

Penerapan Seismic Hazard dalam Penentuan Premi Asuransi Gempa Jawa Barat 2010-2024

Dini Pebrianti Putri*, Sutawanir Darwis

Prodi Statistika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam,
Universitas Islam Bandung, Indonesia.

dinilabs@gmail.com, std.darwis@gmail.com

Abstract. Earthquakes are vibrations or shocks that occur on the earth's surface due to the sudden release of energy in the earth's crust. This energy is released due to movement and interaction between tectonic plates, faults, or volcanic activity. According to the United States Geological Survey (USGS), 152 earthquakes have occurred in the West Java region from 2010 to May 2024 with a minimum magnitude of 3.9 mw. The earthquake disaster caused severe damage in the West Java region. These earthquakes create human tragedies, collapse the economy, and disrupt development. Therefore, it is necessary to consider a national policy to provide insurance for people living in disaster- vulnerable areas. This study purposes to investigate and determine the level of application of seismic hazard in determining insurance premiums using earthquake data in West Java in 2010-2024 using a quantitative approach with PSHA (Probabilistic Seismic Hazard Analysis). The results obtained from earthquake data in West Java for West Java Province, the total premium rate that must be paid by the insurance company to the insured party is in the amount of Rp. 607,562,930, - up to Rp. 175,790,842,5, - every year.

Keywords: *Earthquake Insurance, Premium, PSHA (Probabilistic Seismic Hazard Analysis), Seismic Hazard.*

Abstrak. Gempa bumi merupakan getaran atau guncangan yang terjadi di permukaan bumi akibat pelepasan energi secara tiba-tiba di dalam kerak bumi. Energi ini dilepaskan karena adanya pergerakan dan interaksi antar lempeng tektonik, patahan (fault), atau aktivitas vulkanik. Menurut United States Geological Survey (USGS) mencatat telah terjadi 152 kali gempa bumi di wilayah Jawa Barat dari tahun 2010 sampai bulan Mei 2024 dengan besar gempa minimal 3,9 mw. Bencana gempa tersebut mengakibatkan kerusakan yang cukup parah di wilayah Jawa Barat. Bencana gempa ini menciptakan tragedi kemanusiaan, meruntuhkan sendi-sendi perekonomian, dan menghambat pembangunan. Oleh karena itu, perlu dipikirkan suatu kebijakan nasional untuk memberi asuransi bagi masyarakat yang berada di daerah rawan bencana. Penelitian ini bertujuan untuk menyelidiki dan mengetahui tingkat penerapan seismic hazard dalam penentuan premi asuransi menggunakan data gempa di Jawa Barat tahun 2010-2024 menggunakan pendekatan kuantitatif dengan PSHA (Probabilistic Seismic Hazard Analysis). Hasil yang diperoleh dari data gempa bumi di Jawa Barat untuk Provinsi Jawa Barat, tarif total premi yang harus dibayarkan oleh pihak asuransi kepada pihak tertanggung berada diangka Rp. 607.562,930,- sampai dengan Rp. 175.790.842,5,-per tahun.

Kata Kunci: *Asuransi Gempa Bumi, Premi, PSHA (Probabilistic Seismic Hazard Analysis), Seismic Hazard.*

A. Pendahuluan

Pendahuluan berisi mengenai latar belakang atau urgensi dari dilakukannya penelitian ini. Selain itu, bagian pendahuluan juga dapat menceritakan mengenai identifikasi permasalahan yang terjadi sehingga menjadi dasar untuk dilakukannya penelitian. Hal yang mendasari dilakukannya penelitian juga bisa berasal dari fenomena yang sedang terjadi atau isu terkini (Satriani et al., 2022). Misalnya fenomena sosial di masyarakat atau institusi tertentu. Bagian ini dapat dilengkapi dengan data pendukung yang terkait dengan permasalahan yang terjadi.

Gempa bumi merupakan getaran atau guncangan yang terjadi di permukaan bumi akibat pelepasan energi secara tiba-tiba di dalam kerak bumi. Energi ini dilepaskan karena adanya pergerakan dan interaksi antar lempeng tektonik, patahan (fault), atau aktivitas vulkanik. Nakamura (2000) mengatakan bahwa dampak yang terjadi akibat gempa bumi disebabkan karena intensitas gempa bumi, jarak dari sumber gempa, skala gempa, ukuran zona patahan, energi yang dilepaskan batuan, jenis geologi antara sumber gempa dan lokasi terdampak gempa, serta kondisi geologi lokal.

Risiko bencana gempa bumi ini tidak dapat dihindari, namun salah satu cara untuk mengurangi risiko dari bencana tersebut adalah dengan asuransi gempa bumi. Asuransi gempa bumi adalah asuransi yang akan memberikan jaminan kerugian dan juga kerusakan yang disebabkan oleh bencana gempa bumi (Raisa Filmi Suryahadikusumah & Sutawanir Darwis, 2024). Fokus utama asuransi gempa bumi dalam penelitian ini adalah pada perlindungan kerugian harta benda. Dengan adanya perlindungan dari asuransi ini akan memudahkan masyarakat untuk memulai kembali aktivitas ekonomii yang terhenti akibat dari bencana gempa bumi. Dari sisi perusahaan asuransi perlu untuk menentukan premi asuransi yang tepat untuk menutupi risiko tersebut, dikarenakan kerugian yang diakibatkan dari bencana gempa bumi (Philip Trisa Parera & Suwanda, 2023).

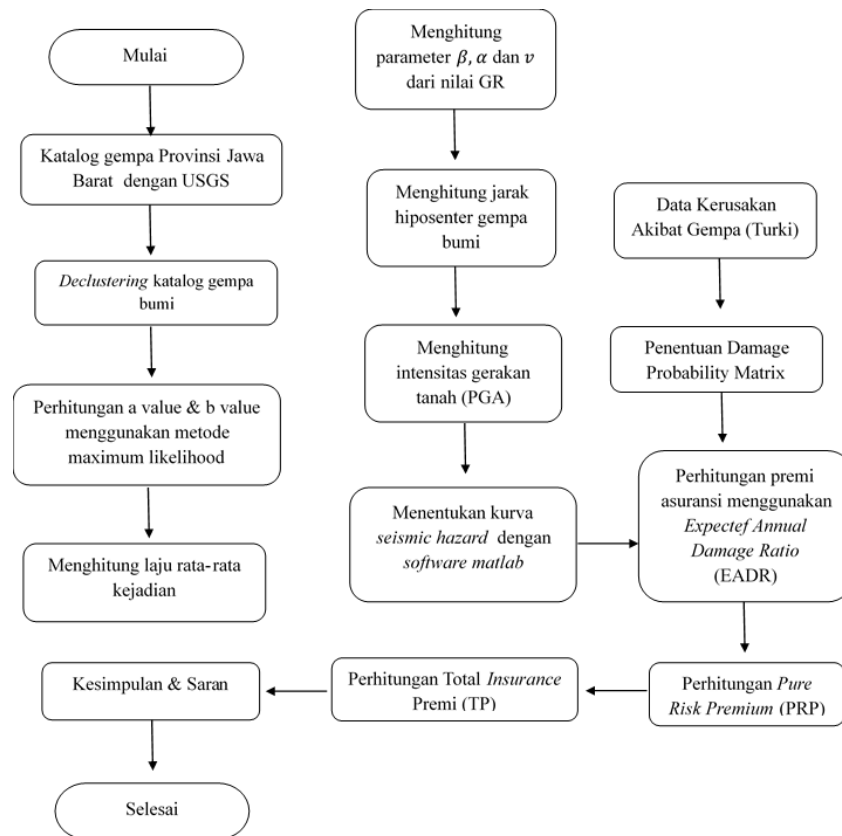
Premi asuransi gempa bumi akan dihitung berdasarkan peluang terjadinya gempa bumi dan tingkat kerusakan bangunan yang diakibatkan oleh gempa bumi. Pada bagian peluang terjadinya gempa bumi akan dikuatifikasi melalui Probabilistic Seismic Hazard Analysis (PSHA) dengan algoritma MATLAB PSHA dan tingkat kerusakan bangunan akibat gempa bumi akan ditampilkan melalui Damage Probability Matricees (DPM). Adapun penelitian yang relevan dengan Probabilistic Seismic Hazard Analysis (PSHA), Mehmet Semih Yucemen dan Cetin Yilmaz (2015) yaitu melakukan penelitian probabilistik tarif premi asuransi gempa bumi untuk bagian jalan tol Gumusove-Gerede di Turki dengan menggunakan model probabilistik untuk penilaian tarif premi asuransi, diperoleh hasil penelitian berupa nilai premi asuransi gempa bumi untuk setiap struktur jalan dengan tahun konstruksi yang berbeda.

Berdasarkan uraian tersebut, maka penting untuk melakukan penelitian terkait premi asuransi gempa. Penelitian ini bertujuan untuk menyelidiki dan mengetahui tingkat penerapan metode seismic hazard dalam penentuan premi asuransi gempa di Jawa Barat tahun 2010-2024. Penelitian ini diharapkan mampu memberikan gambaran terkait implementasi seismic hazard dalam premi asuransi gempa di Indonesia.

B. Metode

Metode penelitian yang digunakan yaitu *seismic hazard* analisis dan sumber data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data sekunder, yakni data kejadian gempa bumi pada tahun 2010- Mei 2024 yang diperoleh dari website *United States Geological Survey* (USGS) dengan gempa paling kecil 3,9 mw sampai 6,5 mw. Data tersebut meliputi, waktu (*date*), lintang (*latitude*), bujur (*longitude*), kedalaman (*depth*), *magnitude*, tipe *magnitude* (*magnitude type*).

Berikut alir penelitian yang diterapkan:

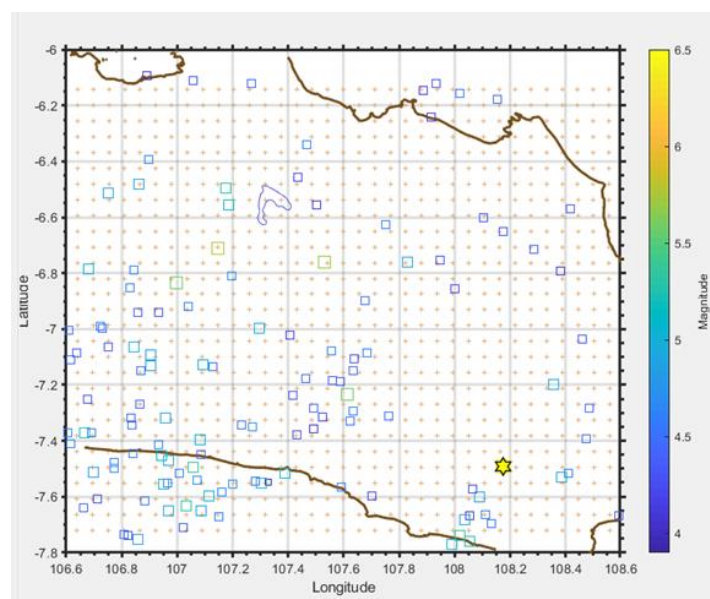


Gambar 1. Diagram alir penelitian

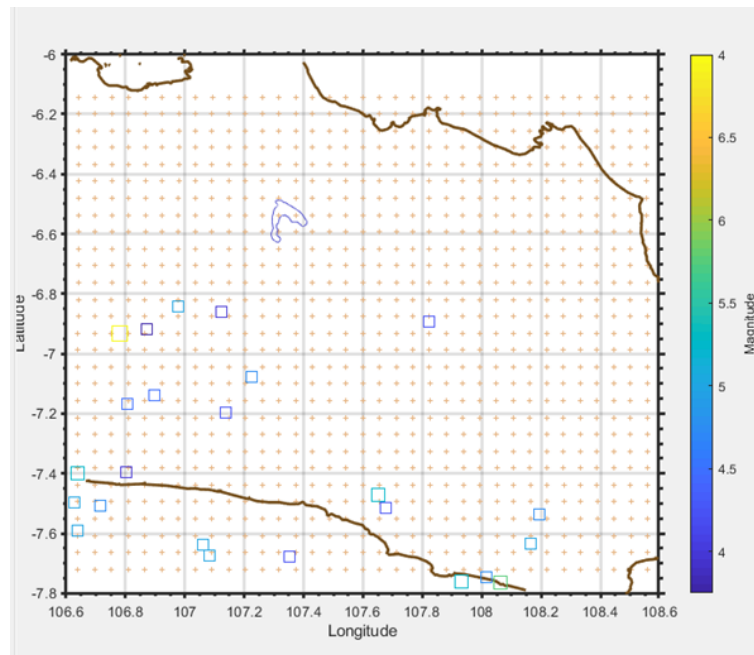
C. Hasil Penelitian dan Pembahasan

Declustering Data

Dari data katalog gempa di Jawa Barat tahun 2010-2024 yang telah diperoleh, maka akan dilakukan proses declustering data menggunakan metode Gardner&Knopoff pada zmap disoftware matlab untuk memisahkan antara gempa utama (mainshock) dan gempa susulan (aftershock).



Gambar 2.a) Hasil Declustering Gempa Bumi *Mainshock* dan *aftershock* di Provinsi Jawa Barat pada Januari 2010 – Mei 2024



Gambar 2.b) Hasil Declustering Gempa Bumi *Mainshock* dan *aftershock* di Provinsi Jawa Barat pada Januari 2010 – Mei 2024

Pada Gambar 2 sebelah kiri diketahui hasil declustering menunjukkan bahwa dari 152 kejadian gempa bumi didapatkan 128 kejadian gempa utama (*mainshock*) di beberapa tempat di Provinsi Jawa Barat. Magnitudo terkecil sebesar 3.9 MW dan magnitudo terbesar sebesar 6.5 MW dengan kedalaman yang berbeda-beda selama bulan Januari 2010 sampai Bulai Mei 2024. Titik kuning simbol bintang pada Gambar 2 menunjukkan bahwa gempa yang terjadi merupakan gempa yang paling besar. Pada Gambar 2 sebelah kanan menunjukkan hasil desclustering gempa bumi yang terdapat 24 kejadian gempa bumi susulan (*aftershock*) dari 152 kejadian gempa bumi di beberapa tempat di Provinsi Jawa Barat dengan kedalaman yang berbeda-beda. Magnitudo terkecil pada hasil *aftershock* ini sebesar 4.1 MW dan magnitudo terbesar yaitu 5.4 MW yang ditunjukkan dengan simbol kotak berwarna kuning.

Hasil Rata-Rata Laju Kejadian Gempa

Untuk mencari hasil rata-rata laju kejadian gempa maka perlu dicari parameter kegempanya pada persamaan $b = \frac{\log(e)}{(\bar{m}-m_0)}$ dan persamaan $a = \log n (m > m_0) + \log(b \ln 10) + m_0 b$ dengan menggunakan bantuan *software Microsoft Excel* diperoleh sebagai berikut:

Diketahui $\log(e) = 0,4343$

Mainshock

$$b = \frac{\log(e)}{(\bar{m}-m_0)} = \frac{0,4343}{(4,62813-3,9)} = 0,59646$$

$$a = \log n (m > m_0) + \log (b \ln 10) + m_0 b \\ = \log 128 + \log (0,59646 \ln 10) + 3,9(0,59646)$$

Setelah diketahui *a-value* dan *b-value*, maka selanjutnya dicari nilai λ_m (kejadian pertahun) *Mainshock* dengan persamaan $\lambda_m = v \exp[-\beta(m - m_0)]$, $m > m_0$. Diketahui $\alpha = 10,52562$, $\beta = 1,37341$, $v = 175,79623$ yang didapatkan dari persamaan $\alpha = a \ln 10$, persamaan $\beta = b \ln 10$, dan persamaan $v = \exp[\alpha - \beta m_0]$ dengan menggunakan bantuan *microsoft excel*.

Tabel 1. Hasil Perhitungan laju Kejadian Gempa per Tahun λ_m *Mainshock*

NO	MAG	λ_m
1	5,3	25,70163
⋮	⋮	⋮

⋮	⋮	⋮
128	4,1	133,5724

Berdasarkan Tabel 1 tersebut, dapat diinterpretasikan bahwa tingkat bahaya gempa bumi dengan magnitudo 5,3 akan menghasilkan rata-rata tingkat pelampauan tahunan sebesar $25,70163 \approx 26$ kejadian per tahun.

Hasil Identifikasi Jarak Gempa

Perhitungan jarak hiposenter gempa bumi terhadap stasiun geofisika bandung dengan titik koordinat -6.9084° LS 107.6186° BT disajikan dalam Tabel 2 berikut:

Tabel 2. Hasil Perhitungan Jarak Pusat Gempa Bumi Terhadap Stasiun Geofisika Bandung

No	Δ^2	h (km)	R (km)
1	8158,6386	37,4	97,76195
⋮	⋮	⋮	⋮
⋮	⋮	⋮	⋮
128	2705,1166	10	52,96335

Berdasarkan Tabel 2 pada kolom kedua yaitu Δ^2 atau jarak episenter dihitung menggunakan persamaan $\Delta^2 = (x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2$ sedangkan tabel keempat yaitu R(km) merupakan hasil perhitungan jarak hiposenter yang dihitung menggunakan persamaan $R = \sqrt{\Delta^2 + h^2}$.

Perhitungan Intensitas Gerakan Tanah (PGA)

Perhitungan intensitas gerakan tanah dengan menggunakan persamaan $\ln PGA = 0,2418 + 1,414m + C \ln(R + 1,7818e^{0,554m}) + 0,000607H + 0,3846Z_T$ diperoleh lnPGA sebagai berikut:

Tabel 3. Hasil lnPGA

NO	lnPGA
1	-4,10047
⋮	⋮
⋮	⋮
128	-4,36619

Berdasarkan Tabel 3 hasil lnPGA ini akan dilakukan pemodelan menggunakan regresi berganda karena menyesuaikan dengan model prediksi untuk rata-rata percepatan tanah maksimum (dalam satuan g) pada persamaan $\ln IM = \overline{\ln IM}(M, R, \theta) + \sigma(M, R, \theta) \cdot \varepsilon$ dengan bantuan *software microsoft excel* disajikan hasil pemodelan sebagai berikut

$$\overline{\ln PGA} = -7,67041 + 0,87267m - 0.0102 \ln(R + 25)$$

Dan diperoleh hasil lnPGA sebagai berikut:

Tabel 4. Hasil Model Prediksi lnPGA

NO	lnPGA
1	-3,09391
⋮	⋮
⋮	⋮
128	-4.13623

Selanjutnya dihitung nilai probabilitas PGA (dalam satuan g) dengan menggunakan persamaan $P(PGA > x|m, r) = 1 - \Phi\left(\frac{\ln x - \ln PGA}{\sigma_{\ln PGA}}\right)$ yaitu:

Tabel 5. Hasil Probabilitas PGA

NO	$P(PGA > x)$
1	0,04466
⋮	⋮
⋮	⋮
128	0,90515

Berdasarkan Tabel 5 diperoleh hasil PGA, nilai PGA juga dapat dinyatakan dalam satuan (m/s^2).

Hasil Intensitas Gempa Bumi

Di bagian ini, nilai PGA dalam satuan g terlebih dahulu akan diubah menjadi satuan gal (PGA $\times 1000$) untuk menentukan intensitas pergerakan tanah, kemudian nilai intensitas gempa bumi dihitung menggunakan persamaan $I = 1.5(M - 0.5)$ dengan bantuan *microsoft excel*, hasilnya sebagai berikut:

Tabel 6. Hasil Perhitungan intensitas Gempa Bumi

NO	PGA	GAL	I	I (MMI)
1	0,04532439	45,32439	7,2	7
2	0,022721787	22,72179	6	6
3	0,037828335	37,82833	6,9	7
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
128	0,015983014	15,9830137	5,4	5

Berdasarkan Tabel tersebut, dari 128 kejadian gempa bumi, hanya intensitas 5, 6, 7, 8, dan 9 yang menunjukkan dampak mulai dari terasa oleh semua orang sampai dengan kerusakan bangunan.

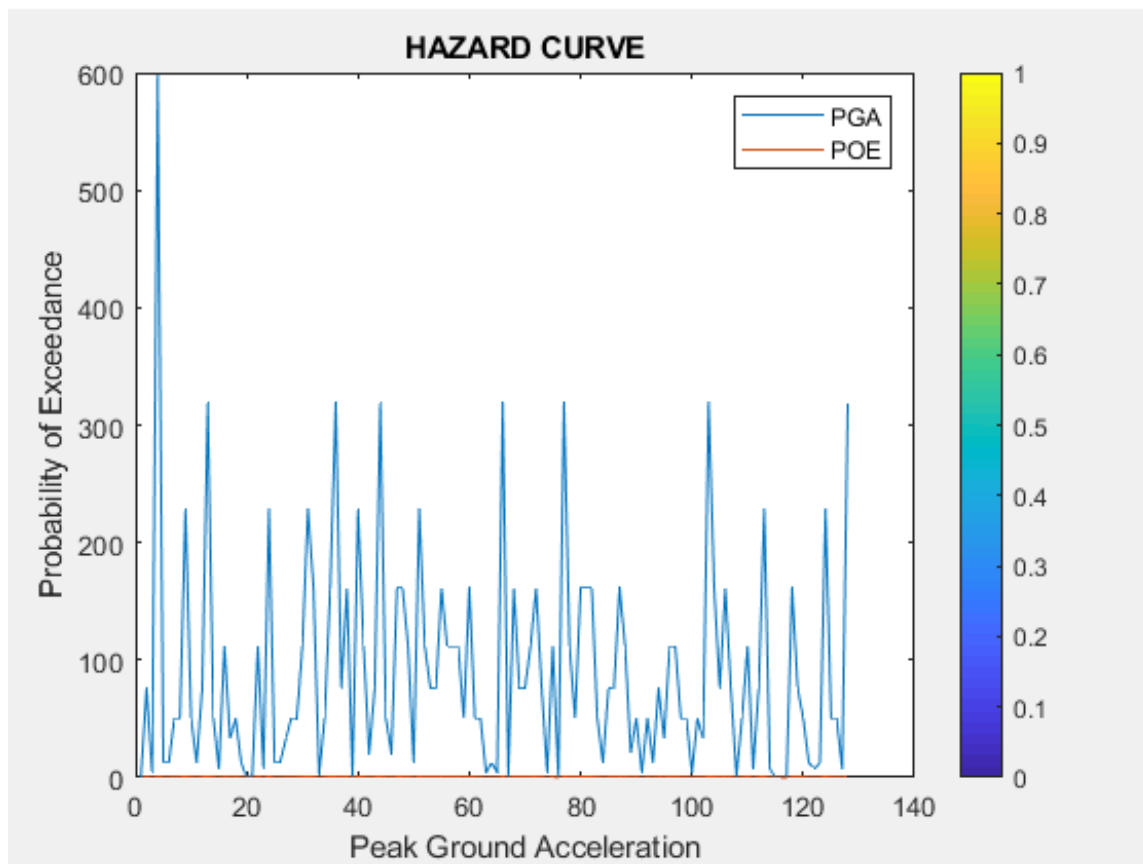
Kurva Seismic Hazard

Dalam bagian ini, tingkat rata-rata pelampauan dihitung menggunakan probabilitas (%) atau *probability of exceedance* (POE) dihitung menggunakan persamaan $POE = 1 - e^{(-\lambda(IM>x)(T))}$ dengan bantuan *software Microsoft Excel*. Perhitungan dilakukan berdasarkan intensitas pergerakan tanah yang sudah dihitung sebelumnya untuk menentukan nilai SH, dengan cara menghitung rata-rata nilai POE sesuai skala intensitas. Hasilnya disajikan sebagai berikut:

Tabel 7. Hasil Perhitungan *Seismic Hazard*

No	SH	I (MMI)
1	0,91577	5
2	0,64845	6
3	0,16788	7
4	0,00482	8
5	0,90848	9

Berdasarkan Tabel 7 diperoleh nilai SH untuk skala intensitas 5 sebesar 0,916%, skala intensitas 6 sebesar 0,648%, skala intensitas 7 sebesar 0,168%, skala intensitas 8 sebesar 0,005%, dan untuk skala intensitas 9 sebesar 0,908%.



Gambar 1. Kurva Seismic Hazard

Berdasarkan Gambar 3 dinyatakan bahwa kurva menunjukkan ada fluktuasi yang signifikan dalam *Peak Ground Acceleration* (PGA) yang tercatat, namun secara umum, *Probability of Exceedance* (POE) relatif rendah dalam rentang yang ditampilkan.

Estimasi Kerusakan Gempa Bumi

Dalam mengestimasi kerusakan gempa bumi digunakan *Damage Probability Matrix* (DPM) wilayah Turki.

Tabel 8. Hasil Damage Probability Matrix (DPM)

Damage State	CDR(%)	Intensity					
		V	VI	VII	VIII	IX	
None	0	1	0.95	0.5	0.5	0.3	Σ
Light	5	0	0.05	0.2	0.2	0.3	
Moderate	30	0	0	0.1	0.2	0.2	
Heavy/Colapse	85	0	0	0	0.1	0.2	
MDR(%)		0	0.0025	0.04	0.14	0.215	0.3975

Berdasarkan Tabel 8 dapat dilihat hasil DPM yang mengacu pada wilayah Turki, pada intensitas gempa yang lebih rendah (V-VI) peluang kerusakan kecil. Untuk intensitas V tidak memiliki nilai $P_k(DS, I)$ karena pada intensitas V memiliki peluang bahaya gempa bumi yang kecil sehingga tidak menimbulkan kerusakan. Sedangkan untuk intensitas VI dengan CDR=0% peluang tidak terdapat kerusakan adalah 0,95 dan untuk CDR = 5% peluang kerusakan ringan adalah 0,05 dengan nilai MDR 0,0025% mayoritas bangunan mengalami kerusakan. Pada intensitas yang lebih tinggi (VII-IX), terjadi peningkatan kerusakan sedang hingga berat/runtuh dengan nilai MDR 0,04 pada intensitas VII dan nilai MDR 0,14% pada intensitas VIII, dan nilai MDR 0,215% pada intensitas IX.

Mean Damage Ratio (MDR) meningkat seiring dengan meningkatnya intensitas gempa, menunjukkan bahwa semakin besar intensitas gempa, semakin tinggi potensi kerusakan yang diantisipasi.

Hasil Premi Asuransi Gempa

Premi asuransi gempa bumi dihitung berdasarkan nilai bahaya seismik dan tingkat kerusakan bangunan akibat gempa. Proses perhitungan asuransi gempa dilakukan dengan menghitung EADR, yaitu rasio kerusakan tahunan, menggunakan persamaan $EADR = \sum I MDR(I) \times SH(I)$. Setelah mendapatkan nilai EADR, langkah selanjutnya adalah menghitung PRP atau premi murni, yang merupakan biaya yang harus dibayarkan setiap tahun, menggunakan persamaan $PRP_k = EADR_k \times INSV$. INSV atau nilai pertanggungan bangunan, ditetapkan sebesar Rp. 5.400.000 untuk bangunan perumahan tipe 1 lantai yang diperoleh dari Otoritas Jasa Keuangan (OJK). TP atau total premi yang harus dibayarkan oleh pihak tertanggung kepada asuransi dihitung menggunakan persamaan $TP_k = \frac{PRP_k}{1-LF}$, dengan LF ditetapkan sebesar 0,4. Hasil perhitungan ini disajikan sebagai berikut:

Tabel 9. Hasil Perhitungan Premi Asuransi Gempa

Intensitas	MDR	SH	EADR	PRP	TP
V	0	0,91577	0	0	0
VI	0,0025	0,64845	0,16211	875.406,213	1.459.010,354
VII	0,04	0,16788	0,67153	3.626.238,931	6.043.731,552
VIII	0,14	0,00482	0,06751	364.537,758	607.562,930
IX	0,215	0,90848	19,5323	105.474.505,475	175.790.842,5

Berdasarkan hasil Tabel 9 menunjukkan bahwa dari data gempa bumi di Provinsi Jawa Barat untuk bangunan perumahan tipe 1 lantai diperoleh hasil bahwa rasio kerusakan tahunan (EADR) pada intensitas VI sebesar 0,162%, biaya yang harus dibayar setiap tahun pada bangunan (PRP) sebesar Rp875.406.213,- dan total premi yang harus dibayarkan kepada pihak tertanggung ketika risiko terjadi (TP) sebesar Rp. 1.459.010,354,- di skala intensitas VII kerugian yang diperoleh dalam tahun (EADR) sebesar 0,67%, biaya yang harus dibayar setiap tahun pada bangunan (PRP) sebesar Rp. 3.626.238,931,- dan total premi yang harus dibayarkan kepada pihak tertanggung ketika risiko terjadi (TP) sebesar Rp. 6.043.731,552,-, di skala intensitas VIII kerugian yang diperoleh dalam tahun (EADR) sebesar 0,067%, biaya yang harus dibayar setiap tahun pada bangunan (PRP) sebesar Rp364.537,758,-, dan total premi yang harus dibayarkan kepada pihak tertanggung ketika risiko terjadi (TP) sebesar Rp. 607.562,930,- di skala intensitas IX kerugian yang diperoleh dalam tahun (EADR) sebesar 19,53%, biaya yang harus dibayar setiap tahun pada bangunan (PRP) sebesar Rp. 105.474.505,475,- dan total premi yang harus dibayarkan kepada pihak tertanggung ketika risiko terjadi (TP) sebesar Rp. 175.790.842,5,-.

D. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis, dapat disimpulkan bahwa penerapan *seismic hazard* dalam penentuan premi asuransi gempa di Jawa Barat pada periode 2010-2024 menunjukkan terjadinya 128 katalog gempa bumi, yang menghasilkan nilai *seismic hazard* untuk skala intensitas gempa IV sebesar 0,91258%, untuk skala intensitas V sebesar 0,64845%, untuk skala intensitas VI sebesar 0,16788%, untuk skala intensitas VII sebesar 0,00482%, dan terakhir untuk skala intensitas IX sebesar 0,90848%. Dengan tarif total premi yang harus dibayarkan pihak asuransi kepada pihak tertanggung berdasarkan skala intensitas VI sebesar Rp1.459.010,354,- berdasarkan skala intensitas VII sebesar Rp6.043.731,552,- berdasarkan skala intensitas VIII sebesar Rp607.562,930,- dan yang terakhir yaitu berdasarkan skala intensitas tertinggi yaitu IX sebesar Rp175.790.842,5,-.

Ucapan Terimakasih

Penelitian ini dapat dilaksanakan dengan baik berkat bantuan dari berbagai pihak. Untuk itu

peneliti mengucapkan terima kasih kepada United States Geological Survey (USGS) yang sudah memberikan data melalui laman resminya. Kemudian kepada bapak Prof. Dr. Sutawanir Darwis selaku pembimbing yang telah memberikan banyak ilmu, petunjuk dan saran dalam penyusunan artikel ilmiah ini. Tidak lupa juga kepada keluarga yang selalu memberikan dorongan.

Daftar Pustaka

- Philip Trisa Parera, & Suwanda. (2023). Model Random Coefficient Autoregressive Orde Pertama dan Penerapannya. *Jurnal Riset Statistika*, 155–162.
<https://doi.org/10.29313/jrs.v3i2.3048>
- Raisa Filmi Suryahadikusumah, & Sutawanir Darwis. (2024). Penentuan Premi Asuransi Gempa Berdasarkan Declustering Katalog Jawa Barat. *Jurnal Riset Statistika*, 127–136.
<https://doi.org/10.29313/jrs.v4i2.5029>
- Satriani, A., Permatasari, A. N., & Firmansyah. (2022). *Jurnalis Muslim Menghadapi Pandemi Covid-19 : Sebuah Antologi*. CV. Simbiosis Rekatama Media.
- Baker, Jack. (2008). An Introduction to Probabilistic Seismic Hazard Analysis (PSHA).
- Baker, J. W., Bradley, B. A., and Stafford, P. J. (2021). Seismic Hazard and Risk Analysis. Cambridge University Press, Cambridge, England.
- Emi U , Rummy, S A. , Rian, P , Aryanto, P, “Analisis Pendekatan Empiris Peak Ground Acceleration Pulau Bali”, *Jurnal Ilmu Dan Inovasi Fisika*, 02.02 (2018), 87– 93
- Lusiani, Erni & Anwar, Samsul & Nugraha, Muhammad. (2019). Penentuan Tingkat Seismisitas Wilayah Propinsi Aceh Dengan Metode Gutenberg Richter (Nilai A Dan Nilai B). *Jurnal Meteorologi Dan Geofisika*. 19. 71. 10.31172/Jmg.V19i2.536.
- 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).
- Gürpınar, A., & Yucemen, M. S. (1980). An obligatory earthquake insurance model for Turkey, In: *Proceedings of the International Conference on Engineering for Protection from Natural Disasters*. 895–906
- Gutenberg, B., & Richter, C. F. (1942). Earthquake magnitude, intensity, energy, and acceleration. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 32(3), 163–191.
- Pailoplee, S., & Palasri, C. (2014). CU-PSHA: A Matlab software for probabilistic seismic hazard analysis. *Journal of Earthquake and Tsunami*, 8(4).
- Permana, M. A. (2018). Probabilistic Seismic Hazard Analysis in Northern Sumatera. *Jurnal Neutrino: Jurnal Fisika Dan Aplikasinya*, 11(1), 21–31.
- Tse, Y-K, 2009, *Nonlife Actuarial Models Theory, Methods and Evaluation*, Cambridge University Press

Yucemen, M. S. 2005. Probabilistic Assessment of Earthquake Insurance Rates for Turkey. *Natural Hazard* (35): 291–313.