

ANALISIS METODE WAKTU PELURUHAN GEMPA BUMI SUSULAN BERDASARKAN METODE OMORI, MOGI DAN UTSU (STUDI KASUS GEMPA BUMI PASAMAN BARAT 25 FEBRUARI 2022)

NIDA NUR FAIZA^{1,*}, ANOV MUKTI WIBOWO¹, RIZKAHANA FATIMAH¹

¹Program Studi Geofisika, Sekolah Tinggi Meteorologi Klimatologi dan Geofisika
Jalan Meteorologi No.5, Tanah Tinggi, Kota Tangerang, Banten 15119

*Corresponding author
Email: nidafaiza@stmkg.ac.id

Diserahkan : 02/04/2024
Diterima : 12/05/2024
Dipublikasikan : 06/08/2024

Abstrak. Studi kasus penelitian ini adalah gempa signifikan di daerah Pasaman Barat dengan kekuatan M6,1 yang terjadi pada tanggal 25 Februari 2022. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui waktu peluruhan gempa Pasaman serta menentukan metode statistik yang paling sesuai untuk mendapatkan prediksi waktu peluruhan gempa bumi susulan di wilayah Pasaman. Data yang digunakan merupakan gempa dalam rentang koordinat 0,35°LU - 0,05°LS dan 99,8°BT – 100,2°BT dengan parameter kedalaman kurang dari 50 km yang terjadi pada tanggal 25 Februari hingga 3 Maret 2022. Analisis menggunakan metode Omori, Mogi I, Mogi II, dan Utsu menghasilkan waktu peluruhan gempa susulan selama 24 hari, 24 hari, 10 hari, dan 23 hari. Dari hasil analisis yang telah dilakukan, dapat ditarik kesimpulan bahwa metode statistik yang paling tepat untuk penentuan waktu peluruhan gempa bumi di wilayah Pasaman Barat yaitu Metode Omori dan Mogi I.

Kata kunci: Pasaman, Omori, Mogi, Utsu, Gempa Susulan

Abstract. The case study of this research is the significant earthquake in the Pasaman Barat area with a magnitude of M6.1 that occurred on February 25, 2022. This study aims to determine the decay time of the Pasaman earthquake and to determine the most suitable statistical method to obtain predictions for the aftershock decay time in the Pasaman region. The data used consist of earthquakes within the coordinate range of 0.35°N - 0.05°S and 99.8°E – 100.2°E with depth parameters of less than 50 km occurring from February 25 to March 3, 2022. Analysis using the Omori, Mogi I, Mogi II, and Utsu methods resulted in aftershock decay times of 24 days, 24 days, 10 days, and 23 days, respectively. From the results of the analysis conducted, it can be concluded that the most appropriate statistical methods for determining the earthquake decay time in the Pasaman Barat area are the Omori and Mogi I methods.

Keywords: Pasaman, Omori, Mogi, Utsu, Aftershocks

1. Pendahuluan

Ditinjau dari kondisi tektoniknya, Indonesia merupakan negara yang memiliki potensi tinggi mengalami bencana geologi seperti letusan gunung api dan gempa bumi. Hal tersebut terjadi karena sebagian besar wilayah Indonesia terletak di jalur tektonik aktif sehingga terbentuk banyak sesar aktif dan terdapat banyak zona subduksi [1]. Hal tersebut juga diperkuat dengan letak geografis Indonesia yang berada di wilayah subduksi Indo-Australia, lempeng Eurasia, dan lempeng Pasifik [2]. Oleh karena itu, karena terjadi

akumulasi stress pada perbatasan lempeng tektonik dan juga pada area sesar aktif maka saat telah mencapai batas elastisitas batuan maka energi tersebut suatu saat akan dilepaskan dalam bentuk gempa bumi.

Mekanisme gempa bumi terjadi ketika lapisan batuan mengalami tekanan secara terus menerus sehingga terjadi akumulasi tekanan dalam batuan. Saat tekanan yang terakumulasi telah melebihi batas maksimum elastisitas maka batuan akan pecah dan terjadi rilis energi yang sebelumnya terakumulasi pada batuan. Peristiwa ini biasa dikenal sebagai gempa bumi [3]. Gempa bumi dengan kekuatan besar akan diikuti dengan gempa-gempa susulan atau *aftershock* sebagai usaha untuk mencapai titik kesetimbangan baru.

Salah satu gempa bumi merusak yang pernah terjadi Indonesia adalah gempa bumi Pasaman Barat berkekuatan M6,1 yang terjadi tanggal 25 Februari 2022. Pusat episenter gempa berada pada koordinat 0.14 LU 99.93 BT. Getaran yang dirasakan di Pasaman Barat cukup tinggi dikarenakan pusat gempa berada dekat dengan wilayah tersebut yaitu dengan skala intensitas 5 MMI [4]. Gempa besar ini menyebabkan 7 orang meninggal dunia dan puluhan korban luka-luka, serta merusak 1765 bangunan [5]. Berdasarkan repogempa BMKG, gempa ini diawali oleh gempa dengan magnitudo M4.9 dan diikuti dengan banyak gempa susulan yang tercipta. Melalui persebaran gempa utama dan susulan menunjukkan bahwa gempa ini terjadi pada sesar yang belum terpetakan sehingga perlu untuk diteliti lebih lanjut terkait penyebab gempa ini [5]. Menurut [5], melalui penelitian satelit dengan *GPS* dari stasiun CPSM, daerah di sekitar gempa menunjukkan pergeseran sejauh 17 mm kearah tenggara.

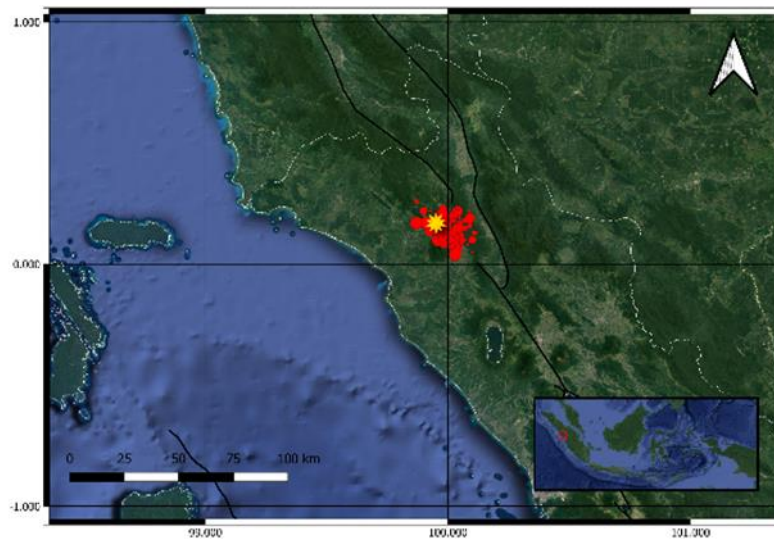
Setelah gempa bumi utama (*mainshock*) terjadi maka akan diikuti oleh rangkaian peristiwa gempa bumi susulan (*aftershock*) dalam kurun waktu tertentu [6]. Menurut data laporan BMKG, gempa susulan yang tercatat sebanyak 204 gempa dalam rentang tanggal 25 Februari 2022 - 3 Maret 2022 serta rentang magnitudo dari M5,2 sampai M2,4.

Berdasarkan pernyataan dari Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB), analisis mengenai pola peluruhan kejadian *aftershock* /gempa bumi susulan di wilayah Indonesia dapat bermanfaat untuk mendukung langkah mitigasi bencana [7]. Hasil analisis mengenai prediksi waktu berakhirnya *aftershock* yang dilakukan menggunakan metode statistik dengan hasil paling mendekati data kejadian asli berguna dalam meningkatkan kewaspadaan.

Analisis statistik distribusi peluruhan kejadian gempa susulan dapat dilakukan dengan menggunakan beberapa metode [8]. Penelitian ini dilakukan untuk memprediksi waktu peluruhan gempa bumi susulan di Pasaman dengan menggunakan empat metode yaitu metode Omori, Mogi I, Mogi II, dan Utsu sehingga nantinya informasi dari hasil analisis ini dapat bermanfaat dan menjadi acuan dalam upaya mitigasi bencana yang disebabkan oleh gempa bumi, terutama pada wilayah Pasaman.

2. Data dan Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan data yang diperoleh melalui *website* repogempa BMKG. Data yang digunakan merupakan gempa dalam rentang koordinat 0,35°LU - 0,05°LS dan 99,8°BT – 100,2°BT dengan parameter kedalaman kurang dari 50 km. Data gempa diambil dalam rentang waktu selama 7 hari setelah gempa utama yaitu tanggal 25 Februari hingga 3 Maret 2022 untuk selanjutnya di olah menggunakan metode Omori, Mogi I, Mogi II, dan Utsu. Pemetaan dilakukan menggunakan bantuan *software* QGIS 3.24.



Gambar 1. Peta lokasi penelitian dan persebaran gempa bumi susulan pasaman barat 25 februari 2022

Pengolahan data dilakukan dengan bantuan perangkat lunak Microsoft Excel 2019 yang selanjutnya disajikan dalam bentuk distribusi frekuensi. Kemudian data diolah menggunakan keempat metode peluruhan gempa susulan. Hasil pengolahan data tersebut disajikan dalam bentuk tabel dan grafik agar mudah dalam memahami hasil pengolahan data. Pengolahan data tersebut menghasilkan empat hasil berdasarkan metode masing-masing. Kemudian, keempat hasil tersebut dapat dibandingkan untuk memperoleh metode yang paling tepat untuk prediksi peluruhan gempa susulan dari gempa Pasaman Barat 25 Februari 2022.

Persamaan yang digunakan dalam analisis peluruhan gempa menggunakan analisis regresi linier sederhana. Regresi linier sederhana adalah metode yang berfungsi untuk mengetahui kekuatan hubungan sebab akibat antara variabel faktor penyebab (x) terhadap variabel akibat (y) [9]. Persamaan regresi linier sederhana sebagai berikut,

$$y = A + B \cdot x \quad (1)$$

Koefisien A dan B pada ke empat metode yang akan digunakan diperoleh dari persamaan berikut:

$$B = \frac{n(\sum xy) - (\sum x)(\sum y)}{n(\sum x^2) - (\sum x)^2} \quad (2)$$

$$A = \frac{(\sum y) - B(\sum x)}{n} \quad (3)$$

Korelasi nilai x dan y dapat dihitung dengan persamaan koefisien korelasi sebagai berikut:

$$r = \frac{n(\sum xy) - (\sum x)(\sum y)}{\sqrt{(n(\sum x^2) - (\sum x)^2)(n(\sum y^2) - (\sum y)^2)}} \quad (4)$$

Keterangan:

- r = koefisien korelasi variabel frekuensi dan waktu
- x = banyaknya hari dalam perekaman data *aftershock*
- y = banyaknya *aftershock* yang terjadi per hari
- n = total keseluruhan kejadian *aftershock*

Nilai koefisien korelasi menunjukkan relasi antara variabel x dan y pada persamaan linier. Apabila nilai r semakin mendekati $+1$ atau -1 maka kedua variabel memiliki korelasi sangat erat. Tanda positif menandakan bahwa kedua variabel memiliki relasi berbanding lurus. Tapi, apabila nilai r adalah negatif maka artinya kedua variabel memiliki relasi berbanding terbalik [10].

2.1 Metode Omori

Metode omori merupakan metode yang menghubungkan antara frekuensi gempa bumi terhadap waktu untuk menentukan tingkat aktivitas gempa bumi susulan. Persamaan metode omori sebagai berikut,

$$n(t) = \frac{k}{c+t} \quad (5)$$

dimana $n(t)$ adalah frekuensi terhadap waktu (t), t adalah waktu setelah guncangan utama k adalah *intercept* (konstanta), c adalah *gradient/slope* (konstanta). Nilai konstanta k dan c diperoleh menggunakan persamaan regresi linier sederhana,

$$\frac{1}{n(t)} = \frac{c}{k} + \frac{1}{k} \cdot t \quad (6)$$

dimana: $y = \frac{1}{n(t)}$ adalah frekuensi gempa, $A = \frac{c}{k}$ (konstanta), $B = \frac{1}{k}$ (konstanta), t adalah waktu

2.2 Metode Mogi I

Metode Mogi I merupakan metode yang menghubungkan antara frekuensi gempa bumi terhadap waktu untuk menunjukan tingkat aktivitas gempa bumi susulan dalam waktu lebih dari sama dengan 100 hari ($t \geq 100$). Persamaan metode Mogi I sebagai berikut,

$$n(t) = a \cdot t^{-b} \quad (7)$$

dimana: $n(t)$ adalah frekuensi terhadap waktu (t), t adalah waktu setelah guncangan utama a dan b adalah *intercept* dan *gradient* (konstanta). Persamaan (7) dapat dilinierkan dengan mengubah ke bentuk logaritma sehingga menjadi,

$$\text{Log } n(t) = \text{Log } (a) - b \text{ Log } (t) \quad (9)$$

dimana:

$y = \text{Log } n(t)$, y = frekuensi gempa

$A = \text{Log } (a)$, A = konstanta

$B = -b$, B = konstanta

$x = \text{Log } (t)$

2.3 Metode Mogi II

Metode Mogi II merupakan metode yang menghubungkan antara frekuensi gempa bumi terhadap waktu untuk menunjukan tingkat aktivitas gempa bumi susulan dalam waktu lebih dari sama dengan 100 hari ($t \geq 100$). Persamaan metode Mogi II sebagai berikut,

$$n(t) = a \cdot e^{-bt} \quad (10)$$

dimana: $n(t)$ adalah frekuensi terhadap waktu (t), t adalah waktu setelah guncangan utama a dan b adalah *intercept* dan *gradient* (konstanta). Persamaan (9) dapat dilinierkan dengan merubah ke bentuk logaritma natural sehingga menjadi,

$$\ln n(t) = \ln a - b \cdot t \quad (11)$$

dimana:

$y = \ln n(t)$, y = frekuensi gempa

$A = \ln(a)$, A = konstanta

$B = -b$, B = konstanta

$x = \text{Log}(t)$

2.4 Metode Utsu

Metode Utsu merupakan metode yang didapatkan dari modifikasi metode Omori yang digunakan untuk menganalisis peluruhan gempa bumi susulan. Persamaan metode Utsu sebagai berikut,

$$n(t) = k(t + c)^{-p} \quad (12)$$

dimana $n(t)$ adalah frekuensi terhadap waktu (t), t adalah waktu setelah guncangan utama, k , c , dan p = konstanta, $c = 0.01$. Persamaan (11) dapat dilinierkan dengan merubah ke bentuk logaritma sehingga menjadi,

$$\log n(t) = \log k - p \cdot \log(t + 0.01) \quad (13)$$

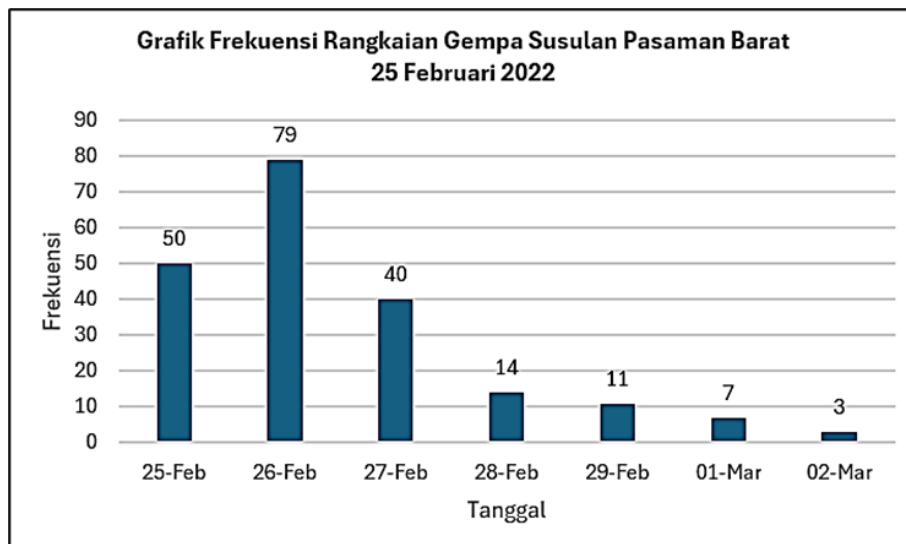
dimana:

$y = \log n(t)$ adalah frekuensi gempa, $A = \log(k)$, $B = -p$, dengan A, B = konstanta

$x = \text{Log}(t + 0.01)$

3. Hasil dan Pembahasan

Hasil proses filter data menggunakan *software* QGIS disajikan dalam diagram batang seperti yang disajikan pada Gambar 2. Diagram tersebut memuat nilai frekuensi kejadian gempa bumi susulan terhadap waktu yang dikelompokkan per hari.



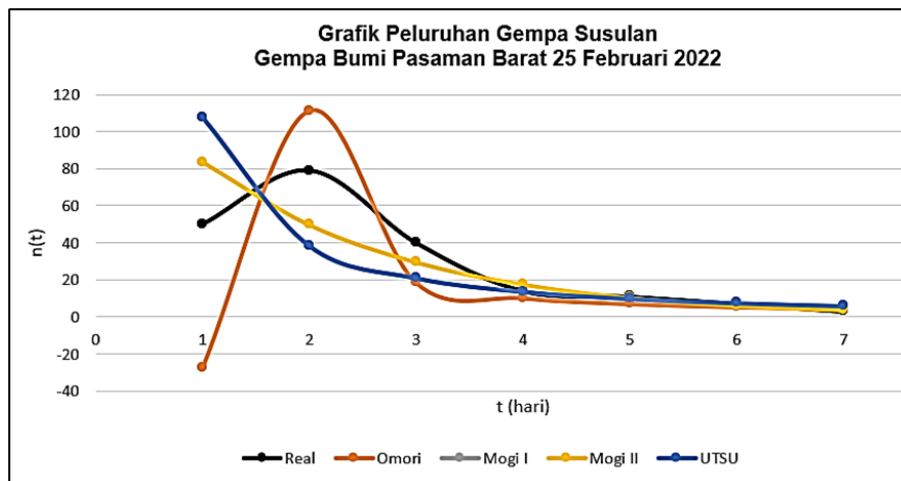
Gambar 2. Distribusi Gempa Susulan Pasaman Barat Tanggal 25 Februari - 03 Maret 2021

Pada hari pertama, jumlah kejadian gempa bumi susulan adalah 50 gempa. Kemudian di hari kedua terjadi peningkatan frekuensi gempa susulan yang signifikan menjadi 79 kejadian gempa bumi. Akan tetapi, pada hari ke tiga hingga ke tujuh setelah kejadian

gempa, terjadi penurunan jumlah gempa bumi susulan. Dari grafik tersebut tampak bahwa frekuensi kejadian gempa bumi susulan meluruh terhadap waktu.

Setelah data dikelompokkan berdasarkan waktu, data kemudian di analisis menggunakan empat metode statistik yang berbeda. Dari hasil perhitungan menggunakan persamaan regresi linier, didapatkan nilai A dan B, nilai koefisien korelasi, dan konstanta dari persamaan setiap metode. Nilai tersebut kemudian digunakan dalam menghitung distribusi frekuensi dan waktu berakhirnya *aftershock*. Dalam penentuan metode analisis terbaik, kemiripan hasil perhitungan waktu peluruhan gempa dengan data asli menjadi parameter utama, kemudian didukung dengan nilai koefisien korelasi.

Untuk membandingkan hasil analisis dari setiap metode dengan kejadian peluruhan gempa bumi sesungguhnya maka dilakukan plot grafik distribusi frekuensi gempa bumi susulan beserta data asli hasil rekaman stasiun BMKG. Grafik perbandingan hasil analisis keempat metode dengan data asli yang terekam oleh BMKG disajikan dalam Gambar 3. Hasil akhir analisis berupa nilai koefisien korelasi, lama waktu peluruhan gempa bumi, dan tanggal gempa bumi susulan berakhir ditampilkan dalam Tabel 1.



Gambar 3. Grafik Perbandingan Distribusi Frekuensi Gempa Bumi Susulan Berdasarkan Perhitungan Statistik dengan Distribusi Frekuensi Data Sesungguhnya

Tabel 1. Hasil analisis analisis statistik berupa nilai koefisien korelasi (r), lama peluruhan gempa susulan (t), dan tanggal berakhirnya gempa susulan

Metode	Koefisien korelasi (r)	Hari (t)	Prakiraan Gempa Selesai
Omori	-0.86336	24	20-Mar-22
Mogi I	-0.86995	24	20-Mar-22
Mogi II	-0.95788	10	06-Mar-22
Utsu	-0.87051	23	19-Mar-22

Dari analisis statistik menggunakan ke empat metode yang berbeda, didapatkan grafik yang berbeda. Selain itu, waktu berakhirnya gempa bumi susulan yang didapatkan dari hasil analisis keempat metode tersebut juga berbeda. Berdasarkan metode Omori dan Mogi I, didapatkan hasil bahwa *aftershock* akan berhenti pada hari ke-24, yaitu pada tanggal 20 Maret 2022. Koefisien korelasi kedua variabel yang di dapat dari metode Omori yaitu -0,86336 dan metode Mogi I yaitu -0,86995. Menurut metode Mogi II, didapatkan hasil bahwa *aftershock* akan berhenti pada hari ke-10, yaitu pada tanggal 6

Maret 2022. Koefisien korelasi dari analisis menggunakan metode ini yaitu -0,95788. Di samping itu, menurut hasil analisis menggunakan metode Utsu, gempa bumi susulan akan berakhir pada hari ke-23 atau pada tanggal 19 Maret 2022 dengan koefisien korelasi -0,87051.

Data asli yang diperoleh dari repositori gempa BMKG menunjukkan bahwa gempa bumi Pasaman Barat tanggal 25 Februari 2022 berakhir pada 21 Maret 2022. Hasil dari metode Omori dan Mogi I memberikan nilai waktu berakhirnya gempa susulan yang paling mendekati sama dengan repository BMKG, yaitu 24 hari yang artinya gempa susulan berakhir pada 20 Maret 2022. Karenanya, metode Omori dan Mogi I menjadi metode statistik terbaik untuk memprediksi waktu peluruhan kejadian gempa bumi susulan di Halmahera. Nilai koefisien korelasi metode Omori dan Mogi I yang dapat dikatakan sangat baik juga semakin menunjukkan bahwa metode tersebut merupakan metode terbaik pada studi kasus ini.

The Agency for Meteorology Climatology and Geophysics (BMKG) Indonesia Tsunami Early Warning System (InaTEWS)						

Format origin results for:						
Latitude : -0.1 until 0.5						
Longitude: 99.7 until 100.3						
Depth : 1 until 1000						
Magnitude: 1 until 9.5						
Time : 2022/03/10 until 2022/03/29						

Date	Time	Lat	Lon	Dep M	MT	Region
2022/03/22	19:58:16.892	0.02 S	100.16 E	10 3.0	-	Southern Sumatra, Indonesia
2022/03/21	05:35:36.950	0.15 N	100.02 E	10 3.3	-	Northern Sumatra, Indonesia
2022/03/15	07:03:44.115	0.14 N	99.99 E	10 3.2	-	Northern Sumatra, Indonesia
2022/03/15	07:03:43.774	0.15 N	99.99 E	10 3.1	-	Northern Sumatra, Indonesia
2022/03/14	20:16:27.400	0.15 N	99.96 E	10 3.1	-	Northern Sumatra, Indonesia
2022/03/14	16:55:21.851	0.18 N	100.03 E	10 3.0	-	Northern Sumatra, Indonesia
2022/03/14	09:23:45.794	0.09 N	100.08 E	10 3.5	-	Northern Sumatra, Indonesia
2022/03/13	22:40:58.982	0.03 S	100.16 E	10 3.0	-	Southern Sumatra, Indonesia
2022/03/12	17:16:26.299	0.14 N	100.01 E	10 3.3	-	Northern Sumatra, Indonesia
2022/03/11	20:39:32.336	0.25 N	99.96 E	10 2.3	-	Northern Sumatra, Indonesia
2022/03/11	12:26:12.216	0.17 N	100.01 E	10 3.5	-	Northern Sumatra, Indonesia
2022/03/10	21:12:25.438	0.20 N	99.91 E	10 2.6	-	Northern Sumatra, Indonesia

Gambar 4. Data repository BMKG yang menunjukkan bahwa gempa bumi susulan berakhir pada tanggal 21 Maret 2022

4. Kesimpulan

Berdasarkan analisis penentuan metode statistik terbaik untuk prediksi waktu peluruhan kejadian gempa bumi susulan di Pasaman dengan studi kasus gempabumi Pasaman 25 Februari 2022, metode yang paling tepat digunakan adalah metode Omori dan Mogi I. Prediksi waktu peluruhan dengan metode Omori dan Mogi I menunjukkan waktu peluruhan selama 24 hari atau bertepatan dengan tanggal 20 Maret 2022, yang mana terdapat selisih waktu satu hari dengan data kejadian asli di Repo Gempa BMKG. Koefisien korelasi kedua variabel yang di dapat dari metode Omori yaitu -0,86336 dan metode Mogi I yaitu -0,86995.

Daftar Pustaka

1. Mulyaningsih, S. (2018). Pengantar Geologi Lingkungan Edisi 3. Yogyakarta: Akprind Press.

2. Rohmawati, T. (2018). Analisis waktu berakhirnya gempa bumi susulan dengan menggunakan metode Omori, Mogi I, Mogi II, dan Utsu untuk kejadian gempa bumi di Indonesia tahun 2009-2017 (Doctoral dissertation, UIN Sunan Gunung Djati Bandung).
3. Ginting, R. A., & Qadri, A. (2019). Analisis Peluruhan Gempa Bumi Menggunakan Metode Omori, Mogi-Utsu I dan Mogi-Utsu II (Studi Kasus Gempa Bumi Banten 23 Januari 2018). In *Prosiding Seminar Nasional Fisika (E-Journal)* (Vol. 8, Pp. Snf2019-Pa).
4. Hutasoit, E. Y., Dewi, I. K., & Farid, F. (2011). Identifikasi Percepatan Tanah Maksimum dan Intensitas Gempa Bumi di Sumatra Barat Menggunakan Metode Gutenberg-Richter. *Jurnal Geoelebes*, 144-158.
5. Maulida, P., Rizkiya, P., Kurniawan, A. (2022). Studi Pergeseran Koseismik Gempa Pasaman M6.1 2022 Menggunakan Data Pengamatan GPS Harian. *Journal of Geodesy and Geomatics*, 18(1), 176-184.
6. Wiyuda, M. A., Manurung, L., Samodra, S. B. (2019). Analisis Gempa Bumi Susulan (Aftershock) dan Kaitannya Terhadap Sesar Aktif Pada Kota Mataram Studi Kasus Gempa Lombok Agustus. *Prosiding Seminar Nasional Kebumihan Ke-12*.
7. Islamiati, V. N., Supardiono, S., Perdana, Y. H., & Setyahagi, A. R. (2020). Analisis Peluruhan Gempa Bumi Susulan Di Ambon Tahun 2019 Dengan Pendekatan Statistik Menggunakan Software Peluruhan V2. 0. *Inovasi Fisika Indonesia*, 9(2), 163-172.
8. Ariyanto, P., & Januarti, Y. (2021). Analisis Peluruhan Gempabumi Susulan di Selat Sunda pada Tanggal 23 Mei 2021. In *Prosiding Seminar Nasional Fisika (SNF)* (Vol. 5, pp. 97-102).
9. Pahlevi, M. (2020). Waktu Berakhirnya Gempa Bumi Susulan Untuk Gempa Bumi Sulawesi 28 September 2018 (Skripsi).
10. Harna., Arsyad, M., Tiwow, V. A. (2019). Analisis Seismisitas dan Peluruhan Gempa Bumi (Studi kasus Gempa Bumi Banggai 12 April 2019). *Seminar Nasional Fisika 2020*. 44-47