

Penerapan *Collective Risk Model* dalam Penentuan Premi Asuransi Bencana Alam

Feby Indriana Yusuf, Puti Zakiyah Raisa Adi, dan Trency Elisabet Tioralina Saragih



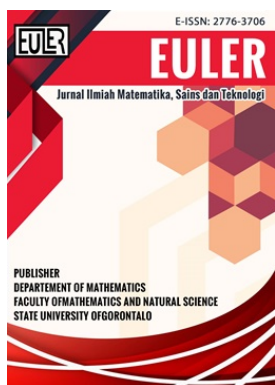
Volume 12, Issue 2, Pages 213–219, Dec 2024

Diterima 25 Oktober 2024, Direvisi 27 Desember 2024, Disetujui 29 Desember 2024, Diterbitkan 31 Desember 2024

To Cite this Article : F. I. Yusuf, P. Z. R. Adi, dan T. E. T. Saragih, "Penerapan *Collective Risk Model* dalam Penentuan Premi Asuransi Bencana Alam", *Euler J. Ilm. Mat. Sains dan Teknol.*, vol. 12, no. 2, pp. 213–219, 2024, <https://doi.org/10.37905/euler.v12i2.28632>

© 2024 by author(s)

JOURNAL INFO • EULER : JURNAL ILMIAH MATEMATIKA, SAINS DAN TEKNOLOGI

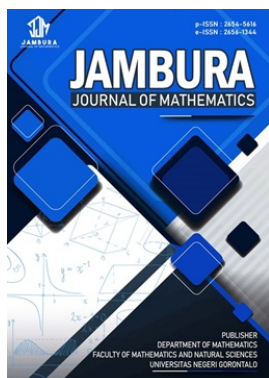


🏠	Homepage	:	http://ejournal.ung.ac.id/index.php/euler/index
📄	Journal Abbreviation	:	Euler J. Ilm. Mat. Sains dan Teknol.
📅	Frequency	:	Biannual (June and December)
🗣️	Publication Language	:	English (preferable), Indonesia
🔗	DOI	:	https://doi.org/10.37905/euler
📖	Online ISSN	:	2776-3706
📄	License	:	Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License
🏢	Publisher	:	Department of Mathematics, Universitas Negeri Gorontalo
🌐	Country	:	Indonesia
🌐	OAI Address	:	http://ejournal.ung.ac.id/index.php/euler/oai
🔍	Google Scholar ID	:	QF_r-gAAAAJ
✉️	Email	:	euler@ung.ac.id

JAMBURA JOURNAL • FIND OUR OTHER JOURNALS



Jambura Journal of Biomathematics



Jambura Journal of Mathematics



Jambura Journal of Mathematics Education



Jambura Journal of Probability and Statistics

Penerapan *Collective Risk Model* dalam Penentuan Premi Asuransi Bencana Alam

Feby Indriana Yusuf^{1,*} , Puti Zakiyah Raisa Adi¹, Trency Elisabet Tioralina Saragih¹

¹Departemen Matematika, Universitas Brawijaya, Malang, Indonesia

ARTICLE HISTORY

Diterima 25 Oktober 2024
Direvisi 27 Desember 2024
Disetujui 29 Desember 2024
Diterbitkan 31 Desember 2024

KATA KUNCI

Asuransi Bencana Alam
Collective Risk Model
Premi Asuransi
Proses Poisson

KEYWORDS

Collective Risk Model
Insurance Premium
Natural Disaster Insurance
Poisson Process

ABSTRAK. Indonesia rawan atas bencana alam, seperti letusan gunung berapi, gempa bumi, dan tsunami, akibat aktivitas tektonik lempeng Indo-Australia dan Eurasia. Oleh karena itu, pemerintah memperkenalkan asuransi bencana alam pada tahun 2018 untuk mitigasi guna melindungi kerugian finansial akibat bencana alam. Penelitian ini menggunakan *Collective Risk Model* (CRM) untuk menentukan tingkat premi. Proses Poisson dan distribusi Gamma digunakan untuk mengestimasi frekuensi dan kerugian bencana alam. Estimasi dilakukan dengan Maximum Likelihood Estimation (MLE), sementara premi dihitung berdasarkan ekspektasi dan variansi risiko agregat menggunakan Prinsip Expected Value dan Prinsip Standar Deviasi. Hasil menunjukkan bahwa ekspektasi dan variansi dari frekuensi kejadian klaim memiliki nilai yang sama, yaitu 1.993. Selain itu, klaim kerugian mengikuti distribusi Gamma dengan nilai ekspektasi dan variansi masing-masing sebesar $2,4327 \times 10^8$ dan $5,7725 \times 10^{15}$. Nilai rata-rata dan variansi dari klaim agregat (kolektif) masing-masing adalah Rp 484.837.110,000,00 dan Rp $1,29451 \times 10^{20}$. Prinsip Standar Deviasi menghasilkan premi yang lebih rendah dibandingkan Prinsip Expected Value dengan faktor loading yang sama.

ABSTRACT. Indonesia is prone to natural disasters such as volcanic eruptions, earthquakes, and tsunamis due to tectonic activity involving the Indo-Australian and Eurasian plates. Therefore, the government introduced natural disaster insurance in 2018 to mitigate financial losses caused by such events. This study employs the *Collective Risk Model* (CRM) to determine premium rates. The Poisson process and Gamma distribution are utilized to estimate the frequency and severity of natural disasters. Estimation is performed using Maximum Likelihood Estimation (MLE), while premiums are calculated based on the expected value and variance of aggregate risk using the Expected Value Principle and the Standard Deviation Principle. The results show that the expected value and variance of claim frequency are both 1.993. Furthermore, claims for losses follow the Gamma distribution, with an expected value and variance of $2,4327 \times 10^8$ and $5,7725 \times 10^{15}$. The mean and variance of aggregate claims are Rp 484.837.110,000,00 and Rp $1,29451 \times 10^{20}$. The Standard Deviation Principle produces lower premiums than the Expected Value Principle under the same loading factor.



This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License. Editorial of EULER: Department of Mathematics, Universitas Negeri Gorontalo, Jln. Prof. Dr. Ing. B. J. Habibie, Bone Bolango 96554, Indonesia.

1. Pendahuluan

Indonesia merupakan salah satu negara dengan risiko bencana alam tertinggi di dunia, seperti letusan gunung berapi, gempa bumi, dan tsunami akibat aktivitas tektonik yang diakibatkan oleh pertemuan lempeng Indo-Australia, Eurasia, dan Pasifik. Indonesia memiliki 129 gunung berapi aktif dengan letusan signifikan terjadi setiap 15 hingga 20 tahun [1]. Bencana seperti gempa bumi dan tsunami Sulawesi Tengah tahun 2018 menyebabkan kerugian ekonomi yang signifikan, termasuk kerusakan infrastruktur dan gangguan sektor perumahan, transportasi, dan pertanian [2]. Dampak ini tidak hanya mengancam keselamatan jiwa tetapi juga stabilitas ekonomi, sehingga mitigasi bencana melalui strategi tanggapan dan mekanisme keuangan yang efektif menjadi sangat penting.

Permasalahan utama dalam mitigasi bencana di Indonesia

adalah keterbatasan anggaran negara yang seringkali memperlambat pemulihan pascabencana. Kerugian besar yang ditimbulkan membutuhkan sumber daya finansial yang memadai, sementara negara sering menghadapi tantangan dalam menyeimbangkan kebutuhan fiskal, sehingga solusi inovatif seperti asuransi bencana alam menjadi relevan. Asuransi bencana alam dapat berfungsi sebagai mekanisme tranfer risiko yang memastikan ketersediaan dana darurat secara cepat dan memadai, sehingga mengurangi ketergantungan pada anggaran negara dan mempercepat pemulihan ekonomi [3].

Sebagai solusi, *Collective Risk Model* (CRM) merupakan metode yang dapat digunakan untuk menentukan tingkat premi dan mengestimasi kerugian akibat bencana. CRM bekerja dengan menggabungkan frekuensi kejadian bencana dan distribusi kerugian untuk memperkirakan risiko agregat. Model ini mampu menghasilkan estimasi premi berdasarkan rata-rata dan variansi risiko, sehingga menghasilkan premi yang lebih mencerminkan

*Penulis Korespondensi.

tingkat risiko sebenarnya [4].

Kajian penelitian sebelumnya menunjukkan beragam pendekatan dalam menentukan premi asuransi bencana. Penelitian Subartini dkk. [5] menggunakan *Fuzzy Inference System* untuk menentukan premi asuransi banjir dan menyatakan rata-rata premi bulanan untuk Bojongsong sebesar Rp 11.041,00 dan untuk Baleendah sebesar Rp 11.321,00. Penelitian Kalfin dkk. [6] menerapkan metode *Black-Scholes* untuk memperkirakan premi asuransi bencana alam di Indonesia dan menyatakan premi yang perlu dibayar pemerintah setiap tahunnya sebesar Rp 119.032.219.672.189,00. Penelitian Sukono dkk. [7] menggunakan pendekatan Bayesian dengan asumsi distribusi Pareto dan menunjukkan bahwa semakin tinggi besar kerugian, premi yang dibayarkan akan semakin tinggi. Penelitian Sukono dkk. [8] mengestimasi premi asuransi bencana alam menggunakan CRM berbasis proses Poisson dengan distribusi Weibull dari tahun 2000-2019 dan menyatakan premi dengan model Prinsip Standar Deviasi memiliki nilai yang lebih rendah daripada Premi *Expected Value*.

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan premi asuransi bencana alam dan mengestimasi klaim menggunakan CRM berbasis proses Poisson dengan distribusi Gamma, dengan data dari 2000-2023. Distribusi Gamma dipilih karena fleksibilitasnya dalam menggambarkan kerugian asimetris dan variansi besar, sementara proses Poisson efektif untuk memodelkan frekuensi kejadian bencana yang jarang namun signifikan. CRM digunakan untuk mengintegrasikan frekuensi dan kerugian, menghasilkan estimasi risiko agregat yang lebih akurat dan premi yang mencerminkan risiko sebenarnya. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan solusi premi yang efisien dan adil untuk kebijakan asuransi bencana di Indonesia.

Penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi bagi pengambilan keputusan pemerintah dan perusahaan asuransi dalam merancang kebijakan asuransi yang lebih efisien dan adil, untuk mendukung mitigasi risiko bencana di Indonesia.

2. Metode

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif berbasis analisis statistik dan pemodelan matematis untuk mengestimasi tingkat premi asuransi dan klaim kerugian akibat bencana alam. Metode yang diterapkan meliputi pemodelan distribusi frekuensi kejadian bencana, estimasi besar kerugian, penerapan CRM, dan perhitungan premi asuransi berbasis prinsip *expected value* dan standar deviasi.

2.1. Asuransi Bencana Alam

Asuransi bencana alam memberikan perlindungan finansial terhadap kerugian akibat bencana seperti gempa bumi, banjir, dan angin topan. Menurut Ash-Shidiqqi [9], asuransi ini penting di Indonesia yang rawan bencana, membantu individu dan bisnis memulihkan kerugian, serta mengurangi beban ekonomi. Selain itu, asuransi bencana alam juga meningkatkan kesadaran tentang mitigasi risiko dan mendorong investasi dalam infrastruktur tahan bencana.

2.2. Frekuensi Bencana Alam

Frekuensi bencana alam adalah komponen utama dalam pengukuran risiko yang menggambarkan seberapa sering peristiwa

bencana terjadi dalam periode tertentu. Pengukuran ini penting untuk memahami pola kejadian dan merancang strategi mitigasi, serta menentukan probabilitas kejadian dan menghitung premi asuransi [10].

Estimasi frekuensi bencana alam dapat dimodelkan dengan proses Poisson. Parameter distribusi Poisson dapat diperkirakan dari data historis kejadian bencana, yang digunakan untuk memprediksi frekuensi kejadian di masa depan. Secara matematis, jumlah kejadian bencana hingga waktu t dilambangkan sebagai $N(t)$ [8]. Probabilitas terjadinya k bencana dalam interval waktu $[s, t + s]$ mengikuti rumus:

$$P\{N(t + s) - N(s) = k\} = \frac{(\lambda t)^k}{k!} e^{-\lambda t}, \quad (1)$$

dengan

t : panjang interval waktu,

k : jumlah kejadian yang terjadi, dan

λ adalah parameter tingkat kejadian (frekuensi rata-rata bencana alam per satuan waktu), yang dirumuskan dengan:

$$\lambda = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}. \quad (2)$$

Menurut Alawiyah dkk. [11], jika setiap $s, t \geq 0$, maka:

$$N(t + s) - N(s) \sim PoI(\lambda t)$$

sehingga *mean* dan *varians* dari jumlah kejadian dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$E(N(t)) = \lambda t, \quad (3)$$

$$\text{Var}(N(t)) = \lambda t. \quad (4)$$

2.3. Besar Kerugian Bencana Alam

Kerugian akibat bencana alam mencakup nilai ekonomi dan dampak sosial dari peristiwa seperti gempa bumi, banjir, tsunami, dan tanah longsor, yang sering memerlukan biaya pemulihan besar [12]. Estimasi kerugian dapat dimodelkan menggunakan distribusi Gamma dengan dua parameter, α dan β , keduanya bernilai positif. Fungsi distribusi kumulatifnya adalah:

$$F(x; \alpha, \beta) = \begin{cases} \frac{\gamma(\alpha, \beta x)}{\Gamma(\alpha)} & ; x > 0 \\ 0 & ; \text{selainnya} \end{cases} \quad (5)$$

dengan

$$\gamma(\alpha, \beta x) = \int_0^{\beta x} t^{\alpha-1} e^{-t} dt. \quad (6)$$

Fungsi kepadatan peluang dari distribusi Gamma adalah turunan dari fungsi distribusi kumulatifnya, yang dirumuskan sebagai berikut:

$$f(x; \alpha, \beta) = \begin{cases} \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-\frac{x}{\beta}} & ; \text{jika } x > 0, \\ 0 & ; \text{selainnya.} \end{cases} \quad (7)$$

Penentuan nilai ekspektasi dan *varians* dari distribusi Gamma untuk kerugian akibat bencana alam merujuk pada [13], dengan ekspektasi dan *varians*nya dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$E(X) = \alpha\beta, \quad (8)$$

$$\text{Var}(X) = \alpha\beta^2. \quad (9)$$

2.4. Maximum Likelihood Estimation

Maximum Likelihood Estimator (MLE) merupakan salah satu metode estimasi parameter yang paling umum digunakan dalam statistika. Menurut Walpole dkk. [14], prinsip dasar dari MLE adalah memaksimalkan fungsi *likelihood*, yaitu probabilitas dari data yang diamati, dengan asumsi bahwa model yang digunakan untuk mendeskripsikan data tersebut benar. Hal ini menunjukkan bahwa MLE mencari nilai parameter yang membuat data yang diamati paling mungkin terjadi. Fungsi *likelihood* $L(\theta)$ dari suatu model statistik dinyatakan sebagai

$$L(\theta) = P(X | \theta), \tag{10}$$

dengan X adalah data yang diamati dan θ adalah parameter yang ingin diestimasi.

Langkah untuk mendapatkan MLE adalah dengan mencari nilai parameter θ yang memaksimalkan fungsi *likelihood* tersebut. Jika perhitungan yang diinginkan melibatkan banyak kasus, *log-likelihood* dapat digunakan untuk menyederhanakan proses perhitungan tersebut, didefinisikan sebagai:

$$\ell(\theta) = \log L(\theta). \tag{11}$$

Proses ini sering kali melibatkan penggunaan kalkulus, yaitu dengan menghitung turunan dari *log-likelihood* dan menyamakan dengan nol untuk menemukan titik maksimum:

$$\frac{d\ell(\theta)}{d\theta} = 0. \tag{12}$$

2.5. Collective Risk Model

Collective Risk Model (CRM) atau model risiko kolektif merupakan teknik perhitungan yang digunakan perusahaan asuransi untuk meminimalisir kerugian akibat pertanggungansian risiko dengan mengetahui distribusi total klaim (*claim aggregate*). Model ini digambarkan sebagai proses acak yang menghasilkan klaim untuk polis pada portofolio meliputi jumlah klaim dan besar klaim. Jika jumlah klaim yang terjadi pada periode tertentu dilambangkan sebagai N dengan kerugian sebesar X , maka total kerugian yang dihasilkan suatu portofolio dinotasikan sebagai S dan dinyatakan sebagai:

$$S = X_1 + X_2 + X_3 + \dots + X_N, \tag{13}$$

dengan $X_1 + X_2 + X_3 + \dots + X_N$ diasumsikan variabel acak i.i.d. dan saling bebas terhadap N [15]. Berdasarkan pers. (12), maka ekspektasi dari total kerugian dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} E(S) &= E[E(S|N)] \\ &= E[E(X_1 + X_2 + X_3 + \dots + X_N)] \\ &= E(N) E(X). \end{aligned} \tag{14}$$

Pers. (14) menunjukkan bahwa ekspektasi dari total kerugian merupakan hasil perkalian antara rata-rata klaim individu dengan rata-rata jumlah klaim yang terjadi. Varians dari total kerugian dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Var}(S) &= E[\text{Var}(S | N)] + \text{Var}[E(S|N)] \\ &= E[\text{Var}(X_1 + \dots + X_N)] + \text{Var}[E(X_1 + \dots + X_N)] \\ &= E[N\text{Var}(X)] + \text{Var}[E(X)N] \\ &= E(N) \text{Var}(X) + \text{Var}(N) [E(X)]^2. \end{aligned} \tag{15}$$

2.6. Model Perhitungan Premi

Premi adalah nominal uang yang dibayarkan oleh pemegang polis atas pertanggungansian risiko yang diberikan perusahaan asuransi atas kerugian finansial akibat suatu peristiwa kegagalan di masa yang akan datang [16]. Salah satu tantangan utama dalam bisnis asuransi adalah menentukan premi, yang diwakili oleh proses jumlah klaim total, S . Misalkan pendapatan premi, $p(t)$, untuk polis ini adalah fungsi tetap yang diketahui. Cara yang berguna untuk mendekati jumlah klaim acak $S(t)$ adalah dengan menggunakan nilai ekspektasinya, $E[S(t)]$. Jika $p(t) < E[S(t)]$ jangka waktu yang panjang, perusahaan asuransi kemungkinan besar akan mengalami kerugian. Cara untuk menghindari hal tersebut adalah dengan menetapkan premi yang lebih tinggi dari total klaim yang diharapkan dengan menambahkan "loading" jumlah klaim total yang diharapkan dengan angka positif tertentu α , atau faktor *loading* [17]. Penentuan premi dalam CRM dapat dilakukan melalui Prinsip *Expected Value* dan Prinsip Standar Deviasi.

2.6.1. Prinsip Expected Value

Perhitungan premi menggunakan prinsip *expected value* didasarkan pada risiko kolektif rata-rata atau premi murni yang dikalikan dengan beban keamanan atau faktor *loading* [18]. Perhitungan tersebut dinyatakan sebagai berikut:

$$P_{EV}(t) = (1 + \alpha) E[S(t)], \tag{16}$$

dengan beberapa *security loading* bernilai positif $0 < \alpha < 1$.

2.6.2. Prinsip Standar Deviasi

Perhitungan premi menggunakan prinsip standar deviasi didasarkan pada rata-rata dan varians total kerugian (kolektif). Walaupun menghasilkan premi yang lebih tinggi, prinsip ini sering digunakan pada jenis asuransi dengan variabilitas lebih tinggi seperti asuransi bencana alam [18]. Premi dengan prinsip standar deviasi dinotasikan sebagai PSD dan dirumuskan sebagai berikut:

$$P_{SD} = E(S) + \alpha \sqrt{\text{Var}(S)}, \quad \alpha > 0. \tag{17}$$

2.7. Tahapan Penelitian

Data penelitian menggunakan data sekunder yang berasal dari Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB) dan EM-DAT, mencakup data jumlah kejadian bencana dan kerugian yang terjadi selama periode 2000-2023. Data diolah menggunakan Microsoft Excel dan Easyfit 5.6.

Tahap pertama dalam penelitian ini adalah estimasi model distribusi frekuensi bencana alam, yang diasumsikan mengikuti model distribusi Poisson. Estimator dari model distribusi tersebut digunakan untuk menentukan nilai ekspektasi dan varians dari frekuensi bencana alam menggunakan pers. (3) dan pers. (4). Setelah itu, tahap kedua adalah estimasi model distribusi besarnya kerugian akibat bencana alam, yang diasumsikan mengikuti model distribusi Gamma dengan fungsi densitas probabilitas yang relevan menggunakan pers. (9). Estimator dari model distribusi Gamma ini digunakan untuk menentukan nilai ekspektasi dan varians dari besarnya kerugian akibat bencana alam melalui metode MLE.

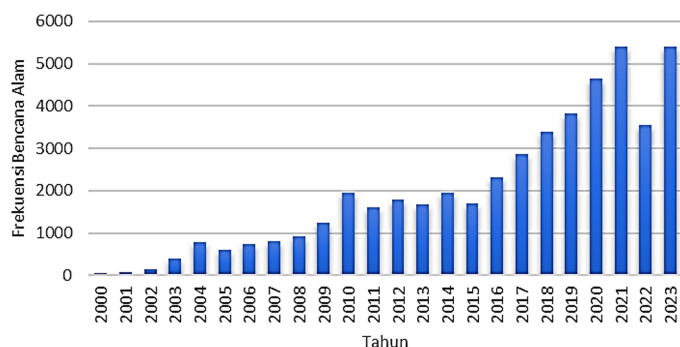
Tahap ketiga melibatkan penerapan CRM untuk menghitung risiko agregat dengan menggunakan pers. (12) dan pers. (13). Model ini digunakan sebagai dasar dalam penentuan

premi asuransi, memodelkan jumlah kejadian bencana dan besaran kerugian terkait, sehingga memungkinkan perhitungan risiko yang lebih akurat. Tahap terakhir adalah estimasi premi yang dilakukan berdasarkan prinsip *expected value* dan prinsip standar deviasi menggunakan pers. (16) dan pers. (17). Hal ini memberikan perusahaan asuransi pemahaman yang lebih baik dalam mengelola risiko bencana.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Estimasi Frekuensi Bencana Alam

Statistik frekuensi bencana alam ditampilkan dalam bentuk histogram pada Gambar 1.



Gambar 1. Histogram frekuensi bencana alam

Gambar 1 memperlihatkan sebaran data frekuensi bencana alam di Indonesia periode 2000-2023. Grafik menunjukkan tren peningkatan yang signifikan. Pada awal periode, jumlah bencana relatif rendah, sebesar 63 kejadian pada tahun 2000. Dua dekade berikutnya, frekuensi bencana terus meningkat, dengan beberapa periode lonjakan drastis, terutama pada dekade kedua. Sejak tahun 2010, ketika frekuensi bencana mencapai 1.945 kejadian, terlihat peningkatan yang hampir terjadi setiap tahun, hingga mencapai jumlah tertinggi pada tahun 2021 dengan 5.402 kejadian. Pada tahun 2022, frekuensi bencana menurun menjadi 3.544, tetapi kemudian kembali meningkat pada tahun 2023 dengan angka yang mendekati rekor sebelumnya, yaitu 5.400 kejadian.

Tabel 1. Statistik deskriptif frekuensi bencana alam

N	Minimum	Maksimum	Mean	Standar Deviasi
24	63	5,402	1,993	1,590

Tabel 1 menunjukkan statistik deskriptif frekuensi bencana alam dengan total pengamatan sebanyak 24 tahun. Rata-rata frekuensi bencana alam per tahun mencapai 1,993 kejadian, dengan standar deviasi sebesar 1,590, yang menunjukkan tingkat variasi kejadian dari tahun ke tahun. Frekuensi bencana alam tertinggi tercatat pada tahun 2021, yaitu sebanyak 5,402 kejadian, sedangkan frekuensi terendah terjadi pada tahun 2000 dengan 63 kejadian.

Data frekuensi bencana alam digunakan untuk mengestimasi model frekuensi bencana alam dengan proses Poisson. Langkah pertama untuk menentukan jumlah kasus yang terkonfirmasi dari bencana alam menggunakan proses Poisson adalah menentukan laju (λ) dengan mengasumsikan bahwa data mengenai frekuensi bencana alam valid dalam interval waktu $t = (0, 24]$.

Berdasarkan pers. (2), diperoleh

$$\lambda = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} = \frac{63 + 75 + 143 + \dots + 5400}{24} = 1993.$$

Berdasarkan hasil analisis, laju (λ) dari frekuensi bencana alam dari Januari 2000 hingga Desember 2023 adalah 1.993 kasus/tahun. Selanjutnya, dari nilai (λ), ekspektasi dan varians dari data frekuensi bencana alam sehingga didapat nilai ekspektasi dari frekuensi bencana alam berdasarkan pers. (3), yaitu:

$$E(N(t)) = (1993)(1) = 1993,$$

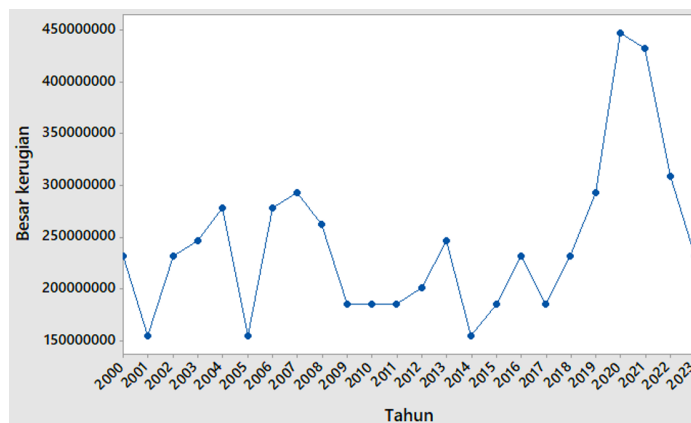
dan varians dari frekuensi bencana alam berdasarkan pers. (4), yaitu:

$$\text{Var}(N(t)) = (1993)(1) = 1993.$$

Berdasarkan hasil perhitungan, jumlah klaim yang diharapkan untuk kasus bencana alam dalam 1 tahun adalah 1.993. Sementara itu, varians dari kasus bencana alam dalam 1 tahun adalah 1.993. Nilai harapan dan varians dari jumlah frekuensi bencana alam ini digunakan dalam CRM.

3.2. Estimasi Besar Kerugian Bencana Alam

Statistik besar kerugian bencana alam ditampilkan dalam bentuk histogram pada Gambar 2.



Gambar 2. Histogram besar kerugian akibat bencana alam

Gambar 2 memperlihatkan sebaran data besar kerugian bencana alam di Indonesia pada periode 2000-2023 dalam jutaan rupiah. Grafik menunjukkan fluktuasi signifikan dalam besar kerugian dari tahun ke tahun. Puncak kerugian terjadi pada tahun 2020 dengan nilai kerugian mencapai lebih dari 400 juta rupiah. Lonjakan kerugian pada tahun 2020 diikuti dengan penurunan nilai kerugian yang konsisten hingga tahun 2023.

Tabel 2. Statistik deskriptif besar kerugian akibat bencana alam

N	Minimum	Maksimum
24	Rp154.458.500,00	Rp447.929.650,00
	Mean	Standar Deviasi
	Rp243.272.138,00	Rp75.976.709,00

Tabel 2 menunjukkan statistik deskriptif besar kerugian akibat bencana alam di Indonesia dengan total pengamatan sebanyak 24 tahun. Rata-rata kerugian akibat bencana alam per tahun bernilai Rp243.272.138,00 dengan standar deviasi senilai

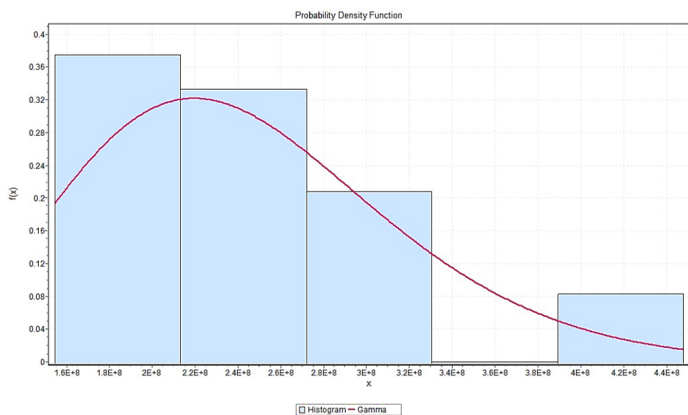
Tabel 3. Rangkuman goodness of fit

No.	Distribusi	Kolmogorov Smirnov		Anderson Darling		Chi-Squared	
		Statistik	Peringkat	Statistik	Peringkat	Statistik	Peringkat
1.	Gamma	0,1099	1	0,6192	8	0,3028	4
2.	Weibull	0,1151	2	1,192	14	0,1976	3
3.	Inv. Gaussian	0,1230	3	0,5011	6	0,4950	6
4.	Log-Gamma	0,1239	4	0,4814	3	0,7586	9
5.	Gen. Gamma	0,1247	5	0,6142	7	0,5468	8

Rp75.976.709,00. Jumlah kerugian akibat bencana alam tertinggi tercatat pada tahun 2020 senilai Rp447.929.650,00, sedangkan jumlah kerugian terkecil tercatat pada tahun 2001 dan 2005 senilai Rp154.458.500,00.

Identifikasi model distribusi untuk besar kerugian akibat bencana alam dilakukan menggunakan perangkat lunak statistik Easyfit 5.6 dengan metode MLE. Hasil uji Goodness of Fit berdasarkan lima peringkat terbaik distribusi dari data besar kerugian akibat bencana alam dapat dilihat pada **Tabel 3**.

Tabel 3 menunjukkan studi mengenai besar kerugian akibat bencana alam menggunakan model distribusi Gamma. Distribusi Gamma menunjukkan hasil yang konsisten dengan peringkat: uji Kolmogorov Smirnov pada peringkat 1, Anderson Darling pada peringkat 8, dan Chi-Squared pada peringkat 4. Selain itu, distribusi Gamma secara konsisten memiliki nilai statistik mendekati nol di ketiga uji tersebut. Identifikasi model distribusi Gamma terhadap besar kerugian akibat bencana alam juga dilakukan untuk menguji kesesuaian distribusi dari model yang telah diambil. Model distribusi besar kerugian akibat bencana alam dapat dilihat pada **Gambar 3**.



Gambar 3. Histogram besar kerugian akibat bencana alam berdistribusi gamma

Gambar 3 menunjukkan besar kerugian akibat bencana alam di Indonesia dengan model distribusi Gamma dengan parameter $\alpha = 10.252$ dan $\beta = 2.3728 \times 10^7$. Adapun ringkasan statistik dari distribusi Gamma ditentukan menggunakan perangkat lunak Easyfit 5.6. Hasil lengkap tersaji pada **Tabel 4**.

Tabel 4. Ringkasan statistik distribusi gamma

N	$E(X(t))$	$Var(X(t))$	Standar Deviasi
24	2.4327×10^8	5.7725×10^{15}	7.5977×10^7

Jika dihitung berdasarkan **pers. (8)**, ekspektasi atau rata-rata besar kerugian menggunakan parameter Gamma adalah se-

besar Rp 243.259.456,00, yang mendekati rata-rata aktual sebesar Rp 243.272.137.50. Hal ini menunjukkan bahwa distribusi Gamma memberikan aproksimasi yang cukup baik terhadap data kerugian aktual. Selain itu, perhitungan varians besar kerugian berdasarkan **pers. (9)** menghasilkan nilai sebesar Rp 5.7721×10^{15} . Nilai ekspektasi dan varians yang akan digunakan untuk pengolahan data diambil dari ringkasan statistik EasyFit 5.6 untuk mempermudah analisis data.

3.3. Analisis Risiko Kolektif

Perhitungan risiko kolektif dari data frekuensi dan besar kerugian akibat bencana alam dilakukan untuk menentukan prediksi premi yang sesuai untuk dibebankan kepada tertanggung. Model risiko kolektif (CRM) mempertimbangkan dua indikator, yaitu jumlah kejadian $N(t)$ dan jumlah kerugian $X(t)$ dari bencana alam yang terjadi di Indonesia. Perhitungan ekspektasi risiko kolektif pada kasus bencana alam dalam rupiah menggunakan **pers. (14)** menghasilkan:

$$\begin{aligned}
 E(S) &= E(N) E(X) \\
 &= (1993) (2.4327 \times 10^8) \\
 &= 484,837,110,000,
 \end{aligned}$$

sedangkan perhitungan varians risiko kolektif pada kasus bencana alam menggunakan **pers. (15)**, menghasilkan:

$$\begin{aligned}
 Var(S) &= E(N) Var(X) + Var(N) [E(X)]^2 \\
 &= (1993) (5.7725 \times 10^{15}) + (1993) (2.4327 \times 10^8)^2 \\
 &= (1.1505 \times 10^{19}) + (1.1795 \times 10^{20}) \\
 &= 1.2945 \times 10^{20}.
 \end{aligned}$$

Nilai harapan dan varians dari model risiko kolektif pada kasus bencana alam yang diperoleh sebelumnya dapat digunakan untuk memprediksi premi asuransi yang harus dibayar oleh pemegang polis.

3.4. Perhitungan Premi Asuransi

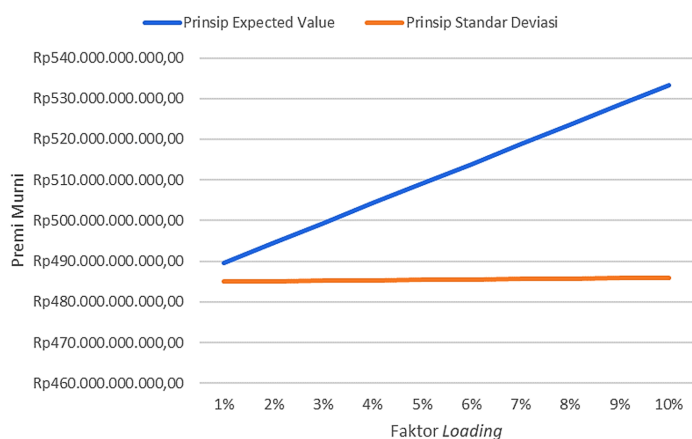
Premi merupakan kompensasi atas risiko bencana alam yang mungkin terjadi pada perusahaan asuransi. Jumlah premi tergantung pada risiko kolektif, yang mencakup jumlah kejadian dan besarnya kerugian dari bencana alam. Selain itu, jumlah premi harus lebih besar dari jumlah klaim yang akan terjadi. Jika premi yang ditentukan lebih kecil dari jumlah klaim kolektif, maka perusahaan asuransi akan mengalami kerugian sehingga faktor loading (tingkat bunga bebas risiko) digunakan dalam menentukan premi. Penelitian ini menggunakan faktor loading (α) dalam rentang 1% hingga 10% untuk menentukan premi asuransi. Faktor

loading (α) berada dalam interval 1% hingga 10% karena perusahaan asuransi pada umumnya menggunakan faktor biaya yang berbeda, namun berada dalam interval 1% – 10%. Hasil perhitungan premi asuransi menggunakan pers. (16) dan pers. (17), diberikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Premi murni dengan prinsip *expected value* dan prinsip standar deviasi

(α)	Premi murni dengan prinsip <i>expected value</i> (P_{EV})	Premi murni dengan prinsip standar deviasi (P_{SD})
1%	Rp 489.685.481.100,00	Rp 484.950.886.535,37
2%	Rp 494.533.852.200,00	Rp 485.064.664.070,73
3%	Rp 499.382.223.300,00	Rp 485.178.439.606,10
4%	Rp 504.230.594.400,00	Rp 485.292.216.141,47
5%	Rp 509.078.685.500,00	Rp 485.405.992.676,83
6%	Rp 513.927.336.600,00	Rp 485.519.769.212,20
7%	Rp 518.775.707.700,00	Rp 485.633.545.747,57
8%	Rp 523.624.078.800,00	Rp 485.747.322.282,93
9%	Rp 528.472.449.900,00	Rp 485.861.098.818,30
10%	Rp 533.320.821.000,00	Rp 485.974.875.353,67

Tabel 5 menunjukkan bahwa penentuan premi murni asuransi bencana alam menggunakan prinsip *expected value* menghasilkan nilai yang meningkat seiring dengan bertambahnya faktor biaya. Prinsip standar deviasi juga menunjukkan peningkatan premi seiring kenaikan faktor biaya, tetapi perubahan premi berdasarkan peningkatan faktor biaya pada prinsip *expected value* jauh lebih besar dibandingkan prinsip standar deviasi. Selain itu, terlihat bahwa premi asuransi murni bencana alam yang dihitung menggunakan prinsip standar deviasi lebih rendah dibandingkan premi berdasarkan prinsip *expected value* pada faktor biaya yang sama. Dengan begitu, prinsip standar deviasi dinilai lebih sesuai untuk perhitungan premi asuransi bencana alam.



Gambar 4. Grafik perbandingan premi dengan prinsip *expected value* dan prinsip standar deviasi

Gambar 4 menunjukkan perbandingan premi asuransi bencana alam dengan prinsip *expected value* dan prinsip standar deviasi. Premi dengan prinsip *expected value* memiliki nilai yang terus meningkat seiring dengan peningkatan faktor biaya yang diberikan. Prinsip standar deviasi juga terus meningkat seiring dengan peningkatan faktor biaya yang diberikan. Namun, selisih premi berdasarkan peningkatan nilai faktor biaya dari prinsip *expected value* sangat besar dibandingkan dengan prinsip standar

deviasi. Selain itu, berdasarkan Gambar 4, prinsip standar deviasi menghasilkan premi asuransi bencana alam yang lebih rendah dibandingkan dengan prinsip *expected value* pada faktor biaya yang sama. Oleh karena itu, prinsip standar deviasi lebih sesuai digunakan dalam perhitungan premi asuransi bencana alam yang rentan terhadap varians risiko yang tinggi. Prinsip standar deviasi mempertimbangkan tingkat variasi risiko melalui standar deviasi, sedangkan prinsip *expected value* hanya memperhitungkan nilai rata-rata kerugian tanpa mempertimbangkan variasi risiko.

4. Kesimpulan

Berdasarkan analisis menggunakan proses Poisson, ekspektasi dan varians frekuensi bencana alam di Indonesia pada periode 2000-2023 adalah sebanyak 1.993 kasus per tahun. Besar kerugian akibat bencana alam pada periode yang sama mengikuti distribusi Gamma dengan ekspektasi sebesar $2,4327 \times 10^8$ dan varians sebesar $5,7725 \times 10^{15}$. Total kerugian akibat bencana alam yang dihitung menggunakan metode CRM menunjukkan ekspektasi sebesar Rp 484.837.110.000,00 dan varians sebesar Rp $1,29451 \times 10^{20}$. Selain itu, perhitungan premi asuransi bencana alam berdasarkan CRM dilakukan menggunakan prinsip *expected value* dan prinsip standar deviasi. Hasil analisis menunjukkan bahwa premi yang dihitung menggunakan prinsip standar deviasi memiliki fluktuasi lebih kecil, sehingga dinilai lebih efisien dibandingkan dengan premi yang dihitung menggunakan prinsip *expected value*.

Kontribusi Penulis. Feby Indriana Yusuf: Konseptualisasi, Metodologi, Perangkat Lunak, Validasi, Analisis Formal. Puti Zakiyah Raisa Adi: Sumber daya, kurasi data. Treacy Elisabet Tioralina Saragih: Penulisan—persiapan draft asli, Penulisan—tinjauan dan penyuntingan, Visualisasi. Semua penulis telah membaca dan menyetujui versi manuskrip yang diterbitkan.

Ucapan Terima Kasih. Penulis mengucapkan terima kasih kepada para editor dan reviewer atas segala kontribusi, masukan, dan arahan yang sangat berharga dalam proses penerbitan artikel ini. Melalui dedikasi dan perhatian yang telah diberikan, artikel ini dapat diterbitkan dengan baik dan mencapai kualitas yang lebih optimal. Semoga kerjasama ini dapat memberikan manfaat yang lebih luas dalam bidang keilmuan.

Pembiayaan. Penelitian ini tidak menerima pendanaan dari pihak eksternal.

Konflik Kepentingan. Para penulis menyatakan tidak ada konflik kepentingan yang terkait dengan artikel ini.

Referensi

- [1] M. Fuady, R. Munadi, and M. A. K. Fuady, "Disaster mitigation in Indonesia: between plans and reality," in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2021, pp. 1-10.
- [2] R. S. Oktari, K. Munadi, R. Idroes, and H. Sofyan, "Knowledge management practices in disaster management: systematic review," *International Journal of Disaster Risk Reduction*, vol. 51, no. 101881, pp. 1-15, Dec. 2020, doi: 10.1016/j.ijdr.2020.101881.
- [3] D. Dubelmar, M. A. D. Kartini, S. Mareli, and M. Soedarno, "Natural disaster insurance policy in Indonesia: proposing an institutional design," *Advances in Social Science, Education and Humanities Research*, vol. 558, pp. 277-284, May 2021, doi: 10.2991/assehr.k.210531.035.
- [4] P. Zlateva and D. Velev, "A method for risk assessment from natural disasters using an actuarial model," *Journal of Economics, Business and Management*, vol. 4, no. 5, pp. 395-399, May 2016, doi: 10.18178/joebm.2016.4.5.424.

- [5] B. Subartini, P. P. Damayanti, S. Supian, R. Budiono, M. K. A. Kamarudin, A. Ghazali, and M. B. Gasim, "Fuzzy inference system of Tsukamoto method in decision making on determination of insurance premium amount for due damages of flood natural disaster," *Journal of Fundamental and Applied Sciences*, vol. 10, no. 1S, pp. 79-94, Mar. 2018, doi: [10.4314/jffas.v10i1s.6](https://doi.org/10.4314/jffas.v10i1s.6).
- [6] Kalfin, Sukono, S. Supian, M. Mamat, and A. T. Bot, "Model for determining natural disaster insurance premiums in Indonesia using the black Scholes method," in *Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*, 2020, pp. 2376-2385.
- [7] N. Sukono, I. Aisah, Y. R. H. Tampubolon, H. Napitupulu, S. Supian, N. Subiyanto, and P. Sidi, "Estimated value of insurance premium due to Citarum River flood by using Bayesian method," in *IOP Conference Series Materials Science and Engineering*, vol. 32, no. 012047, Mar. 2018, pp. 1-10.
- [8] Sukono, Kalfin, Riaman, S. Supian, Y. Hidayat, J. Saputra, and M. Mamat, "Determination of the natural disaster insurance premiums by considering the mitigation fund reserve decision: an application of collective risk model," *Decision Science Letters*, vol. 11, pp. 211-222, Jan. 2022, doi: [10.5267/j.dsl.2022.4.002](https://doi.org/10.5267/j.dsl.2022.4.002).
- [9] E. A. Ash-Shidiqqi, "Alternatif Strategi Pembiayaan Asuransi Bencana Alam di Indonesia," *Journal of Governance and Policy Innovation*, vol. 1, no. 2, pp. 111-119, Oct. 2021, doi: [10.51577/jgpi.v1i2.160](https://doi.org/10.51577/jgpi.v1i2.160).
- [10] A. Rachman, A. Sahib, and A. F. Nugroho, *Manajemen Risiko dan Asuransi*, 1st ed., Solok, Indonesia: PT Mafy Media Literasi Indonesia, 2024.
- [11] U. M. Alawiyah, D. A. Johar, and B. N. Ruchjana, "Homogeneous Poisson process in daily case of Covid-19," *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 1722, no. 012078, pp. 1-5, Jan. 2020, doi: [10.1088/1742-6596/1722/1/012078](https://doi.org/10.1088/1742-6596/1722/1/012078).
- [12] Satu Data Indonesia, "Data Bencana, Banyak Korban, dan Kerugian (2017-2019) di Kota Batu," *Satu Data Indonesia*, 2022. [Online]. Available: <https://katalog.data.go.id/dataset/data-bencana-banyak-korban-dan-kerugian-2017-2019>. [Accessed: 6-Oct-2024].
- [13] J. L. Devore, *Probability and Statistics for Engineering and the Sciences*, 9th ed., Boston, MA: Cengage Learning, 2015.
- [14] R. E. Walpole, R. H. Myers, S. L. Myers, and K. Ye, *Probability and Statistics for Engineers and Scientists*, 9th ed., Macmillan, New York: Pearson Education, Inc., 1993.
- [15] S. A. Klugman, H. H. Panjer, and G. E. Willmot, *Loss Models: From Data to Decisions*, 5th ed., Hoboken, New Jersey: John Wiley and Sons, Inc., 2019.
- [16] D. C. M. Dickson, M. R. Hardy, and H. R. Waters, *Actuarial Mathematics for Life Contingent Risks*, 3rd ed., Cambridge, Inggris: Cambridge University Press, 2020.
- [17] T. Mikosch, *Non-Life Insurance Mathematics: An Introduction with Stochastic Processes*, 1st ed., Heidelberg, Jerman: Springer, 2009.
- [18] R. Kusumadewi, Riaman, and Sukono, "Determining the price of fisherman micro insurance premiums using the aggregate risk model approach in Cirebon regency," *International Journal of Quantitative Research and Modelling*, vol. 3, no. 3, pp. 118-123, 2022.