

PENENTUAN PREMI MURNI DI KABUPATEN KEPAHANG PROVINSI BENGKULU DENGAN MEMPERHITUNGKAN PELUANG KEJADIAN GEMPA BUMI DAN RASIO KERUSAKAN BANGUNAN

Determination of Pure Premiums in Kepahiang Regency, Bengkulu Province Taking into account the Rate of Earthquake Incidence and the Ratio of Building Damage

Tiara Yulita^{1*}, Chaterine Theresia Lubis², Agus Sofian Eka Hidayat³

^{1,2} Program Studi Sains Aktuaria, Jurusan Sains, Institut Teknologi Sumatera

Jl. Terusan Ryacudu, Way Huwi, Kec. Jati Agung, Kabupaten Lampung Selatan, Lampung, 35365, Indonesia

³ Actuarial Science Department, President University

Jl. Ki Hajar Dewantara, Kota Jababeka, Cikarang Baru, Bekasi, 17550, Indonesia

E-mail Corresponding Author: tiara.yulita@at.itera.ac.id

Abstrak: Indonesia merupakan negara yang sangat rentan terhadap bencana gempa bumi, salah satunya adalah Provinsi Bengkulu khususnya Kabupaten Kepahiang. Untuk menghadapi risiko atau kerugian yang diakibatkan bencana gempa bumi, maka masyarakat, perusahaan atau pemerintah dapat melakukan transfer risiko bencana gempa bumi pada perusahaan asuransi. Oleh karena itu, dalam penelitian ini akan ditentukan premi murni asuransi gempa bumi dengan memperhitungkan peluang kejadian gempa bumi dan rasio kerusakan bangunan di Kabupaten Kepahiang. Data yang digunakan adalah data kejadian gempa bumi yang diperoleh dari ISC (*International Seismological Center*) dan data kerusakan bangunan yang diperoleh dari BNPB (Badan Nasional Penanggulangan Bencana) selama rentang waktu tahun 1964 – 2021. Metode PSHA (*Probabilistic Seismic Hazard Analysis*) digunakan untuk menentukan peluang terjadinya bencana gempa bumi. Dalam proses PSHA, data kejadian gempa bumi akan dikumpulkan dan dianalisis untuk mengidentifikasi sumber gempa, karakterisasi sumber gempa, dan perhitungan *hazard* gempa (peluang terjadinya bencana gempa bumi). Data kerusakan pada bangunan akan diolah untuk mendapatkan rasio kerusakan bangunan. Setelah itu akan diperoleh premi murni, dengan mengalikan nilai EADR (*Expected Annual Damage Ratio*) dengan uang pertanggungan bangunan, dimana EADR merupakan tingkat perkiraan kerusakan tahunan akibat gempa bumi dalam suatu wilayah.

Kata Kunci: Kabupaten Kepahiang, Peluang Kejadian Gempa Bumi, Premi Murni, PSHA, Rasio Kerusakan Bangunan.

Abstract: Indonesia is a country that is very vulnerable to earthquakes, one of which is in Bengkulu Province, especially Kepahiang Regency. To deal with risks or losses caused by earthquakes, insurance can be purchased. Therefore, in this study, earthquake insurance premiums will be determined by taking into account the probability of an earthquake occurring and the ratio of damage to buildings in Kepahiang Regency. The PSHA (*Probabilistic Seismic Hazard Analysis*) method is used to determine the probability of an earthquake occurring. In the PSHA process, earthquake data will be collected and analyzed to identify earthquake sources, characterize earthquake sources, and calculate earthquake hazards (the probability of an earthquake). Damage data on buildings will be processed to obtain a ratio of building damage. After that, a pure premium will be obtained by multiplying the EADR (*Expected Annual Damage Ratio*) value by the sum insured of the building, where EADR is the estimated level of annual damage due to earthquakes in an area.

Keywords: Kepahiang District, Probability of Earthquake Occurrence, PSHA, Pure Premium, Ratio of Building Damage.

1. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara yang sangat rentan terhadap bencana gempa bumi. Hal ini dikarenakan Indonesia terletak pada batas pertemuan tiga lempeng tektonik dunia yaitu lempeng Eurasia, lempeng Pasifik, dan

lempeng Indo-Australia [1]. Beberapa daerah di Indonesia pernah mengalami bencana gempa bumi. Salah satu daerah yang rawan gempa bumi di Indonesia adalah Provinsi Bengkulu. Berdasarkan SE OJK No.6 Tahun 2017, Provinsi Bengkulu khususnya Kabupaten Kepahiang berada di zona V. Hal ini disebabkan karena Provinsi Bengkulu merupakan jalur pertemuan lempeng tektonik Indo-Australia dan Eurasia [2]. Selain itu Provinsi Bengkulu juga merupakan daerah yang dilalui jalur Sesar Sumatera. Salah satu sesar Sumatera yang ada di Provinsi Bengkulu adalah Sesar Musi-Keruh yang melintasi Kabupaten Kepahiang.

Gempa bumi adalah getaran atau guncangan yang terjadi akibat pelepasan energi dari dalam bumi yang menciptakan gelombang seismik [3]. Gempa bumi terjadi karena pada batas lempeng terdapat penumpukan energi yang kemudian menyebabkan lempeng bergerak secara konvergen (bertumbukan), divergen (saling menjauh), dan *transform* (berpapasan) atau pada patahan/sesar dimana batuan tidak dapat menahan batas elastisnya, sehingga terjadi pelepasan energi berupa rangkaian gelombang seismik yang disebut sebagai gempa bumi [4]. Gempa bumi mempunyai karakteristik yang khas, yaitu tidak dapat dicegah; peristiwanya sangat mendadak dan mengejutkan; dan waktu terjadinya, lokasi pusatnya dan kekuatannya tidak dapat diprediksi (diperkirakan) secara tepat atau akurat oleh siapapun, termasuk pakar-pakar gempa [5].

Bencana gempa bumi ini mengakibatkan kerugian yang tidak sedikit dan akan selalu menghadapi risiko bencana, yang dapat berupa kematian, luka, sakit, kehilangan harta benda, dan kerusakan bangunan. Oleh karena itu, upaya untuk mengurangi risiko bencana gempa sangat diperlukan. Berkaitan dengan risiko yang ditimbulkan akibat gempa bumi, maka diperlukan analisis bahaya kegempaan (*seismic hazard*). Metode yang dapat digunakan dalam analisis bahaya kegempaan yaitu metode *Probabilistic Seismic Hazard Analysis* (PSHA). PSHA bertujuan untuk mengukur ketidakpastian, dan menggabungkannya untuk menghasilkan deskripsi aktual tentang distribusi potensi guncangan di masa depan yang mungkin terjadi di suatu lokasi serta dasar yang kredibel untuk mengantisipasi risiko pada suatu area pemukiman atau infrastruktur yang ada [6]. Metode PSHA digunakan untuk menganalisis bahaya gempa yang didasarkan oleh suatu fungsi distribusi probabilitas total yang mempertimbangkan pengaruh faktor-faktor ketidakpastian dari magnitudo, waktu kejadian, lokasi gempa. Dalam proses PSHA akan memperhitungkan peluang kejadian gempa bumi. Peluang kejadian gempa bumi dapat didefinisikan sebagai probabilitas terjadinya gempa bumi dengan magnitudo tertentu di suatu wilayah dalam periode waktu tertentu.

Selain itu, untuk menghadapi risiko atau kerugian yang diakibatkan gempa bumi, maka masyarakat, perusahaan atau pemerintah dapat melakukan transfer risiko bencana gempa bumi pada perusahaan asuransi. Asuransi gempa bumi adalah asuransi yang akan memberikan jaminan kerugian dan juga kerusakan yang disebabkan oleh bencana alam gempa bumi. Premi asuransi ditentukan berdasarkan frekuensi, tingkat keparahan gempa, kualitas atau tipe bangunan, harga/nilai pertanggungan, lokasi risiko (zona), dan kerusakan bangunan [7].

[8] melakukan penelitian untuk menentukan perkiraan tarif premi asuransi gempa bumi pada bangunan di Turki dengan menggunakan model probabilistik komprehensif dari analisis asuransi gempa bumi. Model tersebut mengintegrasikan informasi tentang ancaman gempa di masa depan dengan informasi tentang kerusakan gempa yang diperkirakan terjadi pada bangunan.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menghitung peluang kejadian gempa bumi dengan menggunakan metode PSHA di Kabupaten Kepahiang Provinsi Bengkulu, untuk menghitung rasio kerusakan bangunan di Kabupaten Kepahiang Provinsi Bengkulu, dan untuk mengetahui premi murni asuransi gempa bumi di Kabupaten Kepahiang Provinsi Bengkulu.

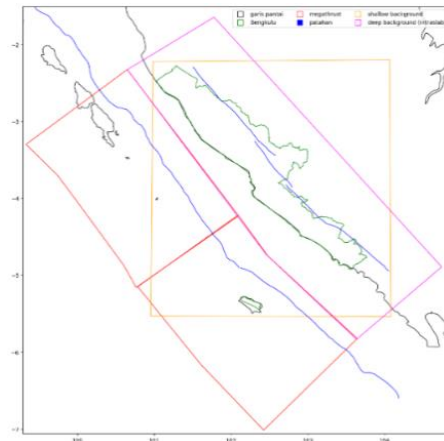
2. METODOLOGI

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data kejadian gempa bumi yang bersumber dari *International Seismological Centre* (ISC) dan data kerusakan pada bangunan yang bersumber dari Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB) pada tahun 1964-2021 di Kabupaten Kepahiang Provinsi Bengkulu. Metode yang digunakan adalah metode PSHA (*Probabilistic Seismic Hazard Analysis*) untuk menentukan peluang kejadian gempa bumi. Dalam proses PSHA, akan digunakan data kejadian gempa bumi yang bersumber dari website ISC dan diperoleh kurva hazard. Sedangkan data kerusakan digunakan untuk mencari nilai $P_k(DS, I)$ pada

Damage Probability Matrices (DPM), *Mean Damage Ratio (MDR)*. Setelah itu akan didapatkan *Expected Annual Damage Ratio (EADR)* dan premi mumi asuransi gempa bumi di Kabupaten Kepahiang Provinsi Bengkulu.

2.1. Estimasi Area Katalog

Estimasi area katalog melibatkan penentuan area yang relevan untuk pemodelan gempa bumi. Area ini mencakup wilayah di sekitar lokasi pemodelan yang diperkirakan dapat memberikan kontribusi signifikan terhadap bahaya gempa di wilayah tersebut. Estimasi area katalog biasanya dilakukan dengan mempertimbangkan batasan geografis dan seismik, seperti (1) zona sumber gempa sesar, yaitu model gempa akibat patahan dangkal, (2) zona sumber gempa subduksi, yaitu zona kejadian gempa yang terjadi didekat batas pertemuan antara lempeng samudera yang masuk ke bawah lempeng benua atau dapat disebut zona *Megathrust*, (3) zona sumber gempa *background*, dibagi berdasarkan kedalamannya yaitu *shallow background* dengan kedalaman kurang dari 50 km dan *deep background* yang dibagi 3 kedalaman yaitu 50 km-150 km, 150 km-250 km, dan 250 km-350 km [9].



Gambar 1. Area Katalog

2.2. Penyeragaman Skala Magnitudo

Penyeragaman skala magnitudo bertujuan untuk memperoleh katalog gempa bumi dengan skala magnitudo yang seragam dan dapat dibandingkan secara konsisten. Ada berbagai skala magnitudo, seperti magnitudo momen (M_w), magnitudo gelombang tubuh (m_b), magnitudo lokal horizontal (M_L), magnitudo lokal vertikal (M_{LV}), dan magnitudo permukaan (M_s). Dalam tahap ini akan dilakukan dengan penyeragaman magnitudo ke skala yang sama, seperti skala M_w . Berikut ini merupakan konversi dari setiap skala magnitudo ke magnitudo momen:

Tabel 1. Konversi magnitudo

Konversi	Range Data
$M_w = 1,0107m_b + 0,0801$	$3,7 \leq m_b \leq 8,2$
$M_w = 0,6026M_s + 2,476$	$2,8 \leq M_s \leq 6,1$
$M_w = 0,9239M_s + 0,5671$	$6,2 \leq m_b \leq 8,7$
$M_w = M_L$ dan $M_w = M_{LV}$	-

Sumber: [10]

2.3. Declustering

Declustering merupakan proses pemisahan antara gempa bumi utama (*mainshock*) dari gempa awalan (*foreshock*) dan gempa susulan (*aftershock*) [11]. *Declustering* digunakan untuk memastikan bahwa perhitungan bahaya gempa yang dilakukan dalam PSHA bersifat independen.

2.4. Pemisahan Katalog Berdasarkan Sumber Gempa

Katalog gempa bumi biasanya dipisahkan berdasarkan sumber-sumber gempa yang berbeda, seperti zona subduksi, patahan aktif, dan zona *background*. Pemisahan katalog ini memungkinkan analisis yang lebih terperinci terhadap karakteristik dan kecenderungan aktivitas gempa bumi di setiap sumber gempa.

2.5. Double Counting

Double counting berfungsi untuk menghindari data gempa berada di dua atau lebih di katalog yang berbeda. *Double counting* dapat menyebabkan hasil PSHA menjadi tidak akurat dan dapat menghasilkan perkiraan bahaya gempa yang berlebihan. Oleh karena itu, harus dipastikan bahwa setiap sumber gempa dan peristiwa gempa hanya dihitung satu kali.

2.6. Nilai a-b Value

Seberapa besar gempa diatasi dengan menggunakan *recurrence laws* (hukum perulangan) yang diinisiasi oleh *Gutenberg & Richter*. Nilai *a-b value* adalah parameter dalam persamaan *Gutenberg & Richter* yang digunakan untuk menggambarkan aktivitas/frekuensi kejadian gempa bumi dari suatu wilayah. Berikut ini merupakan persamaan *Gutenberg & Richter* [12]:

$$\log_{10}\lambda_m = a - bm \quad (1)$$

Dengan:

- λ_m : peluang gempa bumi dengan magnitudo lebih besar dari m
- a : tingkat aktivitas seismik total dalam wilayah yang sedang dianalisis
- b : besaran magnitudo gempa bumi yang mungkin terjadi

2.7. Pemodelan Sumber Gempa

Pemodelan sumber gempa bertujuan untuk menghasilkan model yang dapat menjelaskan kejadian gempa bumi di wilayah yang sedang dianalisis. Dalam pemodelan ini, akan dikumpulkan informasi geologi seperti *slip rate* (laju geser), derajat kemiringan, orientasi kemiringan, dan magnitudo untuk menggambarkan sumber-sumber gempa di wilayah tersebut.

2.8. Fungsi Atenuasi

Fungsi atenuasi atau GMPE (*Ground Motion Prediction Equation*) merupakan suatu fungsi yang menghubungkan antara intensitas gerakan tanah, magnitudo, dan jarak dengan parameter pergerakan tanah. Fungsi atenuasi yang digunakan adalah fungsi atenuasi yang sesuai dengan karakteristik dan model gempa bumi di Indonesia.

2.9. Perhitungan Hazard Gempa

Hasil akhir dari analisis PSHA adalah kurva hazard yang ditentukan setelah melakukan perhitungan PSHA. Kurva hazard menunjukkan hubungan antara *Peak Ground Acceleration* (PGA) dengan *Probability of Exceedance* (POE). PGA merupakan nilai percepatan getaran tanah yang pernah terjadi di suatu tempat yang diakibatkan oleh gempa bumi. Analisis dan perhitungan PGA dapat diperoleh melalui pendekatan teori probabilitas total. Bentuk umum teori probabilitas total dinyatakan [12]:

$$(IM > x) = \int_{m_{main}}^{m_{max}} \int_0^{r_{max}} P(IM > x|m, r) f_M(m) f_R(r) dr dm \quad (2)$$

Dengan:

- $P(IM > x|m, r)$: probabilitas nilai PGA dengan mempertimbangkan magnitudo dan jarak
- $f_M(m)$: fungsi distribusi dari magnitudo
- $f_R(r)$: fungsi distribusi dari jarak

Persamaan POE diasumsikan dengan mengikuti pola kejadian Poisson yang merupakan peubah acak diskrit karena data nya dapat dihitung dan ditunjukkan dengan persamaan berikut [12]:

$$P[t] = 1 - e^{-\lambda_y t} \quad (3)$$

dengan:

$P[t]$: probabilitas terlampaui dalam jangka waktu t

λ_y : peluang kejadian gempa bumi

t : jangka waktu.

Setelah itu akan didapatkan persamaan *Mean Annual Rate of Exceedance* atau rata – rata tingkat tahunan terlampaui dari setiap nilai PGA. *Mean Annual Rate of Exceedance* menggambarkan peluang kejadian gempa bumi yang melebihi atau setara dengan suatu tingkat percepatan tanah dalam satu tahun. Persamaan *Mean Annual Rate of Exceedance* ditunjukkan dengan mencari nilai λ_y dari Persamaan (3) sehingga diperoleh:

$$\lambda_y = \frac{-\ln(1 + P[t])}{t} \quad (4)$$

2.10. Damage Probability Matrices (DPM)

DPM adalah suatu matriks dimana setiap angka menyatakan probabilitas suatu bangunan akan mengalami tingkat kerusakan tertentu bila terkena intensitas atau guncangan tanah tertentu. Karena matriks ini ditentukan dari data kerusakan bangunan, maka matriks ini terkait langsung dengan kerentanan struktural pada tingkat bahaya tertentu. DPM terdiri dari probabilitas bahwa *damage states* (DS) tertentu diamati ketika jenis struktur tertentu (k) terkena intensitas gempa yang diketahui (I). Intensitas dapat dicari dengan persamaan berikut [8]:

$$I = 14,25 + 1,47M - 4,06 \ln(r + 25) \quad (5)$$

dengan:

M : *Magnitude*

r : kedalaman gempa

Tabel 2. *Damage Probability Matrices*

Damage State (DS)	Damage Ratio (DR), %	Central Damage Ratio (CDR), %	Intensity				
			V	VI	VII	VIII	IX
No Damage (N)	0	0					
Light Damage (L)	1 - 10	5					
Moderate Damage (M)	10 - 50	30					
Heavy Damage (H)	50 - 90	70					
Collapse (C)	100	100					

Sumber: [8]

Damage Ratio (DR) pada DPM menunjukkan estimasi atau penilaian persentase kerusakan yang mungkin terjadi pada berbagai kategori atau level kerusakan (*damage state*). Sedangkan *Central Damage Ratio* (CDR) menunjukkan persentase atau rasio kerusakan yang dianggap mewakili titik tengah distribusi kerusakan yang mungkin terjadi. Dengan data kerusakan yang tersedia, setiap elemen DPM dapat diperoleh dari [8]:

$$P_k(DS, I) = \frac{N(DS, I)}{N(I)} \quad (6)$$

dengan:

$P_k(DS, I)$: probabilitas bahwa DS teramati pada bangunan tipe-k ketika terkena intensitas gempa I

$N(DS, I)$: jumlah bangunan tipe-k dalam kondisi kerusakan DS

$N(I)$: jumlah total bangunan tipe-k di bawah intensitas gempa I

2.11. Mean Damage Ratio (MDR)

Rasio kerusakan rata-rata dari stok bangunan untuk pasangan tipe bangunan – ukuran gempa yang dipilih dapat lebih disederhanakan dengan rasio tunggal, yang disebut *Mean Damage Ratio* (MDR).

$$MDR_k(I) = \sum_{DS} P_k(DS, I) \times CDR_{DS} \quad (7)$$

dengan:

CDR_{DS} : rasio kerusakan pusat (*central damage ratio*)

2.12. Premi Murni

Premi murni adalah besaran biaya atau kerugian yang digunakan untuk mengukur risiko dalam perusahaan asuransi [13]. Premi murni merujuk pada besaran biaya atau kerugian yang diharapkan dari suatu risiko tertentu, tanpa mempertimbangkan faktor-faktor lain seperti keuntungan perusahaan, biaya administrasi, atau faktor investasi. Sebelum menentukan premi murni, perlu menentukan nilai *Expected Annual Damage Ratio* (EADR) terlebih dahulu. *Expected Annual Damage Ratio* (EADR) adalah ukuran yang digunakan dalam analisis risiko dan asuransi untuk mengukur perkiraan kerugian tahunan yang diharapkan akibat suatu kejadian yang merugikan. EADR menggabungkan kombinasi bahaya seismic (SH_I) dan rasio kerusakan rata-rata (MDR) pada intensitas gempa yang berbeda. Berikut ini merupakan persamaan EADR:

$$EADR_k = \sum_I MDR_k(I) \times SH_I \quad (8)$$

dengan:

$EADR_k$: kuantitas tanpa unit dan menyatakan persentase tarif asuransi dari biaya penggantian properti unit

SH_I : *seismic hazard*

Berdasarkan penelitian [8], perhitungan premi murni dari suatu properti harus dihitung secara proporsional dengan nilai properti yang sesuai sebagai:

$$PRP_k = EADR_k \times UP \quad (9)$$

dengan:

PRP_k : premi murni (*pure premium*)

$EADR_k$: rasio kerusakan tahunan yang diharapkan pada bangunan tipe k

UP : uang pertanggungan (*benefit*) bangunan

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

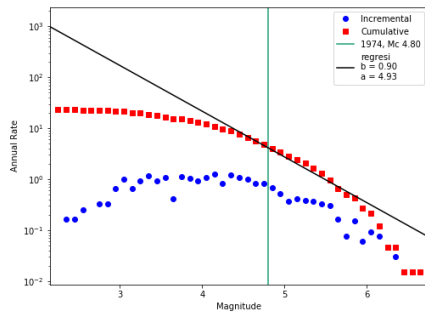
3.1. Peluang Kejadian Gempa Bumi

Diperoleh data kejadian gempa bumi sebanyak 9.595 data. Data yang diperoleh memiliki skala magnitudo berbeda, oleh karena itu skala magnitudo tersebut harus diseragamkan terlebih dahulu menjadi magnitudo momen (M_W). Magnitudo momen merupakan besaran magnitudo gempa yang konsisten dalam menunjukkan besar kekuatan gempa.

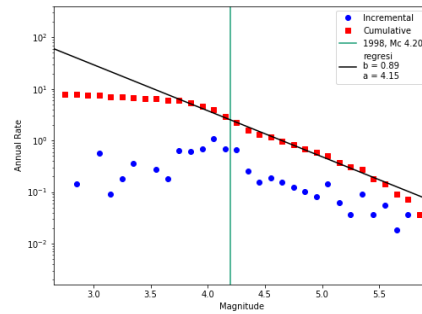
Data kejadian gempa bumi yang skala magnitudonya sudah diseragamkan, akan dilakukan pemisahan gempa utama dengan gempa awalan dan susulan (*declustering*). *Declustering* dilakukan dengan bantuan *software* yaitu *Jupyter Notebook*. Berdasarkan hasil analisis, jumlah data gempa setelah di *declustering* sebanyak 5.697 data. Setelah itu, data tersebut akan dipisah berdasarkan sumber gempa. Sumber gempa dalam penelitian terbagi menjadi patahan, *megathrust*, *shallow background*, dan *deep background*. Pada provinsi Bengkulu terdapat 7 patahan yaitu Ketaun, Dikit, Musi, Manna, Kumering North, Enggano, dan Mentawai. Lalu terdapat 2 *megathrust* yaitu *megathrust* Mentawai-Pagai dan *megathrust* Enggano. Pada sumber gempa *deep background* terbagi menjadi 3 kedalaman yaitu *deep background* 50 – 150, *deep background* 150 – 250, dan *deep background* 250 – 350.

Untuk menghindari data dihitung dua kali akan dilakukan *double counting*. Prioritas urutan saat melakukan *double counting* adalah *megathrust*, patahan, *shallow background*, dan *deep background*. Selanjutnya akan

didapatkan kurva *Magnitude Frequency Distribution* (MFD) yang menunjukkan nilai *a-b value* dan M_c (*magnitude of completeness*). Kurva MFD merupakan fungsi yang menunjukkan hubungan antara frekuensi kejadian gempa bumi dengan magnitudo gempa bumi.

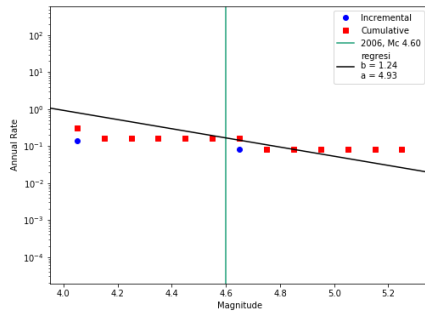


Gambar 2. Kurva Deep Background pada kedalaman 50-150 km

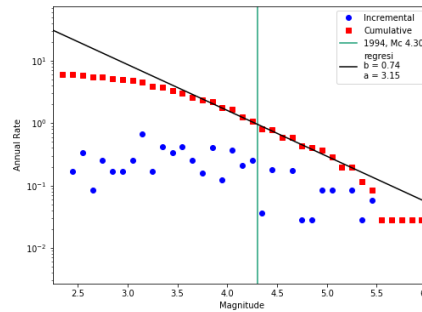


Gambar 3. Kurva Deep Background pada kedalaman 150-250 km

Kurva *deep background* 50-150km diatas merupakan kurva yang sudah fit setelah proses *double counting* didapatkan nilai *a value* sebesar 4,93 dan *b-value* sebesar 0,90 dengan M_c sebesar 4,80. Sedangkan kurva *deep background* 150-250km juga sudah fit dengan nilai *a value* sebesar 4,1 dan *b-value* sebesar 0,89 dan M_c 4,2.

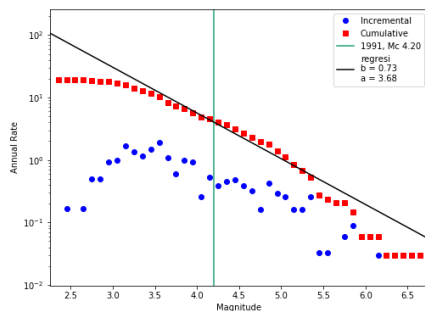


Gambar 4. Kurva Deep Background pada kedalaman 250-350 km

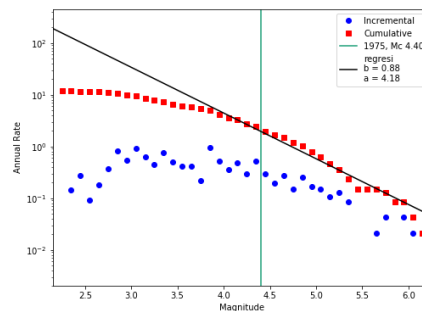


Gambar 5. Kurva Patahan Ketaun

Kurva *deep background* 250-350km diatas merupakan kurva yang sudah fit setelah proses *double counting* didapatkan nilai *a value* sebesar 4,93 dan *b-value* sebesar 1,24 dengan M_c sebesar 4,60. Sedangkan kurva Patahan Ketaun didapatkan nilai *a value* sebesar 3,15 dan *b-value* sebesar 0,74 dengan M_c sebesar 4,3.

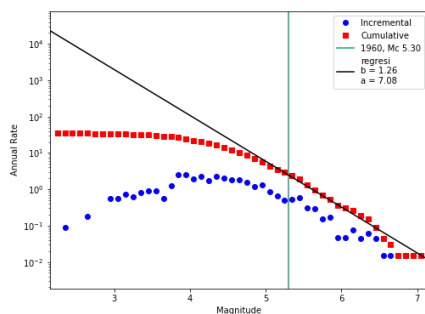


Gambar 6. Kurva Patahan Enggano

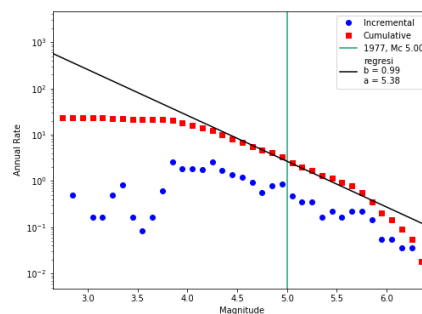


Gambar 7. Kurva Shallow Background

Kurva Patahan Enggano dan *Shallow Background* diatas merupakan kurva yang sudah fit setelah proses *double counting* didapatkan nilai *a value* sebesar 3,68 dan *b-value* sebesar 0,73 dengan M_c sebesar 4,20. Sedangkan kurva *Shallow Background* didapatkan nilai *a value* sebesar 4,18 dan *b-value* sebesar 0,88 dan M_c sebesar 4,4.



Gambar 8. Kurva Megathrust 1



Gambar 9. Kurva Megathrust 2

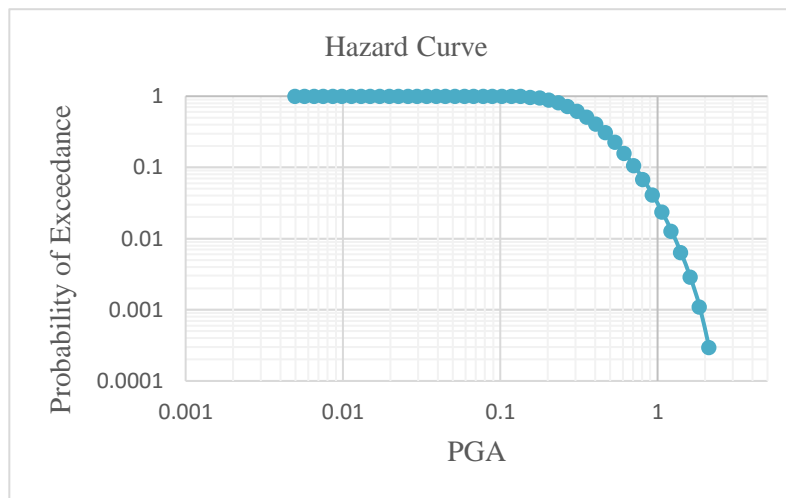
Kurva *Megathrust 1* & *2* diatas merupakan kurva yang sudah fit setelah proses *double counting* didapatkan untuk *Megathrust 1* nilai *a value* sebesar 7,08 dan *b-value* sebesar 1,26 dengan *Mc* sebesar 5,30. Sedangkan kurva *Megathrust 2* didapatkan nilai *a value* sebesar 5,38 dan *b-value* sebesar 0,99 dan *Mc* sebesar 5,0.

Selanjutnya akan dilakukan pemodelan sumber gempa, dimana dibutuhkan informasi geologi seperti *slip rate* minimum (mm/yr), *slip rate* rata-rata (mm/yr), *slip rate* maksimum, dip (derajat kemiringan), oriented (orientasi kemiringan), *rake* (sudut *slip*), batas atas patahan, batas bawah patahan, domain, dan modulus geser patahan yang bersumber dari buku Pusat Gempa Nasional 2017 [10]. Setelah itu dilakukan penentuan fungsi atenuasi yang sesuai dengan karakteristik di Indonesia. Pada fungsi atenuasi terdapat bobot atau nilai, dimana pemberian bobot terbesar diberikan untuk fungsi atenuasi dengan tahun terbaru.

Tabel 3. Fungsi atenuasi

Model Sumber Gempa	Fungsi Atenuasi	Bobot
<i>Fault dan Shallow Background</i>	Persamaan Boore-Atkinson (2008)	0,33
	Persamaan Campbell-Bozorgnia (2008)	0,33
	Persamaan Chiou-Young (2008)	0,34
<i>Megathrust (Subduksi)</i>	Persamaan Youngs dkk. (1997)	0,33
	Persamaan Atkinson-Boore (2003)	0,33
	Persamaan Zhao dkk. (2006)	0,34
<i>Deep Background</i>	Persamaan Atkinson-Boore, Cascadia (2003)	0,33
	Persamaan Atkinson-Boore, Worldwide (2003)	0,34
	Persamaan Youngs dkk. (1997)	0,33

Dalam analisis PSHA akan diperoleh kurva hazard. Kurva hazard menggambarkan hubungan antara *Probability of Exceedance* (PoE) terhadap besar bahaya atau *hazard* (percepatan gerakan tanah / PGA) yang terjadi.



Gambar 3. Kurva Hazard

Selanjutnya akan dihitung nilai *seismic hazard* ($\bar{\lambda}$). Sebelum itu akan dilakukan konversi PGA ke intensitas (MMI), dimana ketentuan konversi PGA ke dalam intensitas MMI bersumber dari buku *International Handbook of Earthquake and Engineering Seismology* [14]. Didapatkan nilai *seismic hazard* yang diperoleh dari rata – rata peluang kejadian gempa bumi (λ).

Tabel 4. Nilai SH_I

Intensitas	I	II – III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X+
SH_I	-	-	-	-	0,090497	0,030477	0,00806	0,001041	$5,31 \times 10^{-5}$

3.2. Rasio Kerusakan Bangunan

Dalam menentukan rasio kerusakan bangunan diperlukan data kerusakan bangunan. Data kerusakan pada provinsi Bengkulu diperoleh dari website BNPB. Tipe bangunan yang digunakan dalam data kerusakan yaitu tipe bangunan rumah yang terbagi menjadi 3 tingkat kerusakan yaitu rusak berat, rusak sedang, dan rusak ringan. Lalu akan dibentuk *Damage Probability Matrices* (DPM). Pada DPM terdapat DR, central damage ratio (CDR) yang merupakan nilai tengah dari DR, dan peluang terjadinya kerusakan bangunan akibat gempa bumi pada setiap intensitas ($P_k(DS, I)$) yang dapat dihitung dengan Persamaan (6).

Tabel 5. DPM pada tipe bangunan rumah

DS	DR (%)	CDR (%)	V	VI	VII	XI
Rusak Ringan	1-10	5	0,67	0,67	0,40	0,59
Rusak Sedang	10-50	30	0,20	0,10	0,43	0,00
Rusak Berat	50-90	70	0,14	0,24	0,17	0,41

Selanjutnya akan dihitung *Mean Damage Ratio* (MDR) dengan Persamaan (7).

Tabel 6. MDR pada tipe bangunan rumah

DS	DR (%)	CDR (%)	V	VI	VII	XI
Rusak Ringan	1-10	5	0,67	0,67	0,40	0,59
Rusak Sedang	10-50	30	0,20	0,10	0,43	0,00
Rusak Berat	50-90	70	0,14	0,24	0,17	0,41
MDR (%)			18,84%	22,86%	26,62%	31,53%

3.3. Premi Murni

Sebelum menentukan premi murni, perlu menentukan nilai EADR terlebih dahulu. EADR dalam penelitian ini diasumsikan sebagai tingkat atau *rate* premi. Nilai EADR diperoleh dari Persamaan (8).

Tabel 7. Nilai EADR pada Tipe Bangunan Rumah

Intensitas	MDR (%)	SH _i	MDR*SH _i
V	18,83758	0	0
VI	22,85714	0,090497	2,068505
VII	26,61943	0,030477	0,811288
XI	31,53308	5,31×10 ⁻⁵	0,001673
EADR (%)			2,88%

Setelah itu akan didapatkan premi murni yang diperoleh dari persamaan (9). Dimana nilai UP atau nilai pertanggung bangunan yang digunakan adalah nilai DBKB (Daftar Biaya Komponen Bangunan) yang bersumber dari Peraturan Walikota Bengkulu Nomor 43 Tahun 2019 [15]. Berikut ini merupakan nilai DBKB:

Tabel 8. Nilai DBKB (Daftar Biaya Komponen Bangunan)

Tipe Bangunan	Luas Bangunan	Lantai	Nilai Bangunan Perumahan Subsidi	Nilai Bangunan Sedang	Nilai Bangunan Baik	Nilai Bangunan Sangat Baik
Perumahan	1 – 36	1	Rp1.200.000			
	37 - 68	1		Rp1.516.000	Rp1.778.956	Rp2.429.134
	69 - 98	1		Rp1.833.000	Rp2.095.860	Rp2.831.497
	99 - 148	1		Rp2.080.207	Rp2.314.708	Rp3.050.345
	149 - 223	1		Rp2.100.315	Rp2.334.816	Rp3.070.453
	224 - 298	1		Rp2.263.953	Rp2.498.454	Rp3.234.091
	299 - 448	1		Rp2.446.775	Rp2.681.277	Rp3.416.913
	449 - 648	1		Rp2.544.152	Rp2.778.653	Rp3.514.290
	> 650	1		Rp2.636.062	Rp2.870.564	Rp3.606.200
	1 - 68	2 s.d. 4		Rp 2.200.000	Rp2.625.000	Rp2.655.000
	69 - 98	2 s.d. 4		Rp 2.450.000	Rp2.619.000	Rp2.735.000
	99 - 148	2 s.d. 4		Rp 2.566.000	Rp2.814.000	Rp3.860.000
	149 - 223	2 s.d. 4		Rp 2.625.000	Rp2.982.000	Rp3.028.000
	224 - 298	2 s.d. 4		Rp 2.850.000	Rp3.050.000	Rp3.100.000
	299 - 448	2 s.d. 4		Rp 2.915.000	Rp3.150.000	Rp3.200.000
	449 - 648	2 s.d. 4		Rp 3.031.000	Rp3.200.000	Rp3.300.000
	> 650	2 s.d. 4		Rp 3.100.000	Rp3.300.000	Rp3.400.000

Didapatkan premi murni sebagai berikut:

Tabel 9. Premi murni

Tipe Bangunan	Luas Bangunan	Lantai	Premi Murni			
			Bangunan Perumahan Subsidi	Bangunan Sedang	Bangunan Baik	Bangunan Sangat Baik
Perumahan	1 - 36	1	Rp 34.560 - Rp 1.244.160			
	37 - 68	1		Rp 1.615.450 - Rp 2.968.934	Rp 1.895.656 - Rp 3.483.907	Rp 2.588.485 - Rp 4.757.216
	69 - 98	1		Rp 3.642.538 - Rp 5.173.459	Rp 4.164.893 - Rp 5.915.355	Rp 5.626.751 - Rp 7.991.617
	99 - 148	1		Rp 5.931.086 - Rp 8.866.674	Rp 6.599.695 - Rp 9.866.211	Rp 8.697.144 - Rp 13.001.791

Tipe Bangunan	Luas Bangunan	Lantai	Premi Murni			
			Bangunan Perumahan Subsidi	Bangunan Sedang	Bangunan Baik	Bangunan Sangat Baik
	149 - 223	1	Rp 9.012.872 – Rp 13.489.063	Rp 10.019.162 – Rp 14.995.122	Rp 13.175.928 – Rp 19.719.677	
	224 - 298	1	Rp 14.605.214 – Rp 19.430.150	Rp 16.118.026 – Rp 21.442.732	Rp 20.863.768 – Rp 27.756.263	
	299 - 448	1	Rp 21.069.669 – Rp 31.569.270	Rp 23.089.013 – Rp 34.594.908	Rp 29.423.721 – Rp 44.086.378	
	449 - 648	1	Rp 32.898.938 – Rp 47.479.982	Rp 35.931.318 – Rp 51.856.334	Rp 45.443.987 – Rp 65.585.086	
	> 650	1	Rp 49.347.081	Rp 53.736.958	Rp 65.585.086	
	1 - 68	2 s.d. 4	Rp 63.360 – Rp 4.308.480	Rp 75.600 – Rp 5.140.800	Rp 76.464 – Rp 5.199.552	
	69 - 98	2 s.d. 4	Rp 4.868.640 – Rp 6.914.880	Rp 5.204.477 – 7.391.866	Rp 5.434.992 – Rp 7.719.264	
	99 - 148	2 s.d. 4	Rp 7.316.179 – Rp 10.937.318	Rp 8.023.277 – Rp 11.994.394	Rp 11.005.632 – Rp 16.452.864	
	149 - 223	2 s.d. 4	Rp 11.264.400 – Rp 16.858.800	Rp 12.796.358 – Rp 19.151.597	Rp 12.993.754 – Rp 19.447.027	
	224 - 298	2 s.d. 4	Rp 18.385.920 – Rp 24.459.840	Rp 19.676.160 – Rp 26.176.320	Rp 19.998.720 – Rp 26.605.440	
	299 - 448	2 s.d. 4	Rp 25.101.648 – Rp 37.610.496	Rp 27.125.280 – Rp 40.642.560	Rp 27.555.840 – Rp 41.287.680	
	449 - 648	2 s.d. 4	Rp 39.194.467 – Rp 56.565.734	Rp 41.379.840 – Rp 59.719.680	Rp 42.672.960 – Rp 61.585.920	
	> 650	2 s.d. 4	Rp 58.032.000	Rp 61.776.000	Rp 63.648.000	

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dapat diperoleh peluang kejadian gempa bumi dengan menggunakan metode PSHA dari pengolahan data kejadian gempa bumi pada tahun 1964-2021 di Kabupaten Kepahiang Provinsi Bengkulu sebesar 0,090497 pada intensitas VI, 0,030477 pada intensitas VII, 0,00806 pada intensitas VIII, 0,001041 pada intensitas IX, dan $5,31 \times 10^{-5}$ pada intensitas X+. Sehingga dapat dilihat bahwa peluang kejadian gempa bumi terendah terdapat pada intensitas X+ dan peluang kejadian gempa bumi tertinggi terdapat pada intensitas VI. Lalu diperoleh rasio kerusakan bangunan tipe rumah dari pengolahan data kerusakan bangunan pada tahun 1964-2021 di Kabupaten Kepahiang Provinsi Bengkulu sebesar 18,84% pada intensitas V, 22,86% pada intensitas VI, 26,62% pada intensitas VII, dan 31,53% pada intensitas XI. Sehingga dapat dilihat bahwa rasio kerusakan bangunan terendah terdapat pada intensitas V dan peluang kejadian gempa bumi tertinggi terdapat pada intensitas XI. Dan diperoleh premi murni pada tipe bangunan rumah dengan 1 lantai di rentang Rp 34.560 – Rp 1.244.160 untuk perumahan subsidi luas 1 m² sampai >36 m². Dan diperoleh premi murni tipe bangunan rumah untuk 1 sampai 4 lantai dengan luas 1 m² sampai >650 m², untuk perumahan bangunan sedang di rentang Rp 1.615.450 – Rp 58.032.000, untuk perumahan bangunan baik di rentang Rp 1.895.656 – Rp 61.776.000, dan untuk perumahan bangunan sangat baik di rentang Rp 2.588.485 – Rp 63.648.000. Sehingga dapat dilihat bahwa semakin banyak lantai, semakin luas bangunannya, dan semakin baik bangunannya maka premi murni akan semakin besar, begitu juga sebaliknya. Pada penelitian selanjutnya untuk menentukan peluang kejadian gempa bumi disarankan untuk menggunakan metode lain seperti DSHA serta menggunakan data terbaru baik pada data kejadian gempa bumi maupun data kerusakan bangunan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Erizal and Wahyuari, "Peran Asuransi Gempa Bumi dalam Mitigasi Risiko Gempa Bumi di Indonesia,"

2019, vol. 4.

- [2] A. I. Hadi and K. S. Brotopuspito, “Pemetaan Percepatan Getaran Tanah Maksimum Menggunakan Pendekatan Probabilistic Seismic Hazard Analysis (PSHA) di Kabupaten Kepahiang Provinsi Bengkulu,” *J. Berk. Fis.*, vol. Vol. 18, no. No. 3, p. Hal. 101-112, 2015.
- [3] A. R. LUKITASARI, “Model Seismic Hazard Pulau Sumatera Berdasarkan B-value dan Peak Ground Acceleration (PGA),” 2021.
- [4] Supartoyo, Surono, and E. T. Putranto, *Katalog Gempabumi Merusak di Indonesia Tahun 1612-2014*, Kelima. Bandung, 2014.
- [5] A. M. Nur, “GEMPA BUMI, TSUNAMI DAN MITIGASINYA,” *Balai Inf. dan Konserv. Kebumian Karangsembung – LIPI, Kebumen*, vol. 7, Jan. 2010.
- [6] N. T. Nurazisha, R. Firdaus, and C. Suhendi, “Analisis Percepatan Tanah Maksimum Menggunakan Metode Probabilistic Seismic Hazard Analysis (PSHA) di Wilayah Provinsi DKI Jakarta,” pp. 1–10, 2020.
- [7] “Asuransi Gempa Bumi.” <https://www.raksaonline.com/produk/asuransi-gempa>
- [8] A. Deniz, “Estimation of Earthquake Insurance Premium Rates Based on Stochastic Methods,” 2006.
- [9] B. M. Hutapea and I. Mangape, “Analisis Hazard Gempa dan Usulan Ground Motion pada Batuan Dasar untuk Kota Jakarta,” *J. Tek. Sipil*, vol. 16, 2009, doi: 10.5614/jts.2009.16.3.2.
- [10] Pusat Studi Gempa Nasional, *Peta Sumber Dan Bahaya Gempa Indonesia Tahun 2017*. Jakarta: Pusat Penelitian dan Pengembangan Perumahan dan Permukiman Badan Penelitian dan Pengembangan Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2017.
- [11] P. Purbandini, B. J. Santosa, and B. Sunardi, “Analisis Bahaya Kegempaan di Wilayah Malang Menggunakan Pendekatan Probabilistik,” *J. Sains dan Seni ITS*, vol. 6, 2017, doi: 10.12962/j23373520.v6i2.25221.
- [12] J. W. Baker, *Introduction to Probabilistic Seismic Hazard Analysis*. Cambridge, England: Cambridge University Press, 2015.
- [13] Y.-K. Tse, *Nonlife Actuarial Models Theory, Methods and Evaluation*. Cambridge, 2009.
- [14] H. K. L. William, *International Handbook of Earthquake and Engineering Seismology*. Elsevier, 2003.
- [15] “PERATURAN WALIKOTA BENGKULU NOMOR 43 TAHUN 2019 TENTANG KLASIFIKASI NILAI DASAR TANAH DAN BANGUNAN SEBAGAI DASAR PENGENAAN BEA PEROLEHAN HAK ATAS TANAH DAN BANGUNAN,” 2019.