

**ANALISIS PERKIRAAN WAKTU BERAKHIRNYA  
GEMPABUMI SUSULAN PADA GEMPABUMI M 5.4  
JAYAPURA 2 JANUARI 2023**  
AFTERSHOCK END TIME PREDICTION ANALYSIS OF M5.4  
JAYAPURA EARTHQUAKE ON JANUARY 2, 2023

**Hafidz Syarifuddin dan Puji Arianto<sup>1,2\*</sup>**

<sup>1</sup>Program Studi Geofisika, Sekolah Tinggi Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (STMKG), Jl. Perhubungan I No. 5 Komplek BMKG Pondok Betung Bintaro, Pondok Aren, Tangerang Selatan, Banten 15221

<sup>2</sup>Sekolah Tinggi Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (STMKG)

\*E-mail: [hafidzsyarifuddin03@gmail.com](mailto:hafidzsyarifuddin03@gmail.com)

**ABSTRAK**

*Pada 2 Januari 2023 terjadi gempabumi dengan magnitudo 5.4 pada 140.74°BT dan latitude 2.53°LS dengan kedalaman sekitar 10 Km berjarak sekitar 19 km ke arah timur laut dari Kota Jayapura. Gempabumi yang dirasakan sebesar IV MMI oleh masyarakat Jayapura dan sekitarnya ini juga diikuti oleh rangkaian gempabumi susulan. Dari data kejadian gempabumi BMKG dalam rentang waktu 10 hari semenjak gempabumi utama terjadi, yaitu pada 11 Januari 2023 tercatat sebanyak 135 kejadian gempabumi susulan. Pada studi kali ini peneliti memperkirakan waktu berakhirnya gempabumi susulan setelah kejadian gempabumi 5.4M di Jayapura 2 Januari 2023 dengan melakukan analisis peluruhan gempabumi menggunakan Metode Omori, Metode Mogi I, Metode Mogi II, dan Metode Utsu. Kemudian didapatkan hasil perhitungan menggunakan 4 metode tersebut untuk mendapatkan perkiraan waktu berakhirnya gempabumi susulan pada gempabumi M5.4 Jayapura 2 Januari 2023 beserta nilai koefisien korelasi setiap metode. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perkiraan paling mendekati adalah perhitungan menggunakan Metode Mogi II. Didapatkan nilai koefisien korelasi -0.868504 dengan perkiraan gempabumi susulan berakhir pada 15 Januari 2023, tepatnya 13 hari setelah terjadinya gempabumi utama.*

Kata kunci: peluruhan, gempabumi susulan, omori, mogi, utsu.

**ABSTRACT**

*On January 2, 2023 an earthquake with a magnitude of 5.4 occurred at 140.74°BT and latitude 2.53°LS with a depth of about 10 km located about 19 km to the northeast of Jayapura City. The earthquake, which was felt at IV MMI by the people of Jayapura and its surroundings, was also followed by a series of aftershocks. From the BMKG earthquake event data in the span of 10 days since the main earthquake occurred, on January 11, 2023, 135 aftershocks were recorded. In this study, researchers estimated the time of the end of the aftershocks after the 5.4M earthquake in Jayapura on January 2, 2023 by analyzing the decay of the earthquake using the Omori Method, Mogi I Method, Mogi II Method, and Utsu Method. Then the results of the calculation using the 4 methods were obtained to obtain the estimated time of the end of the aftershock at the M5.4 Jayapura earthquake on January 2, 2023 along with the value of the correlation coefficient of each method. The results show that the closest estimate is the calculation using the Mogi II Method. A correlation coefficient value of -0.868504 was obtained with an estimated aftershock ending on January 15, 2023, exactly 13 days after the main earthquake.*

Keywords: decay, aftershock, omori, mogi, utsu.

## 1. Pendahuluan

Papua merupakan wilayah yang menjadi pertemuan antara Lempeng IndoAustralia, Lempeng Eurasia, dan Lempeng Pasifik. Interaksi antara tiga lempeng tersebut sangat mempengaruhi kondisi seismisitas wilayah Papua dengan terbentuknya Zona Subduksi Manokwari dan Subduksi New Guinea. Selain itu juga terdapat aktivitas Lempeng Carolina sebagai lempeng mikro yang bergerak bersama Lempeng Pasifik sehingga memunculkan zona deformasi utama di Papua. Dengan pertemuan tiga lempeng besar tersebut dibagian utara, menyebabkan daerah utara dan timur Papua merupakan wilayah yang ramai dengan aktivitas seismik dengan didominasi oleh gempa-gempa kecil. Sedangkan bagian barat atau bagian kepala burung dan bagian selatan cenderung sepi atau bahkan hampir tidak ada [1].

Aktivitas pertemuan tiga lempeng tektonik di Papua juga memicu timbulnya zona sesar di beberapa bagian. Zona Sesar Yapen merupakan zona sesar paling aktif dan tercatat pernah menyebabkan gempabumi dengan kekuatan  $M > 7$  [1]. Sebaran gempa di Papua cenderung ramai di bagian utara sebelah timur berdekatan dengan daerah pertemuan tiga lempeng hingga selatan Jayapura [2]. Jayapura sendiri dilalui oleh Zona Sesar Mamberamo yang membentang dari Pulau Yapen hingga Jayapura. Lokasinya yang dilalui oleh zona sesar dan juga berhadapan dengan Subduksi New Guinea ini menyebabkan Jayapura memiliki aktivitas kegempaan yang cukup tinggi [2].

Pada 2 Januari 2023 terjadi gempabumi signifikan dan merusak berkekuatan 5.4M dengan intensitas sebesar IV MMI yang dirasakan oleh masyarakat sekitar Kota dan Kabupaten Jayapura. Hiposenter

gempabumi berada di kedalaman sekitar 10 Km pada koordinat  $140.74^{\circ}\text{BT}$  dan  $2.53^{\circ}\text{LS}$ , berjarak sekitar 19 Km timur laut Kota Jayapura. Hingga 11 Januari 2023 telah terjadi 135 gempabumi susulan dengan rentang magnitudo 1.7 sampai 4.9. Pada studi kali ini peneliti melakukan analisis terhadap perilaku peluruhan frekuensi gempabumi susulan untuk menentukan estimasi berakhirnya gempabumi susulan.

Peluruhan gempabumi adalah berkurangnya frekuensi gempabumi susulan terhadap bertambahnya waktu. Berdasarkan Teori *Elastic Rebound* gempabumi susulan disebabkan adanya proses menuju kesetimbangan baru pada patahan yang memicu gempabumi utama [3]. Dalam proses tersebut tentunya memerlukan waktu sehingga menimbulkan serangkaian gempabumi susulan. Semakin mendekati posisi setimbang, frekuensi gempabumi susulan berangsur menurun. Hingga patahan tersebut telah mencapai posisi kesetimbangan baru maka rangkaian gempabumi susulan juga akan berakhir. Proses inilah yang selanjutnya disebut peluruhan frekuensi gempabumi susulan.

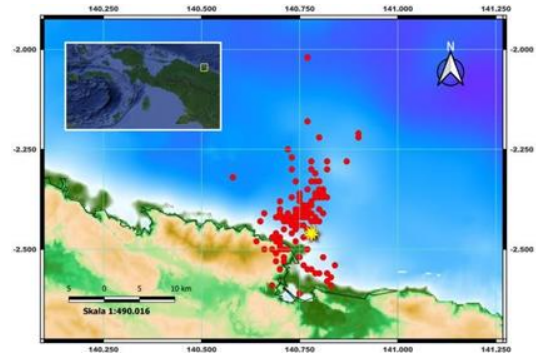
Untuk memperkirakan waktu berakhirnya gempabumi susulan dilakukan perhitungan peluruhan gempabumi dengan pendekatan statistik menggunakan Metode Omori, Metode Mogi I, Metode Mogi II, dan Metode Utsu. Setiap metode memiliki hasil dan tingkat kecocokan yang berbeda pada setiap daerah penelitian, hubungan dan tingkat kecocokan penggunaan metode dengan daerah penelitian yang semakin erat ditandai dengan nilai koefisien korelasi ( $r$ ) mendekati 1 atau -1. Pada gempabumi Biak 16 Juni 2016 menunjukkan bahwa Metode Mogi II terbukti tepat untuk menentukan berakhirnya periode gempabumi susulan pada wilayah Biak dan sekitarnya [4]. Hasil studi

lain, misalnya studi peluruhan gempabumi Selat Sunda 23 Mei 2021 menyatakan bahwa metode yang paling mendekati data BMKG untuk waktu berakhirnya gempabumi susulan pada studi tersebut adalah metode Mogi I [5]. Sedangkan metode Mogi I dan Utsu cocok untuk diaplikasikan pada daerah Lombok [6].

Penelitian ini bertujuan untuk melakukan validasi hasil penelitian serupa yang pernah dilakukan sebelumnya pada wilayah Papua. Hasil penelitian perkiraan waktu berakhirnya gempabumi susulan ini dapat dijadikan salah satu rujukan dalam melakukan mitigasi bencana gempabumi pada wilayah Jayapura dan sekitarnya. Perkiraan berakhirnya gempabumi susulan juga dapat digunakan untuk memahami karakteristik serta pola gempabumi pada wilayah tersebut.

## 2. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan data dari katalog gempabumi BMKG pada situs <https://repogempa.bmkg.go.id/eventcatalog> untuk memperoleh data frekuensi kejadian gempabumi susulan dari gempabumi Jayapura 2 Januari 2023. Data yang diambil berada di antara 2.00°LS sampai 2.65°LS dan 140.50°BT sampai 141.00°BT dalam rentang waktu 10 hari, dari 2 Januari 2023 sampai 11 Januari 2023. Data gempabumi yang ditampilkan pada daerah penelitian dapat dilihat pada gambar 1. Simbol lingkaran merah menunjukkan lokasi gempabumi susulan dan simbol bintang menandakan gempabumi utama.



**Gambar 1.** Peta persebaran gempabumi susulan, gempabumi Jayapura 2 Januari-11 Januari 2023.

Dari 135 data kejadian gempabumi susulan yang didapatkan, dilakukan pengolahan menggunakan pendekatan statistik. Data jumlah kejadian gempabumi yang diperoleh diolah kedalam bentuk tabel distribusi frekuensi gempabumi dengan jumlah 10 kelas dimana setiap kelas merupakan kejadian gempabumi dalam satu hari, yaitu kelas frekuensi gempabumi yang terjadi pada 2 Januari 2023 sampai kelas frekuensi gempabumi yang terjadi pada 11 Januari 2023. Selanjutnya dilakukan penghitungan matematis untuk mendapatkan nilai peluruhan gempabumi dengan metode peluruhan Gempabumi Omori, Mogi I, Mogi II, dan Utsu. Setiap metode yang digunakan pada penelitian kali ini akan menunjukkan hasil yang berbeda. Dikarenakan dalam perumusannya masing-masing metode didasarkan pada kejadian gempabumi dengan karakteristik gempabumi susulan yang berbeda.

a) Metode Omori

Metode Omori menunjukkan frekuensi gempabumi meluruh dengan selang waktu  $t^{-1}$  setelah gempabumi utama [7]. Hal ini dinyatakan dalam persamaan (1).

$$n(t) = k(c + t)^{-1} \quad (1)$$

Dimana :

$n(t)$  = frekuensi gempabumi susulan dalam

$t$  = waktu setelah gempabumi utama

$k, c$  = konstanta yang tergantung pada kondisi geologi sekitar

b) Metode Mogi I

Metode Mogi I dan II secara umum menyatakan hubungan eksponensial antara frekuensi dan waktu kejadian gempabumi. Metode Mogi I dirumuskan untuk gempabumi dengan kejadian gempabumi susulan lebih dari 100 hari [8]. Penentuan waktu akhir gempabumi susulan dengan metode Mogi I dinyatakan pada persamaan (2).

$$n(t) = a \cdot b^t \quad (2)$$

Dimana :

$n(t)$  = frekuensi gempabumi susulan dalam

$t$  = waktu setelah gempabumi utama

$a, b$  = konstanta yang tergantung pada kondisi geologi sekitar

c) Metode Mogi II

Metode Mogi II dirumuskan untuk gempabumi dengan kejadian gempabumi susulan kurang dari 100 hari. Penentuan waktu akhir gempabumi susulan dengan metode Mogi II dinyatakan pada persamaan (3).

$$n(t) = a \cdot e^{-bt} \quad (3)$$

Dimana :

$n(t)$  = frekuensi gempabumi susulan dalam

$t$  = waktu setelah gempabumi utama

$a, b$  = konstanta yang tergantung pada kondisi geologi sekitar

$e$  = konstanta  $e$

d) Metode Utsu

Metode Utsu merupakan hasil modifikasi dari Metode Omori sehingga mewakili dengan baik frekuensi gempabumi susulan setiap satuan waktu[9]. Rumusan untuk menentukan waktu berakhirnya gempabumi dengan metode Utsu dinyatakan dalam persamaan (4).

$$n(t) = k(t + c)^{-p} \quad (4)$$

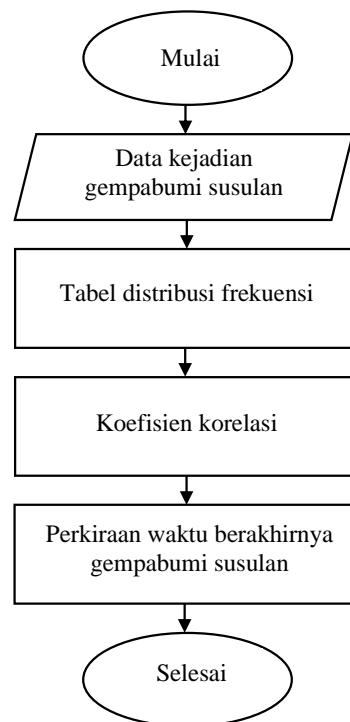
Dimana :

$n(t)$  = frekuensi gempabumi susulan dalam

$t$  = waktu setelah gempabumi utama

$k, p$  = konstanta yang tergantung pada kondisi geologi sekitar

Secara umum proses pengolahan data mengikuti alur diagram pada Gambar 2. Dimulai dengan menyiapkan katalog parameter gempabumi dan dilanjutkan menentukan frekuensi gempabumi susulan pada  $t=1$  sampai  $t=30$  pada setiap metode.



Gambar 2. Diagram alir penelitian

Karena terdapat empat metode yang berbeda dalam penentuan berakhirnya gempabumi susulan. Maka perlu ditentukan metode yang memiliki hubungan paling erat dengan menganalisis nilai koefisien korelasi yang dihasilkan oleh setiap metode. Untuk menentukan koefisien korelasi antara perkiraan waktu kejadian serta perkiraan frekuensi gempabumi susulan dapat dilakukan menggunakan persamaan berikut[10].

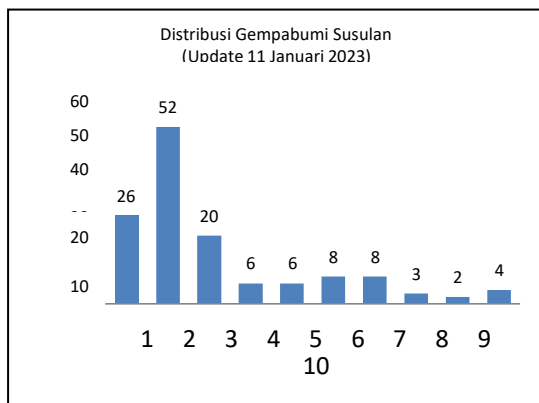
$$r = \frac{(\sum XY) - (\sum X) \cdot (\sum Y)}{\sqrt{(n(\sum X^2) - (\sum X)^2) \cdot (n(\sum Y^2) - (\sum Y)^2)}} \quad (5)$$

Dimana :

- r = koefisien korelasi
- x = banyaknya hari
- y = frekuensi gempabumi per hari
- n = jumlah kelas data

### 3. Hasil dan Pembahasan

Dari 135 data kejadian gempabumi susulan yang di dapat melalui katalog gempabumi BMKG. Dilakukan pengelompokan frekuensi kejadian gempabumi dari hari ke-1 sampai hari ke-10 setelah gempabumi utama terjadi yang dapat dilihat pada Gambar 3.



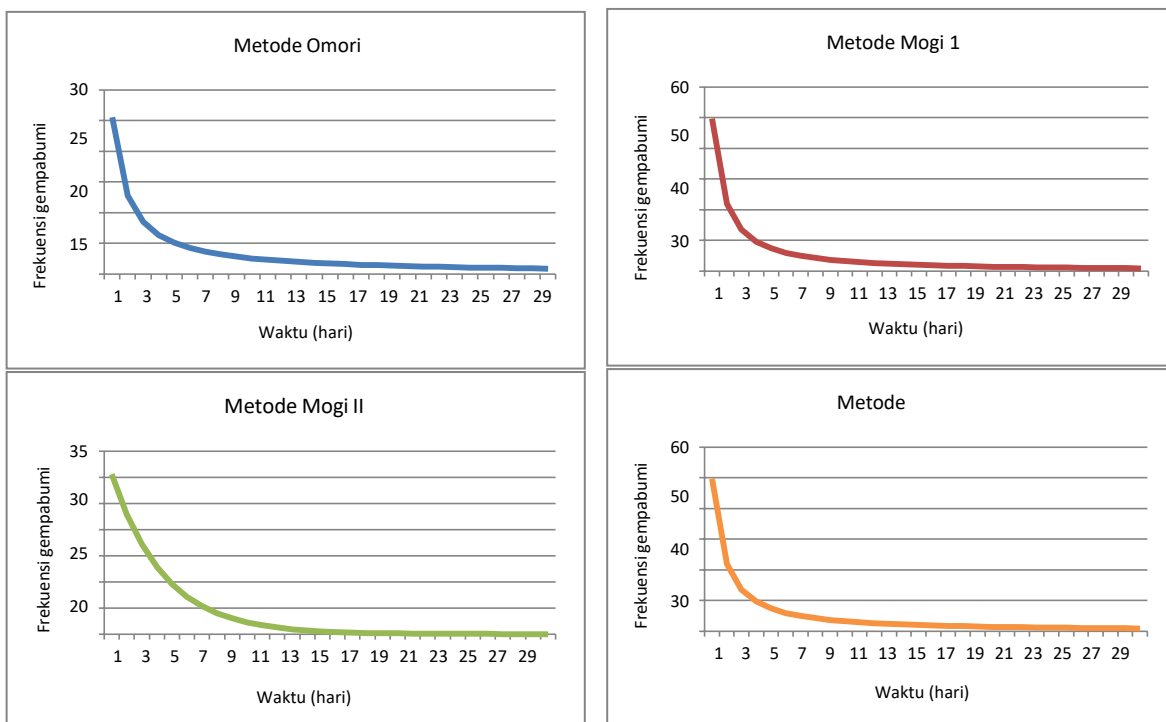
**Gambar 3.** Diagram distribusi frekuensi gempabumi susulan

Terlihat pada Gambar 3. bahwa setelah gempabumi utama terjadi, diikuti dengan serangkaian gempabumi susulan dengan jumlah yang bervariasi setiap harinya. Pada satu hari setelah gempabumi utama,

tercatat ada 26 gempabumi susulan. Pada hari ke-2 terdapat 52 gempabumi susulan dimana nilai ini naik dua kali lipat dari kejadian gempabumi susulan pada hari pertama. Pada hari selanjutnya jumlah frekuensi gempabumi susulan bervariasi dan menunjukkan tren naik turun namun tidak melebihi jumlah kejadian pada hari pertama dan kedua. Hingga pada hari ke-10 terdapat 4 gempabumi susulan.

Hal ini menunjukkan bahwa pada hari pertama dan kedua kondisi lempeng yang mengalami patah masih sangat tidak stabil sehingga terdapat banyak guncangan. Pada hari-hari berikutnya kondisi lempeng cenderung lebih stabil dengan ditunjukkan penurunan frekuensi kejadian gempabumi.

Melalui hasil penghitungan peluruhan gempabumi susulan menggunakan Metode Omori, Mogi I, Mogi II, dan Utsu didapatkan hasil perubahan frekuensi gempabumi terhadap waktu yang disajikan dalam bentuk grafik pada Gambar 4.



**Gambar 4.** Grafik peluruhan gempabumi Jayapura 2 Januari 2023

Berdasarkan dari grafik peluruhan frekuensi gempabumi yang disajikan, dapat diamati bahwa keempat metode menunjukkan perilaku frekuensi gempabumi yang meluruh teradap waktu. Waktu berakhirnya gempabumi susulan dapat ditentukan ketika grafik menunjukkan frekuensi gempabumi sama dengan nol.

Selain hasil perhitungan frekuensi gempabumi dengan persamaan (1),

(2), (3), dan (4) sebagai perkiraan berakhirnya gempabumi susulan, perlu dilakukan analisis hubungan antar variabel sebagai parameter kecocokan metode dengan daerah penelitian yang dinyatakan sebagai koefisien korelasi. Nilai koefisien korelasi dari setiap metode ditampilkan dalam bentuk tabel, yang dapat dilihat pada Tabel 1.

**Tabel 1.** Hasil perhitungan perkiraan waktu akhir gempabumi susulan gempa Jayapura 2 Januari 2023

Metode	Koefisien Korelasi	Hari Ke-	Akhir Gempabumi Susulan
Omori	0.8026007	26	28 Januari 2023
Mogi I	-0.8580861	27	29 Januari 2023
Mogi II	-0.8685043	13	15 Januari 2023
Utsu	-0.8583941	27	29 Januari 2023

Metode Omori memperkirakan gempabumi susulan berakhir pada hari ke-26. Metode Mogi I dan Utsu menunjukkan hasil perkiraan berakhirnya gempabumi susulan pada hari yang sama yaitu pada hari ke-27.

Sedangkan metode Mogi II memberikan hasil yang cenderung lebih awal daripada hasil perhitungan metode lain, yaitu pada hari ke-13. Apabila dilihat dari koefisien korelasinya metode Omori memiliki

nilai koefisien korelasi positif (+) sedangkan tiga metode lainnya memiliki nilai negatif (-).

Namun dalam hal ini positif atau negatifnya nilai tidak berpengaruh pada tingkat keeratn hubungan. Nilai koefisien korelasi tertinggi dimiliki oleh hasil dari perhitungan metode Mogi II yaitu -0.8685043 Sedangkan

nilai koefisien korelasi terendah dimiliki oleh hasil penghitungan dengan metode Omori dengan nilai koefisien korelasi sebesar 0.8026007. Dari hasil perhitungan perlu dicocokkan dengan data rekaman kejadian gempabumi untuk wilayah penelitian yang dapat dilihat pada Gambar 5.

Date	Time	Lat	Lon	Dep M	MT	Region
2023/01/19	13:47:40.457	2.32 S	140.75 E	10 4.0	-	Near North Coast of Irian Jaya (Status: confirmed)
2023/01/19	13:37:28.374	2.31 S	140.76 E	10 3.9	-	Near North Coast of Irian Jaya (Status: confirmed)
2023/01/19	02:28:14.514	2.42 S	140.74 E	11 3.6	-	Near North Coast of Irian Jaya (Status: confirmed)
2023/01/18	12:26:01.426	2.41 S	140.72 E	10 3.0	-	Near North Coast of Irian Jaya (Status: confirmed)
2023/01/18	07:10:43.791	2.39 S	140.68 E	10 3.4	-	Near North Coast of Irian Jaya (Status: confirmed)
2023/01/17	09:47:02.693	2.39 S	140.72 E	10 3.8	-	Near North Coast of Irian Jaya (Status: confirmed)
2023/01/17	09:47:56.884	2.40 S	140.38 E	12 4.1	-	Near North Coast of Irian Jaya (Status: confirmed)
2023/01/17	02:14:02.454	2.37 S	140.73 E	10 4.0	-	Near North Coast of Irian Jaya (Status: confirmed)
2023/01/16	16:40:12.054	2.45 S	140.74 E	10 3.7	-	Near North Coast of Irian Jaya (Status: confirmed)
2023/01/14	15:21:30.621	2.38 S	140.73 E	10 3.1	-	Near North Coast of Irian Jaya (Status: confirmed)
2023/01/13	20:39:05.864	2.22 S	140.76 E	12 3.7	-	Near North Coast of Irian Jaya (Status: confirmed)
2023/01/13	15:34:06.346	2.61 S	140.64 E	16 2.1	-	Near North Coast of Irian Jaya (Status: confirmed)
2023/01/13	06:27:00.921	2.41 S	140.73 E	10 3.9	-	Near North Coast of Irian Jaya (Status: confirmed)
2023/01/12	23:56:45.175	2.33 S	140.77 E	10 3.4	-	Near North Coast of Irian Jaya (Status: confirmed)
2023/01/12	22:50:33.290	2.35 S	140.76 E	10 2.8	-	Near North Coast of Irian Jaya (Status: confirmed)
2023/01/12	21:28:48.160	2.44 S	140.93 E	12 3.5	-	Near North Coast of Irian Jaya (Status: confirmed)

**Gambar 5.** Katalog gempabumi BMKG tanggal 2 Januari sampai 20 Januari 2023 yang diakses melalui <https://repogempa.bmkg.go.id/eventcatalog>.

Dari perolehan nilai koefisien korelasi menunjukkan bahwa perkiraan dari Metode Mogi II memiliki tingkat kecocokan tertinggi, ditandai dengan nilai koefisien korelasi sangat mendekati 1 atau -1. Hal ini juga dibuktikan dari katalog gempabumi BMKG yang diakses melalui <https://repogempa.bmkg.go.id/eventcatalog>, bahwa tidak terdapat aktivitas kegempaan pada tanggal 15 Januari 2023, tepatnya hari ke-13 setelah gempabumi utama terjadi.

#### 4. Kesimpulan

Pada penelitian perkiraan waktu berakhirnya gempabumi susulan untuk gempabumi Jayapura, 2 Januari 2023 diperoleh nilai koefisien korelasi terbesar menggunakan Metode Mogi II, dengan nilai koefisien korelasi sebesar -0.8685043 dan perkiraan berakhirnya gempabumi susulan pada hari ke-13 tanggal 15 Januari 2023. Dimana

hasil ini juga sesuai dengan data katalog gempabumi BMKG yang tidak menunjukkan aktivitas kegempaan pada tanggal 15 Januari 2023 di wilayah tersebut. Sehingga dapat dikatakan bahwa metode Mogi II dapat memperkirakan waktu berakhirnya gempabumi susulan pada gempabumi Jayapura 2 Januari 2023 dengan tepat.

#### Daftar Pustaka

- [1] Pusat Studi Gempa Nasional, "Buku Peta Deagregasi Bahaya Gempa Indonesia untuk Perencanaan dan Evaluasi Infrastruktur Tahan Gempa."
- [2] P. Lilik, Mudlazim, and P. Tjipto, "Analisis Tingkat Resiko Gempa Bumi Tektonik Analisis Tingkat Resiko Gempa Bumi Tektonik di Papua pada Periode 1960-2010." *Jurnal Inovasi Fisika Indonesia (IFI)* 2.2 (2013)..

- [3] K. Salsabil A., R. A. Ginting, Q. A., and M. Kamal A., "Analisis Peluruhan Gempa Bumi Menggunakan Metode Omori, Mogi-Utsu I Dan Mogi-Utsu li (Studi Kasus Gempa Bumi Banten 23 Januari 2018)," *Prosiding Seminar Nasional Fisika (E-Journal) SNF2019*, vol. VIII, pp. SNF2019-PA-7-14, 2019, doi: 10.21009/03.snf2019.02.pa.02.
- [4] A. Awaludin, "Penentuan Waktu Berakhirnya Gempa Susulan Untuk Gempa Bumi Biak 16 Juni 2010," *Skripsi*, 2011.
- [5] Y. Januarti and P. Ariyanto, "Analisis Peluruhan Gempabumi Susulan di Selat Sunda Pada Tanggal 23 Mei 2021," *Seminar Nasional Fisika (SNF) 2021*, pp. 97-102, 2021, [Online]. Available: <https://fisika.fmipa.unesa.ac.id/proceedings/index.php/snf/article/view/179/158>
- [6] A. Vellicia, K. Suarbawa, and R. Darsono, "Penentuan Asumsi Waktu Berakhirnya Gempa Susulan Studi Kasus Gempabumi Lombok 5 Agustus 2018," *Kappa Journal*, vol. 3, no. 2, pp. 99-104, 2019, doi: 10.29408/kpj.v3i2.1609.
- [7] F. Omori, "On the aftershocks of earthquakes," *Journal of the College of Science, Imperial University of Tokyo*, vol. 7. pp. 111-200, 1895.
- [8] K. Mogi, "Earthquakes and fractures," *Tectonophysics*, vol. 5, no. 1, pp. 35-55, 1967, doi: 10.1016/0040-1951(67)90043-1.
- [9] T. Utsu, "Magnitude of Earthquakes and Occurrence of their Aftershocks," *Zisin (Journal of the Seismological Society of Japan, 2nd Series)*, vol. 10, no. 1, pp. 35-45, 1957.
- [10] Harna, M. Arsyad, and V. A. Tiwow, "Analisis Seismisitas dan Peluruhan Gempa Bumi ( Studi kasus Gempa Bumi Banggai 12 April 2019 )," *Simposium MIPA Universitas Negeri Makassar, MIPA Open & Exposition 2017*. April. 44-47, 2019.