

Analisis Perbandingan Waktu Peluruhan Gempa Bumi Menggunakan Metode Omori dan Mogi 1 dengan *Software* Peluruhan V2.0

Comparative Analysis of Earthquake Decay Times Using the Omori and Mogi 1 Methods with Decay Software V2.0

Mufti Saefurohmah^{1*}, Dwi Budi Susanti², Mukhtar Effendi¹

¹Jurusan Fisika, Fakultas MIPA, Universitas Jenderal Soedirman, Jl. Dr. Soeparno Utara, Purwokerto, 53123

²Stasiun Geofisika Kelas 1 Sleman, Jl. Wates Km. 8 Jintengan, Balekatur, Gamping, Sleman, Yogyakarta, 55294

INFO ARTIKEL

Naskah masuk : 15 Februari 2024

Naskah diperbaiki : 28 Maret 2024

Naskah diterima : 25 Mei 2024

Kata kunci:

Gempa bumi
waktu peluruhan
Mogi 1
Omori
software peluruhan V2.0

Keywords:

Earthquake
decay time
Mogi 1
Omori
decay software V2.0

*Email Korespondensi :

muftisei@gmail.com

ABSTRAK

Jumlah kejadian gempa dalam kurun waktu tertentu yang menggambarkan tingkat keaktifan seismik atau kegempaan suatu wilayah menjadi urgensi yang harus diketahui rentang waktunya. Hal ini dikarenakan aktivitas kegempaan bukan hanya kejadian sekali namun seringkali diikuti gempa susulan sehingga diperlukan penelitian yang bertujuan untuk mengetahui lama waktu yang diperlukan untuk mencapai kestabilan setelah pelepasan energi gempa. Pada penelitian ini mengambil kasus Gempa Bantul 30 Juni 2023 M 6.0. Metode yang digunakan adalah metode Omori dan metode Mogi I melalui pengaplikasian konsep regresi linear sederhana pada *software* peluruhan v2.0. Data yang digunakan adalah data gempa bumi Bantul pada bulan Juni-Juli 2023 yang diperoleh dari *Seiscomp4*. Data tersebut diolah dalam Microsoft Excell, diselesaikan dengan konsep regresi linear sederhana, dan ditampilkan dengan grafik pada *software* peluruhan v2.0. Hasil menunjukkan koefisien regresi dari metode omori sebesar 0,476 dengan waktu peluruhan selama 18 hari setelah gempa utama terjadi, sedangkan dari metode Mogi I didapatkan koefisien regresi sebesar -0,797 dengan waktu peluruhan selama 36 hari setelah gempa utama terjadi. Data tersebut merupakan data kalkulasi. Dari kedua metode tersebut, metode Mogi I dinilai lebih akurat untuk menentukan waktu berakhirnya gempa susulan karena taksirannya lebih mendekati data observasi yang menunjukkan waktu peluruhan gempa selama 32 hari.

ABSTRACT

The number of earthquake events in a certain period, which describes the level of seismic activity or seismicity of an area, is an urgency that must be known over the period. This is because seismic activity is not just a one-off event but is often followed by aftershocks, so research is needed to determine the length of time needed to reach stability after earthquake energy release. This research takes the case of the Bantul Earthquake on June 30, 2023. The methods used are the Omori and Mogi I methods, which apply simple linear regression in decay software v2.0. The data used is Bantul earthquake data from June to July obtained from *Seiscomp4*. The data was processed in Microsoft Excel, completed using simple linear regression concepts, and displayed graphically in decay software v2.0. The results show that the regression coefficient from the Omori method is 0.476 with a decay time of 18 days after the main earthquake occurs, while from the Mogi I method, the regression coefficient is -0.797 with a decay time of 36 days after the main earthquake occurs. This data is calculated data. Of the two methods, the Mogi I method is considered more accurate for determining the end time of aftershocks because the estimates are closer to observational data, which shows an earthquake decay time of 32 days.

© 2024 Jurnal Stasiun Geofisika Sleman

1. Pendahuluan

Indonesia merupakan negara kepulauan dengan aktivitas seismik yang tinggi, hal ini ditandai dengan terjadinya 71.026 kali gempa bumi selama tahun 2017-2023 [1]. Aktivitas seismik yang tinggi ini disebabkan karena Indonesia berada pada pertemuan tiga lempeng aktif yaitu lempeng Indo-Australia, lempeng Eurasia dan lempeng

Pasifik sekaligus bersinggungan dengan lempeng tektonik kecil yaitu lempeng kecil Filipina. Masing-masing lempeng memiliki arah pergerakan yang berbeda-beda dimana lempeng Indo-Australia bergerak ke arah timur laut dengan kecepatan 7,7 cm/tahun, lempeng pasifik bergerak ke arah barat laut dengan kecepatan 10,2 cm/tahun, lempeng Eurasia relatif tidak bergerak dan lempeng kecil Filipina bergerak ke arah utara dengan

sedikit rotasi searah jarum jam [2]. Selain itu, berdasarkan letak geografisnya Indonesia berada di kawasan *ring of fire* (cincin api) dengan banyak gunung api karena terletak di antara dua jalur pegunungan yaitu sirkum pasifik dan sirkum mediterania. Posisi ini menjadi faktor penguat yang menyebabkan Indonesia menjadi negara kepulauan terbesar di dunia yang sangat kompleks sekaligus unik dengan banyak aktivitas kegempaan.

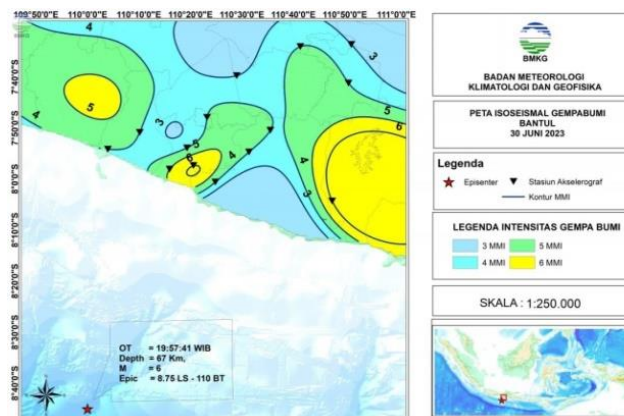
Gempa utama terjadi hampir di seluruh pulau besar di Indonesia, salah satunya Pulau Jawa. Gempa menyebar secara menyeluruh di Pulau Jawa. Hal ini disebabkan karena Pulau Jawa termasuk bagian dari satuan seismotektonik busur aktif dan busur sangat aktif. Salah satu kawasan Pulau Jawa sering terjadi gempa bumi yaitu wilayah Jawa Tengah dan Daerah Istimewa Yogyakarta. Tercatat dalam data Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika, di Kecamatan Bantul terjadi rata-rata 400 gempa per-bulan dalam lima tahun terakhir. Gempa yang terjadi memiliki kekuatan yang bervariasi. Adanya variasi kekuatan gempa salah satunya disebabkan karena tidak semua gempa merupakan gempa utama melainkan adanya gempa susulan. Gempa susulan banyak terjadi setelah gempa utama dan dapat terjadi lebih dari satu kali. Jumlah kejadian gempa dalam kurun waktu tertentu yang menggambarkan tingkat keaktifan seismik atau kegempaan suatu wilayah disebut seismisitas. Konsep tentang seismisitas tidak terlepas dari akurasi data yang dianalisis serta jangkauan waktu yang di tentukan. Masalah yang sering muncul apabila terjadi gempa bumi tektonik adalah masalah yang berhubungan dengan rentang terjadinya gempa bumi susulan.

Badan Nasional Penanggulangan Bencana Tahun 2018 menyatakan bahwa penentuan peluruhan gempa bumi susulan dapat digunakan sebagai upaya mitigasi bencana yang menginformasikan mengenai prakiraan berakhirnya waktu gempa bumi susulan. Waktu berakhirnya gempa susulan (waktu peluruhan) dapat dianalisis dengan beberapa metode, dua di antaranya yakni metode Omori dan Mogi I. Metode ini menghasilkan prakiraan waktu peluruhan gempa susulan mendekati data *real* pantauan BMKG yang dapat digunakan kembali untuk menganalisis prakiraan peluruhan gempa susulan jika terjadi gempa bumi baru di wilayah yang sama [3].

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis waktu peluruhan gempa dengan studi kasus Gempa Bantul pada 30 Juni 2023 dengan magnitudo 6,0. Gempa tersebut mengguncang wilayah Samudera Hindia di sebelah selatan Yogyakarta pada hari Jumat, 30 Juni 2023 pukul 19.57 WIB. Menurut parameter yang diperbarui oleh BMKG, pusat gempa berada di kedalaman 67 km di barat daya Bantul, dengan episenter pada 8,36 derajat LS dan 110,08 derajat BT. Berdasarkan informasi dari BMKG, intensitas gempa yang sesuai dengan kondisi kerusakan di lapangan adalah setidaknya VI MMI [4] (Gambar 1).

Teori Tektonik Lempeng. Teori tektonik lempeng menyatakan bahwa lapisan kerak bumi terpecah menjadi beberapa lempeng dimana masing-masing lempeng bergerak relatif satu sama lain dengan kecepatan dan arah yang berbeda-beda [5]. Kecepatan maksimum yang dapat dicapai lempeng-lempeng ini yakni 100 mm/tahun. Lempeng-lempeng tersebut dapat berupa kerak samudera, kerak benua, atau gabungan dari kedua kerak tersebut. Beberapa lempeng yang bergerak akan bertemu pada batas pertemuan lempeng [6].

1. Batas transform (*transform boundaries*). Batas ini terjadi ketika beberapa lempeng yang saling bergerak mengalami gesekan satu sama lain secara menyamping di sepanjang sesar transform (*transform fault*). Gerakan yang dialami dapat berupa *sinistral* (ke kiri di sisi yang berlawanan dengan pengamat) ataupun *dekstral* (ke kanan di sisi yang berlawanan dengan pengamat). Contoh sesar jenis ini adalah Sesar San Andreas di California.
2. Batas divergen/konstruktif (*divergent/constructive boundaries*). Batas ini terjadi ketika dua lempeng bergerak menjauh satu sama lain. Contoh batas divergen yaitu *mid-oceanic ridge* dan zona retakan (*rifting*).
3. Batas konvergen/destruktif (*convergent/destructive boundaries*). Batas ini terjadi ketika dua lempeng bergerak saling mendekat dan bergesekan satu sama lain. Zona subduksi akan terbentuk ketika salah satu lempeng bergerak di bawah lempeng lain dan kerak benua terbentuk jika kedua lempeng mengandung kerak benua.



Gambar 1. Peta Isoseismal Gempa Bantul Yogyakarta, 30 Juni 2023 [4].

Tektonik Pulau Jawa. Pulau Jawa terletak pada margin aktif hasil interaksi antara Lempeng Samudera Hindia dan Lempeng Benua Eurasia. Terdapat dua struktur geologi utama berupa sesar mendatar di beberapa bagian jalur utama yang mengapit lekukan Jawa Tengah bagian utara. Kedua struktur geologi ini diinterpretasikan sebagai sesar geser mengangan Pamanukan – Cilacap dengan orientasi barat laut - tenggara dan sesar geser mengiri Muria – Kebumen dengan orientasi timur laut – barat daya.

Tatanan tektonik Pulau Jawa dipengaruhi oleh aktivitas tektonik lempeng [7]. Lempeng Indo-Australia dan Lempeng Eurasia adalah lempeng yang mengakibatkan berkembangnya tiga pola struktur geologi yang dominan di Pulau Jawa yaitu Pola Jawa, Pola Sunda dan Pola Meratus. Ketiga pola ini memiliki pergerakan yang berbeda-beda. Pola Jawa yang bergerak dalam arah barat-timur, Pola Sunda yang bergerak dalam arah utara-selatan serta Pola Meratus yang bergerak dalam arah timur laut-barat daya [8].

Yogyakarta berada di kawasan *ring of fire* (cincin api) dengan wilayah-wilayah subduksi lempeng tektonik. Sesar opak merupakan salah satu zona subduksi lempeng tektonik yang ada di Yogyakarta. Sesar ini berada di sekitar Sungai Opak yang mengarah ke arah Timur Laut - Barat. Sesar aktif tersebut banyak menimbulkan bencana gempa bumi untuk daerah di sekitarnya. Salah satunya yaitu Opak yang terdapat di Kabupaten Bantul. Pola perpindahannya memperlihatkan terdapat tiga blok yang bergerak masing-masing ke arah timur laut, barat daya, dan barat. Namun, bila dilihat sebaran data pengukuran dan validasi estimasi, data yang lebih lengkap berada di timur laut dan barat daya, sehingga dapat dikatakan bahwa perpindahan yang dominan adalah di sebelah timur ke timur laut dan di sebelah barat ke barat daya. Pola perpindahan tersebut menunjukkan jenis sesar merupakan sesar mendatar mengiri dengan arah barat daya – timur laut.

Teori Elastic Rebound. Teori *Elastic Rebound* menjelaskan bahwa gempa merupakan pelepasan energi regangan elastis batuan yang terjadi akibat deformasi batuan pada lapisan litosfer. Deformasi batuan terjadi akibat adanya tekanan (*stress*) dan regangan (*strain*) pada lapisan bumi. Tekanan atau regangan yang kontinyu menyebabkan daya dukung batuan mencapai batas maksimum sehingga terjadi pergeseran dan patahan. Spesifiknya, jika terdapat dua buah gaya yang bekerja dengan arah berlawanan pada batuan kulit bumi, batuan tersebut akan terdeformasi, karena batuan mempunyai sifat elastis. Bila gaya yang bekerja pada batuan dalam waktu yang lama dan terus menerus, maka lama kelamaan daya dukung pada batuan akan mencapai batas maksimum dan akan mulai terjadi pergeseran. Akibatnya batuan akan mengalami patahan secara tiba-tiba sepanjang bidang patahan. Setelah itu batuan akan kembali stabil, namun sudah mengalami perubahan bentuk atau posisi. Pada saat batuan mengalami gerakan yang tiba-tiba akibat

pergeseran batuan, energi *stress* yang tersimpan akan dilepaskan dalam bentuk getaran yang dikenal sebagai gempa bumi [8].

Gempa susulan. Gempa susulan merupakan serentetan gempa bumi yang terjadi setelah gempa bumi dengan magnitudo yang besar. Lingkup terjadinya gempa susulan yaitu di sekitar sumber gempa bumi utama dan lokasi penyebarannya berkaitan erat dengan luas bidang sesar gempa utama. Gempa bumi susulan dapat dianggap sebagai upaya untuk mencapai kesetimbangan di tempat dimana gempa bumi utama terjadi. Hal ini dikarenakan gempa bumi melepaskan energi dalam jumlah yang besar dalam waktu yang singkat. Sederhananya, setelah mengalami guncangan yang kuat, tanah akan berada dalam kondisi yang terus bergerak sampai kondisinya stabil. Jumlah gempa susulan dapat mencapai ratusan kali dalam sehari dan akan turun secara cepat atau perlahan berdasarkan struktur batuan dan distribusi mekanisme di sekitar sumber gempa bumi. Berikut beberapa kriteria gempa susulan berdasarkan urutan waktu terjadinya gempa.

- Main Shock-Aftershock.** Gempa bumi yang terjadi pada daerah pusat gempa dengan struktur batuan yang homogen dan tegangan mekanismenya yang tersebar merata. Kriterianya yakni gempa utama diikuti gempa susulan yang menurun terhadap waktu.
- Foreshock-Mainshock Aftershock.** Gempa bumi yang terjadi pada daerah pusat gempa dengan struktur batuan yang non-homogen dan tegangan mekanismenya tidak merata. Mekanismenya gempa bumi utama akan diawali dengan gempa pendahuluan dan diikuti gempa susulan.
- Earthquake Swarm.** Gempa bumi yang terjadi pada daerah pusat gempa dengan struktur batuan yang sangat non homogen dan tegangan mekanismenya sangat tidak merata. Gempa ini akan terjadi berkepanjangan dengan skala kecil tanpa didahului gempa utama.

Regresi Linear Sederhana. Regresi linear sederhana merupakan metode yang berfungsi untuk menguji sejauh mana hubungan sebab akibat antara variabel faktor penyebab x terhadap variabel akibatnya y . Model persamaan regresi linear sederhana adalah sebagai berikut [9].

$$r = \frac{n(\sum XY) - (\sum X)(\sum Y)}{\sqrt{(n(\sum X^2) - (\sum X)^2) \cdot (n(\sum Y^2) - (\sum Y)^2)}} \quad (1)$$

Dimana Y adalah variabel response atau variabel akibat (*dependent*), X adalah variabel prediktor atau variabel faktor penyebab (*independen*), r adalah koefisien regresi. Koefisien regresi menyatakan indeks kekuatan hubungan antara variabel penelitian X dan Y . Berdasarkan hasil uji korelasinya dapat dinyatakan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Indeks kekuatan korelasi kedua variabel.

Koefisien Regresi +	Interpretasi	Koefisien Regresi -	Interpretasi
0,00 s/d 0,19	Sangat Rendah	0,00 s/d -0,19	Sangat Rendah
0,20 s/d 0,39	Rendah	-0,20 s/d -0,39	Rendah
0,40 s/d 0,59	Sedang	-0,40 s/d -0,59	Sedang
0,60 s/d 0,79	Kuat	-0,60 s/d -0,79	Kuat
0,80 s/d 1,00	Sangat Kuat	-0,80 s/d -1,00	Sangat Kuat

Tanda positif dan negatif pada indeks kekuatan korelasi antara kedua variabel menunjukkan arah korelasi. Tanda positif menunjukkan bahwa arah hubungan kedua variabel adalah berbanding lurus sedangkan tanda negatif menunjukkan bahwa arah hubungan kedua variabel adalah berbanding terbalik. Hubungan antara dua variabel disebut berbanding lurus jika nilai satu variabel meningkat, maka akan meningkatkan nilai variabel lain. Sebaliknya, hubungannya berbanding terbalik berlaku jika nilai satu variabel meningkat, maka akan menurunkan nilai variabel lainnya.

2. Metode Penelitian

Data gempa yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data parameter gempa bumi dari Stasiun Geofisika Kelas 1 Sleman Yogyakarta dengan gempa utama yang digunakan sebagai pedoman adalah data gempa yang terjadi pada Jumat, 30 Juni 2023 pukul 19:57:41 WIB dengan parameter gempa pada koordinat 8.75 LS dan 110.00 BT, dan magnitudo awal 6,4 (update M 6,0), kedalaman 67 km. Gempa tersebut berada di laut 102 km BaratDaya Bantul-DIY. Data gempa susulan (*aftershock*) yang digunakan yaitu data gempa 30 Juni - 31 Juli 2023 seperti pada Tabel 2.

Simbol t menunjukkan interval waktu dalam 24 jam, n(t) adalah frekuensi gempa susulan per-24 jam, n adalah lama pengambilan data atau banyaknya interval.

Analisis pertama adalah pendekatan dengan metode Omori menggunakan rumus pada persamaan (2).

$$n(t) = \frac{a}{t + b} \tag{2}$$

Rumus tersebut dalam perhitungan harus dilinearisasikan dengan pendekatan metode statistik regresi linear. Hasil linearisasinya adalah sebagaimana persamaan (3).

$$\frac{1}{n(t)} = \frac{b}{a} + \frac{1}{A}t \tag{3}$$

Setelah itu ditentukan koefisien X, Y, a dan b yang selanjutnya dapat digunakan untuk mencari waktu peluruhan gempa (t) dan koefisien korelasinya (t).

Tabel 2. Aftershock gempa Bantul 30 Juni 2023.

Interval waktu t (hari)	Frekuensi Gempa n(t)
1	47
2	16
3	14
4	8
5	7
6	8
7	7
8	1
10	1
11	1
12	3
13	5
14	2
15	2
16	1
17	3
18	1
19	3
21	1
22	1
23	4
24	3
25	3
26	1
28	1
29	1
31	2
32	2

Mogi I menyatakan hubungan antara frekuensi dan gempa susulan dan waktu dapat dirumuskan pada persamaan (4).

$$n(t) = a \cdot t^{-b} \tag{4}$$

Rumus Mogi I ini harus dilinierkan terlebih dahulu dengan diubah dalam bentuk logaritma sehingga akan mempunyai bentuk persamaan (5).

$$\log n(t) = \log a - b \log t \tag{5}$$

Dimana persamaan di atas didapat dengan memisalkan

$$Y = \log n(t) \tag{6}$$

$$X = \log t \tag{7}$$

$$\log a = A \tag{8}$$

$$b = -B \tag{9}$$

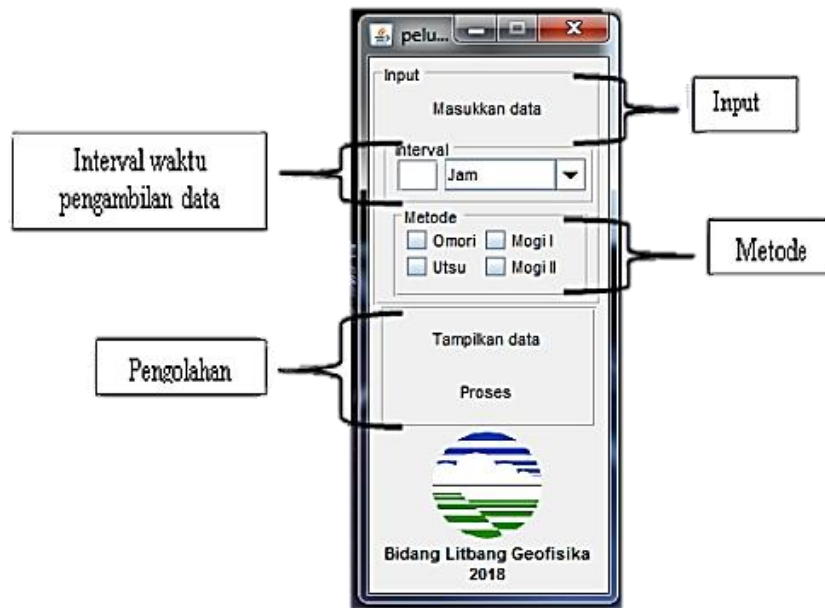
Dengan melihat hasil konversi rumus Mogi I berbentuk linear maka dapat dibuat tabel perhitungan untuk Mogi I

dengan mencari koefisien a dan b. Selanjutnya dapat dicari waktu peluruhan gempa (t) dan koefisien korelasinya (r).

Langkah pengolahan data dengan *software* peluruhan v2.0 adalah dengan mengunggah data gempa Bantul 30 Juni - 30 Juli 2023 kedalam dalam ekstensi .txt dengan menggunakan notepad. Format untuk *origin time* diubah ke dalam format (YYYY-MM-DD HH-MM-SS) yang menunjukkan tanggal dan jam terjadinya gempa bumi. Selanjutnya membuka *software* peluruhan v2.0, memasukkan file .txt yang telah dibuat pada input data, memilih interval (tiap hari/24 jam, tiap 1 jam, tiap 30 menit) serta memilih

metode yang akan digunakan. Pilih proses untuk memulai pengolahan data. Gambar 2 menunjukkan tampilan awal *software* peluruhan V2.0.

Software akan menunjukkan grafik secara langsung dari metode yang kita pilih. Namun *software* ini memiliki base sistem dari pemrograman matlab dengan listing program sederhana. Setelah listing program di running dengan menekan tombol enter maka grafik peluruhan dengan metode yang digunakan akan muncul (Metode Omori atau Metode Mogi 1).



Gambar 2. Tampilan awal *software* peluruhan V2.0.

3. Hasil Dan Pembahasan

Berdasarkan hasil pengolahan data menggunakan *software* peluruhan v2.0 diperoleh nilai koefisien korelasi dan waktu peluruhan yang menggambarkan hubungan waktu peluruhan (x) dan frekuensi gempa (y). Gambar 3 dan 4 masing-masing menunjukkan grafik peluruhan dengan metode Omori dan Mogi I. Tabel perbandingan nilai koefisien regresi dan waktu peluruhan kedua metode ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Waktu peluruhan dan koefisien regresi.

Metode	Waktu Peluruhan (t) Observasi	Waktu Peluruhan (t) Kalkulasi	r
Omori	32 hari	18 hari	0.476
Mogi I	32 hari	36 hari	-0.797

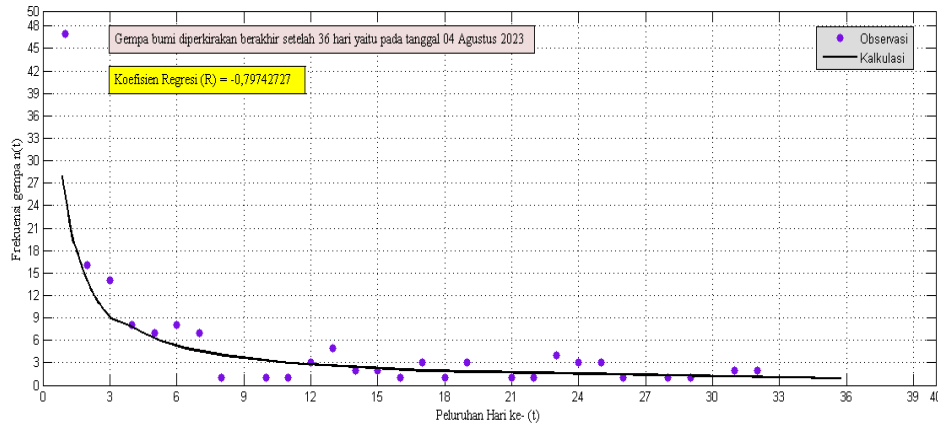
Dari tabel 3 terlihat bahwa karakteristik peluruhan gempa bumi susulan dengan Model Omori diperkirakan memiliki gempa susulan yang berakhir tanggal 17 Juli 2023 pada hari ke-18 setelah gempa bumi utamanya terjadi. Koefisien korelasi hasil penelitian penentuan peluruhan gempa

susulan pada Model Omori yaitu 0,476. Koefisien korelasi hasil penelitian peluruhan gempa susulan pada model ini bernilai positif yang menunjukkan bahwa hubungan antara variabel (x) dan (y). yang sudah dilinierisasi adalah berbanding lurus atau searah. Kekuatan korelasi antara variabel (x) dan (y) termasuk dalam interpretasi sedang yaitu berada dalam rentang 0,40 – 0,59.

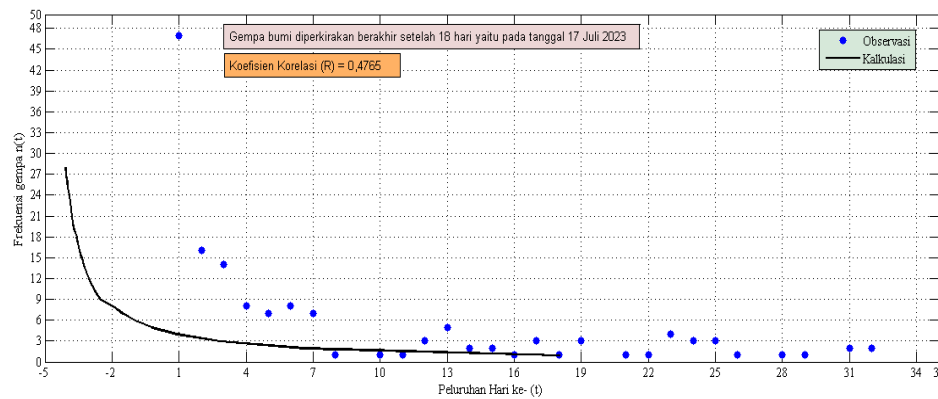
Sedangkan karakteristik peluruhan dengan Model Mogi 1 menyatakan bahwa gempa Bantul 30 Juni 2023 diperkirakan memiliki gempa susulan yang berakhir tanggal 4 Agustus 2023 yaitu 36 hari setelah gempa bumi utamanya terjadi. Koefisien korelasi hasil penelitian penentuan peluruhan gempa susulan pada Model Mogi I bernilai -0,797. Tanda negatif pada hasil nilai koefisien korelasi perhitungan statistik menunjukkan bahwa hubungan antara variabel (x) dan (y) yang sudah dilinierisasi adalah berbanding terbalik. Interpretasi nilai koefisien korelasi sebesar -0,797 menunjukkan bahwa hubungan antara variabel x (waktu terjadinya gempa) dengan variabel y (frekuensi gempa bumi) yang sudah dilinierisasi sangat kuat karena berada dalam rentang -0,8 sampai -1.

Dari hasil yang diperoleh, terdapat beberapa aspek penting yang perlu dianalisis lebih lanjut untuk memahami perbedaan karakteristik peluruhan gempa antara model Omori dan Mogi I. Pertama, perbedaan dalam waktu peluruhan yang diprediksi oleh kedua model menunjukkan bahwa masing-masing model memiliki sensitivitas yang berbeda terhadap data gempa yang diinput. Model Omori, yang memprediksi waktu peluruhan lebih pendek (18 hari)

dibandingkan waktu observasi (32 hari), mungkin lebih cocok untuk skenario gempa dengan frekuensi gempa susulan yang tinggi di awal periode setelah gempa utama, namun dengan penurunan yang cepat. Sebaliknya, model Mogi I yang memprediksi waktu peluruhan lebih panjang (36 hari), mencerminkan pola di mana gempa susulan tetap terjadi dalam jangka waktu yang lebih lama, meskipun frekuensinya menurun secara bertahap.



Gambar 3. Grafik peluruhan metode Omori.



Gambar 4. Grafik peluruhan metode Mogi I.

Kedua, koefisien korelasi yang dihasilkan dari kedua model memberikan wawasan tentang kekuatan dan arah hubungan antara waktu peluruhan dan frekuensi gempa. Pada model Omori, koefisien korelasi positif sebesar 0.4764753 menunjukkan bahwa terdapat hubungan langsung yang moderat antara variabel waktu dan frekuensi, di mana peningkatan waktu peluruhan akan diikuti oleh peningkatan frekuensi gempa susulan sampai batas tertentu. Hal ini mungkin menggambarkan skenario di mana gempa susulan masih cukup sering terjadi dalam periode waktu yang relatif singkat setelah gempa utama.

Di sisi lain, koefisien korelasi negatif yang kuat sebesar -0.797427 pada model Mogi I menunjukkan hubungan terbalik antara waktu peluruhan dan frekuensi gempa. Dalam konteks ini, semakin lama waktu yang berlalu sejak gempa utama, semakin jarang terjadi gempa susulan. Hubungan terbalik yang kuat ini mungkin

menggambarkan mekanisme peluruhan gempa yang lebih stabil dan berkelanjutan, di mana energi yang dilepaskan oleh gempa susulan berkurang secara signifikan seiring berjalannya waktu.

Analisis ini juga dapat memberikan implikasi penting untuk mitigasi risiko gempa bumi. Dalam merancang strategi penanggulangan bencana, pemahaman yang mendalam tentang pola peluruhan gempa dapat membantu dalam memprediksi aktivitas gempa susulan dan menyusun rencana evakuasi serta upaya pemulihan yang lebih efektif. Misalnya, jika data menunjukkan bahwa gempa susulan cenderung terjadi dalam jangka waktu yang lama, seperti yang diprediksi oleh model Mogi I, maka langkah-langkah mitigasi yang berkelanjutan perlu dipertimbangkan untuk jangka waktu yang lebih panjang.

Secara keseluruhan, perbandingan antara metode Omori dan Mogi I menunjukkan perbedaan dalam prediksi waktu peluruhan dan kekuatan hubungan antara waktu peluruhan dan frekuensi gempa. Metode Omori cenderung memberikan prediksi waktu peluruhan yang lebih pendek dengan korelasi positif sedang, sementara metode Mogi I memberikan prediksi waktu peluruhan yang lebih panjang dengan korelasi negatif yang kuat. Hasil ini dapat memberikan wawasan penting dalam pemahaman perilaku gempa susulan dan dapat membantu dalam pengambilan keputusan terkait mitigasi bencana.

Setiap wilayah di Indonesia memiliki kecocokan metode analisis waktu peluruhan gempa bumi yang berbeda-beda [9]. Hal ini disebabkan oleh perbedaan jenis batuan di setiap wilayah yang mempengaruhi lama waktu berakhirnya aktivitas (distribusi frekuensi) gempa bumi susulan. Selain itu perbedaan ini disebabkan karena metode dan persamaan statistik yang digunakan oleh peneliti dalam penelitian ini juga berbeda yakni Omori yang mencatat bahwa laju gempa susulan meluruh dengan waktu sebesar t^{-1} setelah gempa utama terjadi. Sedangkan Mogi I menyatakan laju gempa susulan dalam medium elastik di bawah beban konstan meluruh dengan waktu sebesar $\log(t)$.

4. Kesimpulan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa waktu yang diperlukan untuk mencapai kestabilan setelah pelepasan energi gempa Bantul 30 Juni 2023 M 6.0 menurut metode Omori adalah 18 hari yakni pada tanggal 17 Juli 2023 dengan koefisien korelasi sebesar 0,476 sedangkan waktu yang diperlukan menurut metode Mogi I adalah 36 hari yakni pada tanggal 4 Agustus 2023 dengan koefisien korelasi sebesar -0,797. Hal ini mengungkapkan bahwa metode Mogi I lebih sesuai digunakan untuk menentukan seberapa lama gempa bumi susulan dapat terjadi daripada Omori karena memiliki nilai koefisien regresi yang lebih besar. Penentuan waktu peluruhan gempa bumi gempa dengan metode Omori dan metode Mogi I sebagai upaya peningkatan kewaspadaan masyarakat terhadap bahaya gempa bumi melalui analisis sederhana sehingga akan didapatkan ketenangan di masyarakat.

5. Saran

Metode Omori dan Mogi I dapat diterapkan di berbagai wilayah atau pada gempa dengan magnitudo lebih besar untuk mengetahui apakah kedua metode tersebut dipengaruhi oleh perbedaan wilayah. Komparasi dengan metode lain juga diperlukan untuk menentukan metode yang paling tepat. Plot peta gempa utama dan distribusi gempa susulan perlu dibuat untuk menganalisis pola distribusi gempa susulan dan struktur geologi di bawahnya.

6. Ucapan Terimakasih

Terima kasih kepada Stasiun Geofisika Kelas 1 Sleman BMKG Yogyakarta sebagai institusi yang telah memberikan tempat untuk penelitian. Terimakasih juga kepada Bapak Yusuf Hadi Perdana yang banyak memberikan pengarahan selama proses penelitian.

Daftar Pustaka

- [1] Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika [BMKG]. (2023). Data Gempa bumi Terbuka BMKG. <http://www.bmkg.go.id>.
- [2] Yudhicara., "Granulometric Analysis of Paleotsunami Deposits Candidate in Ternate Island, North Maluku. Bulletin of Marine Geology," Balai Besar Survei dan Pemetaan Geologi Kelautan, 2023.
- [3] Lubis, A. M., "Telaah Ulang Pergerakan Lempeng Tektonik Indo-Australia dengan Menggunakan Data GPS Tahun 1994-2016," *Journal Online of Physics*, Vol. 5, No 2, 12-16, 2020.
- [4] Peta isoseismal Gempabumi Bantul - Yogyakarta, 30 Juni 2023. Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika [BMKG]. Internet: <https://www.bmkg.go.id/berita/?p=peta-isoseismal-gempabumi-bantul-yogyakarta-30-juni-2023&lang=ID&s=detil>.
- [5] Aslamia, H., dan Supardi, Z. A. I., "Analisis Parameter a -value dan b -value sebagai Mitigasi Bencana Gempa Bumi di Nusa Tenggara Timur," *Ambura Physics Journal*, Vol. 4, No 1, 14-27, 2022.
- [6] Norcella, Pitry D., "Identifikasi Sub-Cekungan dan Struktur Patahan Bawah Permukaan dengan Analisis Derivative dan Pemodelan 2D Serta 3D Menggunakan Data Gayaberat Wilayah Jawa Barat Utara," Universitas Lampung : Bandar Lampung, 2023.
- [7] Ningsih, Restu., "Deliniasi Sub-Cekungan dan Interpretasi Pola Struktur Bawah Permukaan Cekungan Jawa Timur Bagian Utara (Offshore Utara Madura) Berdasarkan Analisis Spectral Decomposition, serta Pemodelan 2D Dan 3D Data Gaya Berat," Universitas Lampung: Bandar Lampung, 2023.
- [8] Sungkowo, A., "Perhitungan Nilai Percepatan Tanah Maksimum Berdasar Rekaman Sinyal Accelerograph di Stasiun Pengukuran UNSO Surakarta," *Applied Physycs*, Vol. 8, No 1, 2018.
- [9] Pahlevi, Muhammad I. Pusat Unggulan Sains Dan Teknologi Kegempaan. Jakarta, 2020.
- [10] Rohmawati, T., "Analisis Waktu Berakhirnya Gempa Bumi Susulan dengan Menggunakan Metode Omori, Mogi I, Mogi II, & Utsu untuk Kejadian Gempa Bumi di Indonesia Tahun 2009-2017," Universitas Islam Negeri Sunan Gunung Djati: Bandung, 2018.