on PSHA approach]** *Indonesia is located in a region with high seismic activity due to the convergence of three major tectonic plates, making it prone to earthquakes, including the city of Denpasar, which is close to the Sunda Subduction Zone, Flores Back Arc Thrust, and Lombok Fault. This study analyzes seismic hazards in Denpasar using the Probabilistic Seismic Hazard Analysis (PSHA) method with the OpenQuake Engine tool from the Global Earthquake Model. The calculations produced maximum ground acceleration (PGA) and spectral acceleration (SA) values at periods of 0.2 s and 1 s, with a 50-year return period for Probability of Exceedance of 2%, 5%, and 10%. The results show that the PGA for Probability of Exceedance 2%, 5%, and 10% are 0.474–0.483 gal, 0.344–0.349 gal, and 0.265–0.269 gal, respectively. SA 0.2 s ranges from 1.094–1.123 gal, 0.769–0.782 gal, and 0.575–0.583 gal, while SA 1 s ranged from 0.278–0.285 gal, 0.197–0.200 gal, and 0.146–0.148 gal. In general, the highest value is located in South Denpasar because of its location close to the subduction zone., while the lowest are in East, North, and West Denpasar. These results can serve as a reference for spatial planning, earthquake-resistant building design, and disaster mitigation strategies.*

**Keywords:** Seismic; OpenQuake; PSHA; Denpasar

### PENDAHULUAN

Indonesia merupakan salah satu negara dengan aktivitas seismik tertinggi di dunia. Hal ini disebabkan oleh letaknya yang berada di kawasan Cincin Api Pasifik dan di pertemuan tiga lempeng tektonik utama: Lempeng Indo-Australia, Lempeng Pasifik, dan Lempeng Eurasia (Tantyoko dkk., 2023). Interaksi antar lempeng ini membentuk zona subduksi dan sistem sesar aktif yang tersebar luas di seluruh nusantara, menjadikan Indonesia sebagai

wilayah yang sangat rawan terhadap gempa bumi (Fidia dkk., 2018).

Wilayah Denpasar dan sekitarnya termasuk dalam zona dengan potensi seismik tinggi. Hal ini disebabkan oleh kedekatannya dengan Subduksi Sunda di selatan, sesar naik belakang busur Flores (*Flores Back Arc Thrust*) di utara, dan sesar geser Lombok di timur. Struktur tektonik ini menunjukkan bahwa Bali, khususnya Denpasar, berada di kawasan yang kompleks secara geologi dan

berpotensi mengalami gempa bumi besar (Robiana & Cipta, 2021). Selain itu, terdapat pula sesar-sesar lokal yang dapat menjadi sumber gempa merusak.

Risiko seismik di wilayah ini semakin signifikan seiring dengan pesatnya pembangunan, khususnya dalam sektor pariwisata dan permukiman. Bali dikenal sebagai destinasi wisata utama dunia, dan Denpasar memiliki peran penting dalam pengembangan sektor ini (Astrama dkk., 2024; I Gede Yana dkk., 2021). Oleh karena itu, pemahaman terhadap potensi bahaya gempa sangat penting untuk mendukung perencanaan wilayah yang aman dan tangguh terhadap bencana.

Gempa bumi sendiri merupakan peristiwa getaran di permukaan bumi akibat berbagai faktor, seperti tumbukan lempeng, aktivitas sesar, vulkanisme, atau runtuh batuan (Cahyo dkk., 2023). Gempa dapat terjadi secara tiba-tiba dan menimbulkan dampak besar, mulai dari korban jiwa, kerusakan bangunan, hingga bencana ikutan seperti longsor, likuifaksi, dan tsunami. Oleh karena itu, studi mengenai potensi bahaya gempa menjadi bagian penting dalam mitigasi bencana di Indonesia.

Salah satu metode yang banyak digunakan untuk menganalisis tingkat bahaya seismik adalah *Probabilistic Seismic Hazard Analysis* (PSHA). Metode ini dikembangkan berdasarkan prinsip probabilitas total dan memiliki keunggulan dalam memasukkan unsur ketidakpastian ke dalam analisis, sehingga hasilnya lebih realistis (Daswita dkk., 2023; Saputra dkk., 2020). PSHA juga mampu menggabungkan pengaruh dari berbagai sumber gempa secara simultan terhadap suatu lokasi.

PSHA menghitung kemungkinan terjadinya guncangan tanah akibat gempa dengan mempertimbangkan variasi magnitudo, jarak sumber gempa, dan frekuensi kejadian (Setiawan, 2017). Setiap sumber memberikan kontribusi berbeda terhadap nilai percepatan tanah maksimum atau *Peak Ground Acceleration* (PGA), di mana PGA cenderung menurun seiring bertambahnya jarak dari sumber gempa (Hadi & Brotospito, 2015). Selain PGA, hasil PSHA juga mencakup nilai *Spectral Acceleration* (SA) yang digunakan untuk menganalisis respons dinamis bangunan terhadap guncangan (Dewi dkk., 2018).

Dalam praktiknya, nilai PGA digunakan sebagai acuan dalam desain bangunan tahan gempa, sementara nilai SA digunakan untuk menilai respons struktur berdasarkan tipe bangunan, misalnya SA pada periode 0,2 s untuk bangunan rendah dan 1 s untuk bangunan tinggi (Harnindra dkk., 2017).

Untuk mengurangi risiko akibat gempa bumi, pembangunan infrastruktur harus mengacu pada peta bahaya seismik yang akurat. Desain bangunan

harus disesuaikan dengan tingkat bahaya di masing-masing wilayah (PuSGeN, 2017). Di samping itu, edukasi kepada masyarakat mengenai bahaya gempa dan langkah mitigasi juga sangat penting, agar masyarakat mampu merespons bencana dengan cepat dan tepat.

Penulisan ini bertujuan untuk mengkaji tingkat bahaya gempa bumi di wilayah Denpasar dan sekitarnya menggunakan pendekatan probabilitistik (PSHA). Kajian ini diharapkan dapat memberikan informasi dasar mengenai nilai percepatan tanah maksimum (PGA) dan percepatan spektral (SA), sehingga hasilnya dapat digunakan sebagai dasar dalam perencanaan tata ruang dan pengembangan infrastruktur yang aman dan tahan terhadap gempa bumi.

## METODE

Daerah penelitian merupakan Kota Denpasar dengan batasan wilayah  $8.6^{\circ}$  -  $8.75^{\circ}$  Lintang Selatan dan  $115.17^{\circ}$  -  $115.27^{\circ}$  Bujur Timur. Data katalog yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data dipergunakan dalam pembuatan Peta Gempa 2017 (PuSGeN, 2017). Data gempa yang digunakan merupakan data gempa dari tahun 1907 - Agustus 2016 dengan Magnitudo ( $M_w$ )  $\geq 4,5$  dari berbagai, yaitu *International Seismological Center* (ISC), *National Earthquake Information Center U.S. Geological Survey* (NEIC-USGS), katalog gempa yang sudah direlokasi, dan katalog gempa Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) (Irsyam dkk., 2020).

Setelah mengumpulkan data gempa, langkah selanjutnya adalah melakukan konversi magnitudo menjadi Magnitudo Momen ( $M_w$ ). Konversi magnitudo di Indonesia ditunjukkan oleh Tabel 1.

**Tabel 1.** Metode konversi magnitudo momen (PuSGeN, 2017)

Rumus Konversi	Nilai Magnitudo
$M_w = 1.0107m_b + 0.0801$	$3.7 \leq m_b \leq 8.2$
$M_w = 0.6016M_s + 2.476$	$2.8 \leq M_s \leq 6.1$
$M_w = 0.9239M_s + 0.5671$	$6.2 \leq M_s \leq 8.7$

Langkah selanjutnya adalah melakukan *declustering* gempa untuk memisahkan gempa utama (*mainshock*) dari gempa *foreshock* dan *aftershock*.

Pemodelan sumber gempa yang dipergunakan dalam penelitian ini sama dengan yang dipergunakan dalam pembuatan Peta Gempa Indonesia 2017. Pemodelan sumber gempa menurut PuSGen (2017) dibagi menjadi 3 bagian, yaitu sumber gempa sesar, sumber gempa subduksi, dan sumber gempa background yang diturunkan berdasarkan batasan kedalaman gempa.

Fungsi atenuasi merupakan persamaan yang saat digunakan untuk mengestimasi tingkat guncangan tanah akibat gempa dengan magnitudo, jarak dari sumber ke lokasi pengamatan dan kondisi sumber gempa tertentu (PuSGeN, 2017). Fungsi atenuasi atau *Ground Motion Prediction Equation* (GMPE) yang digunakan dalam penelitian ini merujuk pada GMPE Peta Gempa 2017. Fungsi atenuasi yang dipakai dibobot berbeda untuk masing-masing sumber gempa. Dalam model Indonesia, persamaan atenuasi yang dipakai dibagi menjadi 3, yaitu: *active shallow crust*, *subduction interface*, dan *subduction inslab* pada tabel 2.

**Tabel 2.** Pembobotan fungsi atenuasi yang digunakan dalam penelitian ini

Model Sumber Gempa	GMPE	Bobot
Subduction Interface	Abrahamson dkk. (2015)	0.25
	Parker dkk. (2020)	0.25
	Zhao dkk. (2006)	0.25
	Kuehn dkk. (2020)	0.25
Active Shallow Crust	Boore dkk. (2014)	0.2
	Campbell dan Bozorgnia (2014)	0.2
	Chiou dan Youngs (2014)	0.2
	Cauzzi dkk. (2014)	0.2
	Zhao dkk. (2006)	0.2
Subduction Inslab	Abrahamson dkk. (2015)	0.25
	Parker dkk. (2020)	0.25
	Zhao dkk. (2006)	0.25
	Kuehn dkk. (2020)	0.25

*Software* yang akan dipakai dalam penelitian ini untuk melakukan perhitungan adalah *Openquake*

*Engine* dari *Global Earthquake Model* (GEM). Dengan data inputan sebelumnya, *Openquake Engine* akan menghasilkan nilai percepatan tanah maksimum dan spektral percepatan untuk 0,2 s dan 1 s dengan periode ulang 50 tahun untuk probabilitas terlampaui atau *Possibility Of Exceedance* 2%, 5%, dan 10%.

Setelah *Openquake Engine* selesai melakukan perhitungan, maka hasil akan ditampilkan melalui *software* Qgis 3.27. Hasil perhitungan berupa titik-titik nilai percepatan tanah maksimum dan spektra percepatan. Dengan menggunakan *software* QGis, interpolasi dilakukan dan menghasilkan peta bencana Kota Denpasar.

### HASIL DAN PEMBAHASAN

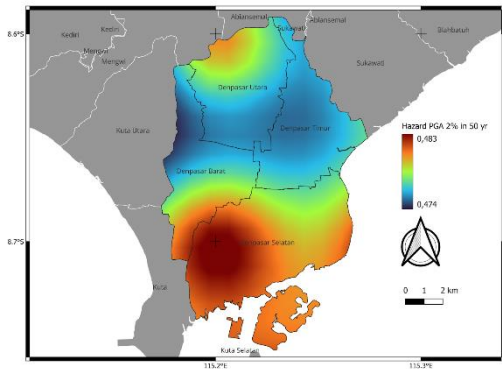
Perhitungan PSHA menggunakan *software* *Openquake Engine* menghasilkan nilai percepatan tanah maksimum (PGA) dan percepatan spektral untuk 0,2 s dan 1 s dengan *Possibility of exceedance* 2%, 5%, dan 10%. *Possibility of exceedance* menunjukkan persentase seberapa besar prediksi nilai percepatan tanah maksimum atau percepatan spektral untuk daerah tersebut. *Possibility of exceedance* 2% memberikan arti bahwa terdapat kemungkinan 2% nilai percepatan tanah maksimum (PGA) atau percepatan spektral tertentu akan terlampaui dalam periode waktu tertentu begitu juga untuk *Possibility of exceedance* 5% dan 10%.

Hasil perhitungan PSHA dengan menggunakan nilai *Possibility of exceedance* yang berbeda umumnya dipakai dalam studi bahaya gempa bumi seperti yang dilakukan oleh Irsyam terkait Kode Seismik Bangunan Indonesia (Irsyam dkk., 2010). Penggunaan nilai *Possibility of exceedance* 2% dan 10% dalam 50 tahun sering digunakan sebagai parameter untuk desain bangunan tahan gempa (Gerstenberger dkk., 2020), nilai *Possibility of exceedance* 2% dalam 50 tahun mewakili gempa maksimum (*Maximum Considered Earthquake*) untuk fasilitas vital (Badan Standardisasi Nasional, 2019).

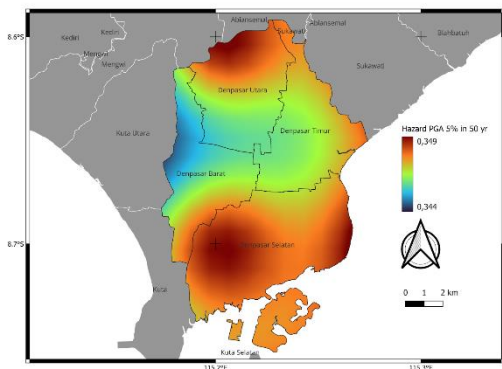
Nilai percepatan tanah maksimum di Kota Denpasar ditunjukkan oleh ketiga peta dengan *Possibility Of Exceedance* (probabilitas terlampaui) yang berbeda-beda. Nilai percepatan puncak di Kota Denpasar untuk probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun berkisar antara 0,474 - 0,483 gal ditunjukkan dengan pada Gambar 1. Untuk probabilitas terlampaui 5% dalam 50 tahun, nilai percepatan puncak berkisar antara 0,344 - 0,349 gal (Gambar 2). Untuk probabilitas terlampaui 10% dalam 50 tahun, nilai PGA berkisar antara 0,265 - 0,269 gal (Gambar 3).

Daerah yang memiliki nilai percepatan tanah maksimum yang lebih besar berada di daerah utara

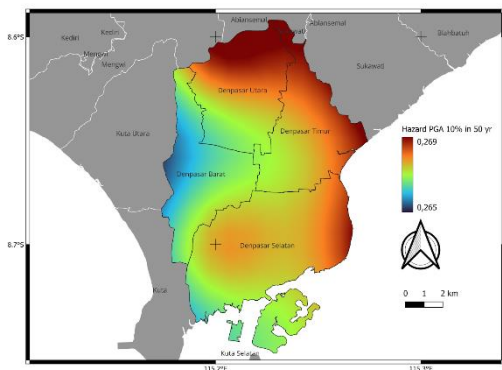
Kota Denpasar pada kecamatan Denpasar Utara dan kecamatan Denpasar Timur diduga karena dilintasi oleh sesar lokal Bali, yaitu sesar Pesanggaran dan Denpasar (Pratama dkk., 2023). Daerah yang memiliki nilai percepatan tanah maksimum yang lebih kecil terdapat di bagian barat dari Kota Denpasar pada kecamatan Denpasar Barat karena tidak dilintasi oleh sesar lokal.



**Gambar 1.** Peta PGA Denpasar probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun



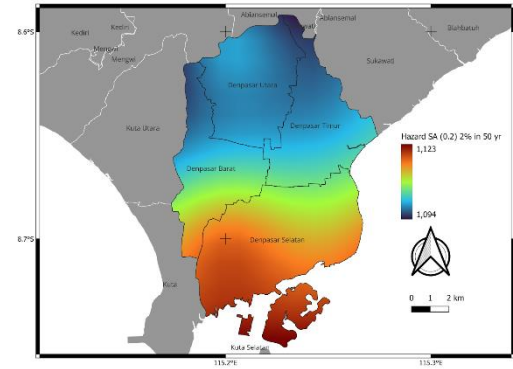
**Gambar 2.** Peta PGA Denpasar probabilitas terlampaui 5% dalam 50 tahun



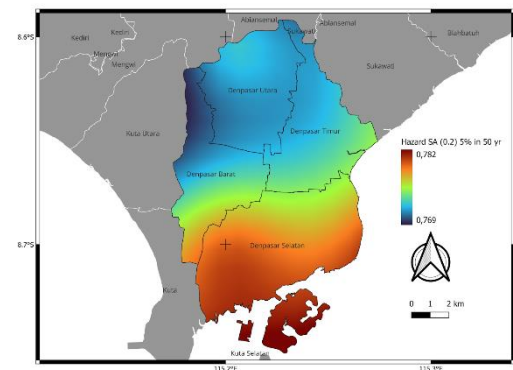
**Gambar 3.** Peta PGA Denpasar probabilitas terlampaui 10% dalam 50 tahun

Perhitungan bahaya seismik (*seismic hazard*) dilakukan untuk mendapatkan percepatan tanah pada respon spektra dengan periode 0,2 s dan 1 s, menggunakan periode ulang 50 tahun. Nilai spektra percepatan 0,2 s dengan probabilitas terlampaui 2% periode ulang 50 tahun di Kota Denpasar berkisar

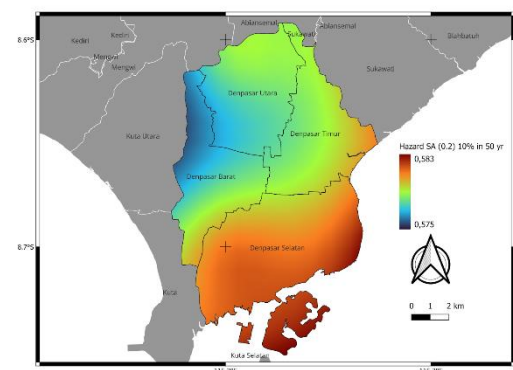
1,094 - 1,123 gal ditunjukkan oleh Gambar 4. Nilai spektra percepatan 0,2 s dengan probabilitas terlampaui 5% periode ulang 50 tahun di Kota Denpasar berkisar 0,769 - 0,782 gal (Gambar 5). Nilai spektra percepatan 0,2 s dengan probabilitas terlampaui 10% periode ulang 50 tahun di Kota Denpasar berkisar 0,575 - 0,583 gal (Gambar 6).



**Gambar 4.** Peta SA 0.2 s Denpasar probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun



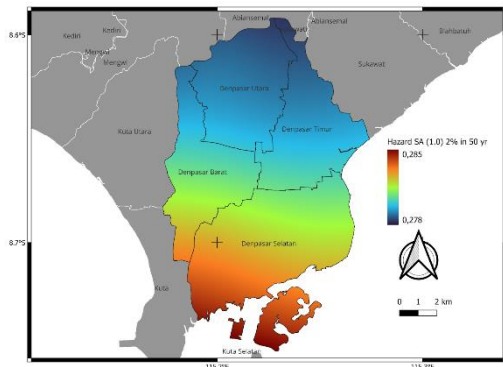
**Gambar 5.** Peta SA 0.2 s Denpasar probabilitas terlampaui 5% dalam 50 tahun



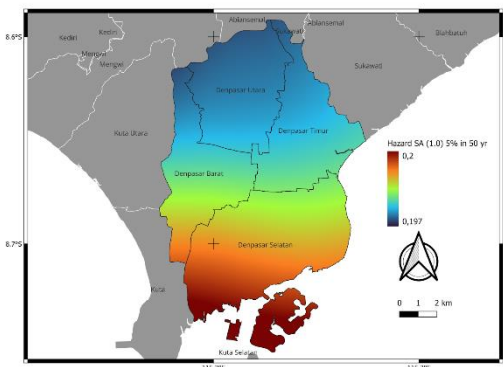
**Gambar 6.** Peta SA 0.2 s Denpasar probabilitas terlampaui 10% dalam 50 tahun

Nilai spektra percepatan 1 s dengan probabilitas terlampaui 2% periode ulang 50 tahun di Kota Denpasar berkisar 0,278 - 0,285 gal ditunjukkan oleh Gambar 7. Nilai spektra percepatan 1 s dengan probabilitas terlampaui 5% periode ulang 50 tahun di Kota Denpasar berkisar 0,197 - 0,2 gal (Gambar 8). Nilai spektra

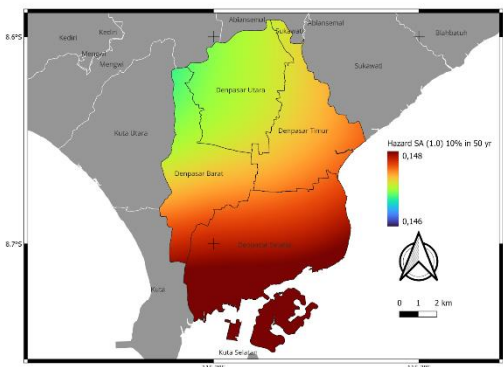
percepatan 1 s dengan probabilitas terlampaui 10% periode ulang 50 tahun di Kota Denpasar berkisar 0,146 - 0,148 gal (Gambar 9).



**Gambar 7.** Peta SA 1 s Denpasar probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun



**Gambar 8.** Peta SA 1 s Denpasar probabilitas terlampaui 5% dalam 50 tahun

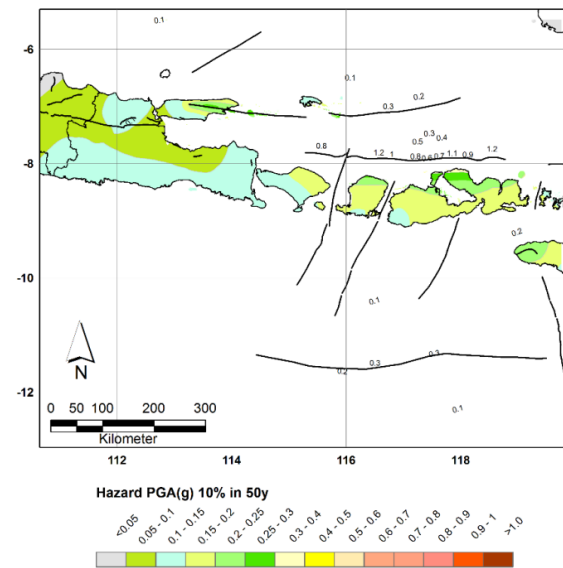


**Gambar 9.** Peta SA 1 s Denpasar probabilitas terlampaui 10% dalam 50 tahun

Nilai spektra percepatan semakin rendah untuk probabilitas terlampaui yang semakin besar baik untuk respon spektra 0,2 s dan 1 s. Nilai spektra percepatan tertinggi berada di daerah selatan Kota Denpasar tepatnya di kecamatan Denpasar Selatan. Sementara, nilai percepatan spektra terendah berada pada daerah tengah hingga utara Kota Denpasar meliputi kecamatan Denpasar Timur, Denpasar Utara, dan Denpasar Barat. Hal ini kemungkinan dipengaruhi oleh zona subduksi

Jawa segmen Bali (PusGeN., 2017) yang berada di bagian selatan Kota Denpasar.

Jika dibandingkan dengan penelitian yang dilakukan oleh Pratama pada tahun 2020, (Pratama, 2020) nilai percepatan tanah maksimum di batuan dasar di wilayah Bali berkisar antara 0,05 g – 0,4g (Gambar 10). Secara umum, rentang nilai penelitian relatif sama dengan hasil Pratama (2020).



**Gambar 10.** Peta percepatan puncak di batuan dasar (SB) untuk probabilitas terlampaui 10% dalam 50 tahun radius 500 km dari Kota Denpasar (Pratama, 2020).

Pola sebaran nilai percepatan tanah maksimum di daerah Kota Denpasar menunjukkan pengaruh ganda dari sumber gempa lokal dan regional. Aktivitas sesar lokal Pesanggaran dan Denpasar (Pratama dkk., 2023) mengakibatkan nilai percepatan tanah di daerah utara Kota Denpasar mengalami peningkatan, yaitu di Kecamatan Denpasar Utara dan Denpasar Timur. Namun, zona subduksi Jawa segmen Bali menunjukkan kontribusi yang lebih dominan terhadap nilai percepatan tanah di seluruh wilayah Kota Denpasar, terkhususnya di daerah selatan Kota Denpasar tepatnya di Kecamatan Denpasar Selatan.

**KESIMPULAN DAN SARAN**

Berdasarkan hasil penelitian, nilai percepatan tanah maksimum (PGA) di Kota Denpasar untuk probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun berkisar 0,474–0,483 gal. Untuk probabilitas terlampaui 5% dalam 50 tahun, PGA berkisar 0,344–0,349 gal, dan untuk probabilitas terlampaui 10% dalam 50 tahun berkisar 0,265–0,269 gal.

Nilai spektra percepatan 0,2 s dengan probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun berada pada kisaran 1,094–1,123 gal. Untuk probabilitas

terlampai 5% berada pada kisaran 0,769–0,782 gal, dan untuk probabilitas terlampai 10% berkisar 0,575–0,583 gal. Sementara itu, nilai spektra percepatan 1 s dengan probabilitas terlampai 2% berada pada kisaran 0,278–0,285 gal, probabilitas terlampai 5% pada 0,197–0,200 gal, dan probabilitas terlampai 10% pada 0,146–0,148 gal.

Nilai tertinggi tercatat di wilayah selatan Kota Denpasar, khususnya Kecamatan Denpasar Selatan. Sebaliknya, nilai terendah berada di bagian tengah hingga utara, mencakup Kecamatan Denpasar Timur, Denpasar Utara, dan Denpasar Barat.

Walaupun keberadaan sesar lokal Bali, yaitu sesar Pesanggaran dan Denpasar memberikan kontribusi terhadap kenaikan nilai percepatan tanah di daerah utara Kota Denpasar Utara. Namun, zona subduksi Jawa segmen Bali di selatan Pulau Bali memberikan kontribusi yang lebih dominan terhadap nilai percepatan tanah di wilayah Denpasar, terutama di bagian selatan kota yang berdekatan dengan sumber gempa *megathrust* tersebut.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Astrama, I. M., Sukaarnawa, I. G. M., & Darsana, I. M. (2024). Pengelolaan Sumber Daya Manusia (SDM) Dinas Pariwisata Kota Denpasar. *Innovative: Journal Of Social Science Research*, 4(1), 2875–2884.
- Badan Standardisasi Nasional. (2019). *SNI 1726-2019: Indonesia Seismic Resistance Design Guideline for Buildings and Other Structures (in Indonesian)*. www.bsn.go.id
- Cahyo, F. D., Ihsan, F., Roulita, R., Wijayanti, N., & Mirwanti, R. (2023). Kesiapsiagaan Bencana Gempa Bumi Dalam Keperawatan: Tinjauan Penelitian. *JPP (Jurnal Kesehatan Poltekkes Palembang)*, 18(1), 87–94. <https://doi.org/10.36086/jpp.v18i1.1525>
- Daswita, A., Pujiastuti, D., & Anggono, T. (2023). Studi Bahaya Seismik dengan Metode Probabilistic Seismic Hazard Analysis di Sumatera Barat. *Jurnal Fisika Unand*, 12(3), 445–451. <https://doi.org/10.25077/jfu.12.3.444-450.2023>
- Dewi, R. K., Purwana, Y. M., & Dananjaya, R. H. (2018). Analisis Probabilistik Bahaya Gempa Pada Bendungan Wadaslintang. *Matriks Teknik Sipil*, 6(4), 698–709. <https://doi.org/10.20961/mateksi.v6i4.36544>
- Fidia, R., Pujiastuti, D., & Sabarani, A. (2018). Korelasi Tingkat Seismisitas dan Periode Ulang Gempa Bumi di Kepulauan Mentawai dengan Menggunakan Metode Guttenberg-Richter. *Jurnal Fisika Unand*, 7(1), 84–89. <https://doi.org/10.25077/jfu.7.1.84-89.2018>
- Gerstenberger, M. C., Marzocchi, W., Allen, T., Pagani, M., Adams, J., Danciu, L., Field, E. H., Fujiwara, H., Luco, N., Ma, K. F., Meletti, C., & Petersen, M. D. (2020). Probabilistic Seismic Hazard Analysis at Regional and National Scales: State of the Art and Future Challenges. *Reviews of Geophysics*, 58(2), 1–49. <https://doi.org/10.1029/2019RG000653>
- Hadi, A. I. dan, & Brotopuspito, K. S. (2015). Pemetaan Percepatan Getaran Tanah Maksimum Menggunakan Pendekatan Probabilistic Seismic Hazard Analysis (Psha) Di Kabupaten Kepahiang Provinsi Bengkulu. *Berkala Fisika*, 18(3), 101–112.
- Harnindra, V. A., Sunardi, B., & Santosa, B. J. (2017). Implikasi Sesar Kendeng terhadap Bahaya. *Jurnal Sains Dan Seni ITS*, 6(2).
- I Gede Yana, Astra, I. K. B., & Suwiwa, I. G. (2021). Persepsi Wisatawan Terhadap Potensi Pariwisata Olahraga Wahana Canyoning. *INDONESIAN JOURNAL OF SPORT & TOURISM*, 3(1), 26–34.
- Irsyam, M., Asrurifak, M., Budiono, B., Triyoso, W., & Firmanti, A. (2010). Development of spectral hazard maps for a proposed revision of the Indonesian Seismic Building Code. *Geomechanics and Geoengineering*, 5(1), 35–47. <https://doi.org/10.1080/17486020903452725>
- Irsyam, M., Cummins, P. R., Asrurifak, M., Faizal, L., Natawidjaja, D. H., Widiyantoro, S., Meilano, I., Triyoso, W., Rudiyanto, A., Hidayati, S., Ridwan, M., Hanifa, N. R., & Syahbana, A. J. (2020). Development of the 2017 national seismic hazard maps of Indonesia. *Earthquake Spectra*, 36(1\_suppl), 112–136. <https://doi.org/10.1177/8755293020951206>
- Pratama, I. P. D. (2020). Pemetaan Dan Analisis Probabilistic Seismic Hazard Analysis (Psha) Radius 500 Km Dari Denpasar. *Jurnal Geografi Gea*, 20(1), 54–62. <https://doi.org/10.17509/gea.v20i1.23299>
- Pratama, I. P. D., Osawa, T., & As-Syakur, A. R. (2023). Identification of Fault Zone in Bali Using GGMPlus Gravity and Alos-2 Palsar-2 Data. *Jurnal Geografi*, 15(1), 46–63. <https://doi.org/10.24114/jg.v15i1.40772>

- PuSGeN, 2017. (2017). *Pusat Studi Gempa Nasional (Indonesia) Pusat Penelitian dan Pengembangan Perumahan dan Permukiman (Indonesia)*.
- Robiana, R., & Cipta, A. (2021). Potensi Bahaya Gempa Bumi Berdasarkan Kondisi Tapak Lokal di Daerah Amlapura, Karangasem, Bali. *Jurnal Lingkungan Dan Bencana Geologi*, 12(3). <https://doi.org/10.34126/jlbg.v12i3.372>
- Saputra, E., Makrup, L., Nugraheni, F., & Pawirodikromo, W. (2020). Analisis Percepatan Tanah Permukaan Di Wilayah Riau Dengan Metode Psha. *Teknisia*, XXV(1), 42–49. <https://doi.org/10.20885/teknisia.vol25.iss1.art5>
- Setiawan, B. (2017). Probabilistic seismic hazard analysis incorporating Monte Carlo method in the case of Adelaide region. *Indonesian Journal on Geoscience*, 4(2), 81–96. <https://doi.org/10.17014/ijog.4.2.81-96>
- Tantyoko, H., Sari, D. K., & Wijaya, A. R. (2023). Prediksi Potensial Gempa Bumi Indonesia Menggunakan Metode Random Forest Dan Feature Selection. *IDEALIS : InDonEsiA Journal Information System*, 6(2), 83–89. <https://doi.org/10.36080/idealisis.v6i2.3036>
- Astrama, I. M., Sukaarnawa, I. G. M., & Darsana, I. M. (2024). Pengelolaan Sumber Daya Manusia (SDM) Dinas Pariwisata Kota Denpasar. *Innovative: Journal Of Social Science Research*, 4(1), 2875–2884.
- Badan Standardisasi Nasional. (2019). *SNI 1726-2019: Indonesia Seismic Resistance Design Guideline for Buildings and Other Structures (in Indonesian)*. [www.bsn.go.id](http://www.bsn.go.id)
- Cahyo, F. D., Ihsan, F., Roulita, R., Wijayanti, N., & Mirwanti, R. (2023). Kesiapsiagaan Bencana Gempa Bumi Dalam Keperawatan: Tinjauan Penelitian. *JPP (Jurnal Kesehatan Poltekkes Palembang)*, 18(1), 87–94. <https://doi.org/10.36086/jpp.v18i1.1525>
- Daswita, A., Pujiastuti, D., & Anggono, T. (2023). Studi Bahaya Seismik dengan Metode Probabilistic Seismic Hazard Analysis di Sumatera Barat. *Jurnal Fisika Unand*, 12(3), 445–451. <https://doi.org/10.25077/jfu.12.3.444-450.2023>
- Dewi, R. K., Purwana, Y. M., & Dananjaya, R. H. (2018). Analisis Probabilistik Bahaya Gempa Pada Bendungan Wadaslintang. *Matriks Teknik Sipil*, 6(4), 698–709. <https://doi.org/10.20961/mateksi.v6i4.36544>
- Fidia, R., Pujiastuti, D., & Sabarani, A. (2018). Korelasi Tingkat Seismisitas dan Periode Ulang Gempa Bumi di Kepulauan Mentawai dengan Menggunakan Metode Gutenberg-Richter. *Jurnal Fisika Unand*, 7(1), 84–89. <https://doi.org/10.25077/jfu.7.1.84-89.2018>
- Gerstenberger, M. C., Marzocchi, W., Allen, T., Pagani, M., Adams, J., Danciu, L., Field, E. H., Fujiwara, H., Luco, N., Ma, K. F., Meletti, C., & Petersen, M. D. (2020). Probabilistic Seismic Hazard Analysis at Regional and National Scales: State of the Art and Future Challenges. *Reviews of Geophysics*, 58(2), 1–49. <https://doi.org/10.1029/2019RG000653>
- Hadi, A. I. dan, & Brotopuspito, K. S. (2015). Pemetaan Percepatan Getaran Tanah Maksimum Menggunakan Pendekatan Probabilistic Seismic Hazard Analysis (Psha) Di Kabupaten Kepahiang Provinsi Bengkulu. *Berkala Fisika*, 18(3), 101–112.
- Harnindra, V. A., Sunardi, B., & Santosa, B. J. (2017). Implikasi Sesar Kendeng terhadap Bahaya. *Jurnal Sains Dan Seni ITS*, 6(2).
- I Gede Yana, Astra, I. K. B., & Suwiwa, I. G. (2021). Persepsi Wisatawan Terhadap Potensi Pariwisata Olahraga Wahana Canyoning. *INDONESIAN JOURNAL OF SPORT & TOURISM*, 3(1), 26–34.
- Irsyam, M., Asrurifak, M., Budiono, B., Triyoso, W., & Firmanti, A. (2010). Development of spectral hazard maps for a proposed revision of the Indonesian Seismic Building Code. *Geomechanics and Geoengineering*, 5(1), 35–47. <https://doi.org/10.1080/17486020903452725>
- Irsyam, M., Cummins, P. R., Asrurifak, M., Faizal, L., Natawidjaja, D. H., Widiyantoro, S., Meilano, I., Triyoso, W., Rudiyanto, A., Hidayati, S., Ridwan, M., Hanifa, N. R., & Syahbana, A. J. (2020). Development of the 2017 national seismic hazard maps of Indonesia. *Earthquake Spectra*, 36(1\_suppl), 112–136. <https://doi.org/10.1177/8755293020951206>
- Pratama, I. P. D. (2020). Pemetaan Dan Analisis Probabilistic Seismic Hazard Analysis (Psha) Radius 500 Km Dari Denpasar. *Jurnal Geografi Gea*, 20(1), 54–62. <https://doi.org/10.17509/gea.v20i1.23299>
- Pratama, I. P. D., Osawa, T., & As-Syakur, A. R. (2023). Identification of Fault Zone in Bali Using GGMPlus Gravity and Alos-2 Palsar-2

- Data. *Jurnal Geografi*, 15(1), 46–63.  
<https://doi.org/10.24114/jg.v15i1.40772>
- PuSGeN, 2017. (2017). *Pusat Studi Gempa Nasional (Indonesia) Pusat Penelitian dan Pengembangan Perumahan dan Permukiman (Indonesia)*.
- Robiana, R., & Cipta, A. (2021). Potensi Bahaya Gempa Bumi Berdasarkan Kondisi Tapak Lokal di Daerah Amlapura, Karangasem, Bali. *Jurnal Lingkungan Dan Bencana Geologi*, 12(3).  
<https://doi.org/10.34126/jlbg.v12i3.372>
- Saputra, E., Makrup, L., Nugraheni, F., & Pawirodikromo, W. (2020). Analisis Percepatan Tanah Permukaan Di Wilayah Riau Dengan Metode Psha. *Teknisia*, XXV(1), 42–49.  
<https://doi.org/10.20885/teknisia.vol25.iss1.art5>
- Setiawan, B. (2017). Probabilistic seismic hazard analysis incorporating Monte Carlo method in the case of Adelaide region. *Indonesian Journal on Geoscience*, 4(2), 81–96.  
<https://doi.org/10.17014/ijog.4.2.81-96>
- Tantyoko, H., Sari, D. K., & Wijaya, A. R. (2023). Prediksi Potensial Gempa Bumi Indonesia Menggunakan Metode Random Forest Dan Feature Selection. *IDEALIS: InDonEsiA Journal Information System*, 6(2), 83–89.  
<https://doi.org/10.36080/idealis.v6i2.3036>