

Deagregasi Potensi *Earthquake Ground Motion* pada Jalan Tol untuk Periode Ulang Gempa 1000 Tahun

Fitriana Sarifah^{1*}, Yusep Ramdani¹, Asep Kurnia Hidayat¹

¹Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Siliwangi, Jalan Mugarsari, Kota Tasikmalaya, 46196, Indonesia

*e-mail: fitriana.sarifah@unsil.ac.id

(Received: 20 April 2025; Reviewed: 07 Mei 2025; Accepted: 30 Mei 2025)

Abstract

Seismic Ground Motion Disaggregation for Toll Road Infrastructure Design Based on a 1000-Year Return Period. Port access toll roads under the National Strategic Project (PSN) aim to reduce export-import congestion and logistics costs, boosting industrial competitiveness. This study emphasizes the need for earthquake-resistant design using performance-based analysis, which involves time history analysis with real ground motion records. The goal is to select appropriate ground motions by disaggregating average magnitude (M) and distance (R) values that represent seismic sources. The analysis determined that $M = 6.7$ and $R = 98$ km effectively represent dominant sources such as Megathrust, Benioff, and Shallow Crustal Faults. For a 1000-year return period, the peak ground acceleration (PGA) at bedrock is 0.237 g. A matching ground motion record with these parameters was selected from the USGS database, specifically from the Hilo, Hawaii – USDA Laboratory station (code: NP2818), to be used in performance-based seismic design.

Keywords: Deaggregation, Earthquake, Ground Motion, Toll Road

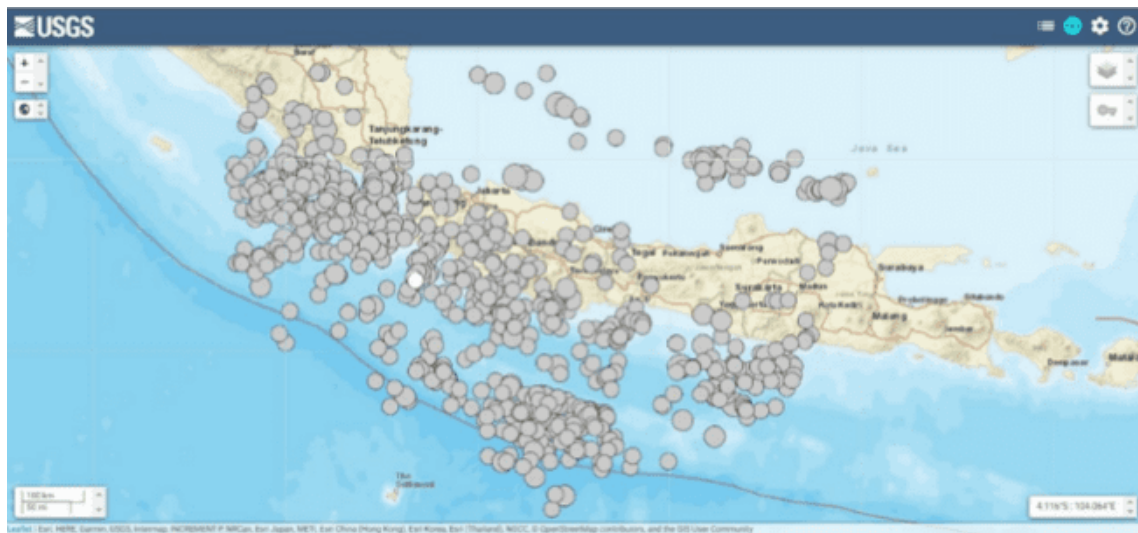
Abstrak

Jalan tol akses pelabuhan, khususnya dalam Proyek Strategis Nasional (PSN), dibangun untuk mengurangi kepadatan ekspor-impor dan menurunkan biaya logistik guna meningkatkan daya saing industri. Penelitian ini menyoroti pentingnya perencanaan infrastruktur tahan gempa dengan analisis berbasis kinerja, yang memerlukan respons riwayat waktu berdasarkan rekaman gerakan tanah. Tujuannya adalah menentukan rekaman gerak tanah yang sesuai untuk analisis tersebut. Metode yang digunakan adalah deagregasi nilai rata-rata magnitudo (M) dan jarak (R) dari sumber gempa. Hasilnya menunjukkan bahwa $M = 6,7$ dan $R = 98$ km mewakili seluruh sumber gempa utama (Megathrust, Benioff, dan Sesar Dangkal). Nilai percepatan puncak (PGA) untuk periode ulang 1000 tahun adalah 0,237 g. Rekaman tanah terpilih berasal dari stasiun Hilo, HI - USDA Laboratory (kode: NP2818) berdasarkan data USGS.

Kata Kunci: Deagregasi, Gempa, Gerakan Tanah, Jalan Tol

PENDAHULUAN

Pemerintah Indonesia sedang mengembangkan pelabuhan berstandar internasional di kawasan utara Jawa Barat dan diharapkan pelabuhan ini dapat mengurangi kepadatan ekspor-impor di Pelabuhan Tanjung Priok (Kansil & Fadillah, 2022). Nantinya, setelah tol ini beroperasi, diharapkan mampu mendorong peningkatan aktivitas logistik yang berasal dari kawasan industri di wilayah Cikarang, Cibitung, hingga Cikampek. Selain itu, akses tol ini juga bertujuan memperlancar arus logistik nasional, yang pada gilirannya akan menaikkan daya saing kawasan industri Indonesia baik di tingkat regional maupun internasional (Dirjen Bina Marga KemenPUPR, 2024). Tantangan utama dalam merancang jalan tol akses pelabuhan terletak pada kondisi tanah asli yang memiliki konsistensi bervariasi dari sangat lunak hingga lunak (Gusnadi et al., 2023; Hamonangan & Syahputra, 2023; Sarifah & Anggraini, 2022). Dalam meninjau suatu konstruksi jalan di atas tanah lunak, maka salah satu aspek yang sangat penting dan perlu mendapat perhatian lebih yaitu aspek kegempaan dalam geoteknik (Agustina et al., 2024). Pada Gambar 1, terdapat kejadian gempa sebanyak 943 kejadian dengan M_w minimum sebesar 5 dan radius sebesar 500 km dari jalan tol akses pelabuhan tersebut (United States Geological Survey, 2024).



Gambar 1. Kejadian gempa dengan M_w min. = 5 dan R = 500km dari jalan tol akses pelabuhan di kawasan utara Jawa Barat

Kerusakan berat pada infrastruktur dapat dihindari dengan melakukan suatu proses perencanaan infrastruktur tahan gempa yang konsisten dengan mempertimbangkan suatu tingkat beban gempa rencana yang sesuai dengan parameter gerakan tanah yang relevan dengan situs di lokasi infrastruktur tersebut berada (Nursani et al., 2023). Sampai saat ini, karakteristik gerakan tanah yang signifikan, yang diakibatkan oleh perbedaan kondisi tanah, dianggap sebagai faktor utama dalam merancang gerakan tanah dan mencegah kerusakan yang telah teridentifikasi. Perencanaan struktur bangunan tahan gempa didasarkan pada rekaman gerak tanah menjadi sangat penting untuk mencapai tujuan analisis respons riwayat waktu yang menggambarkan kinerja bangunan sebenarnya (Shukla & Solanki, 2020).

Tujuan penelitian ini yaitu deagregasi potensi *earthquake ground motion* pada jalan tol akses pelabuhan tersebut untuk periode ulang gempa 1000 tahun. Deagregasi dapat memberikan gambaran nilai M dan R untuk nilai target spektrum percepatan yang dihasilkan (Fox, 2023). Nilai M dan R yang dominan tersebut dapat dijadikan referensi untuk menemukan rekaman gerakan tanah yang sesuai dengan periode ulang dan periode getar struktur di lokasi Jalan Tol Akses Pelabuhan tersebut. Hal ini untuk mengatasi penerapan metode *Probabilistic Seismic Hazard Analysis* (PSHA) tidak memberikan informasi yang lengkap bila dikaitkan dengan pasangan “nilai magnitudo (M) dan nilai jarak (R)” mana yang dominan dan tunggal dari site ke sumber gempa yang mewakilinya (Sawires et al., 2024). Hal ini relevan untuk aplikasi seperti perencanaan bangunan dan infrastruktur kritis yang membutuhkan data gerakan tanah sesuai dengan skenario gempa yang dominan.

METODE

Lokasi penelitian ini berpusat pada koordinat Universal Transverse Mercator yaitu 802867 m E; 9296770 m S Zona 48 S atau koordinat 6.354832° LS, 107.737481° BT dengan menganalisis kejadian gempa pada radius hingga 500km. Lokasi penelitian dapat dilihat pada

Gambar 2.



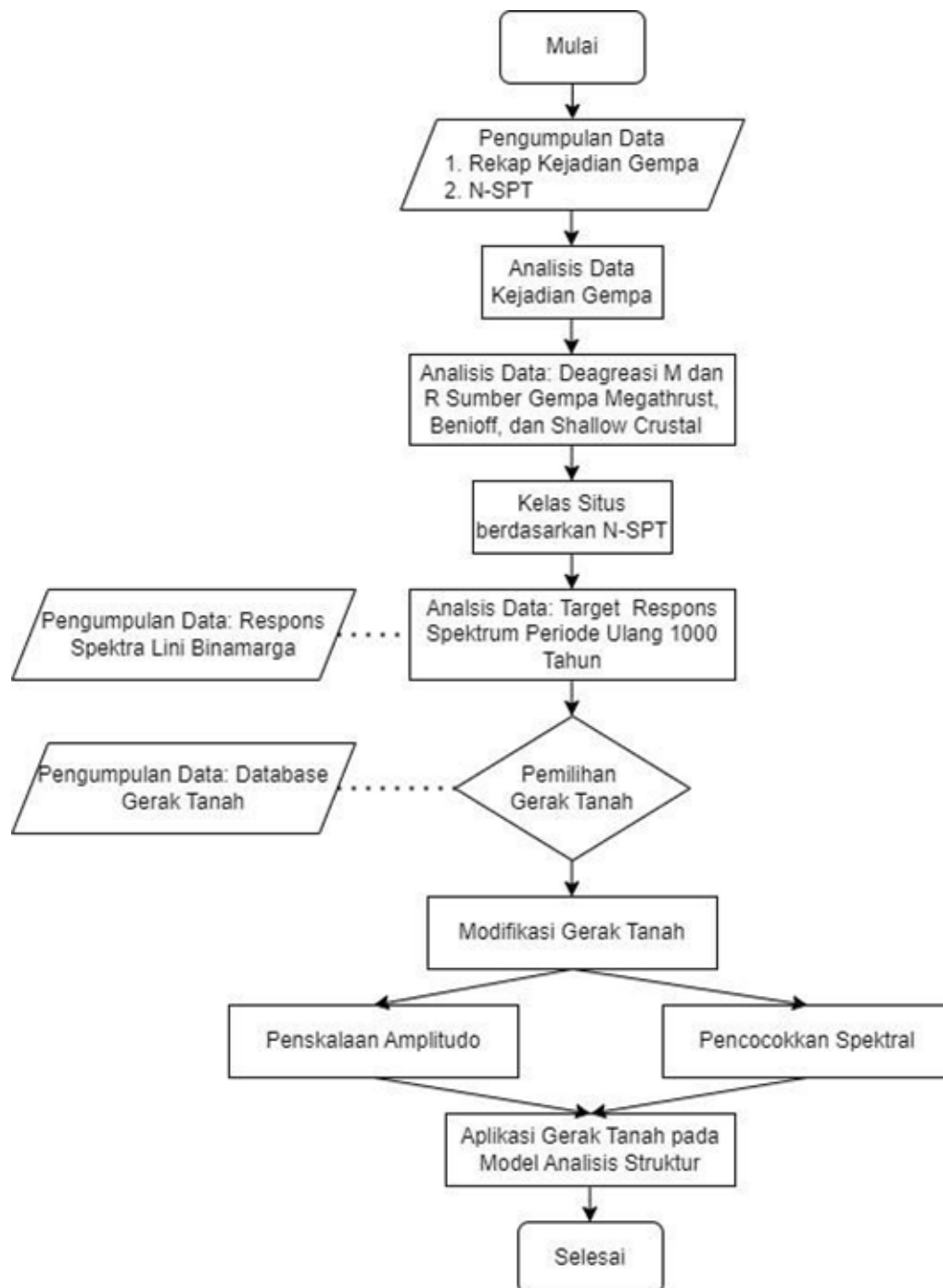
Gambar 2. Lokasi penelitian

Data yang dibutuhkan penelitian ini berupa data sekunder. Data sekunder didapatkan dari instansi atau lembaga yang relevan dan berwenang. Pengumpulan data sekunder tersebut dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Pengumpulan data

No.	Data	Keperluan	Pengumpulan Data
1	Rekap kejadian gempa dari tahun 1900 hingga tanggal pengambilan data dengan radius 500 km dari pusat lokasi penelitian dengan Mw minimum = 5	Analisis potensi ketiga sumber gempa dominan baik Megathrust, Benioff, dan Shallow Crustal.	Database atau katalog pencatatan kejadian gempa United States Geological Survey (USGS) (United States Geological Survey, 2024)
2	Penyelidikan tanah lapangan berupa <i>Standard Penetration Test</i> pada lokasi penelitian	Penentuan kelas situs	Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Satuan Kerja Pelaksanaan Jalan Bebas Hambatan Cisumdawu
3	Gerakan tanah representatif berdasarkan sumber gempa pada lokasi penelitian	Analisis riwayat waktu untuk evaluasi ketahanan gempa Jalan Tol akses Pelabuhan Subang	Database <i>Strong Motion Center</i>

Diagram alir penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Diagram alir penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan (SNI 8460, 2017), Persyaratan perancangan geoteknik, periode ulang gempa (T) sebesar 1000 tahun didasari untuk memfasilitasi kriteria perancangan gempa pada infrastruktur area jalan tol seperti jembatan, abutmen, dan dinding

penahan tanah. Untuk periode ulang gempa sebesar 1000 tahun, infrastruktur tersebut direncanakan dengan umur rencana (n) sebesar 75 tahun dan probabilitas terlampaui (R_n) sebesar 7%.

Klasifikasi Situs

Klasifikasi situs pada penelitian ini berdasarkan analisis N-SPT (Anggraini et al., 2024; Sarifah et al., 2024). Berdasarkan (SNI 1726, 2019), penentuan klasifikasi situs pada penelitian ini menggunakan nilai N_{ave} sesuai dengan (Pers. 1).

$$N_{ave} = \frac{\sum d_i}{\sum \frac{d_i}{N_i}} \quad (\text{Pers. 1})$$

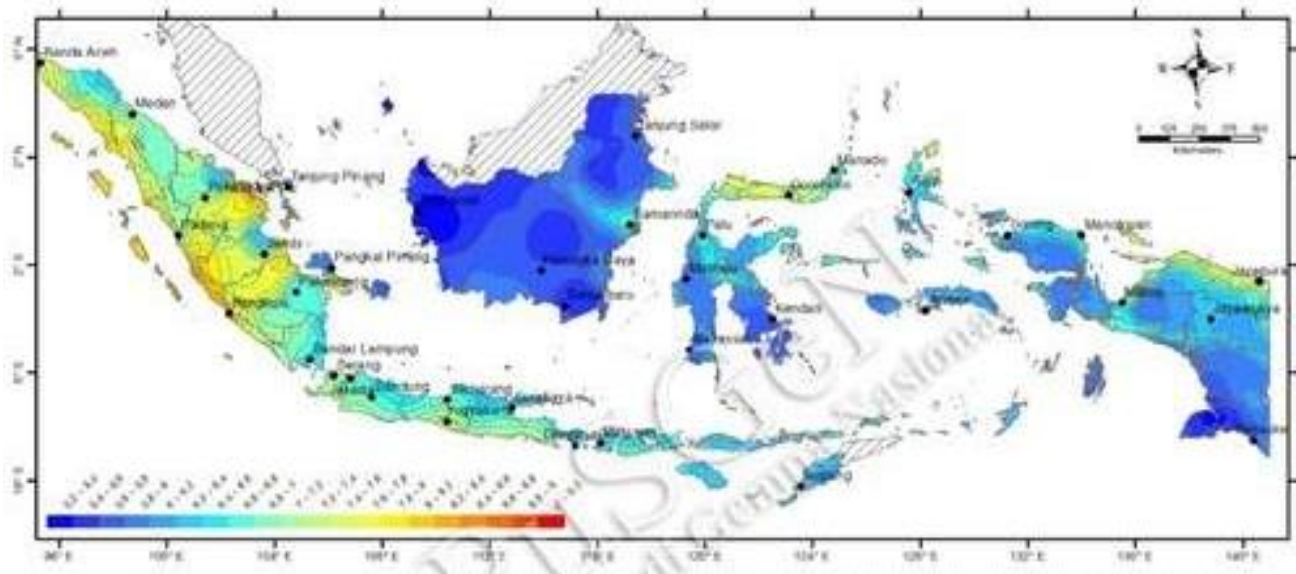
dimana d_i = tebal tanah. Perhitungan penentuan klasifikasi situs disajikan pada Tabel 2. Dari Tabel 2, klasifikasi situs pada titik penelitian ini yaitu Tanah Lunak (SE).

Tabel 2. Penentuan klasifikasi situs

Kedalaman			d_i (m)	N_i	d_i/N_i
0	-	1	1	1	1.00
1	-	2	1	2	0.50
2	-	3	1	3	0.33
3	-	4	1	5	0.20
4	-	5	1	8	0.13
5	-	6	1	16	0.06
6	-	7	1	17	0.06
7	-	8	1	19	0.05
8	-	9	1	21	0.05
9	-	10	1	23	0.04
10	-	11	1	24	0.04
11	-	12	1	25	0.04
12	-	13	1	27	0.04
13	-	14	1	28	0.04
14	-	15	1	31	0.03
15	-	16	1	32	0.03
16	-	17	1	33	0.03
17	-	18	1	34	0.03
18	-	19	1	36	0.03
19	-	20	1	36	0.03
20	-	21	1	38	0.03
21	-	22	1	39	0.03
22	-	23	1	41	0.02
23	-	24	1	42	0.02
24	-	25	1	43	0.02
25	-	26	1	39	0.03
26	-	27	1	40	0.03
27	-	28	1	42	0.02
28	-	29	1	45	0.02
29	-	30	1	42	0.02
Σd_i			30	$\Sigma d_i/N_i$	3.00
$N_{ave} =$			10	Tanah Lunak (SE)	

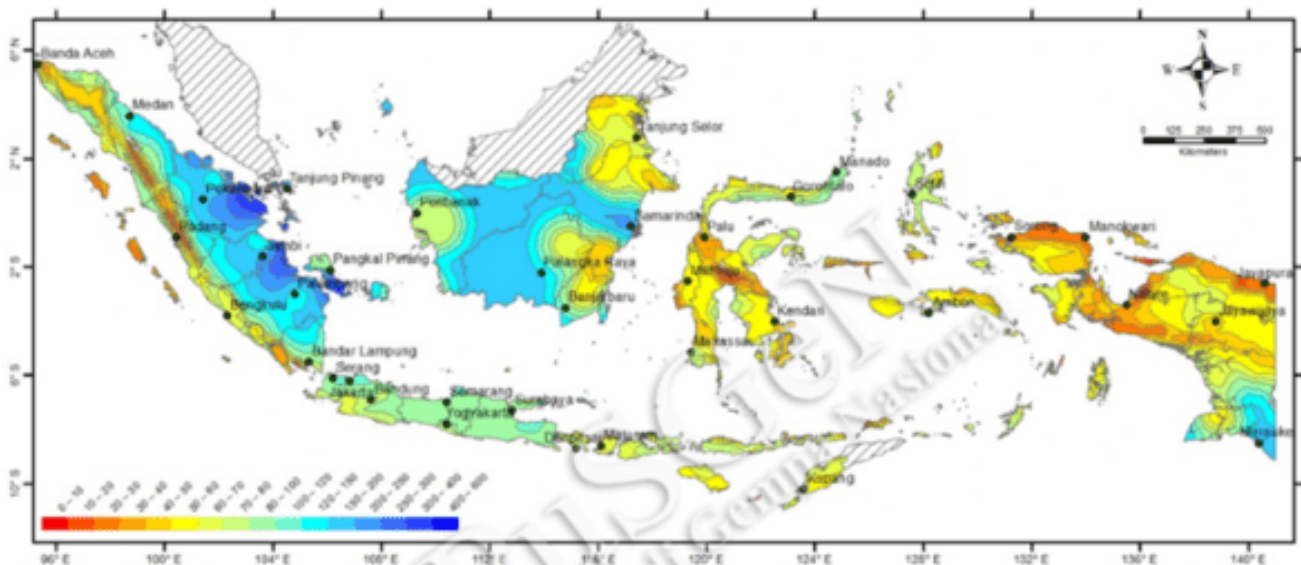
Sumber Gempa dan Peak Ground Acceleration (PGA)

Gempa dari aktivitas subduksi dan sesar memengaruhi secara utama pada kegempaan Jawa. Untuk seluruh sumber gempa baik Megathrust, Benioff, maupun Shallow Crustal/Sesar, penentuan nilai M yang mewakili pada penelitian ini menggunakan peta pada Gambar 4.



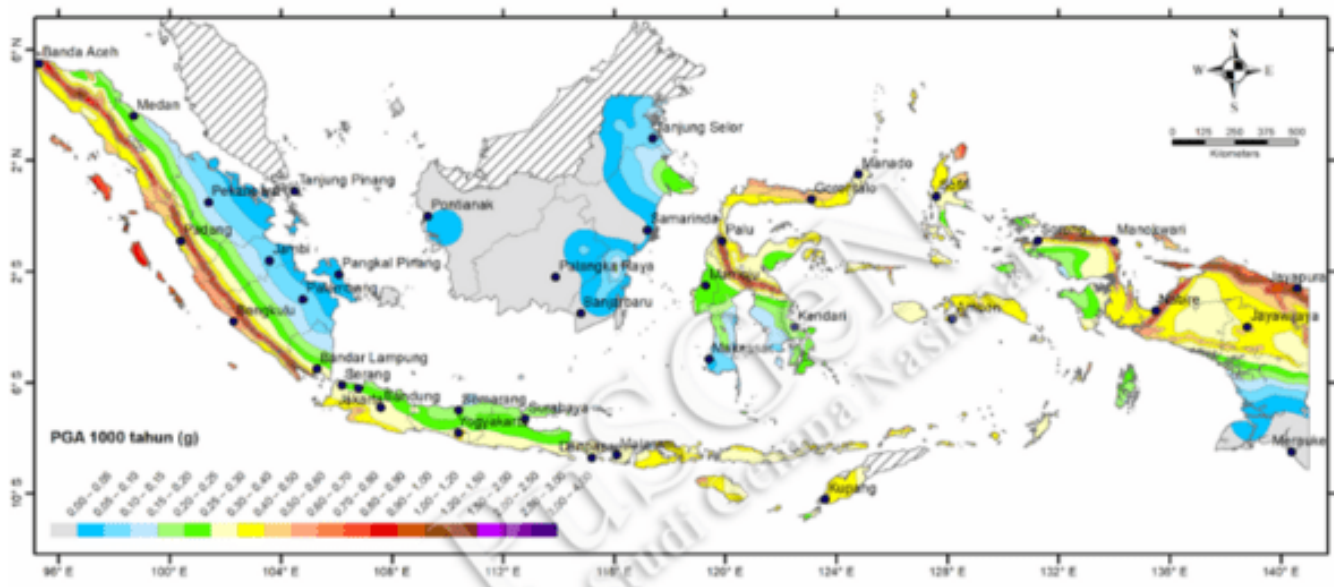
Gambar 4. Peta deagregasi Magnitudo (M) sumber gempa All Sources pada percepatan puncak untuk periode ulang 1000 tahun

Dari Gambar 4, rentang nilai M untuk penentuan gerakan tanah pada penelitian ini yaitu 6.6-6.8. Sedangkan, penentuan nilai R mewakili pada penelitian ini menggunakan peta pada Gambar 5.



Gambar 5. Peta deagregasi jarak (R) sumber gempa All Sources pada percepatan puncak untuk periode ulang 1000 tahun

Dari Gambar 5, rentang nilai R untuk penentuan gerakan tanah pada penelitian ini yaitu 80-100 km. *Peak Ground Acceleration* (PGA) adalah percepatan puncak di batuan dasar. S_s adalah respons spektrum percepatan gempa MCER terpetakan untuk periode pendek dengan redaman 5% pada batuan dasar. S_1 adalah respons spektrum percepatan gempa MCER terpetakan terpetakan untuk periode pendek dengan redaman 5% pada batuan dasar. Untuk seluruh sumber gempa baik Megathrust, Benioff, maupun Shallow Crustal/Sesar, penentuan nilai PGA yang mewakili pada penelitian ini menggunakan peta pada Gambar 6.

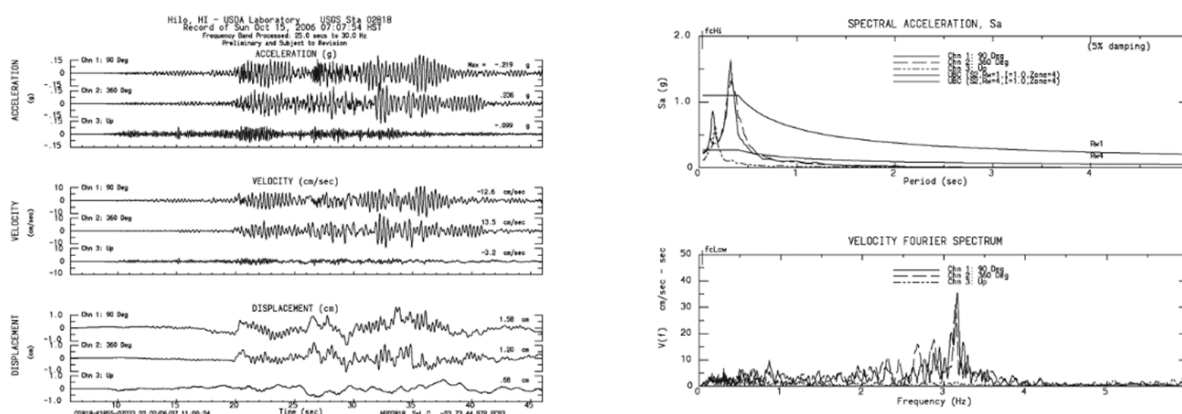


Gambar 6. Peta percepatan puncak di batuan dasar (SB) untuk periode ulang 1000 tahun

Dari Gambar 6, rentang nilai M untuk penentuan gerakan tanah pada penelitian ini yaitu $0.20g - 0.25g$. Untuk seluruh sumber gempa baik Megathrust, Benioff, maupun Shallow Crustal/Sesar, nilai magnitudo (M) mewakili = 6.7 dan jarak episenter (R) mewakili = 98 km. Nilai *Peak Ground Acceleration* (PGA) atau percepatan puncak di batuan dasar pada lokasi penelitian = 0.24 g.

Gerakan Tanah

Perencanaan struktur infrastruktur tahan gempa sebagai salah satu kemajuan signifikan yang memanfaatkan proses analisis berlandaskan kinerja. Proses ini mengharuskan adanya analisis respons dengan riwayat waktu yang mengacu pada data rekaman gerakan tanah. Dalam pelaksanaannya, diperlukan deagregasi nilai rata-rata magnitudo (M) dan jarak (R) dari kejadian gempa yang mencerminkan karakteristik sumber gempa (Cito & Iervolino, 2022; Najib et al., 2019). Pasangan nilai M dan R ini selanjutnya dimanfaatkan untuk mencari rekaman gerakan tanah yang disebabkan oleh gempa, dengan karakteristik yang mirip dari segi magnitudo, jarak, serta kondisi tektonik yang terkait. Hasil penelusuran pada penelitian ini dari berbagai katalog *database* gempa, gerakan tanah yang terpilih dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Gerakan tanah terpilih

Gerakan tanah yang digunakan dalam prosedur pemilihan dan modifikasi, didefinisikan sebagai gerakan tanah di permukaan dengan nilai percepatan horizontal maksimum sebagai ukuran intensitasnya (Otárola et al., 2022; Panchireddi et al., 2023). Gerakan tanah dari Gambar 7, dapat digunakan untuk analisis dinamik infrastruktur yang ada pada ruang lingkup di lokasi penelitian ini agar kinerja sebenarnya dari infrastruktur tersebut dapat diketahui (Geetopriyo et al., 2023; Kowsari et al., 2024).

KESIMPULAN

Untuk seluruh sumber gempa baik Megathrust, Benioff, maupun Shallow Crustal/Sesar, nilai magnitudo (M) yang mewakili yaitu sebesar 6,7 dengan jarak episenter (R) mewakili sebesar 98km. Nilai *Peak Ground Acceleration* (PGA) atau percepatan puncak di batuan dasar untuk periode ulang gempa 1000 tahun pada lokasi penelitian yaitu sebesar 0.237 g. Gerakan tanah yang terpilih dengan $M = 6,7$, $R = 98$ km, dan $PGA = 0.237$ g pada lokasi penelitian ini didapatkan dari database United States Geological Survey (USGS) yaitu pada stasiun Hilo, HI - USDA Laboratory (kode: NP2818).

UCAPAN TERIMAKASIH

Tim penulis mengucapkan kepada Universitas Siliwangi yang telah mendukung dalam penyelesaian penelitian ini.

REFERENSI

- Agustina, Y. P., Handiman, I., Sarifah, F., Kemala Hamonangan, E., Irawan, P., & Gusnadi, Z. (2024). Analysis of Soil Replacement and Woven Geotextile Reinforcement on Embankment Stability. *Jurnal Inovasi Vokasional dan Teknologi*, 24(1), 53–66. <https://doi.org/ac.id/index.php/invotek/art>
- Anggraini, N., Yulianti, D., Mulyanda, D., Syuhada, S., Mahi Sudrajat, K., Sarifah, F., Gumilar Panca Putra, M. S., Wibowo Aji, L., & Edy, H. (2024). *Mekanika Tanah dan Pondasi*. CV Hei Publishing Indonesia.
- Cito, P., & Iervolino, I. (2022). On occurrence disaggregation of probabilistic seismic hazard. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 51(14), 3296–3303. <https://doi.org/10.1002/eqe.3723>
- Dirjen Bina Marga KemenPUPR. (2024). *Mulai Digarap, Jalan Tol Akses Pelabuhan Patimban Akan Per lancar Arus Logistik*. <https://binamarga.pu.go.id/index.php/berita/mulai-digarap-jalan-tol-akses-pelabuhan-patimban-akan-perlancar-arus-logistik>
- Fox, M. (2023). Considerations on seismic hazard disaggregation in terms of occurrence or exceedance in New Zealand. *Bulletin of the New Zealand Society for Earthquake Engineering*, 56(1 SE-Articles), 1–10. <https://doi.org/10.5459/bnzsee.56.1.1-10>
- Geetopriyo, R., Subhrajit, D., & Satyabrata, C. (2023). An Integrated Uncertainty Quantification Framework for Probabilistic Seismic Hazard Analysis. *ASCE-ASME Journal of Risk and Uncertainty in Engineering Systems, Part A: Civil Engineering*, 9(2), 4023017. <https://doi.org/10.1061/AJRUA6.RUENG-1035>
- Gusnadi, Z., Handiman, I., & Sarifah, F. (2023). Analisa Perbaikan Tanah Lunak Menggunakan Controlled Modulus Columns (CMC) pada Konstruksi Timbunan Jalan. *Akselerasi: Jurnal Ilmiah Teknik Sipil*, 4(2), 11–16. <https://doi.org/10.37058/aks.v4i2.5670>
- Hamonangan, E. K., & Syahputra, M. Y. (2023). Perbandingan Hasil Analisis Finite Element Untuk Stabilitas Dan Penurunan Timbunan Dengan Beberapa Soil Model Di Lokasi Rencana Pembangunan Jalan Tol Subang. *Jurnal HPJI*, 9(1), 1–8. <https://doi.org/10.26593/jhpji.v9i1.6434.1-8>
- Kansil, L., & Fadillah, A. (2022). Impact of Traffic and Customer Switching Behavior of Hinterland Region on the Patimban Port Development. *Proceedings of the Conference on Broad Exposure to Science and Technology 2021 (BEST 2021)*, 210(Best 2021), 93–99. <https://doi.org/10.2991/aer.k.220131.015>
- Kowsari, M., Eftekhari, N., & Dadras, E. Y. (2024). Uncertainty and sensitivity assessments on the inputs of probabilistic seismic hazard assessment: A case study of the North Tehran fault. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 179, 108558. <https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2024.108558>
- Najib, M., Zamad, N., & Setiawan, A. M. (2019). Analisis Resiko Gempa Bumi Pada Bangunan Gedung (Studi Kasus: Pembangunan Mall Maleo Town Square Kabupaten Majene Provinsi Sulawesi Barat). *Bandar: Journal of Civil Engineering*, 1(2), 31–45. <https://doi.org/10.31605/bjce.v1i2.168>
- Nursani, R., Sarifah, F., & Hidayanto. (2023). Evaluasi Ketahanan Gempa pada Fondasi Tangki Minyak 3000 bbl Berdasarkan Metode Analitik dan Elemen Hingga. *Jurnal Manajemen Teknologi & Teknik Sipil*, 6(2), 138–153.

<https://doi.org/10.30737/jurmateks.v6i2.5136>

- Otárola, K., Fayaz, J., & Galasso, C. (2022). Fragility and vulnerability analysis of deteriorating ordinary bridges using simulated ground-motion sequences. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 51(13), 3215–3240. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/eqe.3720>
- Panchireddi, B., Shivang, S., & and Ghosh, J. (2023). Influence of ground motion duration on the seismic vulnerability of aging highway bridges. *Structure and Infrastructure Engineering*, 19(8), 1041–1063. <https://doi.org/10.1080/15732479.2021.1998141>
- Sarifah, F., & Anggraini, N. (2022). Prinsip perencanaan continous improvement program perbaikan tanah lempung lunak menggunakan PVD dengan vacuum preloading untuk jalan berkualitas, estetik, dan ramah lingkungan (studi kasus proyek strategis nasional jalan tol trans Sumatera). *Konferensi Regional Teknik Jalan*, 19–25. <https://doi.org/https://doi.org/10.58674/phpji.v15i1.49>
- Sarifah, F., Tumpu, M., Trisnawati, L., Hadija, H., Mahi Sudrajat, K., Mansyur, M., Munar, A., Syuhada, S., & Agustian, Y. (2024). *Dasar Mekanika Tanah*. CV Hei Publishing Indonesia.
- Sawires, R., Peláez, J. A., & Santoyo, M. A. (2024). Deaggregation of probabilistic seismic hazard results for some selected cities in Western Mexico. *Georisk: Assessment and Management of Risk for Engineered Systems and Geohazards*, 18(2), 491–512. <https://doi.org/10.1080/17499518.2023.2251125>
- Shukla, D., & Solanki, C. H. (2020). Deaggregation of Seismic Hazards for Two Different Sites in Indore Region BT. In A. Prashant, A. Sachan, & C. S. Desai (Ed.), *IACMAG Symposium: Advances in Computer Methods and Geomechanics* (hal. 29–38). Springer Singapore.
- SNI 1726. (2019). *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung*. Badan Standarisasi Indonesia.
- SNI 8460. (2017). *Persyaratan Perancangan Geoteknik*. Badan Standarisasi Nasional.
- United States Geological Survey. (2024). *USGS Earthquake Catalog*. <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/search/>