

Solusi Numerik Teorema Probabilitas Total Gempa Bumi dengan Aproksimasi Distribusi Normal

Mochamad Abda Akbar Akasyah*, Sutawanir Darwis

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

alamatpertama@email.com, alamatkedua@email.com, alamatketiga@email.com

Abstract. This study discusses the application of the normal cumulative distribution approximation method to solve Probabilistic Seismic Hazard Analysis (PSHA). The primary focus of this research is to develop a sequential integral hazard computation approach using normal distribution approximation while considering the epicentral distance of earthquakes relative to the study location. The analysis is conducted using earthquake data from Morioka, Japan, spanning the years 2015 to 2023. This study compares sequential calculation methods with two approximation methods, namely the Tocher and Lin methods, to evaluate the effectiveness of each approach. The results indicate that the Lin approximation method provides values closer to the exact solution compared to the other methods. The peak ground acceleration (PGA) obtained is 0.2g, with an occurrence frequency of 0.0001663 times per year. The hazard curve reveals that the addition of earthquake data does not significantly impact the results beyond a certain threshold.

Keywords: *PSHA, Normal Distribution Approximation, PGA, Earthquake, Tocher Method, Lin Method.*

Abstrak. Penelitian ini membahas penerapan metode aproksimasi distribusi kumulatif normal untuk menyelesaikan Probabilistic Seismic Hazard Analysis (PSHA). Fokus utama penelitian adalah mengembangkan pendekatan komputasi integral hazard sekuensial secara aproksimasi distribusi normal dengan mempertimbangkan jarak episentrum gempa terhadap lokasi penelitian. Analisis dilakukan dengan menggunakan data gempa bumi kota Morioka, Jepang, tahun 2015 sampai 2023. Penelitian ini membandingkan metode perhitungan sekuensial dengan dua metode aproksimasi, yaitu metode Tocher dan Lin, untuk menentukan efektivitas masing-masing pendekatan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode aproksimasi Lin memberikan hasil yang lebih mendekati nilai eksakta dibandingkan metode lainnya. Nilai puncak percepatan tanah (PGA) yang dihasilkan adalah 0.2g dengan frekuensi kejadian sebesar 0.0001663 kali per tahun. Kurva hazard menunjukkan bahwa penambahan data gempa tidak memberikan dampak signifikan setelah titik tertentu.

Kata Kunci: *PSHA, Aproksimasi Distribusi Normal, PGA, Gempa Bumi, Metode Tocher, Metode Lin.*

A. Pendahuluan

Gempa bumi adalah guncangan yang terjadi di permukaan bumi akibat terjadinya pelepasan energi dari dalam kerak bumi yang menciptakan gelombang seismik. Gempa bumi umumnya disebabkan oleh pergerakan lempeng tektonik yang saling bertabrakan, bergeser, atau menjauh satu sama lain. Ketika tegangan di kerak bumi terlepas secara tiba-tiba, energi tersebut menyebabkan getaran yang kita rasakan sebagai gempa. Magnitudo gempa bumi diukur menggunakan Skala Richter, yang menunjukkan seberapa kuat gempa tersebut. Skala ini logaritmik, sehingga setiap peningkatan satu angka menunjukkan penguatan gempa sekitar sepuluh kali lipat. Skala ini membantu kita memahami seberapa besar energi yang dilepaskan selama gempa bumi dan seberapa besar potensi kerusakan yang dapat terjadi. Sebagaimana yang dijelaskan dalam QS. Al-Zalzalah ayat 1-2 yaitu:

أَنفَالَهَا الْأَرْضُ وَأُخْرِجَتْ زُلْزَالَةُ الْأَرْضِ زُلْزَلَتْ إِذَا

Artinya:

“apabila bumi digoncangkan dengan guncangan (yang dahsyat), dan bumi telah mengeluarkan beban-beban berat (yang dikandung)nya”.

Menurut tafsir as-Sa'di pada ayat 1 dan 2 “Allah memberitahukan tentang apa yang terjadi pada Hari Kiamat. Bumi bergoncang dan bergoyang hingga meruntuhkan bangunan dan gunung yang ada di atasnya. Gunung digoncang dan diratakan puing-puingnya hingga menjadi hamparan tanah luas yang tidak ada celahnya. “Dan bumi telah mengeluarkan beban-beban berat (yang dikandungnya),” yakni apa saja yang ada di perutnya berupa mayat dan yang tersimpan bumi.

Terdapat Terdapat dua metode untuk menghitung *Peak Ground Acceleration* (PGA): Deterministic Seismic Hazard Analysis (DSHA) dan Probabilistic Seismic Hazard Analysis (PSHA). DSHA menggunakan data pasti seperti magnitude, jarak dan kedalaman sumber gempa. Metode ini sederhana namun tidak mempertimbangkan probabilitas dan ketidakpastian terkait gempa. PSHA menggunakan teori probabilitas total, memperhitungkan ketidakpastian dalam magnitude, jarak, dan waktu terjadinya gempa (Raisa Filmi Suryahadikusumah & Sutawanir Darwis, 2024). PSHA memberikan hasil yang lebih rasional karena mengintegrasikan berbagai skenario ketidakpastian.

Teorema Probabilitas Total adalah konsep penting dalam teori probabilitas yang digunakan untuk menghitung probabilitas suatu peristiwa dengan mempertimbangkan semua kemungkinan dari beberapa peristiwa yang saling terikat. Teorema ini bermanfaat untuk menyederhanakan perhitungan probabilitas dari peristiwa yang kompleks dengan membaginya menjadi bagian-bagian yang lebih kecil dan lebih mudah dikelola.

Integral hazard merupakan law of total probability sulit diselesaikan secara analitik. Makrup et al (2015). menerapkan metode numerik untuk menyelesaikan integral hazard. Skripsi ini menerapkan aproksimasi fungsi distribusi kumulatif normal untuk menyelesaikan integral hazard. Proses komputasi integral hazard dan aproksimasi distribusi normal dilakukan secara sekuensial dengan mempertimbangkan jarak.

Aproksimasi adalah suatu metode untuk mendapatkan nilai perkiraan yang mendekati nilai sebenarnya. Dalam matematika dan ilmu pengetahuan lainnya, aproksimasi digunakan untuk menyederhanakan perhitungan atau untuk mendekati suatu nilai apabila tidak dapat diselesaikan secara analitik. Maka aproksimasi merupakan salah satu alternatif apabila suatu permasalahan tidak bisa dihitung secara analitik.

Aproksimasi distribusi normal adalah pendekatan untuk menggunakan distribusi normal sebagai pengganti distribusi lainnya (seperti binomial atau Poisson) ketika kondisi tertentu terpenuhi. Hal ini dilakukan karena distribusi normal lebih sederhana untuk dihitung dan memiliki banyak sifat matematis yang berguna. Aproksimasi ini berguna dalam analisis statistik, khususnya untuk menghitung probabilitas atau mendekati nilai distribusi lain.

Jepang merupakan negara yang sering terjadi gempa bumi disebabkan lokasinya di atas cincin api pasifik. Cincin api pasifik merupakan wilayah yang memiliki aktivitas seismik dan vulkanik tinggi, jalur tersebut mencakup lebih dari 75% gunung berapi aktif di dunia. Dan juga jepang dihadapkan oleh 4 lempeng tektonik: lempeng pasifik sebelah timur, lempeng filipina sebelah tenggara, lempeng amerika utara sebelah utara, lempeng Eurasia sebelah barat daya.

Dalam penelitian ini kami akan menerapkan metode yang diajukan Makrup et al (2015) dalam menghitung PGA dengan menggunakan aproksimasi distribusi normal. Diharapkan penelitian ini dapat membantu untuk alternatif metode sekuensial.

Landasan teori atau tinjauan pustaka dapat dimasukkan pada bagian pendahuluan ini. Teori dasar dari buku terbitan nasional (Ahmadi, 2024) maupun internasional (Yuwono, 2022) dapat dituliskan sebagai kutipan. Selain itu, kutipan dari hasil penelitian terbaru baik dari prosiding (Habib Reza Pahlawan et al., 2024) maupun jurnal ilmiah juga harus dimuat pada bagian pendahuluan ini. Tuliskan kutipan yang relevan dengan tema atau topik penelitian yang berasal dari jurnal ilmiah nasional (Nu'man, 2024) maupun internasional (Mohd Shafie et al., 2024). Usahakan untuk mengutip dari jurnal-jurnal terbaru (waktu terbitan). Kutipan juga bisa berasal dari tugas akhir, skripsi atau tesis yang tersedia di laman *repository* (Mahdy, 2021). Penulis dapat pula menuliskan kutipan dari media massa baik cetak (Taja, 2025) maupun elektronik atau *online* (Chairunnisa, 2025). Sedangkan kutipan dari Blog pribadi dan *posting* media sosial tidak perlu dituliskan.

Law of total probability (LTP) dalam peluang bersyarat (Taylor dan Karlin, 1998) rumusnya sebagai berikut:

$$P(X = x) = \sum_{y=0}^{\infty} P_{X|Y}(x|y)P_Y(Y = y) \quad \dots (1)$$

Probabilistic seismic hazard analysis adalah metode yang digunakan dalam analisis bahaya seismic berdasarkan definisi dari fungsi distribusi probabilitas dengan menggunakan ketidakpastian dari skala kejadian gempa bumi, frekuensi kejadian dan lokasi kejadian gempa untuk memperoleh level risiko kejadian gempa di lokasi penelitian (Susilo & Adnan, 2013).

B. Metode

Intensitas Pergerakan Tanah (PGA) memperkirakan pergerakan tanah dengan menggunakan distribusi probabilitas pergerakan tanah sebagai fungsi dari berbagai prediktor seperti magnitudo gempa, jarak, dan patahan. Oleh karena itu, model prediksi ini harus menyediakan distribusi probabilitas untuk intensitas, bukan hanya satu intensitas saja.

Cornell et al. (1979) mengusulkan model prediktif berikut untuk rata-rata percepatan puncak tanah dalam logaritma (dalam satuan g):

$$\ln \text{PGA} = -0.152 + 0.859M - 1.803 \ln(R + 25) \quad \dots (2)$$

Karena logaritma alami dari PGA terdistribusi secara normal, kita dapat menghitung probabilitas melebihi setiap tingkat PGA dengan menggunakan informasi tentang rata-rata dan standar deviasi ini.

$$P(\text{PGA} > x|m, r) = 1 - \Phi\left(\frac{\ln x - \overline{\ln \text{PGA}}}{\sigma \ln \text{PGA}}\right) \quad \dots (3)$$

Dimana Φ adalah fungsi distribusi kumulatif normal standar.

PSHA engan informasi yang sudah ada, dengan menggabungkan persamaan *Law of Total Probability*, persamaan densitas magnitudo, persamaan densitas jarak site ke patahan dan persamaan mean lognormal, menjadi

$$P(A > a) = \int \int_M^R \left(1 - \Phi\left(\frac{\ln a - \mu_{\ln A}}{\sigma_{\ln A}}\right)\right) \times \beta e^{-\beta(m-m_0)} \times \frac{r}{50\sqrt{r^2 - 50^2}} dm dr \quad \dots (4)$$

Persamaan (4) tidak dapat diselesaikan secara analitik. (Makrup et al, 2015). mengembangkan solusi numerik untuk menyelesaikan *Law of Total Probability* (1). (Baker, 2008) mengembangkan metode diskritisasi untuk persamaan (4).

$$P(A > a) = \sum_{j=1}^{n_M} \sum_{k=1}^{n_R} \left(1 - \Phi\left(\frac{\ln a - \mu_{\ln A}}{\sigma_{\ln A}}\right)\right) P(M = m_j) P(R = r_k) \quad \dots (5)$$

Skripsi ini mengusulkan proses komputasi sekuensial untuk menyelesaikan integral *Hazard* berdasarkan jarak pusat gempa terhadap site Teheran. Proses komputasi sekuensial dibatasi pada titik-titik gempa di ruang dimensi satu dengan memproyeksikan koordinat titik gempa terhadap koordinat *latitude* (lintang).

Aproksimasi merupakan metode pendekatan untuk mendapatkan nilai yang mendekati nilai sebenarnya dengan cara menyederhanakan perhitungan. Pada penelitian ini menggunakan fungsi distribusi kumulatif normal yang rumusnya disajikan sebagai berikut:

$$f(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{z^2}{2}}, \quad -\infty < z < \infty \quad \dots (6)$$

Maka fungsi distribusi kumulatif dari nilai z rumusnya disajikan sebagai berikut:

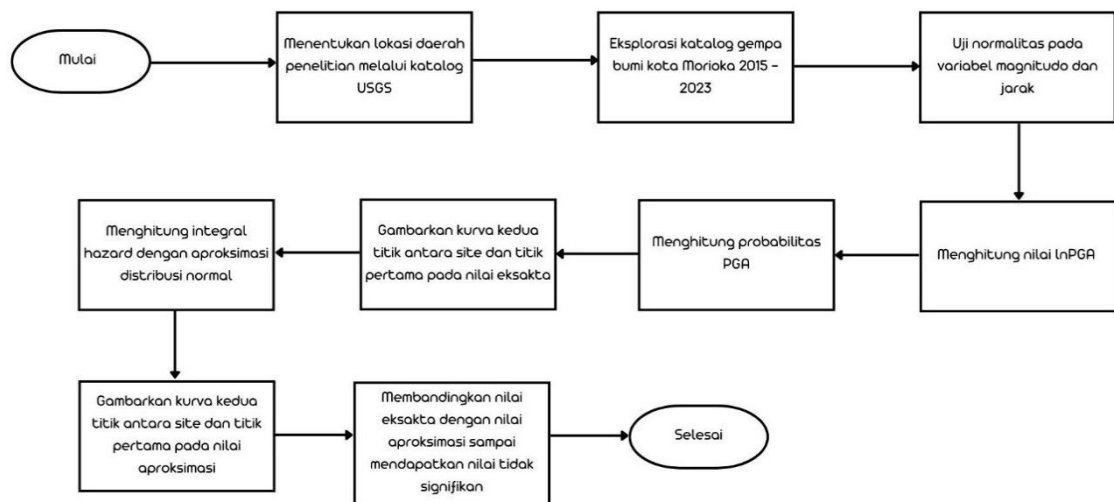
$$\Phi(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^z e^{-\frac{t^2}{2}} dt \quad \dots (7)$$

lalu Tocher menyajikan bentuk aproksimasi $\Phi \approx \hat{\Phi}$ tertutup dengan rumus disajikan sebagai berikut:

$$\Phi_1 = \frac{1}{1 + e^{-2\sqrt{\frac{2}{\pi}}z}} \quad \dots (8)$$

Jika $z < 0$, dapat menggunakan sifat simetri dari distribusi normal melalui hubungan $\phi(z) = 1 - \phi(-z)$. Rumusan aproksimasi menurut Lin (1990) disajikan sebagai berikut:

$$\Phi_2(z) = \frac{1}{1 + e^{-\frac{4.2\pi z}{9-z}}}, \quad 0 \leq z < 9 \quad \dots (9)$$



Gambar 2. 1 Tahapan Analisis

C. Hasil Penelitian dan Pembahasan

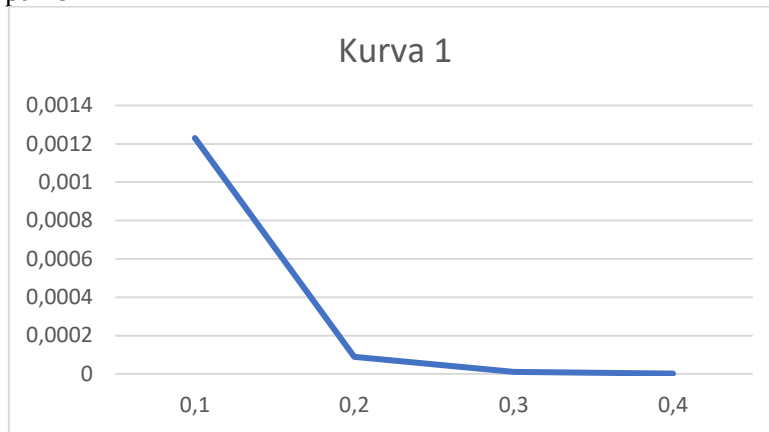


Gambar 3.1 Gambar Titik Gempa

Berdasarkan gambar tersebut, dapat diketahui bahwa banyak kejadian gempa bumi di sekitar kota Morioka yang dihasilkan selama tahun 2015 sampai 2023 dengan total 23 kejadian di beberapa titik distrik Iwate, dengan magnitudo terbesar 6 yang dan untuk rata-rata magnitudo yang terjadi sebesar 5 mb.

Hasil Komputasi Sekuensial Integral Hazard

Titik gempa ke 1

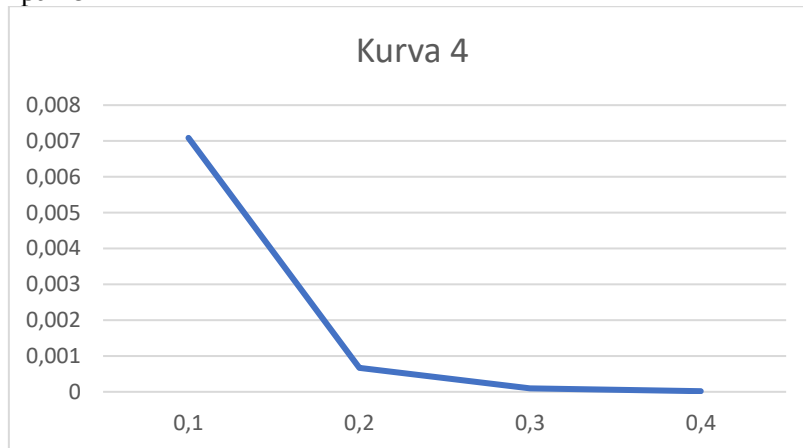
**Gambar 3.2** Grafik Kurva Sekuensial Titik Ke 1

$$\begin{aligned}\ln PGA &= -0.152 + 0.859(4) - 1.803 \ln(10+25) \\ &= -2.96\end{aligned}$$

Setelah mendapatkan nilai $\ln PGA$ dan nilai $\sigma \ln PGA$ sebesar 0.57 dengan mengacu pada Baker lalu menghitung nilai PGA dengan menggunakan persamaan 2.16

$$\begin{aligned}P(PGA > x|4,10) &= 1 - \Phi\left(\frac{\ln x - \ln PGA}{\sigma \ln PGA}\right) \\ &= 1 - \Phi\left(\frac{-2.30 - (-2.96)}{0.57}\right) \\ &= 0.12302 \\ 0.01P(PGA > x|4,10) &= 0.001230\end{aligned}$$

Titik gempa ke 4

**Gambar 3.3** Grafik Kurva Sekuensial Titik Ke 4

$$\begin{aligned}\ln PGA &= -0.152 + 0.859(4) - 1.803 \ln(12+25) \\ &= -2.89\end{aligned}$$

Setelah mendapatkan nilai $\ln PGA$ dan nilai $\sigma \ln PGA$ sebesar 0.57 dengan mengacu pada Baker lalu menghitung nilai PGA dengan menggunakan persamaan 2.16

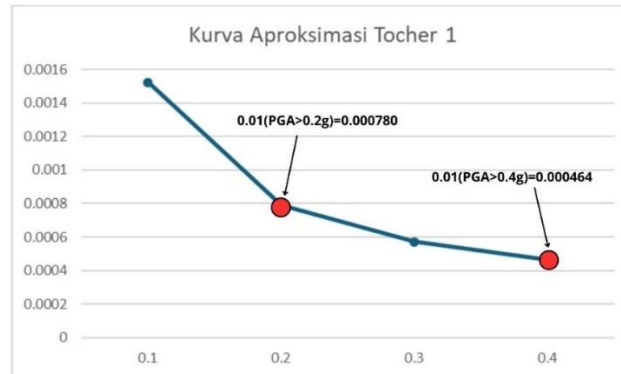
$$\begin{aligned}P(PGA > x|4,12) &= 1 - \Phi\left(\frac{\ln x - \ln PGA}{\sigma \ln PGA}\right) \\ &= 1 - \Phi\left(\frac{-2.30 - (-2.89)}{0.57}\right) \\ &= 0.14917 \\ 0.01P(PGA > x|4,12) &= 0.001492\end{aligned}$$

Setelah didapat nilai PGA dan laju tanah pertahun maka tambahkan nilai titik gempa ke 1, 2 dan 3 dengan hasil nilai PGA pada titik gempa ke 4 untuk menghasilkan kurva ke 4

$$\begin{aligned}
 &0.01P(PGA > x|5,9) \\
 &+ 0.01P(PGA > x|5,12) \\
 &+ 0.01P(PGA > x|4,10) \\
 &+ 0.01P(PGA > x|4,12) \\
 &= 0.001230 + 0.0023885 + 0.001977 \\
 &\quad + 0.001492 \\
 &= 0.007087
 \end{aligned}$$

Hasil Komputasi Aproksimasi Distribusi Normal

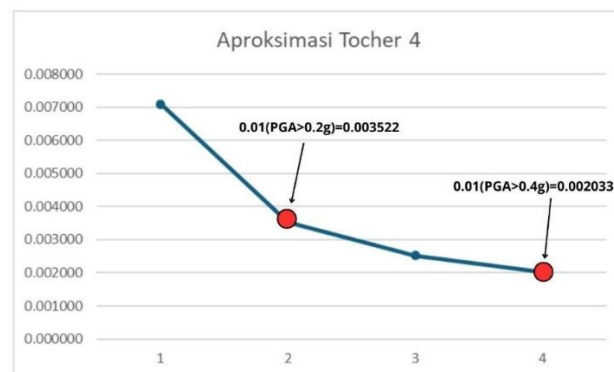
1. Metode Aproksimasi menurut Tocher
Titik gempa ke 1



Gambar 3.4 Grafik Kurva Aproksimasi Tocher Titik Ke 1

$$\begin{aligned}
 \Phi(z) &= \frac{1}{1 + e^{-2\sqrt{\frac{2}{\pi z}}}} \\
 &= \frac{1}{1 + e^{-2\sqrt{\frac{2}{(3.14)(1.16)}}}} \\
 &= 0.84770 \\
 P(PGA > x|4,10) &= 0.15230 \\
 0.01P(PGA > x|4,10) &= 0.0015230
 \end{aligned}$$

Titik gempa ke 4



Gambar 3.4 Grafik Kurva Aproksimasi Tocher Titik Ke 4

$$\begin{aligned}
 \Phi(z) &= \frac{1}{1 + e^{-2\sqrt{\frac{2}{\pi z}}}} \\
 &= \frac{1}{1 + e^{-2\sqrt{\frac{2}{(3.14)(1.04)}}}} \\
 &= 0.83578
 \end{aligned}$$

$$P(PGA > x|4,12) = 0.164220$$

$$0.01P(PGA > x|4,12) = 0.001642$$

Setelah didapat nilai aproksimasi tocher dan laju tanah pertahun maka tambahkan nilai titik gempa ke 1, 2 dan 3 dengan hasil nilai aproksimasi tocher pada titik gempa ke 4 untuk menghasilkan kurva ke 4

$$0.01P(PGA > x|5,9)$$

$$+0.01P(PGA > x|4,11) = 0.001523 + 0.002068 + 0.001867$$

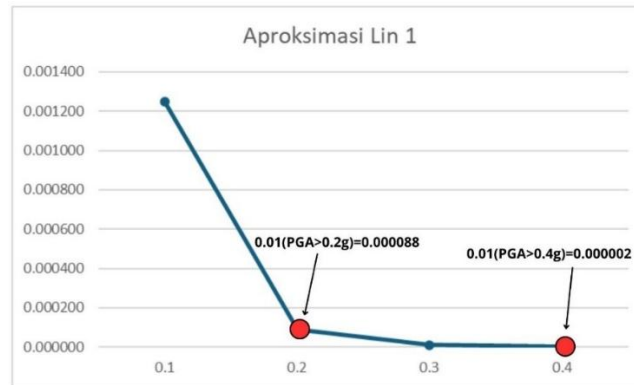
$$+0.01P(PGA > x|4,10) + 0.001642$$

$$+0.01P(PGA > x|4,12)$$

$$= 0.007100$$

2. Metode Aproksimasi menurut Lin

Titik gempa ke 1



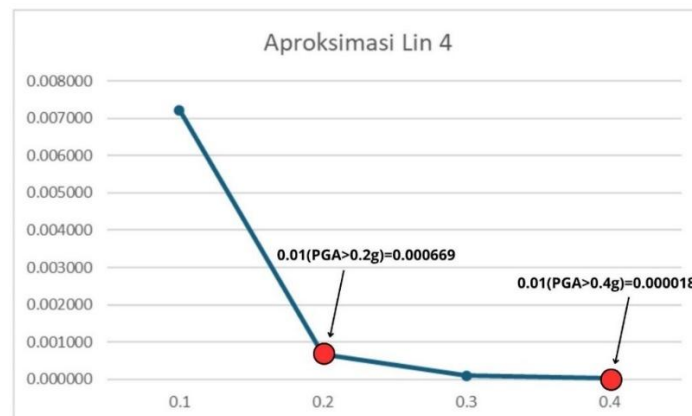
Gambar 3.5 Grafik Kurva Aproksimasi Lin Titik Ke 1

$$\begin{aligned}\Phi_2(z) &= \frac{1}{1 + e^{-\frac{4.2\pi z}{9-z}}} \\ &= \frac{1}{1 + e^{-\frac{4.2(3.14)(1.16)}{9-(1.16)}}} \\ &= 0.87499\end{aligned}$$

$$P(PGA > x|4,10) = 0.12501$$

$$0.01P(PGA > x|4,10) = 0.00125$$

Titik gempa ke 4



Gambar 3.6 Grafik Kurva Aproksimasi Lin Titik Ke 4

$$\begin{aligned}\Phi_2(z) &= \frac{1}{1 + e^{-\frac{4.2\pi z}{9-z}}}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{1}{1 + e^{\frac{4.2(3.14)(1.04)}{9-(1.04)}}} \\
 &= 0.84844 \\
 P(PGA > x|4,12) &= 0.15156 \\
 0.01P(PGA > x|4,12) &= 0.001516
 \end{aligned}$$

Setelah didapat nilai aproksimasi lin dan laju tanah pertahun maka tambahkan nilai titik gempa ke 1, 2 dan 3 dengan hasil nilai aproksimasi lin pada titik gempa ke 4 untuk menghasilkan kurva ke 4

$$\begin{aligned}
 &0.01P(PGA > x|5,9) \\
 &+ 0.01P(PGA > x|4,11) \\
 &+ 0.01P(PGA > x|4,10) \\
 &+ 0.01P(PGA > x|4,12) \\
 &= 0.001250 + 0.002444 + 0.002015 \\
 &= 0.007226
 \end{aligned}$$

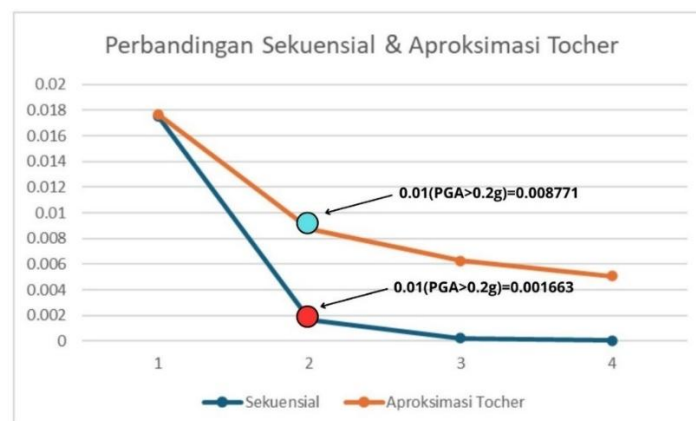
Pembandingan Sekuensial dan Aproksimasi

1. Membandingkan metode sekuensial dan aproksimasi metode tocher

Tabel 3. 1 Perbandingan Sekuensial dan Aproksimasi Tocher

Sekuensial	Aproksimasi Tocher
0.017531	0.017673
0.001663	0.008771
0.000235	0.006285
0.000004	0.005065

Sumber: Data Hasil Perhitungan Katalog Gempa Bumi Morioka Tahun 2015-2023



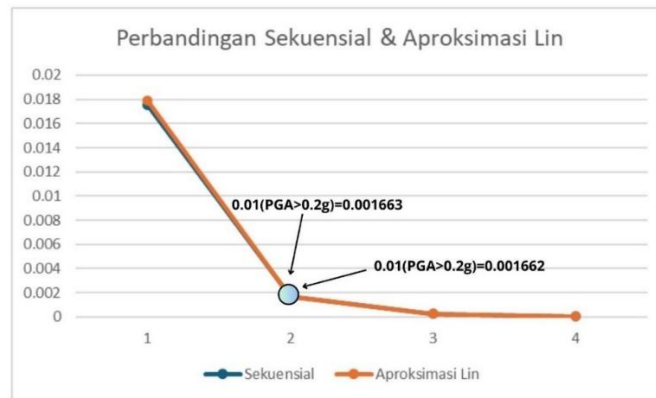
Gambar 3.7 Grafik Kurva Perbandingan Sekuensial dan Aproksimasi Tocher

Berdasarkan gambar 4.18, terdapat grafik perbandingan antara dua metode, yaitu sekuensial dan aproksimasi satu, pada sekuensial nilainya menurun tajam dari titik 1 ke 2, kemudian mengalami penurunan lambat pada titik berikutnya lalu pada titik 4, nilainya mendekati nol. Selanjutnya pada metode aproksimasi 1, nilainya lebih tinggi dibandingkan dengan metode sekuensial, mengalami penurunan bertahap, tetapi nilai tetap lebih tinggi dibandingkan sekuensial.

2. Membandingkan metode sekuensial dan aproksimasi metode Lin

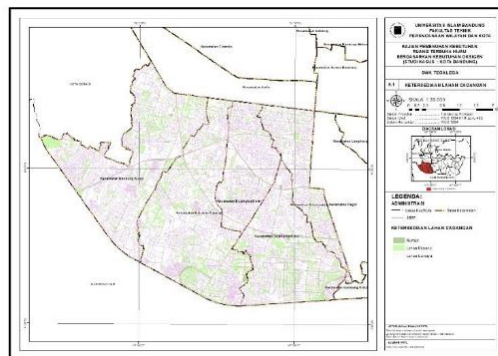
Tabel 3. 2 Perbandingan Sekuensial dan Aproksimasi Tocher

Sekuensial	Aproksimasi Lin
0.017531	0.017880
0.001663	0.001662
0.000235	0.000238
0.000004	0.000044



Gambar 3.8 Grafik Kurva Perbandingan Sekuensial dan Aproksimasi Tocher

Berdasarkan gambar 4.31, terdapat grafik perbandingan antara dua metode, yaitu sekuensial dan aproksimasi dua, kedua metode memiliki pola penurunan yang serupa. Nilainya menurun sangat tajam dari titik 1 ke titik 2, setelah titik 2 keduanya melambat dalam penurunan, mendekati nilai nol pada titik 3 dan 4.



Gambar 3. Contoh Gambar atau Foto

Gambar 3 adalah salah satu contoh cara untuk menyajikan gambar atau foto yang berasal dari hasil penelitian. Cantumkan gambar yang cukup jelas resolusinya.

Analisis dan Pembahasan

Pastikan menuliskan semua hasil penelitian dengan runtut sehingga pembaca akan mudah memahaminya. Bagian hasil penelitian dan pembahasan biasanya memiliki porsi jumlah halaman atau jumlah kata yang paling banyak, dibandingkan dengan bagian lainnya.

D. Kesimpulan

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

Pada kurva total hazard ke-2 terlihat bahwa efek penambahan gempa sudah tidak signifikan dari metode aproksimasi menurut Lin, sehingga didapat bahwa pada gempa Morioka memiliki PGA sebesar 0.2g sebanyak 0.0001663 kali dalam setahun, sehingga kurva ke-2 sudah bisa mewakili nilai dari seluruh data. Maka dapat disimpulkan bahwa hasil perbandingan dari 3 metode; sekuensial, Aproksimasi tocher, Aproksimasi Lin yang dapat dipakai adalah metode aproksimasi Lin, dikarenakan nilai aproksimasi mendekati nilai sekuensial.

Kesimpulan adalah bagian paling akhir dari sebuah artikel ilmiah. Memuat pernyataan ringkas atau poin-poin penting berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan. Tidak diperbolehkan menuliskan kesimpulan dengan format *numbering*. Juga diperbolehkan menuliskan saran-saran untuk melanjutkan penelitian atau tema penelitian berikutnya yang relevan agar bisa menghasilkan kemanfaatan yang lebih luas.

Ucapan Terimakasih

Penulis menyadari tanpa bantuan dan dukungan akan terasa sulit untuk menyelesaikan proposal skripsi ini, oleh karena itu penulis mengucapkan terima kasih kepada Prof. Dr. Sutawanir Darwis selaku dosen pembimbing, dosen-dosen program studi statistika unisba dan teman-teman 1 jurusan.

Daftar Pustaka

- Raisa Filmi Suryahadikusumah, & Sutawanir Darwis. (2024). Penentuan Premi Asuransi Gempa Berdasarkan Declustering Katalog Jawa Barat. *Jurnal Riset Statistika*, 127–136. <https://doi.org/10.29313/jrs.v4i2.5029>
- Baker, J. (2021). *Probabilistic Seismic Hazard Analysis: Principles and Applications*. *Journal of Earthquake Engineering*.
- Bommer, J.J., & Abrahamson, N. (2006). *Why Do Modern Probabilistic Seismic Hazard Analyses Often Lead to Increased Hazard Estimates?*. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 96(6), 2011-2022.
- Cornell, C.A., & Esteva, L. (1979). *Seismic Risk Analysis and Design Earthquakes*. *Proceedings of the World Conference on Earthquake Engineering*, 1, 1-10.
- Eidous, O. M., & Al-Rawwash, M. Y. (n.d.). Approximations for standard normal distribution function and its invertible. *Department of Statistics, Faculty of Science, Yarmouk University*.
- Hadi, M. (2012). *Analysis of Peak Ground Acceleration (PGA) and Ground Motion for Seismic Risk Assessment*. *Seismological Research Letters*, 83(4), 645-659.
- Makrup, et al. (2015). *Solving Total Probability Law for Seismic Hazard through Numerical Methods*. *Seismic Hazard Journal*, 54(3), 45-59.
- Pujianto, D. (2007). *Earthquake and Its Impact on Urban Areas*. *Earth Science Journal*, 23(2), 90-104.
- Setiawan, R. (2017). *Introduction to Probabilistic Seismic Hazard Analysis (PSHA)*. *Indonesian Journal of Geophysics*, 17(1), 33-47.
- Susilo, B., & Adnan, A. (2013). *Seismic Hazard Analysis in Developing Countries: Methodology and Applications*. *Bulletin of Seismological Research*, 65(4), 527-536.
- Wald, D.J. (2009). *The Modified Mercalli Intensity Scale and Its Application in Seismic Risk*. *Seismological Society of America*.