

Estimasi Parameter Hukum Omori untuk Perhitungan Premi Asuransi Gempa Bumi di Wilayah Jawa Barat

Sifa Rahma*, Sutawanir Darwis

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

*sifarhm28@gmail.com, std.darwis@gmail.com

Abstract. An earthquake is an event that causes the earth's crustal rocks to release a certain amount of energy that triggers aftershocks. The use of earthquake insurance is one way to mitigate losses due to these events. This article develops an aftershock probabilistic seismic hazard analysis (APSHA) by taking into account the effects of aftershocks using Omori's law method for earthquake insurance premiums. Omori's law has parameters K , c , and p which are estimated by the maximum likelihood method analytically and estimated numerically using the Newtown Raphson method. The seismic hazard value is obtained from the exceedance probability value for the cluster, which requires information on the earthquake location, magnitude, distance to the epicenter and attenuation function using the relationship between earthquake intensity and PGA. From the seismic hazard of Omori's law and the combination of building structure damage data will provide a pure premium for earthquake insurance. The data used in this thesis is secondary data obtained from final project [1]. The total premium to be paid by the insured party to the insurer per year is Rp 62.409.939,31 which compared to MAIPARK insurance practitioners the total premium paid is Rp 2.250.000 where the difference is quite significant with a difference of Rp 60.159.939,31 indicating differences in risk assessment approaches, company policies, and possibly also applicable regulations.

Keywords: *Aftershocks, Seismic Hazard, Omori's Law, Newton-Raphson Algorithm, Earthquake Insurance Premium.*

Abstrak. Gempa bumi adalah suatu kejadian yang menyebabkan batuan kerak bumi melepaskan sejumlah energi yang memicu dapat terjadinya gempa susulan (*aftershock*). Penggunaan asuransi gempa bumi adalah salah satu untuk penanggulangan kerugian akibat kejadian tersebut. Studi ini mengembangkan *aftershock probabilistic seismic hazard analysis* (APSHA) dengan memperhitungkan efek *aftershock* menggunakan metode hukum Omori untuk premi asuransi gempa bumi. Hukum Omori memiliki parameter K , c , dan p yang diestimasi dengan metode *maximum likelihood* secara analitik dan diestimasi secara numerik menggunakan metode *Newtown Raphson*. Nilai *seismic hazard* diperoleh dari nilai probabilitas pelampauan untuk *cluster* di mana memerlukan informasi lokasi gempa bumi, magnitudo, jarak lokasi ke pusat gempa bumi dan fungsi atenuasi menggunakan hubungan intensitas gempa dengan PGA. Dari *seismic hazard* hukum Omori dan kombinasi data kerusakan struktur bangunan akan memberikan premi murni untuk asuransi gempa bumi. Data yang digunakan pada skripsi ini adalah data sekunder yang diperoleh dari skripsi [1]. Total premi yang harus dibayar oleh pihak tertanggung kepada pihak asuransi per tahunnya sebesar Rp 62.409.939,31 yang dibandingkan dengan praktisi asuransi MAIPARK total premi yang dibayarkan sebesar Rp 2.250.000 di mana perbedaan cukup signifikan dengan selisih sebesar Rp 60.159.939,31 mengindikasikan adanya perbedaan dalam pendekatan penilaian risiko, kebijakan perusahaan, dan mungkin juga peraturan yang berlaku.

Kata Kunci: *Gempa Susulan, seismic hazard, Hukum Omori, algoritma Newton-Raphson, Premi Asuransi Gempa Bumi.*

A. Pendahuluan

Secara geografis, Indonesia diapit oleh lautan Pasifik dan Hindia serta benua Asia dan Australia. Indonesia adalah sebuah negara kepulauan yang terletak di Asia Tenggara dekat garis khatulistiwa. Selain letak fisiknya, koordinat astronomis Indonesia adalah 6°LU - 11°LS (Lintang Utara - Lintang Selatan) dan 95°BT - 141°BT (Bujur Timur). Indonesia terletak di Lempeng Eurasia, Lempeng Indo-Australia, dan Lempeng Pasifik, yang merupakan tiga lempeng utama dunia dan terletak membentang sejauh 40.000 km di *Ring of Fire* (Cincin Api Pasifik). Salah satu wilayah di Indonesia yang rentan terhadap bencana gempa bumi adalah Provinsi Jawa Barat. Menurut BMKG mengatakan bahwa karena Jawa Barat memiliki begitu banyak sesar, maka wajar jika gempa bumi terjadi berdekatan satu sama lain atau pada waktu yang bersamaan [2].

Gempa bumi didefinisikan sebagai pelepasan energi secara cepat yang menyebabkan pergerakan di permukaan bumi. Gelombang seismik yang dihasilkan oleh pelepasan energi secara tiba-tiba memiliki potensi untuk menghancurkan segala sesuatu di permukaan bumi, termasuk pepohonan dan bangunan, dan bahkan dapat menyebabkan korban jiwa [3]. Hukum Omori merupakan metode empiris untuk menentukan ukuran gempa susulan dengan menggambarkan gempa susulan sebagai gempa bumi yang terjadi di area yang sama dengan gempa utama namun memiliki kekuatan yang lebih kecil dari gempa utama. Hukum omori berdasarkan dari ungsi *likelihood* pada *point procces* yang didefinisikan sebagai turunan dari probabilitas terjadinya gempa bumi dengan pembahasan model *point procces* khususnya model hukum omori melalui fungsi *likelihood* [4]. Dalam penaksiran parameter hukum omori menggunakan *maximum likelihood* yang didapat dengan memaksimalkan fungsi kemungkinan. Hal ini menghasilkan bentuk implisit dan non-linier yang dapat digunakan untuk metode *Newton-Raphson* [5].

Kerusakan lingkungan dapat diakibatkan dari faktor alam salah satu contohnya adalah gempa bumi. Bencana alam memiliki pengaruh yang besar terhadap perkembangan suatu wilayah, ekspansi ekonomi, dan kerusakan lingkungan. Oleh karena itu, diperlukan suatu kebijakan nasional untuk memberi asuransi bagi masyarakat yang terkena dampak bencana, salah satunya adalah asuransi gempa bumi. Jaminan atas kerusakan yang terjadi pada produk yang telah disepakati, seperti bangunan dan harta benda, akan diberikan jika kerusakan tersebut disebabkan oleh gempa bumi. Namun, validitas besar tarif premi masih menjadi bahan diskusi di kalangan akademisi dan juga di sektor asuransi. Besarnya premi asuransi untuk gempa bumi dapat dihitung berdasarkan frekuensi dan tingkat keparahan gempa bumi. Di mana frekuensi ditunjukkan untuk banyaknya jumlah kejadian gempa bumi dalam satu satuan waktu, dan tingkat keparahan gempa bumi dapat dilihat dari besarnya nilai peluang kerusakan pada bangunan tempat tinggal [6].

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan, maka dalam penelitian ini akan membahas estimasi parameter hukum Omori dengan *maximum likelihood Newton-Raphson*, menghitung ekspektasi jumlah gempa bumi susulan, dan menghitung premi asuransi gempa bumi di wilayah Jawa Barat.

B. Metodologi Penelitian

Seismic Hazard

Setiap kejadian gempa bumi menghasilkan data seismik di mana dapat dianalisis. Analisis *seismic hazard* adalah untuk menentukan seberapa besar guncangan tanah yang terjadi ketika gempa bumi terjadi. *Peak Ground Acceleration* (PGA) atau percepatan tanah maksimum merupakan dampak gelombang gempa bumi di lokasi pengukuran, sehingga dari nilai yang didapatkan dalam pengolahan data dapat dijadikan ukuran intensitas gempa bumi yang dialami di daerah yang diteliti. Untuk menggambarkan distribusi peluang model prediksi yang diusulkan oleh Cornell dkk. (1979) ini dapat dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut [7]:

$$\overline{\ln PGA} = -0.152 + 0.859M - 1.803 \ln(R + 25) \quad (1)$$

Logaritma natural PGA berdistribusi normal, $\ln PGA \sim N(\mu_{\ln PGA}, \sigma_{\ln PGA}^2)$ dimana $\sigma_{\ln PGA}^2 = 0.057$, sehingga untuk menghitung probabilitas terlampaui tingkat PGA dapat dinyatakan dengan persamaan berikut:

$$P(PGA > x|m, r) = 1 - \Phi\left(\frac{\ln x - \overline{\ln PGA}}{\sigma_{\ln PGA}}\right) \quad (2)$$

Hukum Omori

Parameter hukum Omori $\theta = (K, c, p)$ ditaksir menggunakan metode *maximum likelihood point process* pada persamaan sebagai berikut [8]:

$$L = \left(\prod_{i=1}^n \lambda(t_i) \right) \exp \left(- \int_0^T \lambda(t) dt \right) \quad (3)$$

Dalam prosesnya, metode *maximum likelihood* menemukan nilai estimator bagi parameter yang dapat memaksimalkan fungsi *log-likelihood*. Parameter Omori yang telah dimodifikasi adalah K, c, p dengan fungsi intensitas bersyarat sebagai berikut [9]:

$$\lambda(t) = \frac{K}{(c + t)^p} \quad (4)$$

Parameter tersebut telah dimodifikasi dengan Fungsi *log-likelihood* dari deretan gempa susulan yang dapat dinyatakan dengan persamaan berikut:

$$\ell = \ln L(K, c, p) = \sum_{i=1}^n \ln \lambda(t_i) - \int_{T_1}^{T_2} \lambda(t) dt = n \ln K - p \sum_{i=1}^n \ln(t_i + c) - KA(c, p)$$

$$\text{dengan } A(c, p) = \begin{cases} \ln(T_2 + c) - \ln(T_1 + c) & p=1 \\ \{(T_2 + c)^{1-p} - (T_1 + c)^{1-p}\} / (1-p) & p \neq 1 \end{cases} \quad (5)$$

Penaksiran parameter dilakukan dengan menggunakan metode *Newton-Raphson* melalui proses iterasi, adapun persamaan iterasi yang digunakan adalah sebagai berikut [10]:

$$\theta^{(i+1)} = \theta^{(i)} - H^{-1}I, i = 1, 2, \dots \quad (6)$$

Di mana pada persamaan diatas H merupakan matriks Hessian atau matriks turunan kedua, I merupakan vektor turunan pertama dan $\theta = (K, c, p)$. Proses iterasi pada Persamaan (6) dihentikan apabila nilai $\|\theta^{(i+1)} - \theta^{(i)}\| \leq \varepsilon$ ($\varepsilon = 0.001$).

Aftershocks Probabilistic Seismic Hazard Analysis (APSHA)

Gempa susulan mungkin terjadi secara berurutan terlihat dipicu oleh *mainshock*. Ciri-ciri setiap barisan dianggap hanya bergantung pada besaran dan lokasi peristiwa pemicu, yang independen secara kondisional dari sejarah masa lalu. Yeo dan Cornell (2009) mengembangkan *Aftershocks Probabilistic Seismic hazard Analysis* (APSHA) untuk mengungkapkan bahaya gempa susulan mirip dengan bahaya *mainshock*. Hasil APSHA sudah masuk dalam hal tingkat pelampauan ambang batas ukuran intensitas gerakan tanah (IM). Hal ini berguna pada fase darurat pasca *mainshock* [11]. Ekspektasi jumlah gempa bumi susulan yang diprediksi dalam $(t, t + \Delta T_A)$ yang berlaku untuk NHPP, dapat diperoleh dalam persamaan berikut:

$$N_{A|m_E}(t)(0, \Delta T_A) = \int_0^{\Delta T_A} v_{A|m_E}(\tau). d\tau = \frac{(10^{a+b(m_E - m_{min}) - 10^a})}{p-1} \cdot [c^{1-p} - (\Delta T_A + c)^{1-p}] \quad (7)$$

Probabilitas pelampauan untuk setiap cluster adalah sebagai berikut [12]:

$$P_c = 1 - (1 - P[(PGA < x)_E]). e^{-[N_{A|m}(0, \Delta T_A)]. P_{A|m}[PGA \geq x]} \quad (8)$$

Perkiraan bahaya berdasarkan *cluster* merupakan produk dari probabilitas yang diperoleh untuk setiap *cluster* dan tingkat tahuhan *cluster* tersebut yang menghasilkan *annual rate of exccendace* sebagai berikut:

$$\lambda(PGA > x) = v_c. (1 - (1 - P[(PGA \geq x)_E]). e^{-[N_{A|m}(0, \Delta T_A)]. P_{A|m}[PGA \geq x]} \quad (9)$$

Perhitungan *seismic hazard* berdasarkan nilai probabilitas pelampauan untuk setiap *cluster* (PC) dan skala intensitas gempa bumi dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut,

sebagai contoh:

$$SH(MMI = I) = Pc(PGA < 0.017) = 1 - Pc(PGA \geq 0.017) \quad (10)$$

Estimasi Kerusakan Gempa

Kerusakan bangunan akibat gempa bumi dimasa depan dapat diprediksi dengan menggunakan teknik empiris dengan mengklasifikasikan kerusakan tersebut sebagai kerugian moneter. *Damage Probabilty Matrix* merupakan suatu teknik yang dapat digunakan untuk memperoleh perkiraan kerusakan secara empiris guna menentukan nilai probabilitas tingkat kerusakan rumah atau bangunan akibat gempa bumi dengan intensitas tertentu. DPM terdiri dari *Damage Probability Matrix* terdiri dari *Damage States* (DS) yang terlihat melalui jenis bangunan tertentu (*k*) yang terkena berbagai tingkat intensitas gempa (*I*). Setiap elemen dari *Damage Probability Matrix* (DPM) dapat diperoleh dari persamaan berikut [6]:

$$P_k(DS, I) = \frac{N(DS, I)}{N(I)} \quad (11)$$

Yuceman (2005) menyatakan bahwa dengan penyesuaian maka Tabel *Damage Probability Matrix* (DPM) dapat ditampilkan sebagai berikut:

Tabel 1. *Damage Probability Matrix*

Damage State (DS)	Central Damage Ratio (CDR)%	Intensitas					
		V	VI	VII	VIII	IX	X
Tidak ada kerusakan (N)	0	<i>Damage State Probabilities</i> $P_k(DS, I)$					
Kerusakan ringan (L)	30						
Kerusakan sedang (M)	50						
Kerusakan berat/Kolaps(H/C)	70						

Sumber: Deniz, A. Estimation of earthquake insurance premium rates based stochastic methods. Master's thesis, Middle East Technical University. 2006

Distribusi kerusakan sesuai dengan setiap tingkat intensitas, sebagaimana ditentukan oleh satu parameter yang dikenal sebagai *Mean Damage ratio* (MDR) diberikan dalam persamaan berikut:

$$MDR_k(I) = \sum_{DS} P_k(DS, I) \times CDR_{DS} \quad (12)$$

Premi Asuransi Gempa Bumi

Premi asuransi merupakan sejumlah uang yang wajib dibayarkan oleh setiap nasabah yang terdaftar kepada perusahaan Asuransi sebagai penanggung. Dalam perhitungan premi asuransi gempa bumi didapat dari nilai *Expected Annual Damage Ratio* (EADR) yang merupakan kuantitas tanpa unit dan menyatakan persentase tarif asuransi dari biaya penggantian unit harta benda dengan menggunakan perkalian sederhana dari rasio kerusakan rata-rata (MDR) dan *seismic hazard* (SH) yang dinyatakan sebagai berikut:

$$EADR_k = \sum_I MDR_k(I) \times SH_I \quad (13)$$

Pure Risk Premium (PRP) merupakan biaya yang harus dibayar setiap tahun untuk menutupi kerugian yang diantisipasi di masa depan yang dihitung menggunakan nilai EADR dan nilai pertanggungan (INSV) dinyatakan sebagai berikut:

$$PRP_k = EADR_k \times INSV \quad (14)$$

Nilai *Total Insurance Premium* (TP_k) yang akan dibebankan oleh perusahaan asuransi yang harus ditentukan untuk pemulihan biaya dan keuntungan akibat gempa bumi. Margin yang digunakan untuk meningkatkan premi risiko murni untuk mendapatkan *Total Insurance Premium* (TP_k) menggunakan nilai PRP dan faktor beban (LF) dimana ditentukan oleh Gürpınar dan Yüccemen (1980) sebesar 0.4 dinyatakan sebagai persamaan berikut:

$$TP_k = \frac{PRP_k}{1-LF} \quad (15)$$

Perusahaan Asuransi MAIPARK

Perusahaan Asuransi Indonesia (MAI) dan Perusahaan Asuransi Risiko Khusus (PARK) adalah singkatan dari MAIPARK. Izin pendirian MAI, perusahaan asuransi umum tertua di Indonesia, diakuisisi oleh 32 pemegang saham pendiri pada tanggal 23 Desember 2003 dalam rapat umum pemegang saham. Berikut tarif asuransi gempa bumi PT Asuransi MAIPARK Indonesia pada tahun 2017 menurut (Surat Edaran Otoritas Jasa Keuangan No. 6/SEOJK.05/2017):

Tabel 2. Tarif Premi PT Reasuransi MAIPARK Indonesia

A.1. Commercial and Industrial (Non Dwelling House)

Kelas Kontruksi	Tarif Premi atau Kontribusi per mil (‰)				
	Zona I	Zona II	Zona III	Zona IV	Zona V
Com: Steel, Wood, RC < 9	0.75	0.76	1	1.43	1.9
Com: Steel, Wood, RC > 9	1.12	1.15	1.22	1.53	2
Com : Others	0.8	1.04	1.55	2.46	4.7

A.2. Dwelling house - occupation code 2976

Kelas Kontruksi	Tarif Premi atau Kontribusi per mil (‰)				
	Zona I	Zona II	Zona III	Zona IV	Zona V
Dw: Steel, Wood, RC	0.76	0.79	1.04	1.35	1.6
Dw : Others	0.8	1	1.55	2.24	4.5

Sumber: Surat Edaran Otoritas Jasa Keuangan No. 6/SEOJK.05/2017

Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data sekunder dari skripsi [1]. Jumlah data sebanyak 75 kejadian gempa bumi yang sudah dilakukan *declustering* antara gempa utama dan gempa susulan diantaranya 1 kejadian gempa utama dan 74 kejadian gempa susulan dengan magnitudo sebesar 2.5 m hingga 5.6 m. Data tersebut meliputi waktu, magnitudo, kedalaman gempa bumi, *latitude*, *longitude*, dan tempat terjadinya gempa bumi. Penelitian ini dilakukan di Cianjur, Jawa Barat pada tanggal 21 November 2022-18 Februari 2023.

C. Hasil Penelitian dan Pembahasan

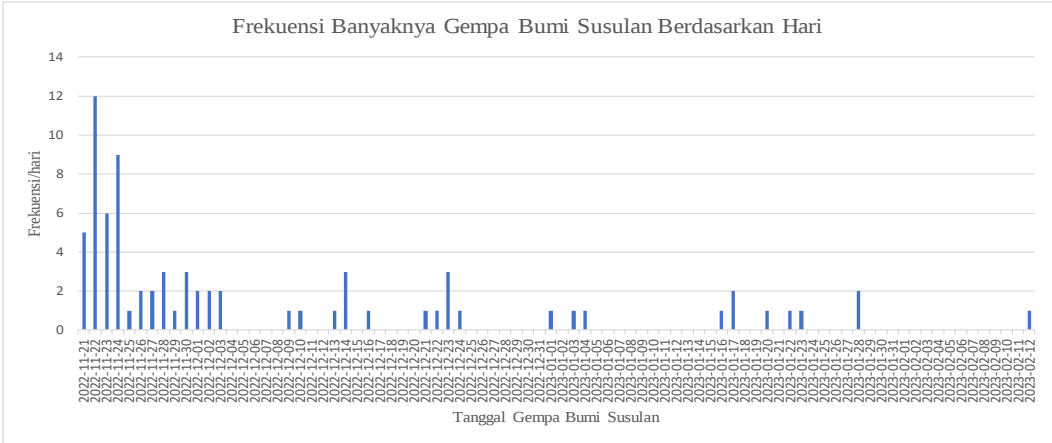
Deskripsi Data

Data yang digunakan menggunakan data dari skripsi Arsyi Fatiha Nurfauzan Universitas Islam Bandung 2024 yang sudah dilakukan *declustering* antara gempa bumi utama dan gempa bumi susulan di wilayah Jawa Barat, dengan pusat gempa berada di darat, 1 km arah barat laut Kabupaten Cianjur. Titik koordinat 5°50'-7°50' Lintang Selatan dan 104°48'-108°48' Bujur Timur dalam rentang waktu dimulai dari 21 November 2022 sampai 18 Februari 2023.

Tabel 3. Deskriptif Data Gempa Bumi Cianjur

Mainshock	
Magnitudo	5.6 M
Aftershock	
Magnitudo Minimum	2.5 M
Magnitudo Maksimum	4.5 M
n	74

Sumber: Data Penelitian, 2024.



Gambar 1. Plot Frekuensi Banyaknya Gempa Bumi Susulan Berdasarkan Hari setelah gempa utama

Pada gambar diatas menunjukan frekuensi banyaknya gempa bumi susulan setelah gempa bumi utama di daerah Cianjur, Jawa Barat pada 21 November 2022 sampai 18 Februari 2023. Gempa bumi susulan terjadi selama 13 hari berturut-turut, lalu setelah itu selama 5 hari tidak terjadi gempa susulan. Selama selang waktu tanggal 21 November 2022 sampai 18 Februari 2023 tidak terus menerus terjadi gempa bumi susulan, ada beberapa hari tidak mengalami gempa bumi susulan di rentang tanggal tersebut.

Parameter Hukum Omori

Estimasi parameter dari hukum omori pada penelitian ini menggunakan *maximum likelihood Newton-Raphson* dikarenakan *maximum likelihood estimator* (MLE) Omori tidak mempunyai solusi analitik, sehingga MLE Omori diperoleh melalui metode numerik *Newton-Raphson*. Estimasi parameter diperoleh dari $\theta^{(i+1)} = \theta^{(i)} - H^{-1}I, i = 1, 2, \dots$ dimana H merupakan matriks Hessian atau matriks turunan kedua, I merupakan vektor turunan pertama dan $\theta = (K, c, p)$, Proses iterasi dihentikan apabila nilai $\|\theta^{(i+1)} - \theta^{(i)}\| \leq \varepsilon$ (0.001), didapat hasil sebagai berikut:

Tabel 4. Estimasi Parameter Hukum Omori

K	c	p
636.9192	7.1892	3.3218

Sumber: Data Penelitian yang sudah diolah, 2024

Hasil estimasi parameter hukum Omori dengan menggunakan *Newton-Raphson* didapat fungsi intensitas hukum Omori sebagai berikut:

$$\lambda(t) = \frac{636.9192}{(7.1892 + t)^{3.3218}}$$

Aftershock Probabilistic Seismic Hazard Analysis (APSHA)

Pada analisis APSHA ini akan dilakukan untuk menghitung banyaknya gempa bumi susulan dan menghitung premi asuransi gempa bumi yang terjadi di wilayah Cianjur, Jawa Barat. Parameter APSHA disajikan pada tabel di bawah:

Tabel 5. Estimasi Parameter APSHA

a	b	c	p	m _{min}	m _{max}	m _{mainshock}	ΔT_A
4.4560	0.8800	7.1892	3.3218	2.5	4.5	5.6	90

Sumber: Data Penelitian yang sudah diolah, 2024

Nilai a dan b diperoleh dari nilai hubungan Gunterberg-Richter (GR) yang didapat dari skripsi [1], nilai c dan p diperoleh dari pengestimasi parameter Hukum Omori *maximum likelihood Newton-Raphson*, m_{min} dan m_{max} diperoleh dari nilai minimum dan maksimum dari magnitudo gempa bumi susulan, $m_{mainshock}$ diperoleh dari magnitudo gempa bumi utama, dan ΔT_A merupakan rentang waktu kejadian gempa bumi yang diambil. Untuk menghitung ekspektasi jumlah gempa bumi susulan yang diprediksi berdasarkan nilai *aftershock probabilistic seismic hazard analysis* yaitu:

$$N_{A|m_E}(t)(0,90) = \int_0^{90} v_{A|m_E}(\tau) \cdot d\tau = \frac{(10^{4.4560+0.8800(5.6-2.5)} - 10^{4.4560})}{3.3218-1} \cdot [7.1892^{1-3.3218} - (90 + 7.1892)^{1-3.3218}] = 6566893 \times 0.01202311 = 67186.4305 \approx \mathbf{67186}$$

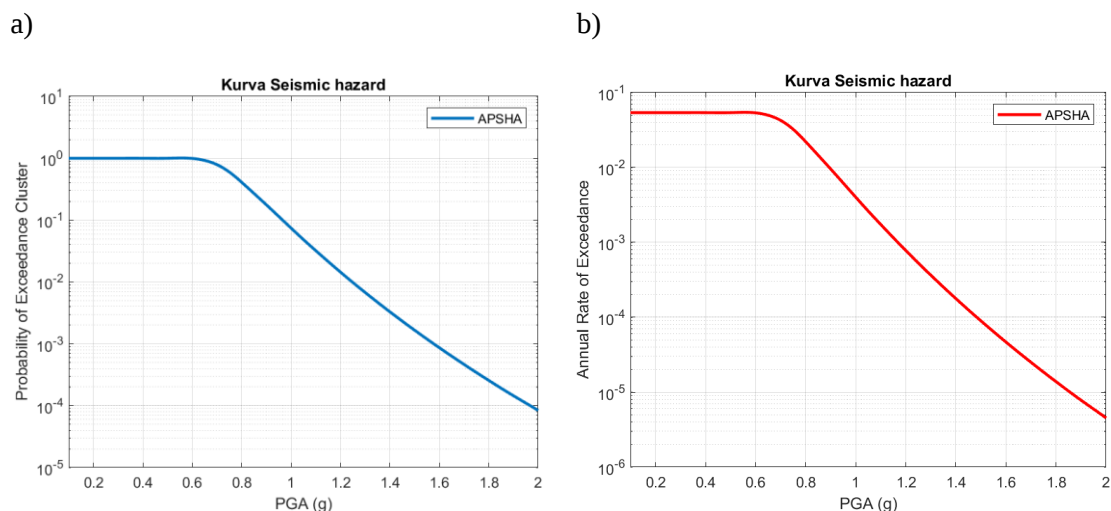
Didapat bahwa ekspektasi jumlah gempa bumi susulan yang diprediksi yang terjadi di wilayah Cianjur, Jawa Barat pada 21 November 2022 terjadi gempa bumi susulan pada rentang 90 hari sebanyak 67186 kali gempa bumi susulan. Untuk menghitung besar premi asuransi gempa bumi dibutuhkan nilai probabilitas pelampuan *cluster* untuk menghitung nilai *seismic hazard* menggunakan persamaan (8) berikut hasil yang didapat:

Tabel 6. Hasil Intesitas Pergerakan Tanah $P(PGA > x|m, r)$, Probabilitas Pelampuan untuk *Cluster*, dan Tingkat Pelampuan Tahunan

x	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2
$P(PGA_{mainshock} > x)$	0.80975	0.36728	0.14677	0.05996	0.02579	0.01171	0.00559	0.00279	0.00145	0.00078	0.00043	0.00025	0.00015	8.7E-05	5.4E-05	3.3E-05	2.1E-05	1.4E-05	9E-06	6E-06
$P(PGA_{aftershock} > x)$	0.78093	0.05514	0.00701	0.00125	0.00028	7.6E-05	2.3E-05	7.8E-06	2.9E-06	1.1E-06	4.8E-07	2.1E-07	9.9E-08	4.8E-08	2.4E-08	1.2E-08	6.6E-09	3.6E-09	2E-09	1.2E-09
P_c	1	1	1	1	1	0.99383	0.78834	0.4093	0.17679	0.07436	0.03211	0.01443	0.00676	0.00329	0.00166	0.00087	0.00046	0.00026	0.00014	8.4E-05
$\lambda(PGA > x)$	0.054	0.054	0.054	0.054	0.054	0.05367	0.04257	0.0221	0.00955	0.00402	0.00173	0.00078	0.00036	0.00018	9E-05	4.7E-05	2.5E-05	1.4E-05	7.8E-06	4.5E-06

Sumber: Data Penelitian yang sudah diolah, 2024

Selanjutnya divisualisasikan dengan kurva *seismic hazard* yang akan digunakan pada bagian ini untuk menunjukkan bahaya seismik secara keseluruhan di suatu lokasi dan menunjukkan nilai PGA yang terlampaui dengan probabilitas tertentu dalam jangka waktu tertentu menggunakan nilai probabilitas pelampuan *cluster* dan *annual rate of exceedance*.



Gambar 2. Kurva *Seismic hazard* PGA Terhadap a) *Probability Of Exceedance Cluster* dan b) *Annual Rate Of Exceedance*

Dalam menentukan nilai *seismic hazard* yang akan digunakan dalam perhitungan premi asuransi gempa bumi berdasarkan Persamaan (10) yang didapat dari nilai probabilitas pelampuan untuk *cluster* yang disesuaikan dengan skala intensitas gempa. Nilai SH_i disajikan sebagai berikut:

Tabel 7. Nilai *Seismic hazard* Terhadap Nilai Probabilitas Pelampuan Untuk *Cluster* dan Skala Intesitas Gempa Bumi

PGA(g)	Intesitas (MMI)	SH _I
0.14-0.39	IV	0.0718232
0.39-0.92	V	0.2653883
0.92-1.8	VI	0.5073447

Sumber: Data Penelitian yang sudah diolah, 2024

Estimasi Kerusakan Gempa Bumi

Dalam mengestimasi kerusakan gempa bumi, *damage probability matrix* (DPM) digunakan untuk menentukan kemungkinan sebuah rumah atau bangunan akan mengalami kerusakan akibat gempa bumi dengan tingkat kekuatan tertentu. Sayangnya, informasi mengenai tingkat kerusakan bangunan di Indonesia masih sangat kurang dan sulit ditemukan, sehingga *damage probability matrix* (DPM) wilayah Turki akan digunakan sebagai acuan. Berikut hasil DPM wilayah Turki sebagai berikut:

Tabel 8. Nilai *Damage Probability Matrix* (DPM)

Damage State	Intensity		
	CDR (%)	V	VI
None	0	0.95	0.7
Light	5	0.05	0.150
Moderate	30	0	0.1
Heavy	70	0	0.05
Collapse	100	0	0
MDR (%)		0.25	7.25

Sumber: Deniz, A. Estimation of earthquake insurance premium rates based stochastic methods. Master's thesis, Middle East Technical University. 2006

Premi Asuransi Gempa Bumi

Premi asuransi gempa bumi didapat dari nilai *seismic hazard* dan tingkat kerusakan bangunan akibat gempa bumi. Perhitungan asuransi gempa bumi dilakukan dengan menghitung nilai rasio kerusakan tahunan (EADR) dengan menggunakan Persamaan (13), setelah itu akan dihitung nilai premi murni (PRP) atau biaya yang harus diabayar setiap tahunnya dengan menggunakan Persamaan (14) di mana nilai INSV atau nilai pertanggungan bangunan yang biasa ditentukan oleh praktisi asuransi di simulasikan sebesar Rp 1.000.000.000, lalu akan dihitung total premi (TP) yang harus dibayarkan oleh pihak tertanggung kepada pihak asuransi dengan menggunakan Persamaan (15). Hasil perhitungan premi asuransi gempa bumi sebagai berikut:

Tabel 9. Hasil Perhitungan EADR, PRP, dan TP

Intesitas	MDR	SH _I	EADR	PRP	TP
IV	0.0000	0.0718	0.0000	Rp 37.445.963,58	Rp 62.409.939,31
V	0.0025	0.2654	0.0007		
VI	0.0725	0.50734	0.0165		
Jumlah			0.0374		

Sumber: Data Penelitian yang sudah diolah, 2024

Berdasarkan hasil diatas dengan data gempa bumi yang terjadi di wilayah Cianjur, Jawa Barat pada 21 November 2022 sampai 12 Februari 2023 yang mempertimbangkan gempa bumi susulan didapat nilai rasio kerusakan tahunan (EADR) sebesar 0.0374 atau 3.74% dengan nilai premi murni (PRP) sebesar Rp 37.445.963,58 dan nilai total premi (TP) sebesar Rp 62.409.939,31 yang harus dibayarkan oleh nasabah sebagai pihak tertanggung kepada pihak asuransi untuk

setiap tahunnya. Setelah didapat total premi yang akan dibayarkan pihak tertanggung per tahunnya dengan menggunakan hukum omori maka akan dilakukan perbandingan dengan praktisi asuransi gempa bumi yaitu perusahaan asuransi MAIPARK, berdasarkan pada Tabel 2.4 diambil tarif premi atau rasio kerusakan tahunan untuk rumah tinggal yang konstruski rumah tinggal menggunakan rangka baja, kayu dan beton bertulang di zona 4, dikarenakan Cianjur berada pada zona 4 di Indonesia dan nilai pertanggungan (INSV) sebesar Rp 1.000.000.000. Hasil perhitungan premi asuransi gempa bumi dari perusahaan asuransi MAIPARK disajikan sebagai berikut:

Tabel 10. Hasil Perhitungan Premi Asuransi MAIPARK

Kelas Kontruksi	Tarif Premi	PRP	TP
Steel, wood, RC Zona IV	0.00135	Rp 1.350.000	Rp 2.250.000

Sumber: Data Penelitian yang sudah diolah, 2024

Berdasarkan hasil diatas untuk tarif premi pada zona IV rumah tinggal sebesar 0.00135 atau 1.35%, dengan nilai premi murni (PRP) sebesar Rp 1.350.000 dan nilai total premi (TP) sebesar Rp 2.250.000 yang harus dibayarkan oleh nasabah sebagai pihak tertanggung kepada pihak asuransi untuk setiap tahunnya. Perbandingan dari nilai total premi (TP) berdasarkan hukum omori dan perusahaan MAIPARK memiliki selisih cukup signifikan dengan nilai sebesar Rp 60.159.939,31. Perbedaan antara premi yang dihitung menggunakan hukum omori dan premi yang ditawarkan oleh MAIPARK mengindikasikan adanya perbedaan dalam pendekatan penilaian risiko, kebijakan perusahaan, dan mungkin juga peraturan yang berlaku.

D. Kesimpulan

Berdasarkan hasil dari penerapan hukum omori pada data gempa bumi wilayah Cianjur, Jawa Barat pada 21 November 2022-18 Februari 2023 untuk menghitung premi asuransi gempa bumi di mana dalam pengestimasian hukum omori yang menggunakan *maximum likelihood* diperoleh dari fungsi intensitas bersyarat *point process* yang menghasilkan fungsi *likelihood* untuk hukum omori, dikarenakan fungsi *maximum likelihood* hukum omori bersifat tidak numerik maka dalam pengestimasian parameternya akan dibantu dengan algoritma *Newton-Raphson*. Parameter yang sudah ditaksir akan digunakan dalam menghitung ekspektasi jumlah gempa bumi susulan yang diprediksi yang nantinya akan digunakan dalam menghitung probabilitas pelampauan untuk *cluster* (PC). Nilai dari probabilitas pelampauan tersebut akan digunakan dalam menghitung *seismic hazard* yang diperlukan untuk menghitung premi asuransi gempa bumi dengan total premi asuransi gempa bumi yang harus dibayarkan oleh pihak tertanggung kepada pihak asuransi per tahunnya dengan mempertimbangkan struktur kerusakan bangunan sebesar Rp 62.409.939,31 yang dibandingkan dengan praktisi asuransi MAIPARK total premi yang dibayarkan sebesar Rp 2.250.000 di mana perbedaan cukup signifikan dengan selisih sebesar Rp 60.159.939,31. Perbedaan antara premi yang dihitung menggunakan hukum Omori dan premi yang ditawarkan oleh MAIPARK mengindikasikan adanya perbedaan dalam pendekatan penilaian risiko, kebijakan perusahaan, dan mungkin juga peraturan yang berlaku.

Daftar Pustaka

- [1] A. F. Nurfauzan, "Clustering Probabilistic Seismic Hazard Analysis (CPSHA) Temporal Epidemic-Type Aftershock Sequence (ETAS) untuk Premi Asuransi Gempa Bumi di Jawa Barat," 2024.
- [2] D. P. Utomo and B. Purba, "Penerapan Datamining pada Data Gempa Bumi Terhadap Potensi Tsunami di Indonesia," *Pros. Semin. Nas. Ris. Inf. Sci.*, vol. 1, no. September, p. 846, 2019, doi: 10.30645/senaris.v1i0.91.
- [3] Z. Bahri and M. Mungkin, "Penggunaan SCR Sebagai Alarm Peringatan Dini Pada Saat Terjadi Gempa Bumi," *Teknika*, vol. 1099, no. 2598, p. 4, 2019.
- [4] Y. Ogata, "Seismicity analysis through point-process modeling: A review," *Pure Appl. Geophys.*, vol. 155, no. 2–4, pp. 471–507, 1999, doi: 10.1007/s000240050275.
- [5] S. Angnitha Purba, "Estimasi Parameter Data Berdistribusi Normal Menggunakan

- Maksimum Likelihood Berdasarkan Newton Raphson,” *J. Sains Dasar*, vol. 9, no. 1, pp. 16–18, 2021, doi: 10.21831/jsd.v9i1.38564.
- [6] A. Deniz, “Estimation Of Earthquake Insurance Premium Rates Based On Stochastic Methods,” *Middle East Tech. Univ.*, p. 277, 2006.
 - [7] J. W. Baker, “An introduction to Probabilistic Seismic Hazard Analysis (PSHA),” *Bak. Res. Gr.*, pp. 1–72, 2008, [Online]. Available: [http://www.stanford.edu/~bakerjw/Publications/Baker_\(2008\)_Intro_to_PSHA_v1_3.pdf](http://www.stanford.edu/~bakerjw/Publications/Baker_(2008)_Intro_to_PSHA_v1_3.pdf)
 - [8] J. G. Rasmussen, “Lecture Notes: Temporal Point Processes and the Conditional Intensity Function,” pp. 1–19, 2018, [Online]. Available: <http://arxiv.org/abs/1806.00221>
 - [9] Y. Ogata, “Estimation of the parameters in the modified omori formula for aftershock frequencies by the maximum likelihood procedure,” *J. Phys. Earth*, vol. 31, no. 2, pp. 115–124, 1983, doi: 10.4294/jpe1952.31.115.
 - [10] S. Asanah, “Penerapan Metode Multivariate Credibility Bonus Malus Premium Pada Data Asuransi Kendaraan Bermotor Di Indonesia,” Universitas Islam Bandung, 2023.
 - [11] I. Iervolino, M. Giorgio, and B. Polidoro, “Sequence-based probabilistic seismic hazard analysis,” *Bull. Seismol. Soc. Am.*, vol. 104, no. 2, pp. 1006–1012, 2014, doi: 10.1785/0120130207.
 - [12] S. Yaghmaei-Sabegh, P. Shoaefar, and N. Shoaefar, “Probabilistic seismic-hazard analysis including earthquake clusters,” *Bull. Seismol. Soc. Am.*, vol. 107, no. 5, pp. 2367–2379, 2017, doi: 10.1785/0120170031.