

Penerapan Metode Bayesian *Change Point* dalam Menentukan Bahaya Gempa di Jawa Barat

Iqbal Arya Ramadhan*, Sutawanir Darwis

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

*iqbalaryar55@gmail.com, std.darwis@gmail.com

Abstract. Geologically, the area of Indonesia is prone to earthquakes, including the province of West Java, because it is located in the ring of fire and can cause severe damage, so Indonesia needs earthquake insurance. The Bayesian PSHA (Probabilistic Seismic Hazard Analysis) method can provide an assessment of the uncertainty of future earthquakes, by utilizing the prior distribution at the start of the analysis and the likelihood function is formulated into a posterior distribution to measure future observed data with uncertain parameters. The uncertainty in this research is time, taking into account the Bayesian Change Point (potential change in the rate of seismicity at that point in time). This Bayesian PSHA will produce seismic hazard values and combined with the Mean Damage Ratio (MDR) using the Yucemen method to generate insurance premiums. There were 25 earthquake events in West Java province in 2006-2021 around Kertajati Airport with coordinates 6.39'02° S, 108.10'10°E, depth of 100 km and radius of 300 km and there is a Bayesian factor of 0.0035 so that a change in the earthquake rate was identified between the 3rd and 4th incident, and the change in the earthquake rate occurred the day before the 4th incident, namely on July 17 2006 with an incident ratio rate of 0.7769. The seismic hazard value or earthquake hazard involving a Change Point for an intensity scale of 11 is 0.23%.

Keywords: *Change Point, Seismic Hazard, Total Building Insurance Premiums at The Coordinates of Kertajati Airport West Java.*

Abstrak. Secara geologi wilayah Indonesia rawan gempa bumi, termasuk provinsi Jawa Barat karena terletak pada kawasan cincin api (*ring of fire*) dan dapat menimbulkan kerusakan yang sangat parah sehingga Indonesia memerlukan asuransi gempa bumi. Metode Bayesian PSHA (*Probabilistic Seismic Hazard Analysis*) dapat memberikan penilaian ketidakpastian gempa di masa depan, dengan memanfaatkan distribusi prior pada awal analisis dan fungsi *likelihood* diformulasikan menjadi distribusi posterior untuk mengukur data yang diamati di masa depan dengan parameter yang tidak pasti. Ketidakpastiaan pada penelitian ini yaitu waktu, dengan memperhitungkan Bayesian *Change Point* (potensi perubahan laju kegempaan pada titik waktu). Bayesian PSHA ini akan menghasilkan nilai *seismic hazard* dan dikombinasikan dengan *Mean Damage Ratio* (MDR) menggunakan metode Yucemen untuk menghasilkan premi asuransi. Terdapat 25 kejadian gempa bumi provinsi Jawa Barat tahun 2006-2021 yang berada di sekitar Bandara Kertajati dengan titik koordinat 6.39'02° S, 108.10'10°E, kedalaman 100 km dan radius 300 km dan terdapat faktor Bayesian sebesar 0,0035 sehingga teridentifikasi perubahan laju gempa antara kejadian ke-3 dan ke-4, dan perubahan laju gempa tersebut terjadi sehari sebelum kejadian ke-4 yaitu pada tanggal 17 Juli 2006 dengan tingkat rasio kejadian sebesar 0,7769. Nilai *seismic hazard* atau bahaya gempa melibatkan *Change Point* untuk skala intensitas 11 yaitu 0,23%.

Kata Kunci: *Change Point, Seismic Hazard, Total Premi Asuransi Bangunan di Lokasi Titik Koordinat Bandara Kertajati Jawa Barat.*

A. Pendahuluan

Indonesia merupakan negara maritim dimana luas lautan lebih besar dari daratan yang berada di kawasan Asia Tenggara. Secara geologi wilayah Indonesia rawan gempa bumi, mengingat posisi geografis Indonesia yang terletak pada kawasan cincin api (*ring of fire*) atau berada di antara Benua Australia dan Asia sehingga terdapat pertemuan tiga lempeng tektonik yaitu lempeng Indo-Australia, lempeng Eurasia dan lempeng Pasifik yang akan menimbulkan jalur kegempaan dan rangkaian gunung api aktif. Tenaga ahli dari Badan Geologi telah mencatat dan memetakan wilayah-wilayah kegempaan di seluruh Indonesia, sebagian besar wilayah dari mulai Pulau Sumatera, Jawa, Bali, Nusa Tenggara, Sulawesi, Maluku dan Papua memiliki potensi kegempaan yang sama kecuali Pulau Kalimantan (Safii, 2018).

Analisis bahaya gempa bertujuan untuk menentukan suatu batas intensitas pada gempa yang berlaku di suatu daerah berdasarkan nilai kemungkinan yang akan terjadi. Menurut Else (2017) secara umum analisis dengan menggunakan pendekatan probabilistik dianggap lebih rasional dibandingkan dengan analisis deterministik. Hasil dari analisis dengan menggunakan pendekatan probabilistik tersebut dapat digunakan langsung untuk memprediksi bahaya gempa dari suatu lokasi yang berkaitan dengan konsekuensi terburuk yang mungkin dapat terjadi. Sampai saat ini, metode PSHA (*Probabilistic Seismic Hazard Analysis*) masih digunakan oleh para perancang struktur untuk mendesain berbagai struktur tahan gempa.

Menurut Baker & Gupta (2016), dengan menggunakan pemutakhiran pendekatan Bayesian dapat dikatakan bahwa pemutakhiran tersebut bisa diusulkan untuk sebuah hasil proses PSHA secara dinamis, bukan perhitungan secara berkala. Ketidakpastian gempa bumi di masa depan atau input lain untuk penilaian seismik tersebut dapat dijadikan sebagai distribusi prior pada awal analisis dan fungsi *likelihood* diformulasikan untuk mengukur konsistensi data yang diamati di masa depan dengan parameter yang tidak pasti, dengan menggunakan distribusi prior untuk potensi perubahan parameter seismitas di masa depan (*Change Point*) berdasarkan faktor operasional. Pendekatan Bayesian ini, secara probabilistik tidak hanya untuk memperkirakan tingkat gempa berdasarkan kegempaan yang ada saat ini tetapi untuk memvalidasi atau menghilangkan kemungkinan adanya kondisi berbahaya juga.

Kerugian tahunan yang diharapkan dapat ditentukan sebagai indikator premi asuransi gempa yang akan dihitung. Maka untuk menghitung premi asuransi yang didapat dengan menggunakan perkalian matriks dari komponen bahaya seismik dan komponen kerusakan bangunan menghasilkan *Expected Annual Damage Ratio* (EADR). Gurpynar dan Yucemen (1980) menyatakan bahwa *Pure Risk Premium* (PRP) dari sebuah properti harus dihitung sebanding dengan nilai properti yang sesuai. Maka dengan kontribusi perkiraan kerusakan bangunan tahunan pada berbagai tingkat intensitas gempa bumi dapat menghasilkan *Total Insurance Premium* (TP) (Aykut, 2006).

Batasan masalah pada penelitian yaitu peneliti hanya membahas *Change Point* dan hasil nilai *seismic hazard* pada data katalog Jawa Barat pada tahun 2006-2021 di lokasi titik koordinat Bandara Kertajati yang bersumber dari *Internasional Seismological Center* (ISC), dikarenakan keterbatasan data kerusakan bangunan yang berada di lokasi titik koordinat Bandara Kertajati, sehingga peneliti menggunakan data kerusakan bangunan di Turki dan hanya mensimulasikan contoh perhitungan *Damage Probability Matrix*, *Mean Damage Ratio*, *Expected Annual Ratio*, *Pure Risk Premi* dan total premi.

Berdasarkan latar belakang berikut, dengan dikembangkannya metode PSHA menggunakan pendekatan Bayesian untuk perhitungan bahaya gempa bumi, serta metode Yucemen untuk menghitung kerusakan bangunan dan menghasilkan tarif premi asuransi. Selanjutnya, tujuan dalam penelitian ini adalah: (1) Mengidentifikasi terjadi atau tidak *Change Point* laju gempa dalam titik waktu di Jawa Barat pada tahun 2006-2021 pada lokasi titik koordinat Bandara Kertajati; (2) Mengetahui hasil nilai *seismic hazard* dengan adanya *Change Point* di Jawa Barat pada tahun 2006-2021 pada lokasi titik koordinat Bandara Kertajati.

B. Metodologi Penelitian

Data dalam penelitian ini adalah data sekunder katalog gempa bumi Jawa Barat tahun 2006-2021 yang berada di lokasi titik koordinat Bandara Kertajati (6.39°02' S, 108.10°10' E) dengan

radius 300 km, kedalaman 100 km, magnitudo sebesar 5.5 mw sampai 9.0 mw dan jumlah data sebanyak 25 kejadian gempa bumi yang bersumber dari ISC (International Seismological Centre). Peneliti menggunakan metode Bayesian *Change Point* yang didapatkan melalui persamaan berikut:

$$\lambda_{mean}(IM > x) = \sum_{j=1}^{n_{sumber}} w_j \lambda_j(IM > x)$$

Dimana j merupakan indeks yang menunjukkan cabang pohon logika ke- j , w_j merupakan bobot posterior yang diasosiasikan dengan cabang j (jumlah w_j menjadi satu).

Probabilistic Seismic Hazard Analysis

Menurut Susilo & Adnan (2013), prinsip PSHA adalah metode yang digunakan dalam analisis bahaya seismik berdasarkan definisi dari fungsi distribusi probabilitas dengan menggunakan ketidakpastian dari skala kejadian gempa bumi, lokasi kejadian gempa, dan frekuensi kejadian gempa untuk mendapatkan level risiko kejadian gempa di lokasi penelitian. $\lambda_j(IM > x)$ merupakan nilai PSHA yang dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$\lambda(IM > x) = \sum_{i=1}^{n_{sumber}} \lambda(IM > m_{min}) \int_{m_{min}}^{m_{max}} \int_0^{r_{max}} P(IM > x|m, r) f_{M_i R_i}(m, r) dr dm$$

Dimana n_{sumber} merupakan jumlah sumber gempa yang dipertimbangkan, M_i dan R_i merupakan distribusi magnitudo dan jarak untuk sumber i .

Probabilitas Melebihi Level PGA

$P(IM > x|m, r) f_{M_i R_i}(m, r) dr dm$ merupakan probabilitas melebihi level PGA (*Peak Ground Acceleration*), istilah $f_{M_i R_i}(m, r)$ merupakan fungsi densitas peluang magnitudo dan jarak suatu gempa pada sumber i . Hal tersebut diperoleh menggunakan persamaan:

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

Dimana model prediksi untuk rata-rata percepatan tanah maksimum (dalam satuan g) disajikan sebagai berikut:

$$\overline{\ln PGA} = -0.189 + 0.443m - 0.012 \ln(R + 25)$$

Rata-Rata Tingkat Pelampauan Tahunan Magnitudo Gempa

Rata-rata laju kejadian tahunan gempa bumi pada sumber i dengan magnitudo lebih besar dari m_{min} atau $\lambda(IM > m_{min})$ diperoleh menggunakan persamaan berikut:

$$\lambda_M = v \exp[-\beta(m - m_0)] \quad m > m_0$$

Keterangan:

$$v = \exp(\alpha - \beta m_0)$$

$$\beta = b(\ln 10) = 2,303b$$

Bahaya Gempa atau Seismic Hazard

Kramer (1996) menyatakan bahwa tingkat pelampauan gempa atau $\lambda_{mean}(IM > x)$ dapat dievaluasi dengan menggunakan probabilitas (%) dalam rentang waktu tertentu, sehingga probabilitas bahaya gempa dapat disajikan sebagai berikut (Pailoplee & Palasri, 2014):

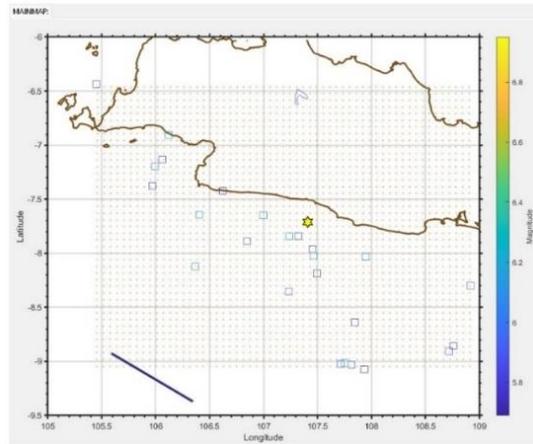
$$POE = -\frac{\ln(1 - Prob)}{T}$$

Dimana $Prob = e^{-(\lambda(IM > x)(T))}$ dan $T = \frac{1}{\lambda_M}$ dan nilai bahaya gempa atau *seismic hazard* diperoleh dari rata-rata nilai POE sesuai skala intensitas.

C. Hasil Penelitian dan Pembahasan

Eksplorasi Data

Data pada katalog gempa bumi provinsi Jawa Barat tahun 2006-2021 yang berada di sekitar Bandara Kertajati dengan titik koordinat 6.39°02' S, 108.10°10' E, kedalaman 100 km dan radius 300 km akan dieksplorasi. Eksplorasi data katalog tersebut disajikan sebagai berikut:



Gambar 1. Pusat Gempa Katalog Jawa Barat 2006-2021

Berdasarkan Gambar tersebut, dapat diketahui bahwa banyak kejadian gempa bumi di sekitar Bandara Kertajati yang dihasilkan selama periode tahun 2006-2021 dengan total 25 kejadian di beberapa titik provinsi Jawa Barat, dengan magntudo terbesar 6,95 yang dilambangkan oleh bintang terjadi pada tanggal 2 September 2009 dan untuk rata-rata magnitudo yang terjadi sebesar 5,99 mw.

Rata-Rata Tingkat Pelampauan Tahunan Magnitudo Gempa

Berikut adalah hasil perhitungan rata-rata laju kejadian tahunan gempa bumi pada sumber *i* dengan magnitudo lebih besar dari m_{min} sebagai berikut:

Tabel 1. Hasil Perhitungan $\lambda(IM > m_{min})$ (kejadian per tahun)

NO	MAG	α	β	ν	EXP	$\lambda(IM > m_{min})$
1	5.75	23.6738	3.3808	84.5205	0.8127	68.6861
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
24	6.95	23.6738	3.3808	84.5205	0.0140	1.1847

Berdasarkan Tabel berikut, rata-rata tingkat pelampauan tahunan ($\lambda(IM > m_{min})$) dari magnitudo gempa bumi dengan lamanya periode waktu. Maka dapat diinterpretasikan bahwa gempa dengan magnitudo 5.75 akan menghasilkan rata-rata tingkat pelampauan tahunan sebesar 69 kejadian per tahun dan begitupun seterusnya.

Probabilitas Melebihi Level PGA

Menurut Putri et al., (2017), *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. Diperoleh hasil lnPGA menggunakan model prediksi sebagai berikut:

Tabel 2. Hasil Model Prediksi lnPGA

NO	lnPGA	NO	lnPGA	NO	lnPGA	NO	lnPGA	NO	lnPGA
1	0.7547	6	0.7800	11	0.7475	16	0.8401	21	0.8061
2	0.9708	7	0.8093	12	0.9611	17	0.9307	22	0.9635
3	0.8404	8	1.2678	13	0.8660	18	0.7485	23	0.8020
4	0.8113	9	0.7744	14	0.8033	19	0.8970	24	0.8651
5	0.9280	10	0.8672	15	0.7460	20	0.7489		

Setelah diperoleh nilai $\ln PGA$ tersebut, selanjutnya dihitung probabilitas melebihi level PGA (dalam satuan g) yang disajikan sebagai berikut:

Tabel 3. Hasil Probabilitas PGA

$P(IM > x)$									
NO		NO		NO		NO		NO	
1	0.7823	6	0.7939	11	0.8106	16	0.84006	21	0.7995
2	0.8665	7	0.8023	12	0.834	17	0.93071	22	0.8438
3	0.8106	8	0.9066	13	0.7823	18	0.74846	23	0.7995
4	0.8023	9	0.791	14	0.8264	19	0.89701	24	0.8159
5	0.834	10	0.8186	15	0.7823	20	0.7489		

Berdasarkan Tabel berikut, dapat diinterpretasikan bahwa prediksi gerakan tanah yang melebihi PGA menggunakan distribusi probabilitas gerakan tanah sebagai fungsi dari banyaknya prediktor variabel seperti magnitudo gempa, jarak, patahan dan lain-lain.

Analisis Bayesian *Change Point*

Pada bagian ini, untuk mendapatkan hasil dari analisis Bayesian *Change Point* langkah pertama yaitu menganalisis apakah terdapat faktor Bayesian pada data katalog gempa bumi Jawa Barat tahun 2006-2021 yang berada di lokasi titik koordinat Bandara Kertajati dengan menghitung waktu antar kejadian gempa bumi dimana dapat dihitung dengan selisih hari antar kejadian yang berdekatan dan bantuan *software* matlab. Maka diperoleh hasil sebagai berikut:

Tabel 4. Waktu antar Kejadian Gempa Bumi Jawa Barat 2006-2021

Kejadian Gempa Bumi	Selisih Hari	Kejadian Gempa Bumi	Selisih Hari
2 dengan 1	123	14 dengan 13	879
3 dengan 2	0	15 dengan 14	36
4 dengan 3	1	16 dengan 15	70
5 dengan 4	197	17 dengan 16	109
6 dengan 5	283	18 dengan 17	271
7 dengan 6	629	19 dengan 18	160
8 dengan 7	33	20 dengan 19	27
9 dengan 8	258	21 dengan 20	161
10 dengan 9	85	22 dengan 21	38
11 dengan 10	237	23 dengan 22	502
12 dengan 11	426	24 dengan 23	504
13 dengan 12	308	25 dengan 24	210

Hipotesis:

H_0 : Model laju konstan

H_1 : Model terdapat perubahan laju gempa (*Change Point*)

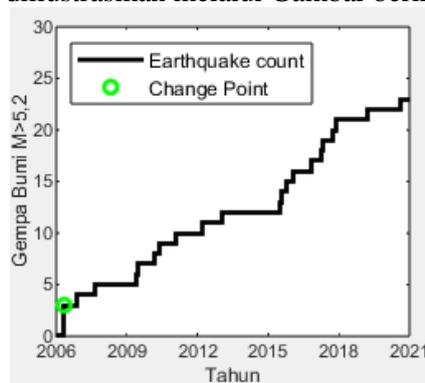
Kriteria Uji:

Tolak H_0 jika faktor Bayesian $< 0,01$.

Tabel 5. Faktor Bayesian

Faktor Bayesian			
1	0.2273	13	0.0936
2	0.0336	14	0.1084
3	0.0035	15	0.1226
4	0.3036	16	0.1376
5	0.2197	17	0.1494
6	0.0985	18	0.1584
7	0.1336	19	0.1516
8	0.1450	20	0.1755
9	0.1697	21	0.165
10	0.1743	22	0.1868
11	0.1512	23	0.1739
12	0.1471	24	0.1792

Berdasarkan Tabel berikut, dapat diketahui bahwa terdapat nilai faktor Bayesian $< 0,01$ artinya terdapat perubahan laju gempa antara kejadian ke-3 dan ke-4. Oleh karena itu, perubahan laju gempa terjadi sehari sebelum kejadian ke-4 yaitu pada tanggal 17 Juli 2006 dengan nilai faktor Bayesian sebesar 0,0035 artinya data katalog gempa bumi Jawa Barat tahun 2006-2021 yang berada di sekitar Bandara Kertajati dengan radius 300 km terdapat perubahan laju gempa atau *Change Point* dan dapat diilustrasikan melalui Gambar berikut:

**Gambar 2.** Plot Jumlah Kumulatif Kejadian (*Change Point*)

Pergeseran rata-rata kejadian gempa bumi yang melibatkan *Change Point* dan tidak dapat disajikan melalui Tabel berikut:

Tabel 6. Pergeseran Rata-Rata Kejadian Gempa

Tanggal	Mean Posterior	Frequentist
3/16/2006	20.8881	8.8306
5/23/2021	1.6121	0.8225

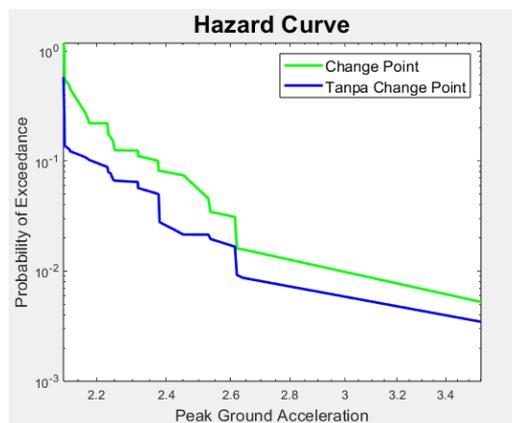
Berdasarkan Tabel berikut, rata-rata posterior (*Change Point*) lebih besar dibanding dengan rata-rata frequentist (Tanpa *Change Point*) artinya PSHA *Change Point* atau dengan melibatkan konsistensi data yang diamati dengan parameter yang tidak pasti dalam hal ini waktu, dapat merevisi dan lebih efektif untuk menghitung bahaya gempa bumi di masa depan.

Setelahnya, dilakukan perhitungan tingkat rata-rata pelampauan yang diinduksi oleh bobot Bayesian (*Change Point*) dan diperoleh hasil dari perhitungan disajikan sebagai berikut:

Tabel 7. Hasil Tingkat Pelampauan Rata-Rata PSHA *Change Point*

NO	$\lambda_j(IM > x)$	NO	PGA
1	0.0052	1	3.55
2	0.0157	2	2.639
3	0.0160	3	2.6209
4	0.0310	4	2.6145
5	0.0344	5	2.5363
6	0.0456	6	2.5292
7	0.0741	7	2.4522
8	0.0813	8	2.3802
9	0.0814	9	2.3774
10	0.1004	10	2.3752
11	0.1109	11	2.3172
12	0.1242	12	2.3165
13	0.1250	13	2.2509
14	0.1498	14	2.2462
15	0.1643	15	2.2393
16	0.1742	16	2.2329
17	0.2201	17	2.2301
18	0.2202	18	2.1814
19	0.2745	19	2.1694
20	0.4476	20	2.1294
21	0.4840	21	2.1270
22	0.5543	22	2.1146
23	1.0227	23	2.1137
24	1.1762	24	2.1116

Berdasarkan Tabel tersebut, dapat diinterpretasikan bahwa 1 kali kejadian gempa dengan $PGA > 3,55$ akan terjadi per 200 tahun, begitupun seterusnya. Maka dapat dilihat bahwa dengan melibatkan *Change Point* nilai tingkat pelampauan gempa tahunan lebih menginduksi dibanding tanpa melibatkan *Change Point*, dan hasil dari tingkat rata-rata dengan melibatkan *Change Point* (Garis hijau) dan tingkat rata-rata dengan tanpa melibatkan *Change Point* (Garis biru) disajikan sebagai berikut:



Gambar 2. Seismic Hazard Curve

Bahaya Gempa atau *Seismic Hazard*

Pada bagian ini, tingkat rata-rata pelampauan yang diinduksi oleh bobot Bayesian *Change Point* atau $\lambda_j(IM > x)$ dievaluasi dengan menggunakan probabilitas (%) atau *probability of exceedance* (POE) dan menentukan nilai SH dengan menghitung rata-rata nilai POE sesuai skala intensitas. Hal tersebut disajikan sebagai berikut:

Tabel 8. Hasil Seismic Hazard Change Point

POE	I (MMI)	POE	I (MMI)
0.0741	11	0.1742	11
1.0227	11	0.0052	11
0.4476	11	0.0310	11
0.5543	11	0.0456	11
0.2201	11	0.0813	11
0.4840	11	0.0814	11
0.2202	11	0.1109	11
1.1762	11	0.0160	11
0.2745	11	0.0157	11
0.1643	11	0.1498	11
0.1250	11	0.0344	11
0.1004	11	0.1242	11
SH = 0.23			

Berdasarkan Tabel tersebut, diperoleh bahwa nilai SH atau bahaya gempa di lokasi titik koordinat Bandara Kertajati dengan melibatkan *Change Point* untuk skala intensitas 11 yaitu 0,23%.

Damage Probability Matrix dan Mean Damage Ratio

Damage Probability Matrix suatu metode yang digunakan untuk menghitung nilai peluang tingkat kerusakan pada bangunan atau tempat tinggal yang terdampak gempa dengan intensitas tertentu. Dikarenakan data tingkat kerusakan bangunan atau tempat tinggal di Indonesia masih sangat sulit untuk didapat, maka penelitian ini akan menggunakan DPM dan MDR di negara Turki untuk mensimulasikan perhitungan premi asuransi yang disajikan sebagai berikut:

Tabel 9. Hasil DPM dan MDR

Damage State	Intensitas	
	CDR (%)	X+
Tidak Ada Kerusakan (N)	0	0
Kerusakan Ringan (L)	5	0.44
Kerusakan Sedang (M)	30	0.12
Kerusakan Berat/Kolaps (H/C)	85	0.44
Jumlah Bangunan		25
MDR (%)		43.2

Berdasarkan Tabel berikut, diperoleh nilai $P_k(DS, I)$ untuk skala intensitas 11 dengan CDR = 0% (tidak terdapat kerusakan) sebesar 0, CDR = 5% (kerusakan ringan) sebesar 0,44, CDR = 30% (tidak sedang) sebesar 0,12 dan CDR = 85% (kerusakan berat) sebesar 0,44 serta MDR sebesar MDR untuk skala intensitas 11 yaitu 43,20 dengan jumlah sebanyak 25 bangunan.

Asuransi Gempa Bumi (EADR, PRP, TP)**Tabel 10.** Hasil Premi Asuransi Gempa *Change Point*

Intensitas	MDR	SH	EADR (%)	PRP (1/1000)	TP (1/1000)
X+	43.2	0.23	9.94	49.700.000	82.333.333

Diketahui bahwa nilai INSV sebesar Rp.5.000.000,-. Maka diperoleh untuk bangunan tipe batuan yang berada di skala intensitas 11 yaitu rasio kerusakan tahunan yang diharapkan untuk memperkirakan kerugian yang diperoleh dalam tahun (EADR) sebesar 9,94%, biaya yang harus dibayar setiap tahun pada bangunan (PRP) sebesar Rp49.700.000,- dan total premi yang harus dibayarkan kepada pihak tertanggung ketika risiko terjadi (TP) sebesar Rp82.333.333,-.

D. Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan yang sudah dikemukakan pada bab sebelumnya, didapat kesimpulan sebagai berikut:

1. Terdapat faktor Bayesian sebesar 0,0035 sehingga terdapat perubahan laju gempa antara kejadian ke-3 dan ke-4, dan perubahan laju gempa tersebut terjadi sehari sebelum kejadian ke-4 yaitu pada tanggal 17 Juli 2006. Rasio tingkat kejadiannya sebesar 0,7769 dan perubahan laju gempa dalam titik waktu, dapat merevisi dan lebih efektif untuk menghitung bahaya gempa bumi di masa depan karena rata-rata posterior (*Change Point*) lebih besar dibanding dengan rata-rata frequentist (*Tanpa Change Point*).
2. Nilai *seismic hazard* atau bahaya gempa melibatkan *Change Point* untuk skala intensitas 11 yaitu 0,23%, sedangkan tanpa *Change Point* diperoleh bahwa nilai *seismic hazard* yaitu 0,09%. Hal tersebut, berarti *Change Point* dapat lebih menginduksi bahaya gempa bumi.

Acknowledge

Peneliti ingin mengucapkan terima kasih kepada Allah SWT karena dengan izin-Nya penelitian ini dapat diselesaikan, terima kasih kepada keluarga yang selalu memberikan dukungan, Bapak Prof. Dr. Sutawanir Darwis yang telah memberikan masukan selama penelitian ini terlaksana, Bapak/Ibu dosen Statistika Unisba yang telah membagikan ilmu pengetahuannya, serta teman-teman yang selalu senantiasa menemani peneliti hingga terselesaikannya penelitian ini.

Daftar Pustaka

- [1] Aykut, D. (2006). Estimation Of Earthquake Insurance Premium Rates Based On Stochastic Methods. In Middle East Technical University. Middle East Technical University.
- [2] Baker, J. W., Bradley, B. A., & Stafford, P. J. (2021). Seismic Hazard and Risk Analysis. In Cambridge University Press. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1016/c2013-0-11297-4>
- [3] Baker, J. W., & Gupta, A. (2016). Bayesian Treatment Of Induced Seismicity In Probabilistic Seismic-Hazard Analysis. Bulletin of the Seismological Society of America, 106(3), 860–870. <https://doi.org/10.1785/0120150258>
- [4] Else, T. E. (2017). Studi Percepatan Tanah Maksimum Menggunakan Metode Probabilistic Sesimic Hazard Analysis (PSHA) Di Kabupaten Bone Sulawesi Selatan. In Universitas Hasanuddin. Universitas Hasanuddin.
- [5] Gupta, A., & Baker, J. W. (2015). A Bayesian Change Point Model To Detect Changes In Event Occurrence Rates, With Application To Induced Seismicity. 12th International Conference on Applications of Statistics and Probability in

- Civil Engineering, ICASP 2015.
- [6] Kramer, S. L. (1996). *Geotechnical Earthquake Engineering* (p. 376). Prentice-Hall Internasional Series.
 - [7] Pailoplee, S., & Palasri, C. (2014). CU-PSHA: A MATLAB software for Probabilistic Seismic Hazard Analysis. *Journal of Earthquake and Tsunami*, 8(4). <https://doi.org/10.1142/S1793431114500080>
 - [8] Putri, A., Purwanto, M. S., & Widodo, A. (2017). I Jalur Sesar Kendeng. *Geosaintek*, 03(2), 107–114.
 - [9] Safii. (2018). Badan Geologi Sudah Petakan Seluruh Wilayah Rawan Gempa Di Indonesia. Kementrian Energi Dan Sumber Daya Mineral. <https://www.esdm.go.id/id/media-center/arsip-berita/badan-geologi-sudah-petakan-seluruh-wilayah-rawan-gempa-di-indonesia>
 - [10] Susilo, A., & Adnan, Z. (2013). Probabilistic Seismic Hazard Analysis of East Java Region, Indonesia. *International Journal of Computer and Electrical Engineering*, 5(3), 341–344. <https://doi.org/10.7763/ijcee.2013.v5.728>
 - [11] Fatmawati and N. A. K. Rifai, “Klasifikasi Penyakit Diabetes Retinopati Menggunakan Support Vector Machine dengan Algoritma Grid Search Cross-validation,” *Jurnal Riset Statistika*, pp. 79–86, Jul. 2023, doi: 10.29313/jrs.v3i1.1945