

**ANALISIS METODE PELURUHAN GEMPA BUMI SUSULAN
PADA WILAYAH KARANGASEM BERDASARKAN GEMPA
BUMI KARANGASEM Mw 5,2 DESEMBER 2022**
*ANALYSIS OF AFTERSHOCK METHODS IN KARANGASEM
BASED ON THE KARANGASEM EARTHQUAKE Mw 5,2 2022
DECEMBER*

Daffa Andhika Pramadhana^{1*}

¹Program Studi Geofisika, Sekolah Tinggi Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, Jalan Perhubungan 1 No. 5, Pondok Betung, Pondok Aren, Kota Tangerang Selatan, Banten 15221

*E-mail: daffaandhika@stmkg.ac.id

ABSTRAK

Indonesia merupakan salah satu negara yang memiliki tingkat kerawanan bencana tektonik tertinggi di Dunia. Banyak gempa bumi yang terjadi di Indonesia, salah satunya adalah gempa bumi Karangasem Desember 2022 dengan kekuatan Mw 5,2. Dalam penelitian ini, telah dilakukan perhitungan dan analisis perkiraan berhentinya gempa bumi susulan di wilayah Karangasem pada 13 Desember 2022 hingga 12 Januari 2023 dengan metode Omori, Mogi 1, Mogi 2, dan Utsu. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan metode peluruhan gempa bumi susulan di wilayah Karangasem sebagai langkah mitigasi bencana gempa bumi. Data pada penelitian ini berdasarkan studi kasus gempa bumi Karangasem Desember 2022 berkekuatan Mw 5,2 yang diperoleh dari repository earthquake BMKG. Dalam perhitungan peluruhan gempa bumi susulan gempa bumi Karangasem Desember 2022 dengan kekuatan Mw 5,2 diperoleh metode yang paling tepat adalah metode Mogi dan Utsu 1. Oleh karena itu, metode yang paling tepat untuk digunakan di wilayah Karangasem, Bali adalah metode Mogi dan Utsu 1.

Kata Kunci: Karangasem, Peluruhan gempa bumi susulan, Omori, Mogi, Utsu

ABSTRACT

Indonesia is one of the countries with the highest level of tectonics disaster vulnerability in the world. Many earthquakes happen in Indonesia, one of them is the Karangasem Earthquake Mw 5,2 2022 December. In this research, calculations and analysis have been carried out to estimate the cessation of aftershocks in the Karangasem on December 13th, 2022 until January 12th, 2023 using the Omori, Mogi 1, Mogi 2, and Utsu methods. The aim of this study is to decide the aftershocks calculation method for Karangasem area as earthquake mitigation. Data in this study are based on the Karangasem earthquake case study Mw 5,2 on December 13th, 2022 obtained from the BMKG repository earthquake. In calculating the decay of aftershocks of the 2022 December Karangasem earthquake with a magnitude of Mw 5.2, the most appropriate methods are the Mogi and Utsu 1 methods. Therefore, the most appropriate methods to use in the Karangasem region are the Mogi and Utsu 1 methods.

Keywords: Karangasem, Aftershocks, Omori, Mogi, Utsu

1. Pendahuluan

Gempa bumi tektonik merupakan peristiwa bergetarnya permukaan

tanah akibat pelepasan energi seismik dari dalam perut menuju ke permukaan Bumi yang ditandai dengan deformasi fisis karena

tekanan kerak Bumi [1]. Gempa bumi menghasilkan 2 jenis gelombang, yaitu gelombang badan (gelombang P dan S) yang merambat di bawah permukaan bumi dan gelombang permukaan (gelombang Love dan Rayleigh) yang merambat di permukaan bumi. Pada umumnya, kerusakan bangunan di permukaan bumi akibat dari penjalaran gelombang permukaan.

Indonesia adalah negara kepulauan yang terletak di antara Benua Asia dan Benua Australia. Indonesia juga terletak di zona pertemuan beberapa lempeng tektonik, diantaranya Lempeng Eurasia, Lempeng Indo-Australia, Lempeng Pasifik, dan Lempeng Laut Filipina [2]. Dimana di wilayah Bali-Nusa Tenggara memiliki tatanan tektonik yang kompleks akibat dari penunjaman Lempeng Australia di bawah Kepulauan Nusa Tenggara dan melengkung berlawanan arah [2]. Wilayah Bali-Nusa Tenggara juga merupakan daerah yang memiliki tingkat aktivitas seismik yang tinggi, terutama di wilayah Utara Bali-Nusa Tenggara. Tingkat seismisitas yang tinggi ini disebabkan oleh *Flores Back Arc Thrust*. *Flores Back Arc Thrust* sangat aktif dan menghasilkan banyak gempa bumi besar, seperti gempa bumi Lombok pada 5 Agustus 2018 [3]

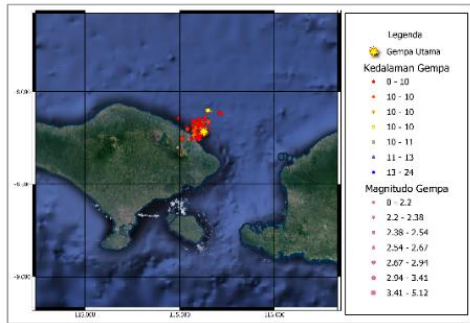
Pada Selasa, 13 Desember 2022 pukul 17.56 WITA terjadi gempa bumi dengan magnitudo Mw 5,2 mengguncang wilayah Karangasem, Bali. Gempa bumi ini mengakibatkan kerusakan rumah warga dan kepanikan masyarakat di wilayah Karangasem, Bali. Sesar penyebab gempa bumi ini memiliki arah *strike* timur laut-barat daya dengan perkiraan panjang 9 km dan berpotensi menghasilkan gempa bumi berkekuatan magnitudo 6,2,

tetapi geometri dan kinematika sesar ini masih belum dapat dipastikan [4].

Penelitian ini bertujuan untuk menghitung waktu yang dibutuhkan gempa bumi susulan untuk meluruh dan berakhir di wilayah Karangasem, Bali dengan studi kasus gempa bumi Karangasem Desember 2022 berkekuatan Mw 5,2 menggunakan metode Mogi, Utsu 1, Mogi dan Utsu 2, serta Utsu. Hasil perhitungan yang didapat kemudian dibandingkan dengan hasil sesungguhnya di lapangan sebagai salah satu langkah mitigasi bencana gempa bumi di wilayah Karangasem, Bali apabila terjadi gempa bumi di kemudian hari.

2. Metode

Penelitian ini menggunakan data gempa bumi yang diunduh dari laman *Repository Earthquake* BMKG dengan tautan [EQ Repository | Events Request \(bmkg.go.id\)](https://www.bmkg.go.id/Events/Request). Parameter yang digunakan untuk memperoleh data penelitian ini adalah dengan rentang waktu 13 Desember 2022 sampai dengan 12 Januari 2023 pada wilayah Kabupaten Karangasem, Bali dengan koordinat 7,95S hingga 8,57S dan 115,43E sampai dengan 115,99E dengan waktu yang telah dikonversi dalam WIB (Waktu Indonesia bagian Barat). Hasil pemodelan dengan parameter yang telah ditentukan seperti pada Gambar 1.



Gambar 1. Peta Batasan Wilayah Penelitian di Kabupaten Karangasem, Bali serta Gempa Bumi Utama dan Susulan sebagai data penelitian.

Data yang telah diperoleh kemudian diolah dengan bantuan perangkat lunak Excel untuk memudahkan dalam pembuatan grafik distribusi frekuensi gempa bumi dari tanggal 13 Desember 2022 hingga 22 Desember 2022. Kemudian, grafik frekuensi tersebut digunakan sebagai data untuk diolah dengan perhitungan dengan metode Omori, Mogi dan Utsu 1, Mogi dan Utsu 2, serta Metode Utsu [5].

2.1. Metode Omori

Metode Omori merupakan metode perhitungan aktivitas gempa bumi susulan dalam hubungan antara frekuensi gempa bumi terhadap waktu. Metode Omori memiliki persamaan sebagai berikut:

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

Dimana:

$n(t)$ = Frekuensi gempa bumi susulan
 t = Waktu
 k = Konstanta
 c = Gradien/kemiringan
 Nilai koefisien k dan c dapat diketahui dengan menggunakan metode *least square*, sehingga persamaan Omori menjadi berikut:

$$\frac{1}{n(t)} = \frac{c}{k} + \frac{1}{k} \cdot t \quad (2)$$

Dimana :

$Y(1/(n(t)))$ = Frekuensi gempa bumi susulan
 $A(c/k)$ = Konstanta
 $B(1/k)$ = Konstanta
 $X(t)$ = Waktu

2.2. Metode Mogi 1

Metode Mogi 1 digunakan untuk memprediksi frekuensi gempa bumi susulan dengan rentang waktu lebih dari 100 hari. Mogi 1 memiliki persamaan sebagai berikut:

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

Dimana:

$n(t)$ = Frekuensi gempa bumi susulan
 t = Waktu
 b = Konstanta gradien/kemiringan
 Persamaan dari Mogi 1 dapat dilinierkan dengan mengubah persamaan awal Mogi 1 menjadi persamaan logaritma sebagai berikut:

$$\text{Log } n(t) = \text{Log } (a) - b \text{ Log } (t) \quad (4)$$

Dimana:

$Y=\text{Log } n(t)$ =Frekuensi gempa bumi susulan
 $A=\text{Log } (a)$ = Konstanta
 $B=-b$ =Konstanta
 $X=\text{Log } (t)$ = Waktu

2.3. Metode Mogi 2

Metode Mogi 2 digunakan untuk menghitung peluruhan gempa bumi susulan dalam hubungan antara frekuensi gempa bumi dengan waktu dengan rentang waktu kurang dari 100 hari. Persamaan Mogi 2 dapat dituliskan sebagai berikut:

$$n(t) = a \cdot e^{-bt} \quad (5)$$

Dimana:

$n(t)$ = Frekuensi gempa bumi

t = Waktu setelah gempa bumi utama
 a = Konstanta
 b = Konstanta Gradien/Kemiringan

Sama halnya dengan persamaan Mogi 1, persamaan Mogi 2 dapat dilinearkan dengan mengubah persamaan Mogi 2 menjadi persamaan logaritma natural berikut:

$$\ln n(t) = \ln a - b \cdot t \quad (6)$$

Dimana:
 Y = $\ln n(t)$ = Frekuensi gempa bumi susulan
 A = $\ln a$ = Konstanta
 B = $-b$ = Konstanta
 X = t = Waktu

2.4. Metode Utsu

Metode Utsu merupakan metode yang dikembangkan oleh Tokuji Utsu yang berfungsi untuk menghitung peluruhan gempa bumi susulan. Metode Utsu memiliki persamaan sebagai berikut :

$$n(t) = k(t + 0.01)^{-p} \quad (7)$$

Dimana:
 n(t) = Frekuensi gempa bumi susulan
 k = Konstanta
 p = Konstanta
 t = Waktu

Selanjutnya, metode Utsu dapat dilinearkan dengan mengubah persamaan metode Utsu menjadi dalam bentuk logaritma.

$$\log n(t) = \log k - p \log(t + 0.01) \quad (8)$$

Dimana:
 Y = $\log n(t)$ = Frekuensi gempa bumi susulan
 K = $\log k$ = Konstanta
 P = $-p$ = Konstanta
 X = $\log(t+0.01)$

Kemudian data diolah dengan persamaan regresi linear untuk menentukan koefisien korelasi antara 2 variabel yang digunakan dalam perhitungan

2.5. Metode Analisis Regresi Linear

Persamaan analisis regresi linear sederhana merupakan persamaan yang berfungsi untuk menentukan nilai keterkaitan atau hubungan antara 2 variabel atau lebih, yaitu variabel penyebab (x) terhadap variabel akibat (y) [6]. Persamaan atau metode analisis regresi linear sederhana memiliki persamaan sebagai berikut:

$$y = a + bx + e \quad (9)$$

Dimana:
 y= Variabel akibat
 x= Variabel penyebab
 a= Konstanta
 b= Koefisien regresi/kemiringan garis regresi
 Nilai dari a, b dan koefisien korelasi (r) dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$a = \frac{(\sum Y)(\sum X^2) - (\sum X)(\sum XY)}{(n)(\sum X^2) - (\sum X)^2} \quad (10)$$

$$b = \frac{(n)(\sum XY) - (\sum X)(\sum Y)}{(n)(\sum X^2) - (\sum X)^2} \quad (11)$$

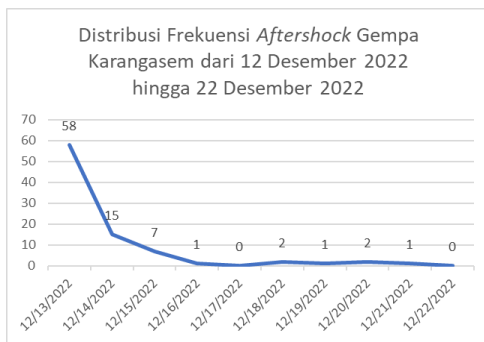
$$r = \frac{(n)(\sum XY) - (\sum X)(\sum Y)}{\sqrt{(n)(\sum X^2) - (\sum X)^2)(n)(\sum Y^2) - (\sum Y)^2}} \quad (12)$$

Data yang telah diolah dengan metode Omori, Mogi dan Utsu 1, Mogi dan Utsu 2, serta Metode Utsu, lalu dibandingkan dengan data sesungguhnya di lapangan. Hal ini untuk menentukan metode perhitungan peluruhan gempa bumi susulan di wilayah Kabupaten Karangasem sebagai salah satu langkah mitigasi bencana gempa bumi.

3. Hasil Dan Pembahasan

Data distribusi frekuensi gempa bumi Karangasem Desember 2022 berkekuatan Mw 5,2 menunjukkan bahwa gempa bumi susulan (*aftershock*) terdapat pada hari pertama yaitu pada tanggal 13 Desember 2022. Grafik ini juga menunjukkan bahwa secara umum, gempa bumi susulan meluruh seiring dengan bertambahnya waktu.

Pada Gambar 2, merupakan grafik distribusi frekuensi gempa bumi Karangasem Desember 2022 berkekuatan Mw 5,2 selama 10 hari, pada 12 Desember 2022 hingga 22 Desember 2022. Pada Gambar 2, juga menunjukkan bahwa gempa bumi susulan pasti akan meluruh jumlah frekuensinya terhadap waktu.



Gambar 2. Distribusi Gempa Bumi Susulan dari Gempa Bumi Karangasem Desember 2022 Berkekuatan Mw 5,2 pada Tanggal 12 Desember 2022 hingga 22 Desember 2022.

Data distribusi frekuensi gempa bumi susulan tersebut kemudian diolah dengan keempat metode, yaitu metode Omori, Mogi dan Utsu 1, Mogi dan Utsu 2, serta Metode Utsu. Dari hasil perhitungan dengan keempat metode tersebut, didapatkan hasil bahwa hasil perhitungan peluruhan gempa bumi susulan meluruh terhadap waktu.

Hasil perhitungan peluruhan gempa bumi susulan dengan metode Omori

didapatkan seperti pada Gambar 3. Hasil perhitungan peluruhan gempa bumi susulan dengan metode Omori menyebutkan bahwa pada hari ke-10, frekuensi gempa bumi susulan akan menurun bahkan hingga dibawah 2.



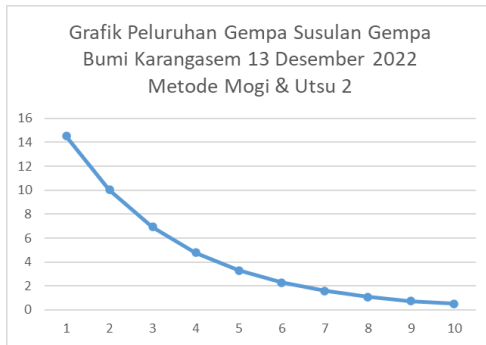
Gambar 3. Grafik Hasil Perhitungan Peluruhan Gempa Bumi Susulan Gempa Bumi Karangasem Desember 2022 Berkekuatan Mw 5,2 dengan Metode Omori.

Selanjutnya diperoleh hasil perhitungan peluruhan gempa bumi susulan dengan metode Mogi dan Utsu 1 yang tertera pada Gambar 4. Pada Gambar 4, menunjukkan bahwa menurut perhitungan dengan metode Mogi dan Utsu 1 gempa bumi susulan diprediksi akan berakhir pada hari ke-9 hingga hari ke-10.



Gambar 4. Grafik Hasil Perhitungan Peluruhan Gempa Bumi Susulan Gempa Bumi Karangasem Desember 2022 Berkekuatan Mw 5,2 dengan Metode Mogi dan Utsu 1.

Kemudian, pada Gambar 5, diberikan hasil perhitungan gempa bumi susulan dengan menggunakan metode Mogi dan Utsu 2. Pada hasil perhitungan dengan menggunakan metode Mogi dan Utsu 2, diprediksi bahwa frekuensi gempa bumi susulan pada hari ke-10 akan memiliki nilai dibawah 1.



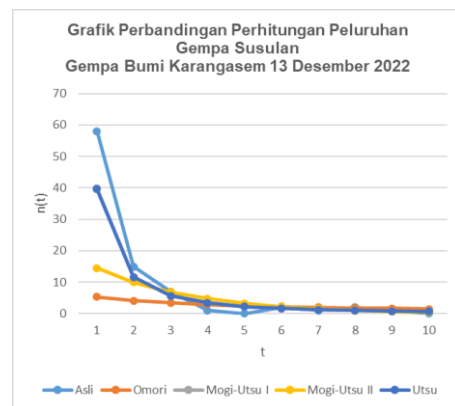
Gambar 5. Grafik Hasil Perhitungan Peluruhan Gempa Bumi Susulan Gempa Bumi Karangasem Desember 2022 Berkekuatan Mw 5,2 dengan Metode Mogi dan Utsu 2

Selanjutnya, diperoleh hasil perhitungan prediksi gempa bumi susulan dengan menggunakan metode Utsu pada Gambar 6 yang disajikan dalam bentuk grafik. Hasil perhitungan peluruhan gempa bumi susulan menggunakan metode Utsu diperoleh bahwa gempa bumi susulan diperkirakan berakhir pada hari ke-9 hingga hari ke-10. Selain itu, hasil perhitungan dengan metode Utsu sama dengan hasil perhitungan metode Mogi dan Utsu 1 yang juga memperkirakan gempa bumi susulan akan berakhir pada hari ke-9 hingga hari ke-10.



Gambar 6. Grafik Hasil Perhitungan Peluruhan Gempa Bumi Susulan Gempa Bumi Karangasem Desember 2022 Berkekuatan Mw 5,2 dengan Metode Mogi Utsu.

Dari perhitungan peluruhan gempa bumi susulan dengan keempat metode tersebut didapatkan beberapa hasil. Perhitungan dengan metode Omori memberikan hasil perhitungan peluruhan gempa bumi susulan akan berakhir pada hari ke-16. Perhitungan dengan metode Mogi dan Utsu 1 menyatakan bahwa peluruhan gempa bumi susulan akan berakhir pada hari ke-8. Perhitungan dengan metode Mogi dan Utsu 2 memberikan hasil perhitungan peluruhan gempa bumi susulan akan berakhir pada hari ke-8. Perhitungan dengan metode Utsu menyatakan bahwa peluruhan gempa bumi susulan akan berakhir pada hari ke-8. Perbandingan dari hasil perhitungan dengan keempat metode tersebut dengan data asli di lapangan dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Grafik Perbandingan Perhitungan Peluruhan Gempa Bumi Susulan Gempa Bumi Karangasem Desember 2022 Berkekuatan Mw 5,2.

Selain itu, pada perhitungan peluruhan gempa bumi susulan juga didapatkan koefisien korelasi dan tanggal prediksi gempa bumi susulan berakhir dari keempat metode yang disajikan dalam bentuk

tabel seperti yang terdapat di Tabel 1.

Nilai dari koefisien korelasi yang disajikan pada Tabel 1 sendiri menunjukkan hubungan antara 2 variabel yang digunakan dalam perhitungan, dalam hal ini variabel waktu dengan frekuensi gempa bumi susulan. Ketika nilai koefisien korelasi mendekati 1, hal itu menunjukkan bahwa hubungan keterkaitan antara 2 koefisien semakin kuat. Lalu, tanda positif dalam nilai koefisien korelasi menunjukkan bahwa hubungan antara 2 variabel tersebut berbanding lurus. Namun, tanda negatif dalam nilai koefisien korelasi menunjukkan bahwa hubungan antara 2 variabel tersebut berbanding terbalik. Frekuensi gempa bumi susulan selalu meluruh terhadap waktu, hal ini menunjukkan bahwa hubungan antara gempa bumi susulan dengan waktu ialah berbanding terbalik.

Tabel 1. Tabel Perbandingan Koefisien Korelasi, Lama Gempa Bumi Susulan, dan Prediksi Tanggal Berakhirnya Gempa Bumi Susulan Gempa Bumi Karangasem Desember 2022 Berkekuatan Mw 5,2.

Metode	Koefisien Korelasi	Lama Gempa Bumi Susulan (Hari)	Tanggal Berakhirnya Gempa Bumi Susulan
Omori	0.361706194	16.49489225	29 Desember 2022
Mogi dan Utsu 1	-0.908122191	8.013964215	21 Desember 2022
Mogi dan Utsu 2	-0.784464373	8.228979312	21 Desember 2022
Utsu	-0.907865916	8.012369994	21 Desember 2022

Menimbang akan hal ini, maka metode perhitungan peluruhan gempa bumi susulan paling tepat untuk wilayah Kabupaten Karangasem, Bali dengan studi kasus gempa bumi Karangasem Desember 2022 berkekuatan Mw 5,2 ialah metode Mogi dan Utsu 1 dengan prediksi waktu berakhirnya gempa bumi susulan ialah pada tanggal 21 Desember 2022. Metode ini dipilih karena nilai koefisien hasil perhitungan metode Mogi dan Utsu 1 mendekati 1 dan bernilai negatif yang menunjukkan keterkaitan antara 2 variabel yang kuat dan memiliki nilai yang berbanding terbalik. Hasil perhitungan dengan metode Mogi dan Utsu 1 kemudian dibandingkan dengan data asli di lapangan yang diperoleh dari laman *Repository Earthquake* BMKG dengan [tautan EQ Repository | Events Request \(bmkg.go.id\)](https://www.bmkg.go.id/Repository-Earthquake/Events-Request).

Ketika dibandingkan dengan data *Repository Earthquake* BMKG seperti pada Tabel 2, terdapat selisih antara hasil perhitungan metode Mogi dan Utsu 1 dengan data asli sebesar 1 hari, dimana data asli di lapangan menunjukkan gempa bumi susulan terakhir yang tercatat ialah pada tanggal 22 Desember 2022.

Tabel 2. Data *Repository Earthquake* BMKG dengan Rentang Waktu 13 Desember 2022 hingga 12 Januari 2023

	Tanggal	Waktu (UTC)	Lintang	Bujur	M	Depth
1	2023-01-08	00:40:31.98Z	-8.25368309	115.5100708	3.62	11
2	2023-01-06	03:41:59.25Z	-8.239894867	115.5732269	2.93	12
3	2023-01-05	17:35:44.61Z	-8.202121735	115.540329	3.20	11
4	2022-12-26	20:41:09.83Z	-8.143690109	115.4915771	2.60	10
5	2022-12-24	12:07:26.94Z	-8.163424492	115.5848999	3.25	10
6	2022-12-24	00:21:59.72Z	-8.159331322	115.5726471	3.49	10
7	2022-12-21	19:18:49.82Z	-8.173981667	115.6053467	3.38	10
8	2022-12-20	04:59:55.68Z	-8.15769577	115.5907288	2.28	10

4. Kesimpulan

Dari hasil perhitungan gempa bumi susulan dengan metode Omori, Mogi dan Utsu 1, Mogi dan Utsu 2, serta Metode Utsu pada gempa bumi Karangasem Desember 2022 berkekuatan Mw 5,2 dengan data yang digunakan berupa frekuensi gempa bumi susulan dengan rentang waktu mulai 13 Desember 2022 hingga 12 Januari 2023 dapat ditarik kesimpulan bahwa metode perhitungan gempa bumi susulan paling tepat untuk bencana gempa bumi di wilayah Kabupaten Karangasem, Bali adalah metode Mogi dan Utsu 1 dengan perkiraan waktu berakhirnya gempa bumi susulan adalah pada hari ke-8 atau pada tanggal 21 Desember 2022.

5. Saran

Pihak-pihak yang bertanggung jawab dalam penentuan prediksi berakhirnya gempa bumi susulan di wilayah Karangasem, Bali, seperti BMKG (Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika) dapat menggunakan metode Mogi dan Utsu 1 untuk menentukan prediksi berakhirnya gempa bumi susulan dalam rangka memangkas waktu dalam diseminasi informasi kepada masyarakat.

6. Ucapan Terima Kasih

Penulis dengan ini mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada Tuhan Yang Maha Esa karena dengan rahmatnya karya tulis ini dapat terselesaikan dengan

baik. Selain itu, penulis juga mengucapkan terima kasih kepada Bapak Dimas Salomo J. Sianipar, Ph.D. yang telah memberi ilmu serta inspirasi kepada penulis sehingga isi dari karya tulis ini dapat dipertanggungjawabkan. Terakhir, penulis mengucapkan terima kasih kepada rekan-rekan penulis yang berkenan menyisihkan waktunya sebagai teman diskusi dan penyemangat kepada penulis.

Daftar Pustaka

- [1] Vavrycuk, V. (2015). *Encyclopedia of Earthquake Engineering. Earthquake Mechanisms and Stress Field* (pp. 1-21). Berlin: Springer-Verlag
- [2] Natawidjaja, D.H. (2021). *Riset Sesar Aktif Indonesia Dan Peranannya Dalam Mitigasi Bencana Gempa Dan Tsunami*. Jakarta, DKI: LIPI Press. Diakses dari <https://lipipress.lipi.go.id>
- [3] Yang, X., Singh, S. C., & Tripathi, A. (2020). Did the Flores backarc thrust rupture offshore during the 2018 Lombok earthquake sequence in Indonesia?. *Geophysical Journal International*, 221(2), 758-768
- [4] Badan Geologi. (2021). *Laporan penyelidikan tim tanggap darurat Badan Geologi*. vsi.esdm.go.id/index.php/gempa-bumi-a-tsunami/kejadian-

gempabumi-a-tsunami/3829-
laporan-singkat-dan-
rekomendasi-teknis-gempa-
bumi-tanggal-16-oktober-2021-
di-kabupaten-bangli-
karangasem-provinsi-bali

- [5] Mogi, K. (1967). Earthquakes and fractures. *Tectonophysics*, Vol.5, No.1.

- [6] Pahlevi, M. (2020). Waktu Berakhirnya Gempa Bumi Susulan Untuk Gempa Bumi Sulawesi 28 September 2018 (Skripsi). Tersedia dari <https://repository.uinjkt.ac.id>