

**ANALISIS PERBANDINGAN ENERGI GEMPABUMI UTAMA  
DENGAN GEMPABUMI SUSULAN (STUDI KASUS  
RANGKAIAN GEMPABUMI CIANJUR 21 NOVEMBER 2022)  
ENERGY COMPARISON ANALYSIS OF THE MAIN  
EARTHQUAKE AND AFTERSHOCKS (CASE STUDY OF THE  
CIANJUR EARTHQUAKE SERIES ON NOVEMBER 21, 2022)**

**Marelia Andisolina P. Saputri<sup>1</sup>, Dede Sunarya<sup>2</sup>**

<sup>1)2)</sup> Balai Besar Meteorologi Klimatologi dan Geofisika Wilayah II,  
Jalan H. Abdul Ghani No.05, Tangerang Selatan, 15412

\*Email: [nesiamarelia0403@gmail.com](mailto:nesiamarelia0403@gmail.com)

**ABSTRAK**

Wilayah Cianjur termasuk ke dalam wilayah yang rawan gempabumi. Hal tersebut dibuktikan dengan terjadinya gempabumi signifikan 21 November 2022 dengan magnitude Mw 5,6. Gempabumi ini menimbulkan banyak kerugian berupa kerusakan bangunan maupun korban jiwa. Gempabumi ini merupakan jenis gempabumi tektonik kerak dangkal (*shallow crustal earthquake*) yang disebabkan oleh aktivitas sesar pada zona sesar Cimandiri segmen Cugenang. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis dan menghitung seberapa besar energi gempabumi utama dan gempabumi susulannya sehingga didapat presentase perbandingannya. Penelitian ini menggunakan 517 event data gempabumi susulan yang teranalisis periode 21 November 2022 hingga 15 februari 2023 dengan variasi nilai magnitude M 1,0 hingga 4,3. Perhitungan energi gempabumi menggunakan persamaan Choy dan Boatwright (1995), dimana persamaan tersebut menggunakan nilai momen sesmik. Hasil perhitungan energi gempabumi utama dan susulannya menghasilkan perbedaan energi yang cukup signifikan. Gempabumi utama Cianjur Mw 5,6 memiliki nilai energi gempabumi sebesar  $5,0596 \times 10^{19}$  J, sedangkan total nilai energi gempabumi susulan dari 517 kejadian gempabumi sebesar  $3,1924 \times 10^{17}$  J. berdasarkan hasil tersebut maka besarnya energi gempabumi susulan adalah sebesar 63% dari gempabumi utama,

Kata kunci : Gempabumi Utama, Gempabumi Susulan, Energi Gempabumi.

**ABSTRACT**

Cianjur region is included in an earthquake-prone area. This is evidenced by the occurrence of a significant earthquake on November 21, 2022 with a magnitude of Mw 5.6. This earthquake caused a lot of losses in the form of damage to buildings and casualties. This earthquake is a type of shallow crustal earthquake caused by fault activity in the Cimandiri fault zone of the Cugenang segment. The purpose of this study is to analyze and calculate how much energy the main earthquake and its aftershocks have in order to obtain a comparative percentage. This study used 517 aftershock event data analyzed for the period 21 November 2022 to 15 February 2023 with variations in magnitude M values of 1.0 to 4.3. This research using Choy and Boatwright (1995) equation, that used seismic moment values. The energy calculation results for the main earthquake and its aftershocks produce quite significant energy differences. The main earthquake of Cianjur Mw 5.6 has an energy value of  $5.0596 \times 10^{19}$  J, while the total energy value of aftershocks from 517 earthquake events is  $3.1924 \times 10^{17}$  J. Based on these results, the energy value of aftershocks is 63% of the main earthquake.

Keyword : Mainshock, Aftershock, Energy of the earthquake.

## I. Pendahuluan

Cianjur merupakan salah satu wilayah di Pulau Jawa yang memiliki zona seismik aktif. Hal ini didukung dengan sejarah gempabumi yang pernah terjadi di wilayah Cianjur baik gempabumi merusak maupun tidak. Tercatat pada tahun 1844 terjadi gempabumi merusak di Sukabumi – Jabar, hingga gempabumi merusak terbaru yang terjadi di Cianjur pada 21 November 2022 pukul 13.21 WIB dengan magnitudo Mw 5,6 [3].

Gempabumi Cianjur termasuk ke dalam gempabumi dangkal yang bersumber dari sesar lokal yang berada di daratan. Sumber gempabumi dangkal yang terjadi di darat pada kawasan padat penduduk menimbulkan dampak kerusakan yang cukup signifikan. Penelitian terkait sumber gempabumi terutama pada zona sesar aktif perlu dilakukan dengan berbagai metode seperti pemetaan sebaran episenter gempabumi dan analisis karakteristik gempabumi.

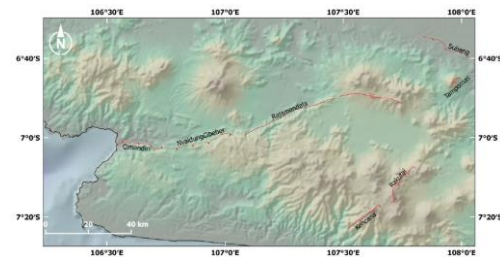
### 1.1. Seismotektonik Wilayah Cianjur

Gempabumi Cianjur Mw 5,6 yang terjadi pada 21 November 2022 merupakan jenis gempabumi tektonik kerak dangkal (*shallow crustal earthquake*) yang disebabkan oleh aktivitas sesar pada zona sesar Cimandiri segmen Cugenang. Berdasarkan hasil analisis Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG), gempabumi ini memiliki mekanisme sumber gempabumi sesar geser (*strike slip*).

Berdasarkan hasil analisis *focal mechanism* dan lokasi episenter gempabumi utama dan susulan Cianjur Mw 5,6 yang terjadi pada 21 November 2022 menunjukkan bahwa patahan pembangkit gempabumi

tersebut merupakan patahan baru dengan jurus berarah N 347° E dan kemiringan (*dip*) 82,8° serta mekanisme geser mengangan (*dextral strike-slip*) [3].

Zona Sesar Cimandiri berarah NE-SW sepanjang 100 Km dari Padalarang hingga Pelabuhan Ratu di Jawa Barat. Zona Sesar Cimandiri terbagi menjadi 3 (tiga) segmen, yaitu Segmen Cimandiri yang berada dibagian selatan, Segmen Cibeber – Nyalindung yang berada dibagian tengah, dan Segmen Rajamandala yang berada dibagian utara, secara lebih detail ditunjukkan pada gambar 1. Zona Sesar Cimandiri didominasi oleh sesar mendatar dan sesar naik dengan *slip rate geodetic* berkisar 0,4 – 1 mm/tahun [5].



Gambar 1. Segmen Sesar Aktif Cimandiri [5]

### 1.2. Magnitudo Gempabumi

Pada setiap kejadian gempabumi yang terjadi BMKG akan memberikan informasi parameter gempabumi kepada masyarakat. Parameter gempabumi tersebut meliputi waktu kejadian, lokasi kejadian, kedalaman gempabumi, dan magnitudo gempabumi. Lokasi kejadian meliputi titik episenter gempabumi tersebut dan jarak gempabumi tersebut dengan kota terdekat. Magnitudo gempabumi memberikan informasi kekuatan dari gempabumi tersebut yang menggambarkan energi yang terlepas pada saat kejadian.

Magnitudo gempabumi pertama kali diperkenalkan oleh C.F. Richter pada

tahun 1935 dengan mengusulkan skala kekuatan logaritma yang disebut dengan skala Richter. Seiring berkembangnya penelitian dan teknologi, magnitudo terbagi menjadi beberapa jenis yaitu magnitudo lokal ( $M_L$ ), magnitudo badan ( $m_b$ ), magnitudo permukaan ( $M_s$ ), dan magnitudo momen ( $M_w$ ). Ketiga jenis magnitudo meliputi  $M_L$ ,  $M_b$ , dan  $M_s$  mengalami saturasi pada skala tertentu, sedangkan  $M_w$  tidak mengalami saturasi pada skala tertentu [1].

Hasil analisa magnitudo yang dilakukan untuk suatu event gempabumi dapat menghasilkan tipe magnitudo yang beragam untuk itu perlu konversi yang menghubungkan tipe magnitudo seperti  $M_L$ ,  $M_b$ , dan  $M_s$  ke dalam  $M_w$ . Konversi ketiga jenis magnitudo tersebut ke dalam  $M_w$  [5], hasil konversi dalam persamaan sebagai berikut:

a. Konversi  $m_b$  ke  $M_w$

$$M_w = 1,0107 m_b + 0,0801 \quad (1)$$

untuk rentang magnitudo  $3,7 \leq m_b \leq 8,2$  dengan  $R^2 = 0,6975$

b. Konversi  $M_s$  ke  $M_w$

$$M_w = 0,6016 M_s + 2,476 \quad (2)$$

Untuk rentang magnitudo  $2,8 \leq M_s \leq 6,1$  dengan  $R^2 = 0,8013$

$$M_w = 0,9239 M_s + 0,5671 \quad (3)$$

untuk rentang magnitudo  $6,2 \leq M_s \leq 8,7$  dengan  $R^2 = 0,8183$

c. Konversi  $M_L$  ke  $M_w$

Konversi  $M_L$  ke  $M_w$  tidak dilakukan karena hasil plot menunjukkan hasil yang hampir sebanding diantara keduanya, sehingga  $M_L$  dianggap mempresentasikan  $M_w$ .

Kekuatan gempabumi tidak hanya diukur menggunakan skala magnitudo, namun juga dapat diukur secara kuantitatif melalui energi seismik yang berasosiasi dengan momen seismik. Momen seismik ( $M_0$ ) dan magnitudo momen ( $M_w$ ) merupakan 2 (dua) parameter sumber yang berperan penting dalam memberikan informasi kekuatan gempabumi. Momen seismik merupakan besarnya momen ekuivalen dengan kopel ganda yang tersebar dalam bidang sesar. Momen seismik memiliki rumusan sebagai berikut:

$$M_0 = \mu D S \quad (4)$$

Dengan :

$\mu$  = nilai rigiditas dibawah lapisan batuan, satuan Pa

$D$  = nilai pergeseran rata – rata bidang sesar

$S$  = area bidang sesar (*rupture area*)

Relasi empiris antara  $M_w$  dengan  $M_0$  yaitu  $M_w$  merupakan fungsi logaritmik yang bersifat universal karena tidak pada kedalaman gempabumi serta bersifat global karena tidak bergantung pada lokasi kejadian gempabumi [6]. Hubungan antara  $M_0$  dengan  $M_w$  serta  $M_0$  dengan  $M_L$  direpresentasikan dalam persamaan sebagai berikut [4]:

$$\text{Log } M_0 = 1,5 M_w + 16,1 \quad (5)$$

$$\text{Log } M_0 = 1,5 M_L + 16,0 \quad (6)$$

### 1.3. Energi Gempabumi

Bentuk energi yang dilepaskan pada saat kejadian gempabumi meliputi energi deformasi dan energi gelombang. Energi deformasi berupa perubahan volume sesudah kejadian gempabumi seperti pergeseran tanah, likuifaksi, dan lainnya. Energi gelombang yang dilepaskan akan menggetarkan medium elastis

disekitarnya dan akan menjalar ke segala arah.

Besar maupun kecilnya energi gempabumi yang dipancarkan bergantung dengan karakteristik batuan yang ada dan jumlah stress yang dikandung oleh batuan tersebut. Pada batuan yang rapuh (batuan heterogen) maka stress yang dikandung tidak besar karena langsung dilepaskan melalui gempabumi kecil yang banyak, sedangkan untuk batuan yang kuat (batuan homogen) jarang terjadi gempabumi kecil sehingga stress yang terkandung didalamnya sangat besar dan akan dilepaskan ketika batuan tersebut tidak mampu lagi menahan stress yang menyebabkan gempabumi dengan magnitudo yang besar. Energi gempabumi dikelompokkan menjadi 3 (tiga) siklus berdasarkan sifat pengulangannya yaitu [8]:

- a. Inter-seismik pertama adalah energi yang terakumulasi
- b. Co-seismik kedua adalah pada saat terjadi pelepasan energi
- c. Pasca-seismik ketiga adalah energi yang dilepaskan secara perlahan dalam kurun waktu tertentu hingga tahap keseimbangan awal kembali.

Secara umum gempabumi signifikan akan diikuti oleh gempabumi susulan (*aftershock*) dengan membentuk pola tertentu. Terdapat tegangan dengan konsentrasi tinggi disekitar daerah patahan, secara umum terdapat banyak tegangan sisa yang tertinggal didalam dan disekitar daerah patahan tersebut dimana tegangan rata – rata daerah patahan akan menurun pada saat terjadi gempabumi utama. Akibat tegangan sisa yang tersimpan, maka pada periode waktu tertentu masih ada energi yang akan dilepaskan dalam bentuk gempabumi susulan. Kekuatan dari gempabumi susulan sangat

bervariatif, hal ini merupakan proses stabilisasi medan stress ke keseimbangan yang baru [7].

Pada perhitungan energi yang dilepaskan saat gempabumi terjadi diperkirakan dengan menggunakan rumus empiris. Rumusan perhitungan energi gempabumi oleh Gutenberg-Richter yaitu

$$\text{Log } E_s = a + bM; \quad (7)$$

dimana a dan b merupakan konstanta. Berdasarkan Choy dan Boatwright (1995), energi seismik dirumuskan dalam persamaan berikut:

$$E_s = 1,6 \times 10^{-5} M_o \quad (8)$$

dimana  $E_s$  adalah energi seismik dalam satuan joule (J)

## II. Metode Penelitian

Analisis perbandingan energi gempabumi utama dan susulan sudah pernah dilakukan sebelumnya oleh Simanjuntak dan Olympia pada tahun 2017. Penelitian tersebut dilakukan dengan menganalisis perbandingan energi gempabumi subduksi Pulau Sumatera dan Jawa dengan mekanisme sumber gempabumi berupa sesar naik dan sesar geser. Hasil penelitian tersebut menunjukkan perbandingan energi antara gempabumi susulan dengan energi gempabumi utama hanya 0,1 – 33,04 %.

Pada penelitian ini, daerah yang menjadi wilayah penelitian ini yaitu wilayah Kabupaten Cianjur Jawa Barat pada koordinat  $6,63^\circ$  hingga  $7,06^\circ$  Lintang Selatan dan  $106,91^\circ$  hingga  $107,35^\circ$  Bujur Timur. Data sekunder berupa parameter gempabumi berupa lokasi episenter, kedalaman gempabumi, dan magnitudo gempabumi dari gempabumi utama Cianjur Mw 5,6 pada 21 November

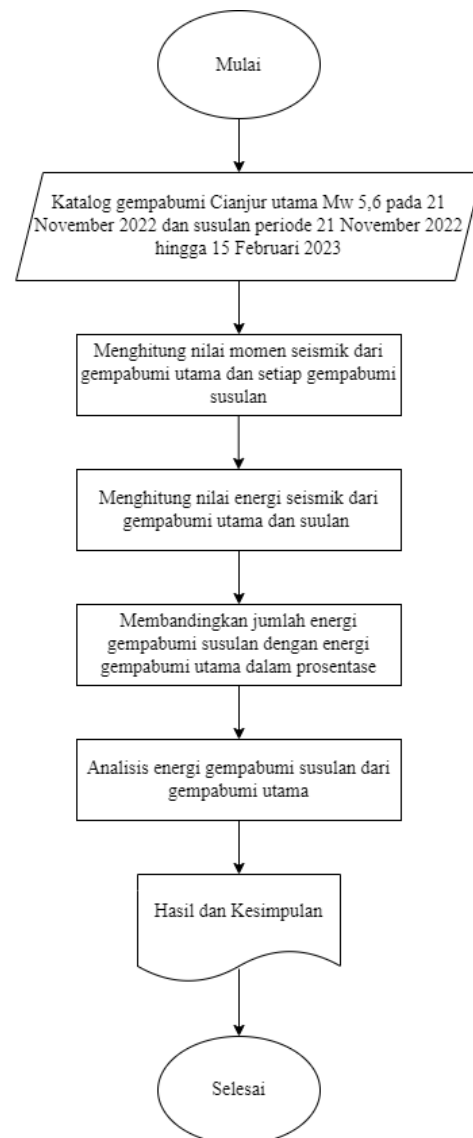
pukul 13.21 WIB dan gempabumi susulan Cianjur yang teranalisis periode 21 November 2022 hingga 15 Februari 2023 sebanyak 517 event gempabumi digunakan dalam penelitian ini. Nilai magnitudo dari gempabumi susulan bervariasi dari M 1,0 hingga M 4,3. Data gempabumi susulan Cianjur hingga 15 Februari 2023 sudah dianggap mewakili rangkaian gempabumi susulan Cianjur. Data gempabumi dalam penelitian ini diperoleh dari BMKG.

Parameter magnitudo pada gempabumi utama dalam Mw sedangkan magnitudo pada gempabumi susulan dalam  $M_L$ . Tidak dilakukan konversi  $M_L$  ke Mw karena  $M_L$  dianggap mempresentasikan Mw (Irsyam, dkk., 2017). Tahapan analisis diawali dengan menghitung nilai momen seismik dari gempabumi utama dan gempabumi susulan menggunakan persamaan (4) dan (5) berdasar penelitian Hanks dan Kanamori (1979).

Hasil dari analisis tahap pertama yaitu nilai momen seismik dari gempabumi utama dan juga gempabumi susulan, langkah selanjutnya yaitu menghitung energi seismik dari tiap – tiap gempabumi tersebut dengan menggunakan persamaan (6) berdasarkan penelitian Choy dan Boatwright (1995). Perhitungan nilai energi seismik diasumsikan bahwa struktur kulit bumi wilayah penelitian adalah homogen, sehingga penjalaran energi gelombang gempabumi adalah sama pada setiap daerah dan kecepatan gelombang sama. Nilai energi seismik untuk tiap – tiap gempabumi telah diperoleh, langkah selanjutnya yang dilakukan yaitu menjumlahkan energi seismik dari tiap – tiap gempabumi susulan.

Pada tahap analisis selanjutnya, dilakukan perbandingan antara nilai jumlah energi seismik dari gempabumi

susulan dengan nilai energi seismik dari gempabumi utama. Hasil perbandingan ini dibuat dalam prosentase untuk mengetahui besar kekuatan energi gempabumi susulan dari energi gempabumi utama. Secara lebih jelas, tahapan penelitian tampak pada gambar 2.



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

### III. Hasil dan Pembahasan

Pada penelitian ini besar magnitudo gempabumi utama dalam Mw, sedangkan besar magnitudo pada gempabumi susulan dalam  $M_L$ . Tidak dilakukan konversi dari  $M_L$  ke Mw,

karena  $M_L$  dianggap mempresentasikan  $M_w$  [5]. Nilai energi dari gempabumi utama pada penelitian ini diperoleh dengan menghitung nilai momen seismik terlebih dahulu berdasarkan persamaan 5. Hasil nilai yang diperoleh berdasarkan perhitungan menggunakan persamaan 5 selanjutnya digunakan dalam perhitungan nilai energi gempabumi dengan menggunakan persamaan 8. Sedikit berbeda dengan perhitungan momen seismik pada gempabumi utama, perhitungan momen seismik pada gempabumi susulan menggunakan persamaan 6 dan selanjutnya nilai yang diperoleh digunakan dalam perhitungan energi gempabumi dengan menggunakan persamaan 7.

Berdasarkan hasil perhitungan energi gempabumi dari gempabumi utama dan 517 gempabumi susulan diperoleh hasil perbedaan energi gempabumi secara signifikan. Gempabumi utama Cianjur  $M_w$  5,6 memiliki nilai energi gempabumi sebesar  $5,0596 \times 10^{19}$  J, sedangkan total nilai energi gempabumi susulan dari 517 kejadian gempabumi sebesar  $3,1924 \times 10^{17}$  J. Hasil ini menunjukkan bahwa energi gempabumi utama jauh lebih besar dibandingkan dengan total energi gempabumi susulan, walaupun telah terjadi sebanyak 517 kejadian gempabumi susulan. Besarnya total energi gempabumi susulan hanya mencakup 63 % dari gempabumi utama. Secara lebih jelas perbandingan energi gempabumi utama dan susulan Cianjur terlampir pada Tabel 1.

**Tabel 1.** Perbandingan Energi Gempabumi Utama dan Susulan

Energi Seismik (J)	Perbandingan Energi (%)	Mag
--------------------	-------------------------	-----

<b>Gempa Utama</b>	$5.059 \times 10^{19}$	100 %	$M_w$ 5,6
<b>Gempa Susulan</b>	$3.192 \times 10^{17}$	63.10%	$M_L$ 1,0 - 4,3

Perbandingan energi gempabumi utama dengan gempabumi susulan yang signifikan juga diperoleh pada penelitian yang dilakukan Simanjuntak dan Olymphina (2017). Penelitian tersebut dilakukan dengan menganalisa perbandingan energi gempabumi utama dan susulan wilayah Bengkulu, Pangandaran, Simeuleu, Sumatera Barat dan Tasikmalaya. Hasil penelitian tersebut menunjukkan energi gempabumi susulan hanya 0,1 hingga 33,04 % dibandingkan dengan energi gempabumi utama.

#### IV. Kesimpulan

1. Berdasarkan hasil perhitungan nilai energi gempabumi utama Cianjur  $M_w$  5,6 pada 21 November 2022 dan gempabumi susulan Cianjur periode 21 November 2022 hingga 15 Februari 2023, energi gempabumi susulan sebesar 63% dari gempabumi utama.
2. Perbandingan nilai energi gempabumi utama dan susulan secara signifikan disebabkan karena magnitudo dan energi seismik merupakan persamaan logaritmik.
3. Berdasarkan hasil perhitungan energi gempabumi ini, BMKG dapat memberikan informasi prediksi besaran dan tingkat bahaya suatu gempabumi jika terjadi gempabumi signifikan kemudian terjadi gempabumi susulan.

#### V. Daftar Pustaka

- [1] Chen, P., dan Chen, H. (1989). Scaling Law and Its Application to Earthquake Stasticak Relations, *Tectonophysics*, 166, 53–72.

- [2] Choy, G. L., dan Boatwright, J. L. (1995). Global Patterns of Radiated Seismic Energy and Apparent Stress, *Journal of Geophysical Research*, No. B9, 100, 18.205 – 18.228.
- [3] Daryono, 2022, Analisis Gempabumi Merusak Cianjur 21 November 2022 Mw 5.6, *Konsorsium Gempabumi dan Tsunami Indonesia Overview Gempabumi Cianjur*, Jakarta. BMKG.
- [4] Hanks, T. C., dan Kanamori, H. (1979). A Moment Magnitude Scale, *Journal of Geophysical Research*, No. B5, 84, 2348-2350.
- [5] Irsyam, M., Widyantoro, S., Natawidjaja, D.H., Meilano, I., Rudyanto, A., Hidayati, S., Triyoso, W., Hanifa, N.R., Djarwadi, D., Faizal, I., dan Sumirjito. (2017). Peta Sumber dan Bahaya Gempabumi Indonesia Tahun 2017. Jakarta: *Tim Pusat Studi Gempa Nasional*, ISBN:978-602-5489-01-3.
- [6] Salsabilah, Q., dan Prastowo, T. (2022). Analisis Relasi Momen Seismik dan Magnitudo Momen Untuk Variasi Kedalaman Sumber Gempa Tektonik (Shallow, Intermediate, and Deep Sources), *Jurnal Inovasi Fisika Indonesia (IFI)*, No. 01, 11, 8–16.
- [7] Simanjuntak, A. V. H., dan Olymphina. (2017). Perbandingan Energi Gempabumi Utama dan Susulan (Studi Kasus : Gempa Subduksi Pulau Sumatera dan Jawa), *Jurnal Fisika FLUX*, No. 1, 14, 19–26
- [8] Subardjo, dan Ibarahim, G. (2004). Seismologi. Jakarta: *Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika*.