

PEMETAAN *MAGNITUDE OF COMPLETENESS* (M_c) UNTUK GEMPA DI WILAYAH BENGKULU

MAGNITUDE OF COMPLETENESS (M_c) *MAPPING FOR EARTHQUAKE IN BENGKULU REGION*

Ridwan Hanafi¹, Ira Kusuma Dewi^{2*}, Ngatijo³

^{1,2} Program Studi Teknik Geofisika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Jambi; Jl. Jambi – Muara Bulian Km. 15 36361, Jambi, Indonesia.

³ Program Studi Kimia, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Jambi; Jl. Jambi – Muara Bulian Km. 15 36361, Jambi, Indonesia.

Received: 2022, September 9th
Accepted: 2024, May 24th

Keywords:

A-value;
B-value;
Entire Magnitude Range
(EMR);
Magnitude of Completeness
(M_c).

Correspondent Email :

ierha.kd@gmail.com

How to cite this article:

Hanafi, R., Ira, K.D., &
Ngatijo (2024). Pemetaan
Magnitude of Completeness
(M_c) Untuk Gempa di
Wilayah Bengkulu. *JGE*
(*Jurnal Geofisika Eksplorasi*),
10(02), 121-138.

Abstrak. Dengan menggunakan data gempa bumi dari katalog USGS dan BMKG dari tahun 2009 hingga 2021, penelitian dilakukan untuk mengestimasi nilai M_c , nilai-b, dan nilai-a. Gempa bumi terjadi pada 6° LS - 2° LU dan 100° BT - 103° BT, dengan magnitudo 3 SR hingga 7 SR, dan kedalaman tertinggi adalah 300 km, yang mencakup wilayah provinsi Bengkulu. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode EMR dan software ZMAP 6.0 di Matlab digunakan. Menurut analisis di atas, USGS memperoleh M_c sekitar 4,7 SR hingga 5, nilai-b berkisar 0,9 hingga 1,5, dan variasi nilai-a sekitar 6 hingga 9,5. Sebaliknya, BMKG memperoleh M_c sekitar 3,8 hingga 5,2, nilai-b berkisar 0,55 hingga 0,85, dan variasi nilai-a sekitar 5,2 hingga 5,8. Pemetaan nilai M_c menunjukkan bahwa semua kabupaten di Provinsi Bengkulu memiliki nilai M_c yang rendah, yang menunjukkan bahwa data gempa untuk daerah-daerah ini cukup lengkap dibandingkan dengan daerah lain. Menurut pemetaan nilai-b dan nilai-a, wilayah yang memiliki tingkat kegempaan yang relatif tinggi dan memiliki potensi gempa besar berada di sekitar wilayah timur laut dan tenggara Provinsi Bengkulu.

Abstract. Using earthquake data from the USGS and BMKG catalogs from 2009 to 2021, research was carried out to estimate the M_c value, b-value and a-value. The earthquake occurred at 6° S - 2° N and 100° E - 103° E, with a magnitude of 3 SR to 7 SR, and the highest depth was 300 km, which covers the Bengkulu province area. This research was carried out using the EMR method and ZMAP 6.0 software in Matlab was used. According to the above analysis, USGS obtained a M_c of about 4.7 SR to 5, a b-value of about 0.9 to 1.5, and a-value variation of about 6 to 9.5. In contrast, BMKG obtained M_c around 3.8 to 5.2, b-values ranging from 0.55 to 0.85, and variations in a-values around 5.2 to 5.8. M_c value mapping shows that all districts in Bengkulu Province have low M_c values, which shows that the earthquake data for these areas is quite complete compared to other regions. According to the mapping of b-values and a-values,

Eksplorasi). This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC)

areas that have relatively high levels of seismicity and have the potential for large earthquakes are around the northeastern and southeastern regions of Bengkulu Province.

1. PENDAHULUAN

Menurut Hadi dkk. (2013), Provinsi Bengkulu sering mengalami gempa bumi karena lokasinya di pesisir pantai yang dilalui oleh lempeng tektonik Indo-Australia dan Eurasia.

Data yang dikumpulkan dari tahun 1900 hingga 2010 menunjukkan bahwa sekitar 95% sumber gempa bumi tektonik berada di bawah Samudra Hindia yang berbatasan langsung dengan Provinsi Bengkulu. Selain itu, Provinsi Bengkulu memiliki sumber gempa tektonik di daratan, yaitu patahan (sesar) Semangko (Hadi dkk., 2013).

Dengan mempertimbangkan apa yang terjadi di Bengkulu, gempa dapat diprediksi di masa depan dengan menggunakan beberapa parameter yang diambil dari data katalog gempa (Mignan & Woessner, 2012).

Salah satu cara untuk memprediksi gempa adalah dengan mengestimasi dan melakukan pemetaan M_c . M_c adalah magnitudo terendah atau batas bawah magnitudo di mana semua gempa yang terjadi pada suatu tempat dan waktu tertentu telah terdeteksi atau terekam oleh stasiun gempa (Chasanah & Handoyo, 2021).

Untuk menghitung M_c , EMR digunakan; EMR adalah metode untuk memperkirakan M_c menggunakan seluruh rentang magnitudo. Selain itu, metode lain yang dapat digunakan, seperti MAXC, GFT, MBS, MBASS, dan modulasi suara siang dan malam, memiliki kelebihan bahwa EMR lebih baik dalam mengestimasi nilai M_c jika diterapkan pada data gempa bumi skala lokal atau regional (Simamora & Namigo, 2016).

Data gempa yang akan digunakan dalam pemetaan M_c berasal dari dua sumber katalog, BMKG dan USGS. Sumber-sumber ini berbeda karena lokasi stasiun perekaman data gempa berbeda dengan lokasi kejadian gempa, dan

format data katalog antara BMKG dan USGS juga sedikit berbeda. Perbedaan ini terjadi karena BMKG mendapatkan informasi dari sumber jaringan seismik yang berbeda, sedangkan USGS mendapatkan informasi dari BMKG Padang Panjang (Hutasoit, 2021). Oleh karena itu, subjek penelitian yang menarik bagi peneliti adalah "Pemetaan *Magnitude of Completeness (Mc)* untuk Gempa di Wilayah Bengkulu." Pemetaan nilai M_c untuk wilayah Bengkulu dilakukan karena mencakup wilayah darat dan laut, serta karena banyaknya aktivitas vulkanologi yang terjadi di wilayah tersebut memengaruhi nilai M_c .

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Gempabumi

Karena akumulasi energi elastik dari peristiwa tekanan (strain) dan regangan (stress) pada kulit bumi yang terus menerus, gempabumi adalah gejala alam yang disebabkan oleh pelepasan energi regangan elastis batuan. Teori pelepasan elastis mengatakan bahwa ketika daya dukung batuan mencapai puncaknya, energi ini dilepaskan secara tiba-tiba dalam bentuk gelombang elastik yang menjalar ke segala arah (Harlianto & Farid, 2018; Zakhra dkk., 2023).

Gempa bumi terjadi karena pelepasan *stress* yang tiba-tiba dari permukaan bumi. Gerakan ini bersifat transien dan berasal dari area terbatas kemudian menyebar ke segala arah, menyebabkan bahaya ikutan gempa bumi seperti tsunami, kebakaran, peningkatan aktivitas gempa bumi, serta *ground faulting* dan *ground shaking* (Simanjuntak & Olymphina, 2017).

Gelombang seismik, yang dihasilkan oleh getaran lapisan batuan yang patah, menjalar melalui tubuh dan permukaan bumi, dikenal sebagai gempa. Energi deformasi, energi gelombang, atau energi lainnya dapat dilepaskan saat terjadi patahan. Energi

deformasi ini dapat diamati dalam perubahan bentuk yang terjadi setelah patahan, seperti pergeseran. Karena energi gelombang menjalar melalui lapisan bumi, yang merupakan medium elastis, gempa dapat dirasakan di lokasi gempa (Purbandini, 2017).

Gempa bumi datang secara tiba-tiba dan tidak terduga, sehingga tidak ada yang bisa mempersiapkan diri. Ini berbeda dengan bencana alam lainnya, seperti letusan gunung berapi, yang dimulai dengan tanda-tanda yang muncul sebelum letusan, sehingga orang dapat mengevakuasi diri mereka sebelum bencana terjadi. Selain itu getaran dari gempa bumi sangat kuat sehingga merusak infrastruktur dan banyak korban jiwa (Bisyri, 2020).

Gempa bumi susulan, yang biasanya bermagnitudo lebih kecil, berbeda dengan gempa bumi berkekuatan besar. Karena massa segmen yang mengalami tumbukan di lautan lebih besar daripada di daratan, gempa bumi susulan yang utamanya berpusat di lautan cenderung berakhir lebih lama daripada gempa bumi susulan yang utamanya berpusat di daratan. Oleh karena itu, lebih sulit untuk memprediksi gempa bumi pendahuluan yang memiliki magnitudo yang cukup besar daripada gempa bumi susulan yang biasanya memiliki magnitudo yang lebih kecil (Anwar, 2019).

Jenis gempa bumi adalah gempa vulkanik, gempa tektonik, dan gempa runtuh. Kategori ini didasarkan pada bagaimana gempa bumi terjadi dan di mana sumbernya berada.

Gempa vulkanik adalah getaran yang dihasilkan oleh letusan gunungapi. Getaran tanah hanya dirasakan di lereng gunung atau di wilayah yang dekat dengan kaki gunung. Magma di kantong di bawah gunung mendapat tekanan dan melepaskan energinya dengan cepat, menimbulkan getaran tanah. Selain itu, pelepasan energi stres ini menyebabkan magma bergerak dengan perlahan.

Selanjutnya, gempa tektonik terjadi ketika lapisan batuan di lempeng tektonik patah.

Tegangan dan regangan terjadi di dalam bumi sebagai akibat dari pergerakan lempeng tektonik. Selain itu, gempa runtuh terjadi ketika gua yang terletak di area pertambangan atau batuan kapur runtuh. Lapisan batuan bergetar, menyebabkan getaran yang hanya dirasakan di lokasi tersebut.

Gempa bumi dapat dibagi menjadi kategori berdasarkan kedalaman sumbernya. Gempa bumi dalam terjadi ketika hiposenternya (sumber) berada di bawah 300 km di bawah permukaan bumi; di Indonesia, ini terjadi di bawah Laut Jawa, Laut Flores, Laut Banda, dan Laut Sulawesi.

Gempa bumi menengah terjadi ketika hiposenternya berada di antara 60 dan 300 km di bawah permukaan bumi. Di Indonesia, gempa bumi menengah terjadi di Sumatera sebelah barat dan Jawa sebelah timur.

Gempa bumi dangkal terjadi di Indonesia, dengan hiposenter kurang dari 60 km dari permukaan bumi. Gempa ini dapat menyebabkan kerusakan besar. Semakin dangkal gempa itu, semakin besar kerusakan yang disebabkan.

Panjang, lebar, kedalaman hiposentrum gempa, jenis batuan yang terkena gempa, besarnya pergeseran (*displacement*) batuan, dan lama getaran gempa adalah beberapa faktor yang mempengaruhi besar-kecilnya gempa (Murtianto, 2016).

Kekuatan gempabumi, juga dikenal sebagai magnitudo, adalah ukuran yang menunjukkan jumlah energi yang terlepas dari saat gempabumi terjadi dan hasil pengamatan seismograf. Richter memperkenalkan konsep magnitudo (kekuatan gempabumi di sumbernya) dengan skala Richter (Sunarjo dkk., 2012).

Dua kondisi geologi di Sumatra yang dapat menyebabkan gempa bumi adalah zona subduksi, yang merupakan batas antara lempeng Indo-Australia dan lempeng Euro-Asia. Zona subduksi lempeng ini terletak di perairan Sumatra, yang berpotensi menimbulkan gempa bumi dengan magnitudo yang lebih besar, yang dapat menimbulkan

tsunami. Zona sesar Sumatra, juga disebut sebagai zona sesar Semangko atau zona sesar Sumatra (SFZ), membelah pulau Sumatra menjadi dua. Ini membentang sepanjang pegunungan Bukit Barisan, dari teluk Semangko di Selat Sunda hingga wilayah Aceh di bagian utara pulau (Madlazim, 2013).

2.2. Magnitude of Completeness (M_c)

Magnitudo kelengkapan (M_c) secara teoritis didefinisikan sebagai magnitudo terendah di mana seratus persen gempa bumi terdeteksi dalam volume ruang-waktu. Dalam praktiknya, ambang batas magnitudo yang agak tinggi dapat memberikan perkiraan M_c yang konservatif, tetapi itu akan menghilangkan data yang mungkin berharga.

Seseorang mungkin menganggap bahwa kurang dari 100% kemampuan pendeteksian sudah cukup untuk mendefinisikan M_c . Aspek yang paling penting untuk dipertimbangkan adalah bahwa penyimpangan dari definisi teoritis M_c seharusnya tidak mempengaruhi kelayakan atau keandalan analisis seismisitas berikutnya (Mignan & Woessner, 2012).

2.3. Nilai-b dan Nilai-a

Nilai-a dan nilai-b adalah contoh harga seismisitas yang dapat digunakan untuk mengukur tingkat kegempaan suatu area. Nilai-b adalah parameter konstanta yang secara langsung terkait dengan karakteristik tektonik masing-masing daerah kegempaan. Persamaan 1 dapat digunakan untuk menghitung nilai-b.

$$b = \frac{\log(e)}{M - \left(M_c - \frac{\Delta M}{2}\right)} \quad (1)$$

Magnitudo gempa M_c adalah batas bawahnya di wilayah penelitian, dan Log e adalah 0,4343 (Simamora & Namigo, 2016).

Nilai b menunjukkan kemiringan atau gradien dari persamaan linier hubungan frekuensi kejadian gempa bumi dengan magnitudo. Nilai b yang lebih rendah sebanding dengan peningkatan tingkat *striess* sebelum gempa bumi yang besar. Nilai-b bervariasi di setiap wilayah bergantung dengan

struktur batuan penyusun bawah permukaannya (Daiana dkk., 2021).

Beberapa ahli berpendapat bahwa nilai-b bersifat konstan dan bernilai sekitar satu, dan bahwa perbedaan nilai ini disebabkan oleh perbedaan data dan metode perhitungan yang digunakan. Namun, sebagian besar ahli berpendapat bahwa nilai-b bervariasi tergantung pada lokasi dan kedalaman pusat gempa, serta pada keheterogenan dan distribusi ruang stres dari volume batuan yang menyebabkan gempa (Harlianto & Farid, 2018).

Salah satu parameter seismik, nilai-a, menunjukkan tingkat keaktifan seismik sebuah tempat. Tingkat *stress* batuan, atau nilai-b di permukaan, juga memengaruhi keaktifan seismik ini. Persamaan 2 dapat digunakan untuk menghitung nilai-a (Daiana dkk., 2021).

$$a = \log N + \log(b \cdot \ln 10) + M_0 b \quad (2)$$

Nilai-a bervariasi secara geografis; wilayah dengan nilai-a tinggi menunjukkan aktivitas seismik yang tinggi atau sering terjadi gempa bumi, sedangkan wilayah dengan nilai-a rendah menunjukkan aktivitas seismik yang rendah. Ini disebabkan oleh akumulasi energi di daerah tersebut (Ernandi & Madlazim, 2020).

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan data yang dikumpulkan dari USGS (Survei Geologi Amerika Serikat) dan BMKG (Badan Meteorologi dan Klimatologi Geofisika). Data ini dikumpulkan dari 1 Januari 2009 hingga 31 Desember 2021, dengan batas wilayah 6° LS - 2° LU dan 100° BT - 103° BT. Data katalog termasuk waktu, lintang, bujur, kedalaman, magnitudo, dan lokasi gempa bumi. Magnitudo yang digunakan untuk studi ini berkisar antara 3 dan 7 SR.

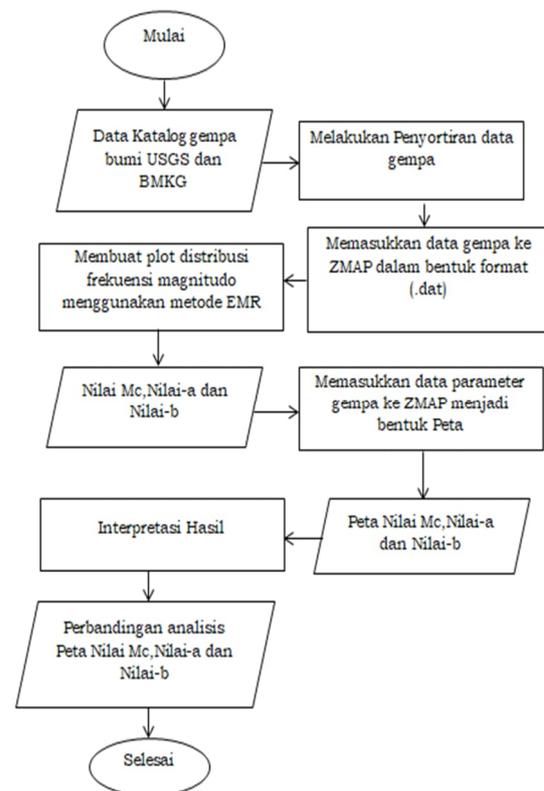
Metode yang digunakan yaitu metode EMR (*Entire Magnitude Range*), metode untuk memperkirakan M_c yang menggunakan seluruh rentang magnitudo, lebih baik daripada metode lain jika diterapkan pada data

gempa bumi lokal atau regional (Simamora & Namigo, 2016).

Metode ini diperuntukkan dalam mencari nilai M_c , nilai-a dan nilai-b. Pertama, nilai M_c harus ditentukan. Kemudian, Persamaan 1 digunakan untuk menemukan nilai-b, dan Persamaan 2 digunakan untuk menemukan nilai-a.

Langkah-langkah untuk menghitung nilai M_c , nilai-a, dan nilai-b adalah melakukan sortir data gempa dan memasukkannya ke dalam format.dat ke dalam program ZMAP. Setelah itu, untuk menghitung frekuensi gempa utama dalam waktu tertentu, data gempa rintisan (*foreshock*) dan gempa susulan (*aftershock*) dipisahkan dari gempa utama. Selanjutnya, estimasikan nilai M_c , nilai-a, dan nilai-b secara spasial dengan menggunakan metode EMR untuk data yang lebih akurat. Kemudian, estimasikan nilai M_c , nilai-a, dan nilai-b secara temporal dengan menggunakan metode EMR untuk mendapatkan nilai M_c yang lebih akurat selama beberapa tahun. Selanjutnya, memetakan dan interpretasi nilai M_c , nilai-a, dan nilai-b untuk menentukan wilayah mana saja yang stasiun seismiknya telah merekam magnitudo gempa yang lebih.

Berdasarkan penjelasan penelitian di atas, diagram alir penelitian ditunjukkan pada **Gambar 1**.



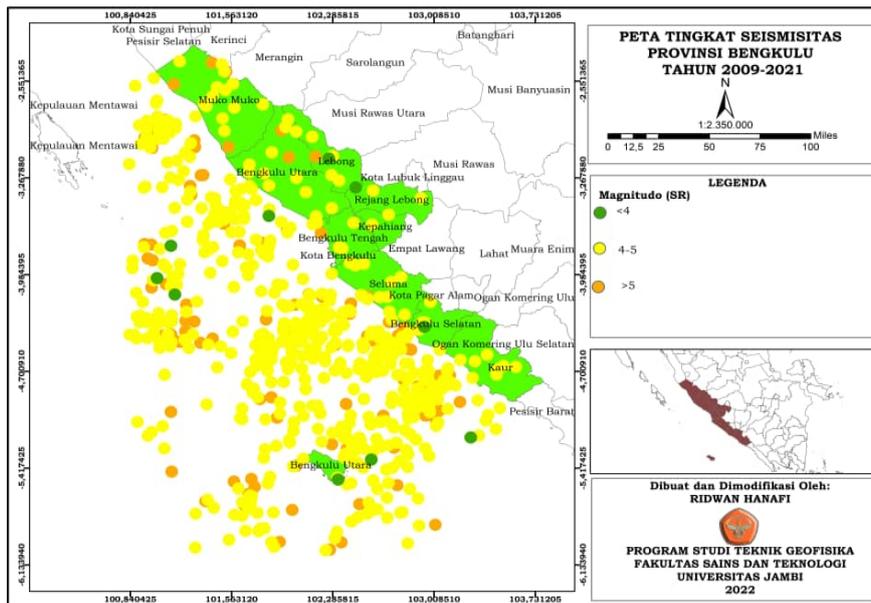
Gambar 1. Diagram yang menunjukkan alir penelitian.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Data USGS

Data tentang 658 gempabumi dikumpulkan dari USGS. Dibandingkan dengan daerah daratan, gempa terjadi lebih sering di lautan.

Dengan menggunakan data katalog USGS, dibuat peta magnitudo dengan tiga warna: hijau, kuning, dan coklat. Warna hijau menunjukkan gempa kurang dari 4 SR, yang berjumlah 10 data gempa; warna kuning menunjukkan gempa dari 4 sampai 5 SR, yang berjumlah 543 data gempa; dan warna coklat menunjukkan gempa lebih dari 5 SR, yang berjumlah 105 data gempa, seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 2** dan **Tabel 1**.

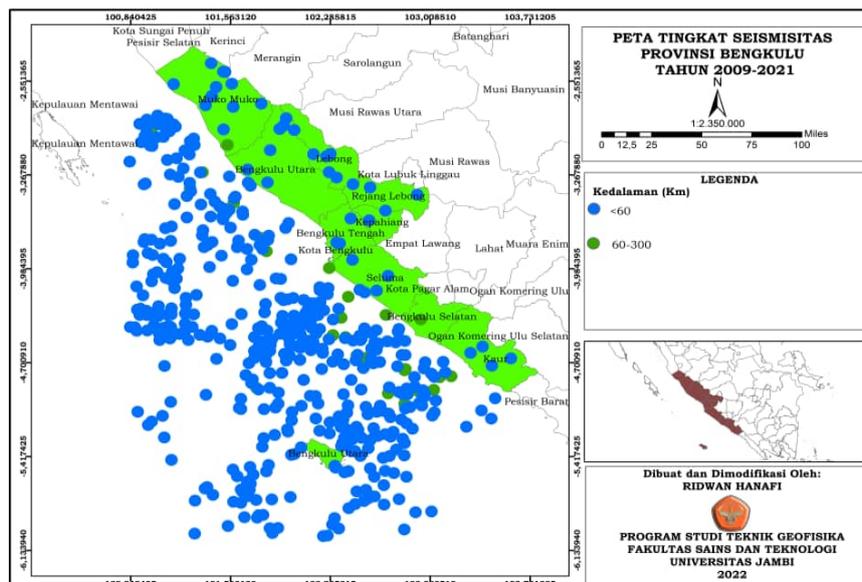


Gambar 2. Sebaran Gempabumi dari Data Katalog USGS.

Dengan menggunakan data katalog USGS, dua jenis kedalaman diidentifikasi: warna biru dan hijau. Warna biru menunjukkan kedalaman gempa kurang dari 60 km, yang berjumlah 499 gempa, dan warna hijau menunjukkan kedalaman gempa dari 60 hingga 300 km, yang berjumlah 159 gempa, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3 dan Tabel 1.

Tabel 1. Jumlah Gempa Menurut USGS Magnitudo dan Kedalaman

Kategori	Magnitudo	Kedalaman
Kecil	<4 =10	<60 =499
Menengah	4-5 =543	60-300 =159
Besar	>5 =105	>300 =0



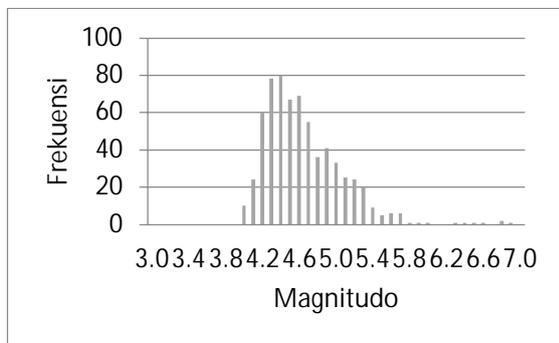
Gambar 3. Sebaran gempabumi dari data katalog USGS berdasarkan kedalaman.

Untuk grafik, Gambar 4 menunjukkan hubungan antara magnitudo dan frekuensi

data gempa USGS. Magnitudo yang digunakan adalah sekitar 3–7 SR. Selanjutnya dilakukan

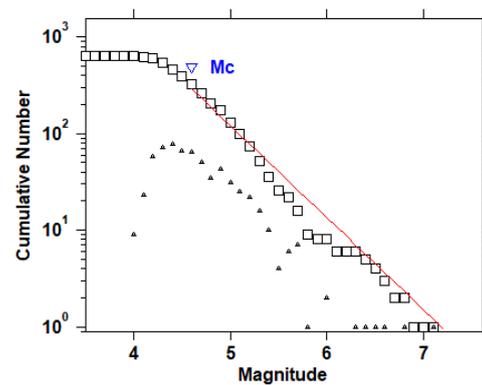
proses *declustering*. *Declustering* dilakukan menggunakan Metode *Declustering* Reasenberg terhadap data katalog gempa bumi untuk memisahkan gempa bumi utama (*foreshock*) dan menghilangkan pengaruh gempabumi susulan (*aftershock*).

Dari kriteria Reasenberg didapatkan data gempa yang berjumlah sekitar 630 kejadian gempa bumi dari total keseluruhan gempa bumi yaitu sekitar 658 kejadian gempa bumi yang ditampilkan. Gempabumi susulan (*aftershock*) ditunjukkan dengan simbol tanda tambah berwarna merah muda.



Gambar 4. Grafik yang menunjukkan hubungan antara data gempa USGS dan magnitudonya.

Dengan menggunakan metode EMR, grafik jumlah gempa dibandingkan dengan magnitudo katalog gempa USGS dibuat. Nilai *Mc* dari metode EMR adalah 4,6 SR, yang menunjukkan bahwa katalog USGS mampu merekam gempa dengan magnitudo terkecil 4,6 SR dengan baik. Nilai-b adalah 0,953 berdasarkan distribusi frekuensi magnitudo. Hasil perhitungan juga menghasilkan nilai-a sebesar 6,85 (tahunan = 5,74), yang menunjukkan bahwa wilayah Bengkulu memiliki tingkat *stress* yang tinggi, yang berarti peluang terjadinya gempa-gempa besar tinggi. **Gambar 5** menunjukkan nilai-b yang rendah.



Maximum Likelihood Solution
b-value = 0.953 +/- 0.04, a value = 6.85, a value (annual) = 5.74
Magnitude of Completeness = 4.6

Gambar 5. Estimasi *Mc* didasarkan pada data USGS.

Selanjutnya, estimasi *Mc* dalam fungsi waktu dilakukan. Estimasi ini menunjukkan hubungan magnitudo dan jumlah gempa yang terjadi dalam fungsi waktu (temporal), yang bertujuan untuk mengetahui apakah nilai *Mc* berubah setiap tahun dari tahun 2009 hingga 2021. **Tabel 2** menunjukkan hasil estimasi *Mc* dalam fungsi waktu.

Tabel 2. Nilai-a, b, dan *Mc* dari katalog USGS dihitung dengan metode EMR.

Periode Gempa	<i>Mc</i>	Nilai-b	Nilai-a
2009-2010	4,9	1,05	6,71
2011-2012	4,7	1,19	7,35
2013-2014	4,7	1,57	8,85
2015-2016	4,6	1,09	6,51
2017-2018	4,8	1,37	8,11
2019-2021	4,5	1,03	6,62

Nilai *Mc* secara rata-rata telah turun dalam beberapa tahun terakhir. Hal ini menunjukkan bahwa kualitas perekaman dan pengolahan data gempa telah meningkat. Peningkatan jumlah stasiun, sensitivitas alat, dan teknik yang digunakan semua memengaruhi kualitas.

4.2. BMKG

Data gempabumi diubah menjadi file.dat. Data BMKG menunjukkan 1384 gempa bumi. Menurut data dari katalog BMKG, gempa lebih sering terjadi di lautan daripada di daratan. Warna hijau menunjukkan gempa kurang dari

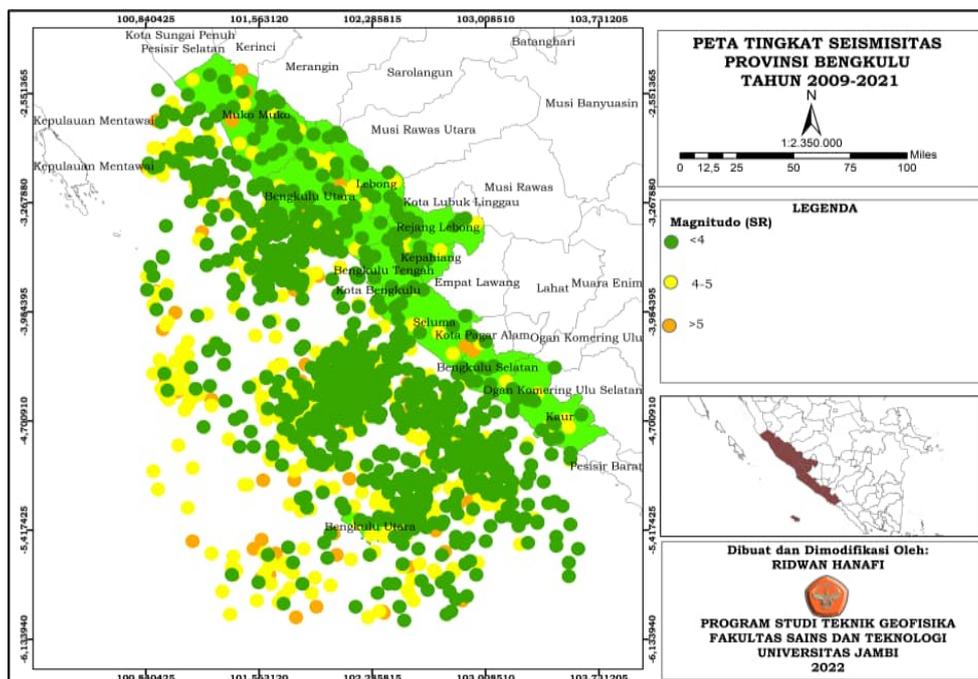
4 SR, yang berjumlah 844, warna kuning menunjukkan gempa dari 4 sampai 5 SR, yang berjumlah 453, dan warna coklat menunjukkan gempa lebih dari 5 SR, yang berjumlah sebanyak 87 data gempa seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 6** dan **Tabel 3**.

Dengan menggunakan data katalog BMKG, dua jenis kedalaman diidentifikasi: warna biru dan hijau. Warna biru menunjukkan kedalaman gempa kurang dari 60 km, dengan 1182 data, dan warna hijau menunjukkan

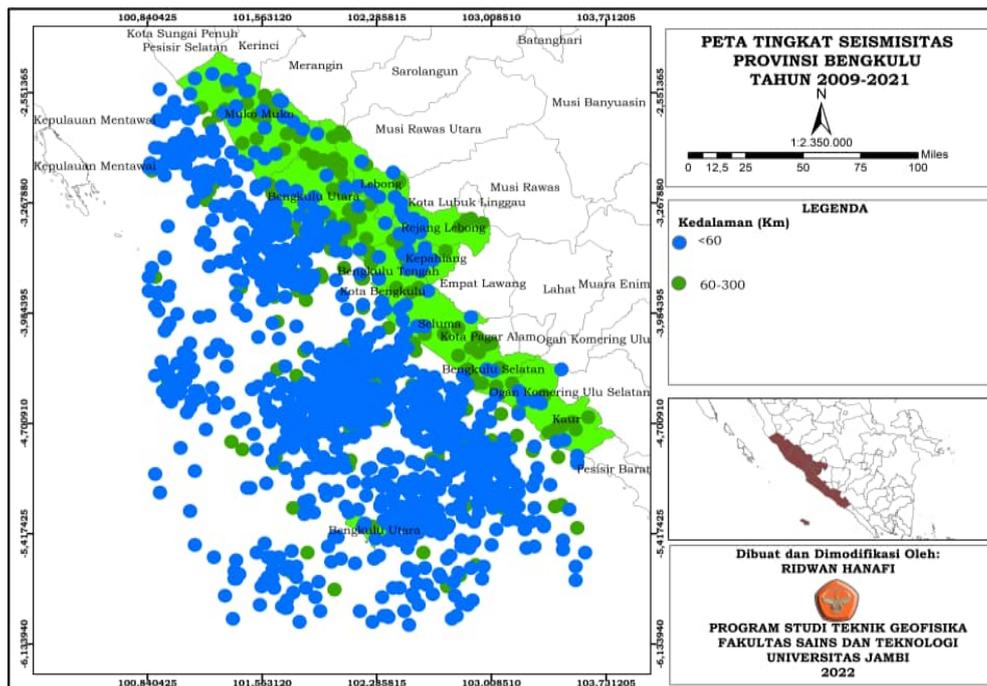
kedalaman gempa dari 60 sampai 300 km, dengan 202 data, seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 7** dan **Tabel 3**.

Tabel 3. Jumlah gempa dihitung menggunakan magnitudo dan kedalaman BMKG.

Kategori	Magnitudo	Kedalaman
Kecil	<4 =844	<60 =1.182
Menengah	4-5 =453	60-300 =202
Besar	>5 =87	>300 =0

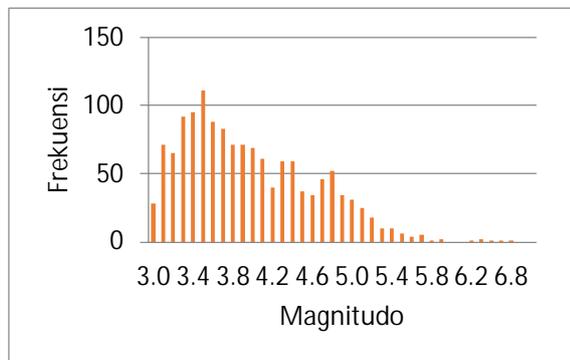


Gambar 6. Sebaran gempa bumi dari data katalog BMKG.



Gambar 7. Sebaran gempabumi dari data katalog BMKG berdasarkan kedalaman.

Pada Gambar 8 dibuat grafik hubungan antara magnitudo dan frekuensi data gempa BMKG. Magnitudo yang digunakan yaitu sekitar 3 sampai 7 SR.

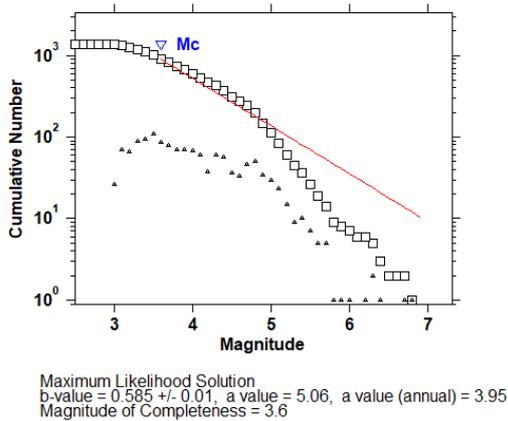


Gambar 8. Grafik hubungan antara magnitudo dan frekuensi data gempa BMKG.

Selanjutnya dilakukan proses *declustering*. *Declustering* dilakukan menggunakan Metode *Declustering* Reasenberg terhadap data katalog gempa bumi untuk memisahkan gempa bumi utama (*foreshock*) dan menghilangkan pengaruh gempabumi susulan (*aftershock*). Dari kriteria Reasenberg didapatkan data gempa yang berjumlah sekitar 1353 kejadian gempa bumi dari total keseluruhan gempa

bumi yaitu sekitar 1384 kejadian gempa bumi yang ditampilkan pada Gambar. Gempabumi susulan (*aftershock*) ditunjukkan dengan simbol tanda tambah berwarna merah muda.

Dengan menggunakan metode EMR, grafik jumlah gempa dibandingkan magnitudo katalog gempa BMKG dibuat. Nilai *Mc* yang diperoleh dari metode EMR adalah 3,6 SR, yang menunjukkan bahwa katalog USGS mampu merekam gempa dengan magnitudo terkecil 3,6 SR. Nilai-b adalah 0,585. Ini diperoleh berdasarkan distribusi frekuensi magnitudo. Hasil perhitungan juga menghasilkan nilai-a sebesar 5,06 (*annual* = 3,95), yang menunjukkan bahwa wilayah Bengkulu memiliki tingkat *stress* yang tinggi, yang menunjukkan peluang yang tinggi untuk terjadinya gempa-gempa besar. Gambar 9 menunjukkan nilai-b yang rendah.



Gambar 9. Prediksi M_c berdasarkan data BMKG.

Selanjutnya, estimasi M_c dalam fungsi waktu dilakukan. Estimasi ini menunjukkan hubungan magnitudo dan jumlah gempa yang terjadi dalam fungsi waktu (temporal), yang bertujuan untuk mengetahui apakah nilai M_c berubah setiap tahun dari tahun 2009 hingga 2021. **Tabel 4** menunjukkan bahwa nilai M_c rata-rata telah menurun dalam beberapa tahun terakhir. Hal ini menunjukkan bahwa kualitas perekaman dan pengolahan data gempa telah meningkat. Peningkatan jumlah stasiun, sensitivitas alat, dan teknik yang digunakan semua memengaruhi kualitas ini.

Tabel 4. Nilai-a, b, dan M_c katalog BMKG dengan metode EMR.

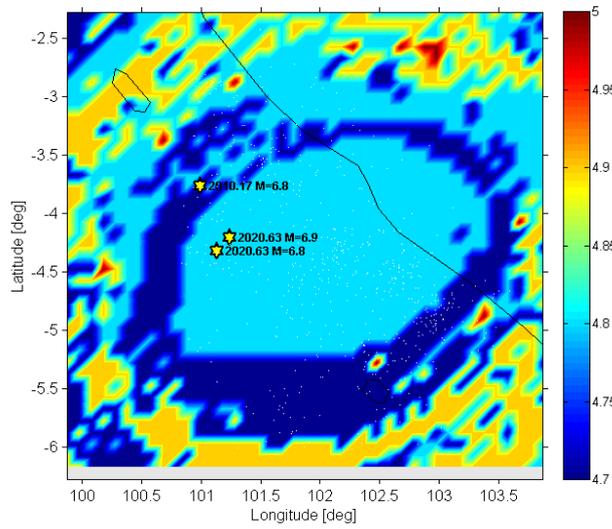
Periode Gempa	M_c	Nilai-b	Nilai-a
2009-2010	4,1	0,635	4,48
2011-2012	3,5	0,508	3,8
2013-2014	4,0	0,801	4,92
2015-2016	3,7	0,703	4,57
2017-2018	4,0	0,714	4,98
2019-2021	3,9	0,707	5,12

4.3. Peta Magnitude of completeness (M_c), Nilai-b dan Nilai-a

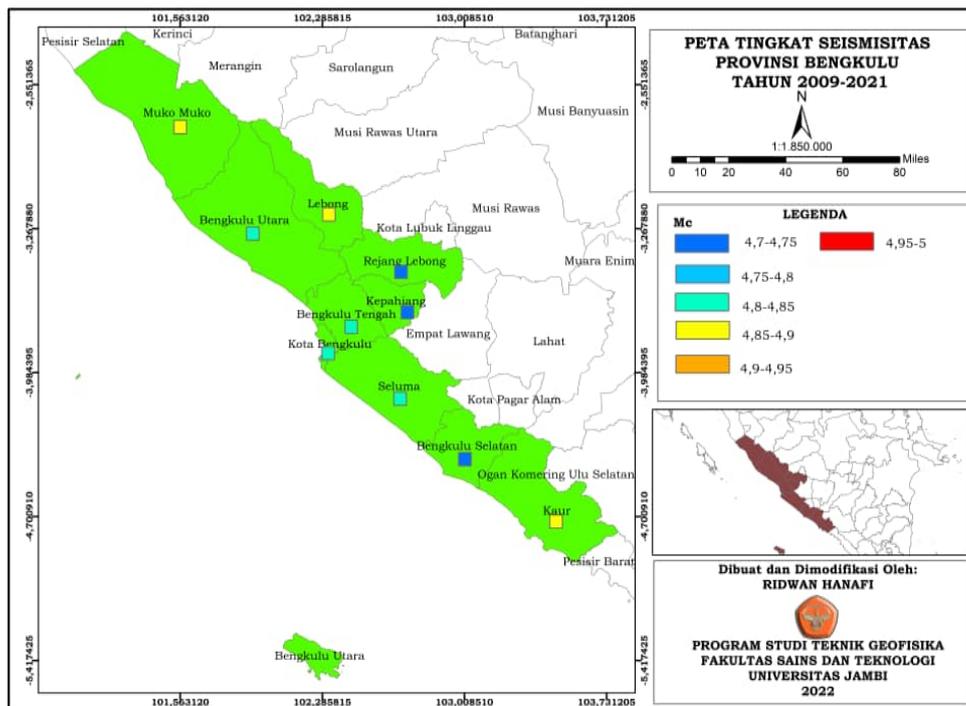
Gambar 10 menunjukkan Bengkulu memiliki rentang nilai M_c yaitu sekitar 4,7 sampai 5 dengan gradasi biru tua hingga merah tua. Dengan M_c terendah hingga sedang pada rentang 4,7-4,8 dengan gradasi warna biru tua hingga hijau, sedangkan untuk M_c sedang hingga tinggi pada rentang nilai 4,85-5 dengan gradasi warna kuning hingga merah tua.

Gambar 11 menunjukkan bahwa wilayah Bengkulu memiliki nilai M_c yang relatif rendah, sekitar 4,7 hingga 5 SR. Variasi nilai M_c juga dapat dilihat berdasarkan posisi stasiun perekam gempa yang digunakan oleh katalog USGS. Ada sekitar 20 hingga 23 stasiun perekam gempa yang tersebar di wilayah Sumatera yang mencakup wilayah dengan nilai M_c yang lebih rendah di atas. Tersedianya data *real-time* dari stasiun perekam gempa lokal adalah faktor tambahan yang menyebabkan variasi nilai M_c . Nilai M_c yang cukup tinggi diperoleh untuk wilayah barat laut Provinsi Bengkulu karena hanya ada satu stasiun yang melacak perekaman gempa untuk wilayah tersebut yang berada di lepas pantai Sulawesi Selatan. Hal ini menyebabkan data gempa tidak terekam dengan baik seperti di Bengkulu.

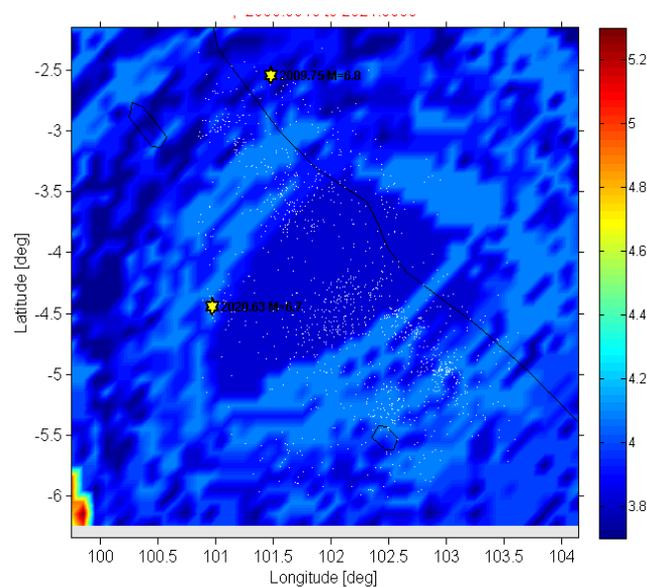
Gambar 12 menunjukkan daerah Bengkulu memiliki rentang nilai M_c yaitu sekitar 3,8 sampai 5,2 dengan gradasi biru tua hingga merah tua. Dengan M_c terendah hingga sedang pada rentang 3,8-4,6 dengan gradasi warna biru tua hingga hijau, sedangkan untuk M_c sedang hingga tinggi pada rentang nilai 4,8-5,2 dengan gradasi warna kuning hingga merah tua.



Gambar 10. Pemetaan *Mc* katalog USGS menggunakan metoda EMR.



Gambar 11. Peta *Mc* USGS.



Gambar 12. Pemetaan M_c katalog BMKG menggunakan metoda EMR.

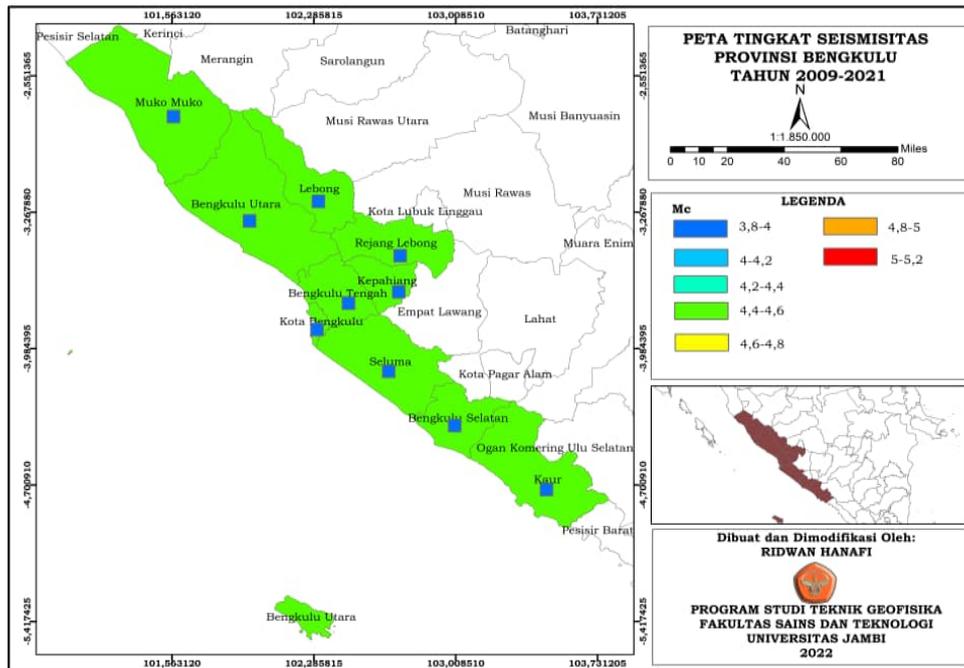
Gambar 13 menunjukkan bahwa wilayah Bengkulu memiliki nilai M_c yang relatif rendah, yaitu sekitar 4,7 hingga 5 SR. Variasi nilai M_c juga dapat dilihat berdasarkan posisi stasiun perekam gempa yang digunakan oleh katalog BMKG. Ada sekitar 10 stasiun perekam gempa yang tersebar di seluruh wilayah Provinsi Bengkulu, yang menunjukkan daerah dengan nilai M_c yang rendah. Tersedianya data *real-time* dari stasiun perekam gempa juga merupakan faktor lain yang berkontribusi.

Gambar 14 menunjukkan Bengkulu memiliki rentang nilai- b yaitu sekitar 0,9 sampai 1,5 dengan gradasi biru tua hingga merah tua. Dengan nilai- b terendah hingga sedang pada rentang 0,9-1,2 dengan gradasi warna biru tua hingga hijau, sedangkan untuk nilai- b sedang hingga tinggi pada rentang nilai 1,3-1,5 dengan gradasi warna kuning hingga merah tua.

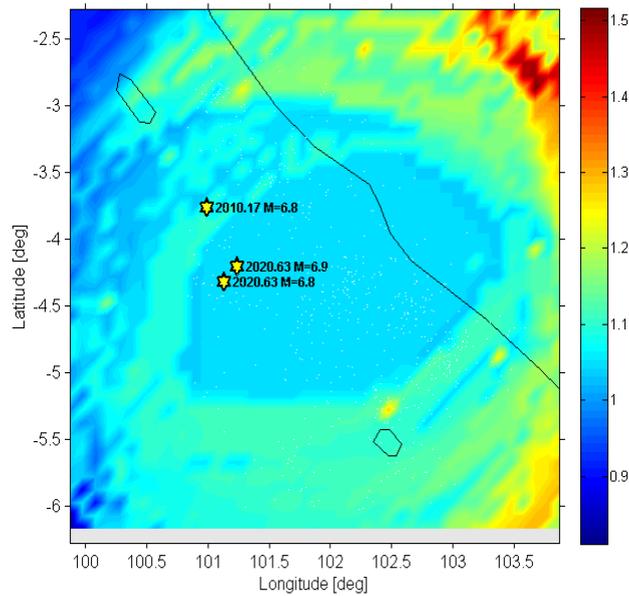
Gambar 16 menunjukkan Daerah Bengkulu memiliki rentang nilai- b yaitu

sekitar 0,55 sampai 0,85 dengan gradasi biru tua hingga merah tua. Dengan nilai- b terendah hingga sedang pada rentang 0,55-0,7 dengan gradasi warna biru tua hingga hijau, sedangkan untuk nilai- b sedang hingga tinggi pada rentang nilai 0,75-0,85 dengan gradasi warna kuning hingga merah tua.

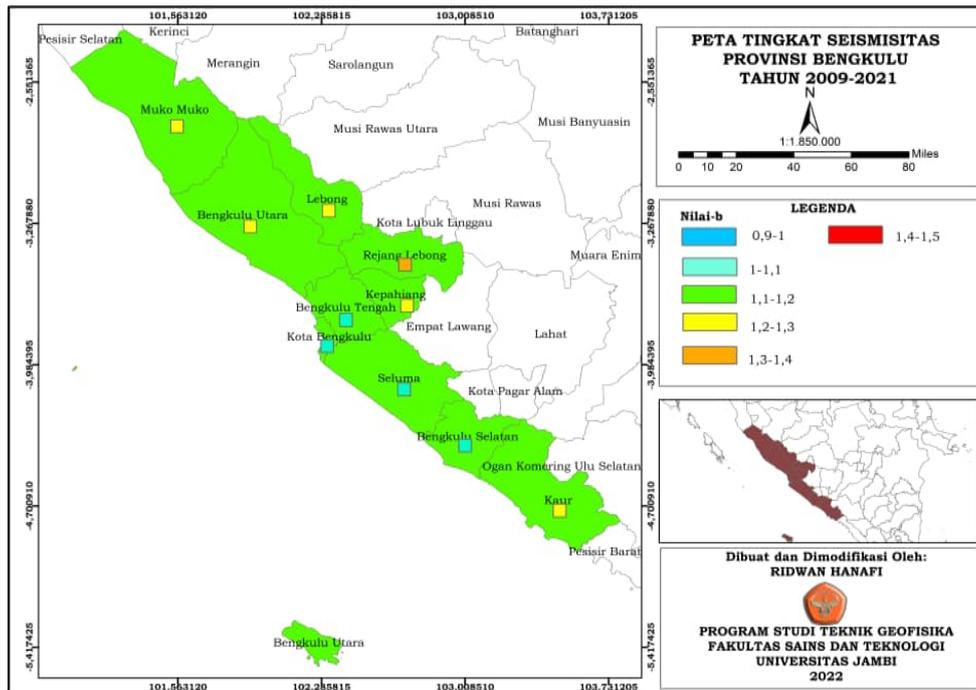
Gambar 15 dan **Gambar 17** menunjukkan hasilnya setelah memetakan nilai M_c di nilai- b . Nilai b adalah sekitar 0,55 hingga 1,5 menurut katalog USGS dan BMKG. Hasil penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa nilai B yang rendah biasanya berkorelasi dengan tingkat keaktifan gempa yang tinggi, sedangkan nilai B yang tinggi berarti sebaliknya. Dalam penelitian ini, variasi nilai B yang rendah ditemukan di kota Bengkulu, Bengkulu Selatan, Bengkulu Tengah, Seluma, Mukomuko, Lebong, dan Samudera Hindia, yang menunjukkan bahwa ada kemungkinan besar gempa besar akan terjadi di wilayah-wilayah ini.



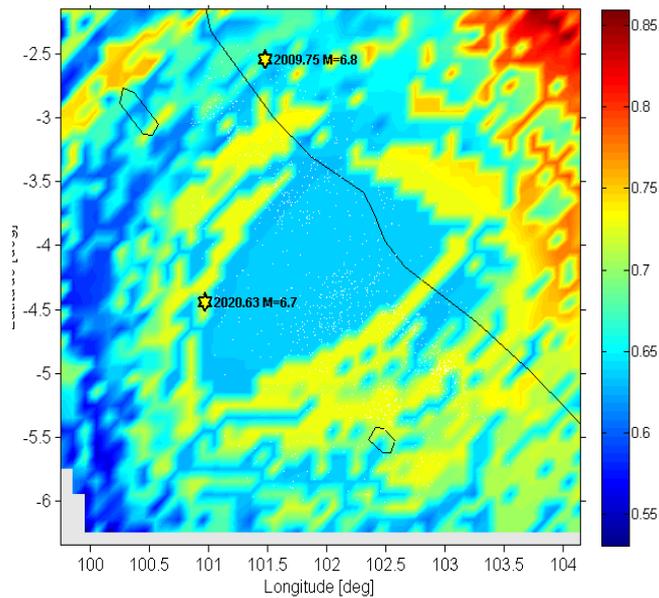
Gambar 13. Peta M_c BMKG.



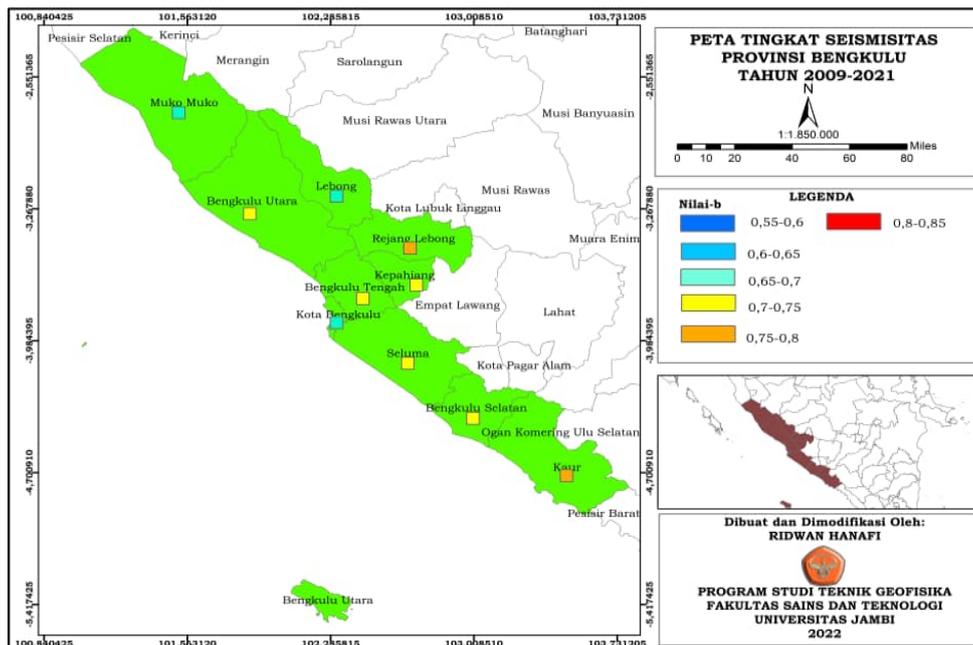
Gambar 14. Pemetaan nilai-b katalog USGS menggunakan metoda EMR.



Gambar 15. Peta nilai-b USGS.



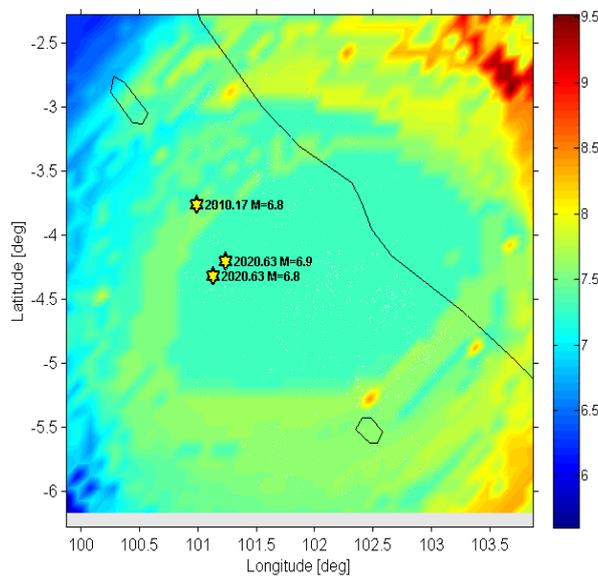
Gambar 16. Pemetaan nilai-b katalog BMKG.



Gambar 17. Peta nilai-b BMKG.

Gambar 18 menunjukkan Bengkulu memiliki rentang nilai-a yaitu sekitar 6 sampai 9,5 dengan gradasi biru tua hingga merah tua. Dengan nilai-a terendah hingga sedang pada

rentang 0,9-1,2 dengan gradasi warna biru tua hingga hijau, sedangkan untuk nilai-a sedang hingga tinggi pada rentang nilai 1,3-1,5 dengan gradasi warna kuning hingga merah tua.



Gambar 18. Pemetaan nilai-a katalog USGS menggunakan metoda EMR.

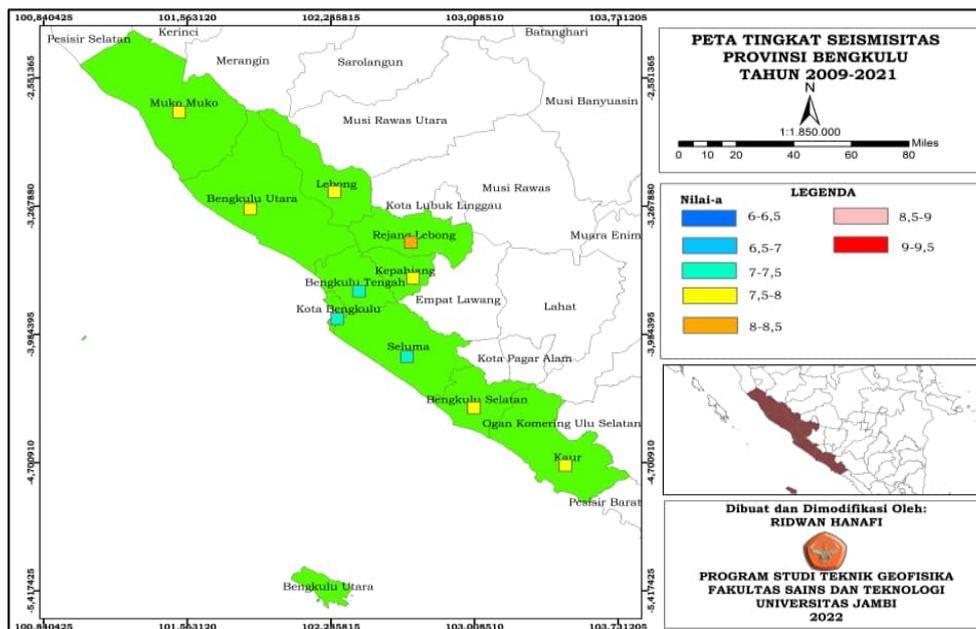
Gambar 20 menunjukkan Daerah Bengkulu memiliki rentang nilai-a yaitu sekitar 0,9 sampai 1,5 dengan gradasi biru tua hingga merah tua. Dengan nilai-a terendah hingga

sedang pada rentang 0,9-1,2 dengan gradasi warna biru tua hingga hijau, sedangkan untuk nilai-a sedang hingga tinggi pada rentang nilai

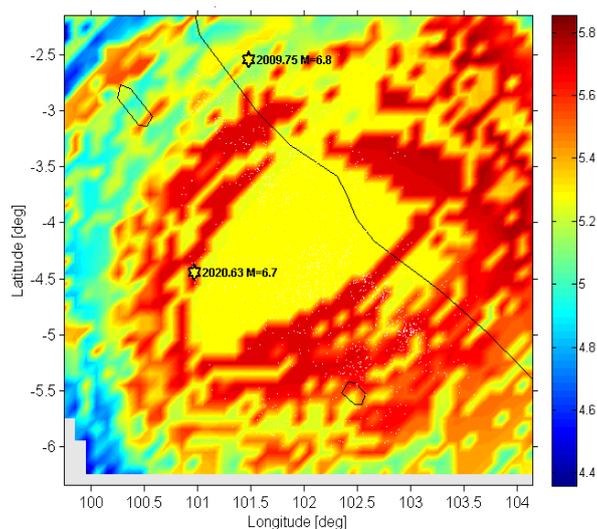
1,3-1,5 dengan gradasi warna kuning hingga merah tua.

Hasil pemetaan nilai-a ditunjukkan pada **Gambar 19** dan **Gambar 21** sebanding dengan sebaran nilai-b. Nilai-a yang lebih rendah juga ditunjukkan untuk daerah Kota Bengkulu, Bengkulu Selatan, Bengkulu Tengah dan Seluma merupakan wilayah yang berada di sekitar zona subduksi serta sesar Mentawai.

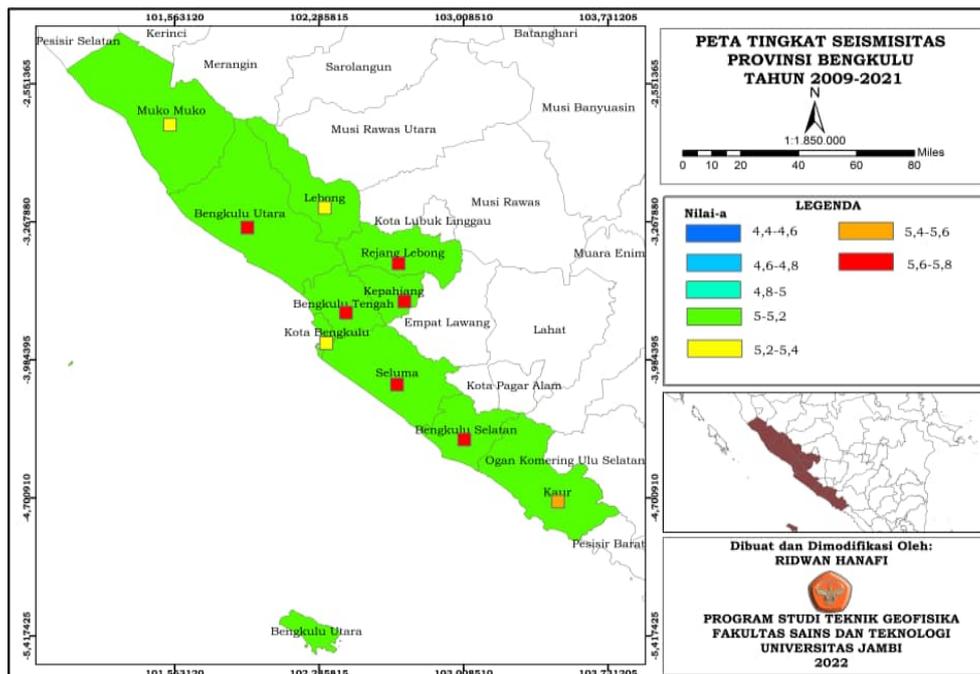
Jika daerah memiliki nilai-a yang tinggi, maka daerah tersebut memiliki tingkat frekuensi kegempaan yang tinggi tetapi potensi terjadinya gempa besar yang cukup besar. Sebaliknya, jika daerah memiliki nilai-a yang rendah, maka daerah tersebut memiliki tingkat frekuensi kegempaan yang tinggi tetapi potensi magnitudo gempa yang terjadi di sana relatif rendah.



Gambar 19. Peta nilai-a dari USGS.



Gambar 20. Pemetaan nilai-a katalog BMKG menggunakan metoda EMR.



Gambar 21. Peta nilai-a BMKG.

5. KESIMPULAN

Sebagai hasil dari penelitian yang dilakukan oleh peneliti, peneliti dapat menyimpulkan bahwa dalam pemetaan wilayah Bengkulu, hasil dari katalog USGS menunjukkan nilai M_c sebesar 4,6 SR, nilai a sebesar 6,85, dan nilai b sebesar 0,95. Hasil dari BMKG menunjukkan nilai M_c sebesar 3,6 SR, nilai a sebesar 5,06, dan nilai b sebesar 0,585. Kedua data menunjukkan bahwa nilai M_c BMKG lebih tinggi karena jangkauan magnitudo yang lebih luas, serta banyak stasiun dan sensor pengambilan gempa yang lebih dekat dengan titik sumber. Area-area di bagian timur laut dan tenggara Provinsi Bengkulu memiliki potensi gempa yang cukup tinggi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada dosen pembimbing dan mahasiswa Teknik Geofisika Universitas Jambi yang telah memberikan bimbingan dan arahan.

DAFTAR PUSTAKA

Anwar, S. (2019). Mengukur Peluang Kejadian Gempa Bumi dengan Lompatan Magnitudo di Wilayah Pulau Sumatera. *Jurnal Lingkungan*

Dan Bencana Geologi, 10(3), 159–170. <https://doi.org/10.34126/jlbg.v10i3.263>

Bisyri, M. A. (2020). Analisis Variasi Parameter Tektonik Gempa Bumi Secara Spasial dan Temporal Menggunakan Metode Robust Fitting Pada Wilayah Sulawesi Tengah dan Gorontalo. In *Repository. uinjkt.ac.id*. <http://repository.uinjkt.ac.id/dspace/handle/123456789/52588>

Chasanah, U. & Handoyo, E. (2021). Determination the Magnitude of Completeness, b-Value and a-Value for Seismicity Analysis in East Java, Indonesia. *Journal of Physics: Conference Series*, 1805(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1805/1/012009>

Daiana, S. T., Nurhidayah, & Handayani, L. (2021). Studi B-Value Sebagai Analisis Seismisitas Berdasarkan Data Gempabumi Periode 1914-2020 (Studi Kasus: Provinsi Bengkulu. *Jurnal Sains Dan Teknologi Mitigasi Bencana*, 16(1).

Ernandi, F. N. & Madlazim (2020). Analisis Variasi A-Value Dan B-Value Dengan Menggunakan Software Zmap V.6 Sebagai Indikator Potensi Gempa Bumi Di Wilayah Nusa Tenggara Barat. *Jurnal Inovasi Fisika Indonesia*, 9(3), 24–30. <https://doi.org/10.26740/ifi.v9n3.p24-30>

Hadi, A.I., Suhendra, & Manik, O.O. (2013). Pemetaan Gempa Bumi Berdasarkan Tingkat Keaktifan Gempa di Provinsi Bengkulu Periode

- 1971-2011. *Prosiding Semirata FMIPA Universitas Lampung*, 269–272.
- Harlianto, B. & Farid, M. (2018). *Pemetaan B Value Untuk Identifikasi Kerentanan Wilayah Terhadap Gempabumo Dengan Mempertimbangkan Kepadatan Penduduk Di Kabupaten Bengkulu Utara*.
- Hutasoit, E. Y. (2021). *Identifikasi Percepatan Tanah Maksimum dan Hubungannya Dengan Intensitas Gempa Bumi di Sumatera Barat Menggunakan Metode Gutenberg Richter*.
- Madlazim (2013). Kajian Awal Tentang B Value Gempa Bumi di Sumatra Tahun 1964-2013. *Jurnal Penelitian Fisika Dan Aplikasinya (JPFA)*, 3(1), 41–46. <http://earthquake>.
- Mignan, A. & Woessner, J. (2012). Understanding Seismicity Catalogs and their Problems: Estimating the Magnitude of Completeness for Earthquake Catalogs. *Community Online Resource for Statistical Seismicity Analysis, April*, 1–45. <https://doi.org/10.5078/corssa-00180805>.
- Murtianto, H. (2016). Potensi Kerusakan Gempa Bumi Akibat Pergerakan Patahan Sumatera di Sumatera Barat dan Sekitarnya. *Jurnal Geografi Gea*, 10(1). <https://doi.org/10.17509/gea.v10i1.1667>
- Purbandini, P. (2017). *Analisis Bahaya Kegempaan Di Wilayah Malang Menggunakan Pendekatan Probabilistik* (Vol. 87, Issue 1,2).
- Simamora, J. T. & Namigo, E. L. (2016). Pemetaan Magnitude of Completeness (M_c) untuk Gempa Sumatera. *Jurnal Fisika Unand*, 5(2), 179–186. <https://doi.org/10.25077/jfu.5.2.179-186.2016>
- Simanjuntak, A. V. H. & Olymphina, O. (2017). Perbandingan Energi Gempa Bumi Utama dan Susulan (Studi Kasus: Gempa Subduksi Pulau Sumatera dan Jawa). *Jurnal Fisika FLUX*, 14(1), 19. <https://doi.org/10.20527/flux.v14i1.3776>
- Sunarjo, Gunawan, M.T., & Pribadi, S. (2012). *Gempabumi Edisi Populer*. Badan Meteorologi Klimatologi Dan Geofisika.
- Zakhra, V., Styawan, Y., Fattah, E., & Farduwin, A. (2023). Analisis Gempa Cianjur 2022 Dengan Pendekatan Spasial Temporal A-Value Dan B-Value. *JGE (Jurnal Geofisika Eksplorasi)*, 9(3), 217-230. [doi:https://doi.org/10.23960/jge.v9i3.318](https://doi.org/10.23960/jge.v9i3.318)