

ESTIMASI *MAGNITUDE OF COMPLETENESS (MC)*, *A-VALUE*, DAN *B-VALUE* UNTUK MENILAI DINAMIKA SEISMOTEKTONIK GEMPA DANGKAL DI WILAYAH NUSA TENGGARA BARAT MENGGUNAKAN METODE *ENTIRE MAGNITUDE RANGE (EMR)*

SKRIPSI

Oleh:
NURUL WIJAYANTI
NIM. 220604110022



**PROGRAM STUDI FISIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2026**

ESTIMASI *MAGNITUDE OF COMPLETENESS* (MC), *A-VALUE*, DAN *B-VALUE* UNTUK MENILAI DINAMIKA SEISMOTEKTONIK GEMPA DANGKAL DI WILAYAH NUSA TENGGARA BARAT MENGGUNAKAN METODE *ENTIRE MAGNITUDE RANGE* (EMR)

SKRIPSI

**Diajukan kepada:
Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang
Untuk Memenuhi Salah Satu Persyaratan Dalam
Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)**

**Oleh:
Nurul Wijayanti
NIM. 220604110022**

**PROGRAM STUDI FISIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2026**

HALAMAN PERSETUJUAN

ESTIMASI MAGNITUDE OF COMPLETENESS (MC), A-VALUE, DAN B-VALUE UNTUK MENILAI DINAMIKA SEISMOTEKTONIK GEMPA DANGKAL DI WILAYAH NUSA TENGGARA BARAT MENGGUNAKAN METODE ENTIRE MAGNITUDE RANGE (EMR)

SKRIPSI

Oleh:
Nurul Wijayanti
NIM. 220604110022

Telah Diperiksa dan Disetujui untuk Diuji
Pada tanggal, 22 Juni 2026

Dosen Pembimbing I



Ahmad Luthfin, M.Si
NIP. 19860504 201903 1 009

Dosen Pembimbing II



Dr. Erna Hastuti, M.Si
NIP. 19811119 200801 2 009

Mengetahui,
Ketua Program Studi



Farid Samsu Hananto, M.T
NIP. 19740513 200312 1 001

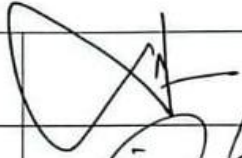
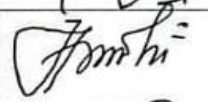
HALAMAN PENGESAHAN

ESTIMASI *MAGNITUDE OF COMPLETENESS* (MC), *A-VALUE*, DAN *B-VALUE* UNTUK MENILAI DINAMIKA SEISMOTEKTONIK GEMPA DANGKAL DI WILAYAH NUSA TENGGARA BARAT MENGGUNAKAN METODE *ENTIRE MAGNITUDE RANGE* (EMR)

SKRIPSI

Oleh:
Nurul Wijayanti
NIM. 220604110022

Telah Dipertahankan Di Depan Dewan Penguji
Dan Diterima Sebagai Salah Satu Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)
Pada Tanggal, 26 Juni 2026

Penguji Utama	:	<u>Drs. H. Abdul Basid, M.Si</u> NIP. 19650504 199003 1 003	
Ketua Penguji	:	<u>Muthmainnah, M.Si</u> NIP. 19860325 201903 2 009	
Sekretaris Penguji	:	<u>Ahmad Luthfin, M.Si</u> NIP. 19860504 201903 1 009	
Anggota Penguji	:	<u>Dr. Erna Hastuti, M.Si</u> NIP. 19811119 200801 2 009	

Mengesahkan,
Ketua Program Studi



Farid Samsu Hananto, M.T
NIP. 19740513 200312 1 001

PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : NURUL WIJAYANTI

NIM : 220604110022

Jurusan : FISIKA

Fakultas : SAINS DAN TEKNOLOGI

Judul Penelitian : Estimasi *Magnitude of Completeness* (M_c), *a-value*, dan *b-value* Untuk Gempa Dangkal di Wilayah Nusa Tenggara Barat Menggunakan Metode *Entire Magnitude Range* (EMR).

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa hasil penelitian saya ini tidak terdapat unsur-unsur penjiplakan karya penelitian atau karya ilmiah yang pernah dilakukan atau dibuat oleh orang lain, kecuali yang tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka. Apabila ternyata hasil penelitian ini terbukti terdapat unsur-unsur jiplakan maka saya bersedia untuk menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Malang, Juni 2026
Yang Membuat Pernyataan



Nurul Wijayanti
NIM. 220604110022

MOTTO

“Maka sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan. Maka apabila engkau telah selesai (dari satu urusan), tetaplah bekerja keras (untuk urusan yang lain).

Dan hanya kepada Tuhan mu lah engkau berharap.”

(Q.S Al-Insyirah: 6-8)

“Setetes keringat orang tuaku yang keluar, ada seribu langkahku untuk maju.”

“Aku membahayakan nyawa ibuku saat lahir ke dunia, jadi tidak mungkin aku tidak ada artinya.”

“Aku tidak takut gagal, yang aku takutkan adalah pulang tanpa bias membuat orang tuaku tersenyum bangga.”

HALAMAN PERSEMBAHAN

Tiada lembar skripsi yang paling indah dalam skripsi ini kecuali lembar persembahan. *Bismillahirrahmanirrahim* skripsi ini penulis persembahkan kepada kedua orang tua tercinta penulis. Dua orang yang sangat berjasa dalam kehidupan penulis, dua orang yang selalu mengusahakan anak perempuannya ini menempuh Pendidikan setinggi-tingginya meskipun mereka berdua hanya bias menempuh Pendidikan sampai tahap dasar. Kepada bapak tercinta, terima kasih atas setiap cucuran keringat dan kerja keras yang engkau tukarkan menjadi sebuah nafkah demi anakmu bisa sampai ke tahap ini, demi anakmu bisa mengenyam Pendidikan sampai ke tingkat ini, dan terima kasih sudah menjadi laki-laki bertanggungjawab penuh terhadap keluarga. Untuk ibu tersayang, terima kasih telah melahirkan penulis ke dunia ini, terima kasih atas segala pesan, do'a, dan harapan yang selalu mendampingi setiap langkah dan ikhtiar anakmu untuk menjadi seseorang yang berpendidikan, terima kasih atas kasing saying tanpa batas yang tak pernah pudar oleh waktu, atas kesabaran pengorbanan yang selalu mengiringi perjalanan hidup penulis, terima kasih telah menjadi sumber kekuatan dan inspirasi. Rasa terima kasih yang tulus juga penulis sampaikan kepada kakak-kakak tercinta, yang tidak hanya menjadi bagian dari perjalanan hidup penulis, tapi juga telah memberikan dukungan nyata selama proses pendidikan ini. Segala bentuk perhatian, bantuan, dan pengorbanan yang diberikan menjadi salah satu kekuatan bagi penulis untuk dapat terus melangkah hingga sampai pada titik ini. Terakhir terima kasih atas segala hal yang kalian berikan, yang tak terhitung jumlahnya. Penulis persembahkan karya tulis sederhana dan gelar ini untuk, Bapak, Ibu, dan kakak-kakak.

KATA PENGANTAR

Segala puji syukur bagi Allah SWT atas limpahan kasih sayang, rahmat , taufiq, dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Estimasi *Magnitude of Completeness (Mc)*, *a-value*, dan *b-value* Untuk Gempa Dangkal di Wilayah Nusa Tenggara Barat Menggunakan Metode *Entire Magnitude Range (EMR)*” sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana pada program studi Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Sholawat serta salam senantiasa tercurahkan kepada Nabi Muhammad SAW, beserta keluarga, sahabat, dan seluruh pengikutnya hingga akhir zaman.

Dalam proses penyusunan skripsi ini, penulis mendapatkan banyak bantuan, bimbingan, serta dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, dengan segala kerendahan hati, penulis sampaikan terimakasih kepada:

1. Allah SWT atas segala nikmat yang tak terhitung jumlahnya, yang telah memberikan kemudahan dalam setiap kesulitan, dan kesempitan, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik.
2. Teristimewa, dengan penuh cinta dan rasa hormat kepada kedua orang tua penulis. Terima kasih atas setiap pengorbanan yang tidak pernah terucap, atas setiap lelah yang disembunyikan di balik senyuman, serta do'a-do'a yang tidak pernah terputus untuk penulis. Terimakasih atas setiap langkah yang kalian perjuangkan diam-diam, atas setiap harapan yang kalian titipkan tanpa menuntut balasan. Sebagai anak bungsu, penulis tumbuh dalam limpahan cinta yang begitu besar, yang menjadi alasan utama untuk terus berusaha dan tidak menyerah hingga sampai tahap ini.

3. Kakak-kakak tercinta, yang telah memberikan dukungan, perhatian, serta bantuan, termasuk dalam memenuhi kebutuhan penulis selama menempuh Pendidikan. Terima kasih atas segala bentuk pengorbanan dan keikhlasan yang telah diberikan.
4. Keluarga besar penulis yang senantiasa memberikan doa dan dukungan selama proses penyusunan skripsi ini.
5. Prof. Dr. Hj. Ilfi Nur Diana, M.Si., selaku rector Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
6. Dr. H. Agus Mulyono, S.Pd., M.Kes., selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Univrsitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
7. Farid Samsu Hananto S.Si., M.T., selaku Ketua Program Studi Fisika Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
8. Ahmad Luthfin S.Si., M.Si., dan Dr. Erna Hastuti, M.Si., selaku pembimbing skripsi.
9. Drs. H. Abdul Basid M.Si., dan Muthmainnah, M.Si., selaku dewan penguji skripsi.
10. Seluruh dosen dan Staff Akademik Program Studi Fisika Universitas Islam Negeri Maulana Malik Malang.
11. Teruntuk Silviana dan Della, teman sejak masa SMA yang hingga saat ini masih setia berjalan bersama penulis. Terima kasih karena selalu ada, bukan hanya dalam kebahagiaan, tetapi juga dalam proses yang tidak selalu mudah. Kehadiran kalian menjadi salah satu alasan penulis mampu bertahan dan terus melangkah sampai di titik ini.

12. Mannanu Minni, yang dengan caranya sendiri selalu memberi dukungan, semangat, dan do'a. Terima kasih telah menjadi bagian dari perjalanan ini dan tetap hadir di saat penulis membutuhkan kekuatan, meskipun tidak selalu terucap.
13. Siska, Putri, Zuhro, yang telah kebersamai kebersamai perjalanan penulis dengan penuh kehangatan. Terima kasih atas dukungan, kebersamaan, dan hal-hal sederhana yang tanpa disadari menjadi penguat dalam setiap proses yang dilalui.
14. Firdha, teman sejak awal perkuliahan yang meskipun berbeda jurusan, tetap setia hadir dan memberikan dukungan. Terima kasih telah menjadi tempat yang selalu ada, bahkan ketika banyak hal tidak bisa diceritakan. Kehadiranmu menjadi bagian penting dalam perjalanan ini.
15. Kepada keluarga besar Fisika UIN Malang, khususnya rekan-rekan seperjuangan peminatan Geofisika Angkatan 2022, penulis mengucapkan terimakasih atas semangat, dan kebersamaan yang telah kita lalui bersama. Meski tidak banyak cerita yang terucap, kehadiran kalian tetap menjadi bagian penting dalam perjalanan saya hingga sampai di titik ini.
16. Dan semua pihak yang tidak bias penulis sebutkan satu persatu, terimakasih atas do'a, bantuan serta dukungan yang diberikan kepada penulis.
17. Terakhir, untuk diri sendiri, Nurul Wijayanti, penulis mengucapkan terima kasih karena telah bertahan dan terus berusaha hingga sampai tahap ini. Sebagai anak bungsu dari tiga bersaudara dan menjadi harapan terakhir keluarga, penulis menyadari besarnya tanggung jawab yang dipikul. Kesadaran tersebut sering kali menghadirkan berbagai pemikiran dan

kekhawatiran tentang masa depan, khususnya kemampuan penulis dalam memenuhi haran orang tua dan membalas segala pengorbanan yang telah diberikan. Di tengah berbagai perasaan tersebut, penulis memilih untuk tetap menjalani Pendidikan dengan sungguh-sungguh. Dengan kesabaran, keberanian, dan kerja keras, penulis berusaha memanfaatkan setiap proses pembelajaran sebagai sarana untuk berkembang dan mempersiapkan diri. Penulis percaya bahwa Pendidikan yang dijalani dengan ketekunan dan keikhlasan akan memberikan hasil yang baik pada waktunya. Penulis berharap semoga ke depan, selalu diberi kekuatan untuk terus melangkah, menjadi lebih baik, membanggakan diri sendiri serta orang-orang yang disayangi.

DAFTAR ISI

HALAMAN PERSETUJUAN.....	iii
HALAMAN PENGESAHAN	iv
PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN	v
MOTTO	vi
HALAMAN PERSEMBAHAN.....	vii
KATA PENGANTAR.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	xiv
DAFTAR TABEL.....	xv
ABSTRAK	xv
ABSTRACT	xvii
مستخلص البحث.....	xviii
 BAB I PENDAHULUAN	 1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	6
1.3 Tujuan.....	6
1.4 Batasan Masalah.....	7
1.5 Manfaat Penelitian.....	7
 BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	 8
2.1 Gempa Bumi.....	8
2.2 Gelombang Seismik.....	12
2.2.1 Gelombang Badan.....	12
2.2.2 Gelombang Permukaan.....	14
2.3 Tektonik Wilayah Nusa Tenggara Barat (NTB)	15
2.4 Parameter Statistik Kegempaan.....	17
2.4.1 <i>Magnitude of Completeness</i> (Mc).....	17
2.4.2 <i>A-value</i>	18
2.4.3 <i>B-value</i>	19
2.5 Hukum Gutenberg-Richter	20
2.6 Metode <i>Entire Magnitude Range</i> (EMR)	21
2.7 Hubungan Parameter Kegempaan dengan Seismotektonik Wilayah NTB ..	22
2.8 Penelitian Terdahulu.....	24
 BAB III METODE PENELITIAN	 26
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	26
3.2 Data Penelitian.....	26
3.3 Peralatan Penelitian	27
3.4 Prosedur Pelaksanaan	27
3.4.1 Pengumpulan Data.....	27
3.4.2 Metode Pengolahan dan Analisis Data	29
3.5 Interpretasi Parameter Kegempaan.....	33
3.5.1 <i>Magnitude of Completeness</i> (Mc).....	33
3.5.2 <i>B-value</i>	34
3.5.3 <i>A-value</i>	34
3.6 Interpretasi Variasi Temporal Parameter Kegempaan	35

3.7 Diagram Alir.....	38
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	39
4.1 Deskripsi Data Gempa Bumi NTB.....	39
4.1.1 Data Gempa Bumi Dangkal Wilayah Nusa Tenggara Barat	39
4.1.2 Hasil <i>Declustering</i> Reasenberg.....	41
4.2 Distribusi Frekuensi Magnitudo	42
4.3 Estimasi Parameter Kegempaan	45
4.3.1 <i>Magnitudo of Completeness</i> (Mc).....	45
4.3.2 <i>B-value</i>	46
4.3.3 <i>A-value</i>	47
4.4 Analisis Spasial <i>a-value</i> dan <i>b-value</i>	47
4.5 Analisis Temporal <i>a-value</i> dan <i>b-value</i>	51
4.6 Analisis Dinamika Seismotektonik NTB	55
4.7 Diskusi Hasil Penelitian	56
4.8 Hasil Penelitian dalam Perspektif Islam.....	59
BAB V PENUTUP	64
5.1 Kesimpulan.....	64
5.2 Saran.....	65
DAFTAR PUSTAKA.....	66
LAMPIRAN.....	70

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Ilustrasi Penjelaran Gelombang P (repository ITERA).....	13
Gambar 2. 2 Ilustrasi Penjelaran Gelombang S (repository ITERA).....	13
Gambar 2. 3 Ilustrasi Penjelaran Gelombang <i>Rayleigh</i> (repository ITERA).....	14
Gambar 2. 4 Ilustrasi Penjelaran Gelombang <i>Love</i> (repository ITERA).....	15
Gambar 3. 1 Wilayah Penelitian Nusa Tenggara Barat (NTB).....	26
Gambar 3. 2 Halaman website USGS	28
Gambar 3. 3 Parameter yang diinput dalam USGS.....	28
Gambar 3. 4 Data yang diperoleh dari USGS dalam bentuk CSV.....	29
Gambar 3. 5 Tampilan pembukaan ZMAP melalui Command Windows pada MATLAB R2021a.	29
Gambar 3. 6 Tampilan GUI ZMAP pada MATLAB R2021a.	30
Gambar 3. 7 Tampilan GUI ZMAP setelah proses pemuatan data gempa dangkal dari file katalog	30
Gambar 3. 8 Tampilan proses declustering metode Reasenberg pada ZMAP.....	31
Gambar 3. 9 Tampilan perhitungan nilai M_c , a -value, dan b -value metode EMR pada Command Window MATLAB.....	31
Gambar 3. 10 Tampilan pembuatan peta M_c , a -value, dan b -value melalui GUI ZMAP	32
Gambar 3. 11 Tampilan analisis temporal melalui command windows	32
Gambar 3. 12 Tampilan penyimpanan hasil pada MATLAB	32
Gambar 3. 13 Diagram Alir Penelitian	38
Gambar 4. 1 Peta Sebaran Gempa Bumi Dangkal Nusa Tenggara Barat (NTB) Sebelum Declustering Periode 2010–2025.....	39
Gambar 4. 2 Peta Sebaran Gempa Bumi Dangkal Nusa Tenggara Barat (NTB) Setelah Declustering Reasenberg Periode 2010–2025	41
Gambar 4. 3 Grafik <i>Frequency Magnitude Distribution</i> (FMD) gempa dangkal wilayah Nusa Tenggara Barat hasil declustering Reasenberg periode 2010–2025.	43
Gambar 4. 4 Distribusi spasial b -value di wilayah Nusa Tenggara Barat periode 2010–2025	48
Gambar 4. 5 Distribusi spasial a -value di wilayah Nusa Tenggara Barat (NTB) periode 2010–2025	49
Gambar 4. 6 Grafik <i>Frequency Magnitude Distribution</i> (FMD) setiap periode pengamatan menggunakan metode <i>Entire Magnitude Range</i> (EMR).	52

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Hasil Penelitain NTB	24
Tabel 3. 1 Interpretasi Nilai <i>Magnitude of Completeness</i> (Mc) (Pavlenko dan Zavyalov (2022) serta Wang et al. (2025)).....	33
Tabel 3. 2 Interpretasi Nilai <i>b-value</i> (Scholz, 2015).....	34
Tabel 3. 3 Interpretasi Nilai <i>a-value</i> (Scholz, 2015).....	35
Tabel 3. 4 Interpretasi Perubahan Temporal <i>b-value</i> (Schorlemmer et al. 2005) .	36
Tabel 3. 5 Interpretasi Perubahan Temporal <i>a-value</i>	36
Tabel 3. 6 Interpretasi Perubahan Nilai <i>Magnitude of Completeness</i> (Mc).....	37
Tabel 4. 1 Statistik Data Gempa Bumi Sebelum <i>Declustering</i>	40
Tabel 4. 2 Hasil Analisis Katalog Gempa pada Wilayah Barat dan Tengah–Timur NTB Menggunakan ZMAP	50
Tabel 4. 3 Hasil analisis temporal gempa dangkal wilayah Nusa Tenggara Barat periode 2010–2025 hasil <i>declustering</i> Reasenberg menggunakan metode <i>Entire Magnitude Range</i> (EMR).	52
Tabel 4. 4 Perbandingan Hasil Penelitian dengan Penelitian Sebelumnya.....	56

ABSTRAK

Wijayanti, Nurul.2026. *Estimasi Magnitude of Completeness (Mc), a-value, dan b-value Untuk Gempa Dangkal di Wilayah Nusa Tenggara Barat Menggunakan Metode Entire Magnitude Range (EMR)*. Skripsi. Program Studi Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
Pembimbing: (1) Ahmad Luthfin, M.Si (2) Dr. Erna Hastuti, M.Si.

Kata Kunci: Mc, a-value, b-value, EMR, gempa dangkal, Nusa Tenggara Barat

Wilayah Nusa Tenggara Barat (NTB) merupakan kawasan dengan seismisitas tinggi akibat interaksi zona subduksi Indo-Australia–Eurasia dan sistem Flores Back Arc Thrust. Penelitian ini bertujuan mengestimasi nilai *Magnitude of Completeness* (Mc), a-value, dan b-value gempa dangkal (kedalaman ≤ 70 km) di wilayah NTB menggunakan metode *Entire Magnitude Range* (EMR), serta menganalisis variasi spasial dan temporalnya terhadap dinamika seismotektonik wilayah tersebut. Data yang digunakan adalah data sekunder katalog gempa bumi dari United States Geological Survey (USGS) periode 2010–2025 sebanyak 354 kejadian, direduksi menjadi 233 kejadian melalui declustering metode Reasenberg menggunakan perangkat lunak ZMAP pada MATLAB. Hasil analisis *Frequency Magnitude Distribution* dengan metode EMR menghasilkan nilai Mc sebesar 4,40, b-value sebesar $1,2591 \pm 0,1072$, dan a-value sebesar 7,6799, dengan misfit sebesar 0,040940 yang menunjukkan kecocokan model baik. Nilai b-value lebih besar dari satu mengindikasikan dominasi gempa bermagnitudo kecil hingga menengah di wilayah NTB. Analisis spasial menunjukkan bagian barat NTB memiliki nilai a-value dan b-value relatif lebih rendah dibandingkan bagian tengah-timur, mengindikasikan akumulasi tegangan batuan lebih tinggi di wilayah barat. Analisis temporal pada tiga periode (2010–2014, 2015–2019, dan 2020–2025) menunjukkan penurunan b-value pada 2015–2019 berkaitan dengan akumulasi tegangan menjelang rangkaian Gempa Lombok 2018, diikuti peningkatan b-value dan a-value pada 2020–2025 yang mengindikasikan pelepasan tegangan serta peningkatan aktivitas kegempaan. Hasil ini menunjukkan karakteristik seismotektonik gempa dangkal di wilayah NTB bersifat dinamis secara spasial dan temporal, sehingga dapat menjadi bahan pertimbangan dalam mitigasi bencana gempa bumi di wilayah tersebut.

ABSTRACT

Wijayanti, Nurul.2026. *Estimation of Magnitude of Completeness (Mc), A-Value, and B-Value to Assess the Seismotectonic Dynamics of Shallow Earthquakes in West Nusa Tenggara Using the Entire Magnitude Range (EMR) Method*. Undergraduated Thesis. Department of Physics, Faculty of Sains and Technology, Maulana Malik Ibrahim State Islamic University, Malang.

Supervisor: (1) Ahmad Luthfin, M.Si (2) Dr. Erna Hastuti, M.Si.

Keywords:Mc, a-value, b-value, Entire Magnitude Range, shallow earthquake, West Nusa Tenggara

West Nusa Tenggara (NTB) region has high seismicity resulting from interaction between the Indo-Australian–Eurasian subduction zone and the Flores Back Arc Thrust system. This study aims to estimate the Magnitude of Completeness (Mc), a-value, and b-value of shallow earthquakes (depth ≤ 70 km) in NTB using the Entire Magnitude Range (EMR) method, and to analyze their spatial and temporal variations in relation to seismotectonic dynamics. The data used are secondary earthquake catalog data from the United States Geological Survey (USGS) for 2010–2025, comprising 354 events, reduced to 233 events through declustering using the Reasenber method in ZMAP on MATLAB. The Frequency Magnitude Distribution analysis using EMR yielded an Mc of 4.40, a b-value of 1.2591 ± 0.1072 , and an a-value of 7.6799, with a misfit of 0.040940 indicating a good model fit. A b-value greater than one indicates dominance of small- to moderate-magnitude earthquakes in NTB. Spatial analysis revealed that western NTB has relatively lower a-value and b-value than the central–eastern part, suggesting higher rock-stress accumulation in the west. Temporal analysis across three periods (2010–2014, 2015–2019, and 2020–2025) showed a decrease in b-value during 2015–2019, associated with stress accumulation prior to the 2018 Lombok earthquake sequence, followed by an increase in both b-value and a-value during 2020–2025, indicating stress release and increased seismic activity. These findings show that shallow-earthquake seismotectonic characteristics in NTB are dynamic both spatially and temporally, providing a basis for earthquake disaster mitigation in the region.

مستخلص البحث

وبجاياتي، نورل. 2026. تقدير مقدار الاكتمال (Mc)، قيمة a ، وقيمة b لزلازل ضحلة في منطقة نوسا تينجارا بارات باستخدام طريقة نطاق المقدار الكامل (EMR). بحث جامعي. قسم الفيزياء، كلية العلوم والتكنولوجيا، جامعة مولانا مالك إبراهيم الإسلامية الحكومية مالانج. المشرف: (1) أحمد لطيفين، الماجستير (2) الدكتورة إيرنا هستوتي، الماجستير.

الكلمات المفتاحية: Mc ، قيمة a ، قيمة b ، EMR ، الزلازل الضحلة، نوسا تينجارا بارات

تعتبر منطقة نوسا تينجارا الغربية (NTB) منطقة ذات نشاط زلزالي مرتفع نتيجة لتفاعل منطقة اندماج الصفائح الهندية-الأسترالية مع الأوراسية ونظام فلوريس باك أرك ترست. تهدف هذه الدراسة إلى تقدير قيمة حجم الاكتمال (Mc)، وقيمة a ، وقيمة b للزلازل الضحلة (العمق ≥ 70 كم) في منطقة NTB باستخدام طريقة النطاق الكامل للحجم (EMR)، وكذلك تحليل التغيرات المكانية والزمنية لها بالنسبة للديناميكيات الزلزالية التكتونية للمنطقة. البيانات المستخدمة هي بيانات ثانوية من كتالوج الزلازل لهيئة المسح الجيولوجي الأمريكية ($USGS$) للفترة من 2010 إلى 2025 وعددها 354 حدثاً، تم تقليلها إلى 233 حدثاً من خلال إزالة التكتلات باستخدام طريقة Reasenberg عبر برنامج ZMAP على MATLAB. نتائج تحليل توزيع تكرار القوى باستخدام طريقة EMR أسفرت عن قيمة Mc تساوي 4.40، وقيمة b تساوي 1.2591 ± 0.1072 ، وقيمة a تساوي 7.6799، مع خطأ قدره 0.040940 مما يشير إلى توافق جيد للنموذج. إن قيمة b الأكبر من واحد تشير إلى سيطرة الزلازل ذات القوى الصغيرة إلى المتوسطة في منطقة NTB . يشير التحليل المكاني إلى أن الجزء الغربي من NTB يحتوي على قيم a و b أقل نسبياً مقارنة بالجزء الأوسط-الشرقي، مما يدل على تراكم أكبر للضغوط الصخرية في المنطقة الغربية. أما التحليل الزمني لثلاث فترات (2010-2014، 2015-2019، و 2020-2025) فقد أظهر انخفاض قيمة b في 2015-2019 مرتبطاً بتراكم الضغوط قبيل سلسلة زلازل لومبوك 2018، تلاه ارتفاع في قيمتي a و b في 2020-2025 مما يشير إلى تحرير الضغوط وزيادة النشاط الزلزالي. تظهر هذه النتائج أن الخصائص الزلزالية التكتونية للزلازل الضحلة في منطقة NTB ديناميكية من حيث المكان. تُظهر هذه النتائج أن خصائص الزلازل الضحلة في منطقة NTB ديناميكية من الناحيتين المكانية والزمنية، لذلك يمكن أن تُعتبر مادة للنظر فيها عند التخفيف من كوارث الزلازل في تلك المنطقة

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Wilayah Indonesia dengan luas total $1,92 \times 10^6 \text{ km}^2$ dengan luas perairan $3,26 \times 10^6 \text{ km}^2$ mencakup 17.504 pulau yang membentang dari Sumatera sampai Papua terletak pada batas pertemuan tiga lempeng besar dunia yang sangat aktif yaitu lempeng Eurasia, lempeng Pasifik, dan lempeng Indo-Australia serta satu lempeng mikro yaitu lempeng Filipina. Hal ini menyebabkan wilayah Indonesia sangat rawan terhadap bencana gempa (Pasau, Lumintang, & Teng kukut, 2015). Interaksi antar lempeng ini menghasilkan berbagai sumber gempa, baik yang berasal dari zona subduksi maupun dari sesar-sesar aktif di kerak bumi. Selain gempa megathrust di zona subduksi, gempa dangkal yang bersumber dari sesar kerak (*crustal*) dan sistem *back arc thrust* memiliki peran penting dalam membentuk pola seismisitas regional, khususnya di wilayah Nusa Tenggara Barat (NTB).

Provinsi Nusa Tenggara Barat (NTB) merupakan salah satu provinsi di Indonesia yang wilayahnya memiliki karakter seismisitas yang tinggi atau berada di zona aktif gempa. Penyebab gempa bumi di Provinsi NTB karena wilayahnya diapit oleh dua sumber gempa yaitu di zona subduksi. Zona patahan busur belakang terbentuk karena adanya tunjaman dari lempeng Eurasia terhadap lempeng Indo-Australia di selatan Pulau Lombok atau bagian utara dari Provinsi NTB yang biasanya disebut dengan zona *back arc thrust* (Ernandi & Madlazim, 2020).

Zona *back arc thrust* beberapa kali menjadi sumber dari gempa yang mematikan di daerah tersebut. Hal ini disebabkan karena lokasinya yang relatif

dangkal dan magnitudo gempa yang rilis cukup besar (Hidayati., Trisnawati, Sativa, Wallansha, & Sakti, 2018). Flores *back arc thrust* merupakan salah satu sesar aktif yang berada di pulau Lombok. Sesar ini terbentang dari Wilayah Utara pulau Bali sampai ke Utara Kepulauan Sunda Kecil (Faiza & Puji, 2014).

Fenomena gempa bumi yang disebabkan oleh pergerakan lempeng tektonik merupakan salah satu proses alam yang terus berlangsung di permukaan bumi. Pergerakan lempeng tektonik, akibat adanya aliran material pada mantel bumi yang menyebabkan lempeng-lempeng kerak bumi bergerak secara perlahan. Interaksi antar lempeng tersebut dapat berupa saling mendekat, saling menjauh, maupun saling bergeser (Huda, 2024). Ketika tegangan yang terakumulasi akibat pergerakan lempeng melebihi kekuatan batuan, energi yang tersimpan akan dilepaskan secara tiba-tiba dalam bentuk gelombang seismik yang dirasakan sebagai gempa bumi. Oleh karena itu, aktivitas gempa bumi pada suatu wilayah umumnya berkaitan erat dengan keberadaan batas lempeng dan struktur tektonik aktif.

Dalam perspektif Islam, fenomena gempa bumi dan dinamika bumi dapat dipahami melalui ayat-ayat Al-Qur'an yang menjelaskan adanya pergerakan pada bumi serta berbagai fenomena alam yang terjadi sebagai bagian dari ketetapan Allah SWT. Salah satu ayat yang sering dikaitkan dengan pergerakan bumi terdapat dalam firman Allah SWT pada QS. An-Naml (27): 88:

وَتَرَى الْجِبَالَ تَحْسَبُهَا جَامِدَةً وَهِيَ تَمُرُّ مَرَّ السَّحَابِ صُنِعَ اللَّهُ الَّذِي أَتَقَنَ كُلَّ شَيْءٍ إِنَّهُ ۖ

خَبِيرٌ ﴿٨٨﴾ مَا تَفْعَلُونَ

Artinya: “Engkau akan melihat gunung-gunung yang engkau kira tetap di tempatnya, padahal ia berjalan seperti jalannya awan. (Demikianlah) penciptaan

Allah menjadikan segala sesuatu dengan sempurna. Sesungguhnya Dia Mahateliti terhadap apa yang kamu kerjakan.” (Q.S An-Naml (27): 88)

Menurut Tafsir ilmi yang diterbitkan oleh Lajnah Pentashihan Mushaf Al-Qur'an Kementerian Agama Republik Indonesia, Q.S An-Naml (27): 88 memberikan gambaran bahwa bumi tidak berada dalam keadaan diam. Gunung yang tampak tetap pada kenyataannya berada pada lapisan kerak bumi yang terus mengalami pergerakan. Dalam kajian geologi, fenomena ini dapat dipahami sebagai bagian dari aktivitas lempeng tektonik yang bergerak secara perlahan dalam skala waktu geologi. Pergerakan lempeng dapat memicu berbagai fenomena kebumihian, seperti pembentukan pegunungan, aktivitas vulkanik, tsunami, dan gempa bumi (Lajnah Pentashihan Mushaf Al-Qur'an, 2010).

Makna *وَهِيَ تَمُوتُ مَرَّ السَّحَابِ* dalam konteks geofisika tidak dimaknai bahwa gunung bergerak secara terpisah dari bumi, melainkan menunjukkan bahwa gunung merupakan bagian dari kerak bumi yang berada di atas lempeng tektonik. Ketika lempeng bergerak, gunung yang berada di atasnya juga ikut mengalami pergeseran. Pergerakan gunung berlangsung sangat lambat, hanya beberapa sentimeter per tahun, sehingga tidak dapat diamati secara langsung oleh manusia. Namun, akumulasi pergerakan dalam jangka waktu yang panjang dapat menghasilkan deformasi batuan, pembentukan struktur geologi, serta memicu terjadinya gempa bumi (Huda, 2024).

Fenomena pergerakan lempeng bumi tersebut memiliki keterkaitan dengan kondisi tektonik di wilayah Nusa Tenggara Barat yang berada pada kawasan aktif gempa akibat interaksi zona subduksi dan sistem Flores *Back Arc Thrust*. Berdasarkan data historis kegempaan di Indonesia, beberapa gempa pernah terjadi

di daerah Nusa Tenggara Barat. Pada tanggal 14 Desember 2021 terjadi gempa besar magnitudo 7.4 di Laut Flores dengan kedalaman 10 km. Gempa Laut Flores pada Desember 2021 tersebut bersumber dari adanya aktivitas sesar mendatar barat laut hingga timur-tenggara dengan diikuti adanya peringatan dini tsunami dan tercatat kenaikan muka air laut setinggi 0,07 meter (BMKG, 2021).

Selain kejadian gempa Laut Flores tahun 2021, tingginya aktivitas kegempaan di wilayah Nusa Tenggara Barat juga ditunjukkan oleh berbagai kejadian gempa merusak yang pernah terjadi sebelumnya, termasuk gempa Lombok tahun 2018. Basid et al. (2021) menyatakan bahwa Indonesia merupakan negara dengan tingkat seismisitas tertinggi kedua di dunia setelah Jepang akibat interaksi beberapa lempeng tektonik aktif. Dalam penelitiannya mengenai pemetaan tingkat risiko kerusakan akibat gempa bumi, diperoleh hasil bahwa wilayah Lombok Timur, Lombok Utara, Lombok Barat, serta Kota Mataram memiliki tingkat risiko kerusakan gempa yang relatif tinggi dengan intensitas mencapai V–VIII MMI. Hasil tersebut menunjukkan bahwa Pulau Lombok dan wilayah Nusa Tenggara Barat merupakan kawasan yang rentan terhadap dampak gempa bumi sehingga diperlukan upaya mitigasi yang berkelanjutan serta kajian mengenai karakteristik aktivitas kegempaan di wilayah tersebut.

Aktivitas gempa bumi tektonik seperti yang terjadi di Laut Flores menunjukkan bahwa gempa bumi merupakan suatu kejadian anomali alam yang tidak dapat diprediksi secara pasti. Oleh karena itu, perlu dilakukan analisis mengenai kondisi seismisitas untuk mengetahui potensi terjadinya suatu gempa di wilayah Nusa Tenggara Barat. Hal ini dapat dilakukan dengan mengetahui parameter seismotektonik yang dapat dilihat dari nilai *a-value* dan *b-value*. Selain

itu, analisis *Magnitude of Completeness* (Mc) penting dilakukan untuk menilai tingkat kelengkapan katalog gempa, sehingga estimasi parameter kegempaan seperti *a-value* dan *b-value* dapat dilakukan secara lebih andal. *Magnitude of Completeness* (Mc) merupakan 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. Nilai *Magnitude of Completeness* (Mc) sangat berpengaruh terhadap penentuan *b-value* dan *a-value* (Chasanah & Handoyo, 2021). *A-value* merupakan parameter yang mendeskripsikan aktivitas seismik dari wilayah penelitian. Nilai *a-value* rendah menunjukkan adanya aktivitas kegempaan yang relatif rendah. Hal tersebut menunjukkan adanya akumulasi energi di wilayah tersebut, begitupun sebaliknya. Nilai *b-value* menunjukkan tingkat *stress* batuan. Semakin rendah nilai *b-value* maka menunjukkan tingkat akumulasi *stress* batuan tinggi, begitupun sebaliknya (Hanafi, Ira Kusuma, & Ngatijo, 2024).

Sejumlah penelitian di Kawasan Nusa Tenggara Barat (NTB) telah mengkaji parameter kegempaan tersebut. Misalnya, Munir et al. (2024) menggunakan data USGS dan perangkat lunak ZMAP untuk memetakan distribusi spasial *b-value* di Indonesia, termasuk Nusa Tenggara Barat (NTB), dan menemukan bahwa Nusa Tenggara Barat (NTB) menunjukkan nilai *b* yang lebih rendah di beberapa sektor, yang mengindikasikan akumulasi tegangan tinggi serta potensi gempa besar (Munir, Nurrahmah, Friesky, Imran, & Haryono, 2024). Selain itu, Fahira, dan Madlazim (2024) mengestimasi nilai *Magnitude of Completeness* (Mc), *a-value*, dan *b-value* di Nusa Tenggara Barat (NTB) menggunakan data gempa 1989–2020 dan menunjukkan variasi spasial-temporal parameter tersebut, dengan hasil *Magnitude of Completeness* (Mc) sekitar 3,9 serta pola *a* dan *b* yang

berkorelasi dengan kejadian gempa signifikan seperti gempa Sumbawa (2007) dan Lombok (2018).

Berdasarkan penelitian terdahulu yang telah dipaparkan, analisis parameter kegempaan di wilayah Nusa Tenggara Barat telah banyak dilakukan menggunakan berbagai metode dan periode data yang berbeda. Oleh karena itu, penelitian ini menggunakan metode *Entire Magnitude Range* (EMR) untuk mengestimasi nilai *Magnitude of Completeness* (M_c), *a-value*, dan *b-value* pada gempa dangkal di wilayah Nusa Tenggara Barat periode 2010–2025. Hasil estimasi tersebut kemudian digunakan untuk menganalisis karakteristik seismisitas serta variasi spasial dan temporal parameter kegempaan di wilayah penelitian.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Bagaimana nilai *Magnitude of Completeness* (M_c), *a-value*, dan *b-value* untuk gempa dangkal di wilayah Nusa Tenggara Barat berdasarkan metode *Entire Magnitude Range* (EMR)?
2. Bagaimana variasi spasial dan temporal *a-value* dan *b-value* serta implikasinya terhadap dinamika seismotektonik gempa dangkal di wilayah Nusa Tenggara Barat?

1.3 Tujuan

Tujuan penelitian ini adalah:

1. Untuk mengetahui nilai *Magnitude of Completeness* (M_c), *a-value*, dan *b-value* untuk gempa dangkal di wilayah Nusa Tenggara Barat menggunakan metode *Entire Magnitude Range* (EMR).

2. Untuk mengetahui variasi spasial dan temporal *a-value* dan *b-value* serta implikasinya terhadap dinamika seismotektonik gempa dangkal di wilayah Nusa Tenggara Barat?

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah yang ada dalam penelitian ini adalah:

1. Penelitian ini dilakukan di lokasi Nusa Tenggara Barat (NTB) dengan titik koordinat 115°46'–119°5' Bujur Timur dan 8°10'–9°5' Lintang Selatan.
2. Metode utama yang digunakan adalah *Entire Magnitude Range* (EMR).
3. Data difokuskan pada gempa dangkal dengan kedalaman ≤ 70 km
4. Analisis mencakup parameter *Magnitude of Completeness* (Mc), *a-value*, dan *b-value*

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Memberikan informasi mengenai karakteristik seismisitas gempa dangkal di wilayah Nusa Tenggara Barat (NTB) berdasarkan parameter *Magnitude of Completeness* (Mc), *a-value*, dan *b-value*.
2. Menambah pemahaman terkait dinamika seismotektonik wilayah Nusa Tenggara Barat (NTB) melalui analisis variasi spasial dan temporal parameter *a-value* dan *b-value*.
3. Memberikan kontribusi awal sebagai bahan pertimbangan dalam kajian kebencanaan dan mitigasi gempa bumi di wilayah Nusa Tenggara Barat (NTB).
4. Menambah literatur ilmiah terkait penerapan metode *Entire Magnitude Range* (EMR) untuk analisis parameter statistik kegempaan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Gempa Bumi

Gempa bumi adalah peristiwa bergetarnya bumi akibat pelepasan energi di dalam bumi secara tiba-tiba yang ditandai dengan patahnya lapisan batuan pada kerak bumi. Akumulasi energi penyebab terjadinya gempa bumi dihasilkan dari pergerakan lempeng-lempeng tektonik. Energi yang dihasilkan dipancarkan ke segala arah berupa gelombang gempa bumi sehingga efeknya dapat dirasakan sampai ke permukaan bumi (Abdullah, et al., 2006).

Proses pelepasan energi dan peregangan elastis batuan ini disebabkan oleh deformasi batuan, deformasi ini terjadi akibat tekanan (*stress*) atau tarikan (*strain*) yang menyebabkan batuan tersebut melampaui batas maksimumnya sehingga adanya pergeseran dan patahan secara tiba-tiba. Akumulasi energi nantinya dilepaskan ke dalam bentuk gelombang yang dikenal sebagai gempa bumi (Don & Leet, 2006).

Teori pelepasan elastis mengatakan bahwa ketika daya dukung batuan mencapai puncaknya, energi dilepaskan secara tiba-tiba dalam bentuk gelombang elastik yang menjalar ke segala arah (Harlianto & Farid, 2018). Gempa bumi terjadi karena pelepasan *stress* yang tiba-tiba dari permukaan. 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, *ground faulting*, dan *ground shaking* (Simanjutak & Olymphina, 2017).

Teori pelepasan elastis menjelaskan bahwa gempa bumi terjadi akibat akumulasi tegangan pada batuan yang kemudian dilepaskan secara tiba-tiba dalam bentuk gelombang seismik. Fenomena gempa bumi dijelaskan dan disebutkan dalam Al-Qur'an melalui beberapa ayat yang menggambarkan terjadinya guncangan besar pada bumi. Salah satu istilah yang digunakan Al-Qur'an untuk menggambarkan fenomena tersebut adalah *Az-Zalzalah* (الزَّلْزَلَةُ) yang berarti guncangan hebat atau gempa besar (Naqiya et al., 2022). Istilah ini terdapat dalam Q.S. Az-Zalzalah (99): 1-2, yaitu:

إِذَا زُلْزِلَتِ الْأَرْضُ زِلْزَالَهَا ۖ وَأَخْرَجَتِ الْأَرْضُ أَثْقَالَهَا ۖ

Artinya: “Apabila bumi diguncangkan dengan guncangan yang dahsyat, dan bumi mengeluarkan beban-beban beratnya.” (Q.S Al-Zalzalah: 1-2).

Dalam kajian tafsir, Imam Al-Thabari menjelaskan bahwa lafaz *إِذَا زُلْزِلَتِ الْأَرْضُ* menggambarkan guncangan bumi yang sangat besar, sedangkan lafaz *وَأَخْرَجَتِ الْأَرْضُ أَثْقَالَهَا* menunjukkan keluarnya sesuatu yang tersimpan di dalam bumi. Dalam perspektif tafsir ilmi, lafaz tersebut dapat dipahami sebagai gambaran mengenai berbagai proses geologi yang berasal dari bagian dalam bumi, seperti keluarnya material batuan, magma, maupun massa bumi lainnya akibat aktivitas geologi yang terjadi di bawah permukaan (Arifin et al, 2024).

Dalam konteks ilmu seismologi, guncangan yang digambarkan melalui lafaz *إِذَا زُلْزِلَتِ الْأَرْضُ زِلْزَالَهَا* memiliki keterkaitan dengan proses pelepasan energi yang terjadi akibat akumulasi tegangan pada batuan. Ketika tegangan yang tersimpan

melebihi kekuatan batuan, batuan akan mengalami patahan atau pergeseran secara tiba-tiba sehingga menghasilkan gelombang seismik yang menyebabkan getaran di permukaan bumi. Sementara itu, lafaz وَأُخْرِجَتِ الْأَرْضُ أَنْعَامَهَا dapat dikaitkan dengan berbagai fenomena geologi yang bersumber dari bagian dalam bumi, seperti aktivitas vulkanik, deformasi kerak bumi, perpindahan massa batuan, maupun proses tektonik yang berasosiasi dengan terjadinya gempa bumi.

Gambaran mengenai guncangan bumi dalam Q.S. Az-Zalzalah (99): 1–2 memiliki keterkaitan dengan sumber penyebab gempa bumi dalam kajian seismologi. Sebagian besar gempa bumi terjadi akibat aktivitas tektonik yang dipicu oleh pergerakan lempeng bumi sehingga menyebabkan akumulasi dan pelepasan tegangan pada batuan. Selain itu, gempa bumi juga dapat dipicu oleh aktivitas vulkanik akibat pergerakan magma di bawah permukaan bumi maupun oleh proses runtuh pada batuan atau rongga bawah tanah. Pelepasan energi dari berbagai sumber tersebut menghasilkan gelombang seismik yang merambat ke segala arah dan menimbulkan guncangan yang dapat dirasakan di permukaan bumi. Oleh karena itu, kajian mengenai gempa bumi tidak hanya mencakup proses pelepasan energi, tetapi juga meliputi identifikasi sumber penyebab gempa dan karakteristik aktivitas geologi yang memicunya.

Jenis gempa bumi adalah gempa vulkanik, gempa tektonik, dan gempa runtuh. Kategori ini berdasarkan 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 *stress* 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 hanya dirasakan di lokasi tersebut (Hanafi, Ira Kusuma, & Ngatijo, 2024).

Gempa bumi juga dapat dibagi berdasarkan kedalaman sumbernya. Yang pertama yaitu gempa bumi dalam, gempa bumi ini 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. Selanjutnya gempa bumi menengah, yang 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. Terakhir yaitu gempa bumi dangkal, yang terjadi apabila hiposenternya berada pada kedalaman hingga sekitar 70 km dari permukaan laut. Gempa bumi dangkal umumnya berasosiasi dengan aktivitas sesar di kerak bumi dan sistem tektonik busur belakang, sehingga memiliki potensi kerusakan yang lebih besar dibandingkan gempa dengan kedalaman yang lebih dalam (Hanafi, Ira Kusuma, & Ngatijo, 2024).

Panjang, lebar, kedalaman hiposentrum gempa, jenis batuan yang terkena gempa, besarnya pergeseran (*displacement*) batuan, dan lama getaran gempa adalah beberapa faktor kecil yang mempengaruhi besar-kecilnya gempa (Murtianto, 2016). Kekuatan gempa bumi, juga dikenal sebagai magnitudo, adalah ukuran yang menunjukkan jumlah energi yang terlepas dari saat gempa bumi terjadi dan hasil pengamatan seismograf. Richter memperkenalkan konsep magnitudo atau kekuatan

gempa bumi di sumbernya dengan skala Richter (Sunarjo, Gunawan, & Pribadi, 2012).

Pada skala logaritmik, magnitudo menunjukkan ukuran dan energi yang dilepaskan dari gempa bumi. Pada skala ini, biasanya banyak terjadi gempa bumi setiap hari, dengan magnitudo $\leq 2.50 SR$ yang umumnya tidak dirasakan oleh manusia. Magnitudo dan intensitas mengukur karakteristik yang berbeda dari gempa bumi. Magnitudo mengukur energi yang dilepaskan pada sumber gempa bumi. Magnitudo ditentukan oleh pengukuran seismograf. Intensitas mengukur kekuatan guncangan yang dihasilkan oleh gempabumi pada lokasi tertentu. Intensitas ditentukan dari efek pada orang, struktur bangunan, dan lingkungan alam (USGS, 2016).

2.2 Gelombang Seismik

Gelombang seismik merupakan gelombang yang merambat melalui medium yang elastis. Terdapat dua jenis gelombang seismik, yakni gelombang badan (*body waves*), dan gelombang permukaan (*surface waves*). *Body waves* merupakan gelombang yang menjalar di dalam bumi, sedangkan *surface waves* menjalar di permukaan bumi (Stein & Wyese, 2003).

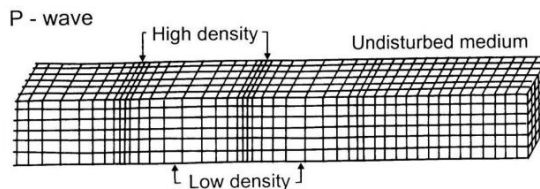
2.2.1 Gelombang Badan

Gelombang badan, atau *body waves* merambat lebih cepat pada batuan elastis, sehingga kecepatannya meningkat ketika merambat semakin dalam ke zona yang lebih elastis dari interior bumi dan berkurang ketika melakukan pendakian ke permukaan bumi:

1. Gelombang *P*

Gelombang *P* merupakan gelombang *body* yang merambat bolak-balik

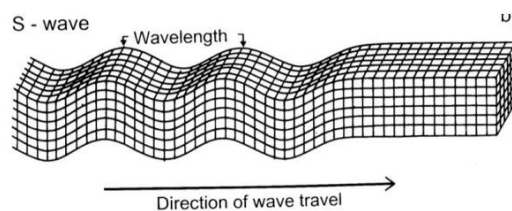
terhadap arah rambatnya (arah rambat searah dengan gerak partikel). Gelombang P merambat lebih cepat dibandingkan dengan gelombang S. Gelombang P merupakan gelombang yang pertama kali dicatat oleh seismograf. Gelombang P merambat di segala jenis medium (padat, cair, dan gas) dan memiliki amplitudo yang kecil.



Gambar 2. 1 Ilustrasi Penjelaran Gelombang P (repository ITERA)

2. Gelombang S

Gelombang S atau gelombang transversal merupakan gelombang yang memiliki arah partikel tegak lurus terhadap arah rambatnya. Waktu tiba dari gelombang S adalah setelah gelombang P merambat. Gelombang S hanya dapat merambat pada medium padat saja dan tidak dapat merambat pada fluida sehingga tidak dapat merambat pada inti bumi di bagian luar. Kecepatan dari gelombang ini adalah 60% dari gelombang P yang artinya gelombang ini lebih lambat dibandingkan gelombang P namun memiliki efek kerusakan yang lebih besar dibandingkan gelombang P. Amplitudo dari gelombang ini pun lebih besar dibandingkan dari gelombang P.



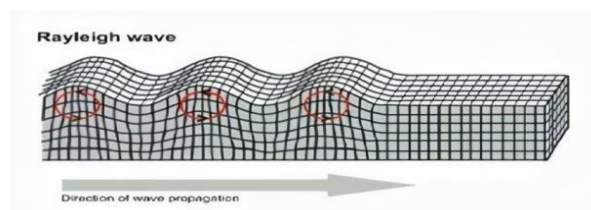
Gambar 2. 2 Ilustrasi Penjelaran Gelombang S (repository ITERA).

2.2.2 Gelombang Permukaan

Sumber Gelombang permukaan umumnya tercatat waktu kedatangannya yang terkuat pada jarak teleseismik dan mereka menyediakan beberapa konstrain terbaik untuk struktur dangkal bumi dan sifat sumber frekuensi rendah. Gelombang permukaan berbeda dari gelombang badan dalam banyak hal. Gelombang permukaan mejalar lebih lambat, penurunan amplitudo dengan kisaran umumnya jauh lebih sedikit, dan kecepatan mereka sangat bergantung pada frekuensi. Gelombang permukaan dari gempa bumi besar diamati selama berjam-jam, selama mereka mengelilingi bumi beberapa kali (Shearer, 2010).

1. Gelombang *Rayleigh*

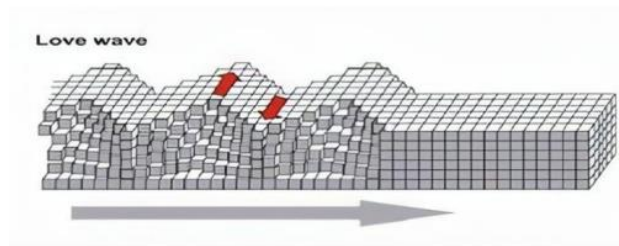
Gelombang *Rayleigh* merupakan gelombang yang memiliki lintasan gerak partikelnya menyerupai elips. Gelombang ini dihasilkan oleh gelombang P dan gelombang S yang saling berinteraksi pada permukaan yang bebas dan memiliki arah rambat yang sejajar pada permukaan tersebut. Analogi gelombang ini seperti gelombang air laut karena memiliki gerakan *eliptik retrograde/ground roll* (tanah memutar ke belakang), namun secara umum gelombangnya merambat ke arah depan. Gelombang *Rayleigh* merupakan jenis gelombang permukaan yang memiliki kecepatan 2.0-4.2 km/s di dalam bumi. Arah rambat bergerak tegak lurus terhadap arah rambat dan searah dengan bidang datar.



Gambar 2. 3 Ilustrasi Penjalaran Gelombang Rayleigh (repository ITERA).

2. Gelombang *Love*

Gelombang *Love* merupakan gelombang yang memiliki arah rambat partikelnya bergerak secara melintang terhadap arah penjarannya. Gelombang *love* terbentuk karena interferensi konstruktif dari pantulan gelombang seismik pada permukaan bebas. Gelombang ini merupakan gelombang yang pertama kali dirasakan oleh manusia dan paling merusak terutama di daerah yang dekat dengan epicentrum. Gelombang ini merupakan gelombang transversal dengan kecepatan gelombang 2.0-4.4 km/s di permukaan bumi.



Gambar 2. 4 Ilustrasi Penjalaran Gelombang Love (repository ITERA).

2.3 Tektonik Wilayah Nusa Tenggara Barat (NTB)

Salah satu wilayah Indonesia yang merupakan daerah seismik aktif yaitu di wilayah Nusa Tenggara Barat. Wilayah Nusa Tenggara Barat (NTB) termasuk ke dalam gugusan kepulauan di sebelah timur pulau Jawa yang membentang dari pulau Bali hingga pulau Timor. Pulau yang berpenduduk kurang lebih 3,4 juta jiwa tersebut memiliki risiko gempa yang cukup tinggi akibat subduksi lempeng Indo-Australia di selatan pulau Lombok dan busur belakang Flores di utara (Cindy, Sugeng, & Erniwati, 2023). Nusa Tenggara Barat (NTB) merupakan salah satu wilayah Indonesia memiliki Kawasan tektonik yang kompleks. Kondisi tersebut merupakan hasil dari interaksi antara Lempeng Indo-Australia dan Lempeng Eurasia yang menimbulkan pembentukan busur pulau Sunda dan Banda (Shulgin

& et.al, 2009). Posisi ini menjadikan Nusa Tenggara Barat (NTB) sebagai salah satu wilayah dengan tingkat aktivitas kegempaan yang tinggi, tidak hanya akibat zona subduksi di selatan, tetapi juga karena keberadaan struktur tektonik aktif di bagian utara, terutama Flores *Back-arc Thrust* (Bustari, 2024).

Pola seismisitas di Nusa Tenggara Barat (NTB) menunjukkan bahwa sebagian besar gempa dangkal terkonsentrasi di bagian utara Lombok dan Sumbawa, yang berasosiasi dengan aktivitas Flores *Back-Arc Thrust*. Hal ini mengindikasikan bahwa mekanisme kegempaan di Nusa Tenggara Barat (NTB) tidak hanya dikendalikan oleh subduksi di selatan, tetapi juga oleh deformasi kerak dangkal di busur belakang (*back-arc region*). Analisis energi seismik menunjukkan adanya pelepasan energi yang signifikan di segmen utara Lombok, yang menguatkan peran Flores *Back-Arc Thrust* sebagai sumber gempa utama di wilayah ini (Bustari, 2024).

Kajian kerawanan seismik berbasis *Peak Ground Acceleration* (PGA) di Nusa Tenggara Barat (NTB) juga menunjukkan bahwa wilayah Lombok dan Sumbawa, terutama bagian utara, memiliki nilai percepatan tanah yang relatif tinggi dibandingkan wilayah lain di Nusa Tenggara Barat (NTB). Hal ini berkorelasi dengan keberadaan struktur sesar aktif, khususnya Flores *Back-Arc Thrust*, yang berpotensi menghasilkan guncangan kuat di permukaan saat terjadi gempa dangkal (Cindy, Sugeng, & Erniwati, 2023).

Berdasarkan kondisi geologi dan tektonik tersebut, Nusa Tenggara Barat (NTB) merupakan lokasi yang sangat relevan untuk kajian parameter kegempaan seperti *Magnitude of Completeness* (M_c), *a-value*, dan *b-value*. Kompleksitas struktur tektonik serta dominasi gempa dangkal menjadikan wilayah ini sebagai

laboratorium alam yang ideal untuk memahami dinamika seismotektonik kerak dangkal serta implikasinya terhadap potensi bahaya gempa.

2.4 Parameter Statistik Kegempaan

Analisis kegempaan modern tidak hanya berfokus pada deskripsi kejadian gempa secara kualitatif, tetapi juga melibatkan pendekatan statistik untuk memahami pola, distribusi, dan karakteristik seismisitas suatu wilayah. Parameter statistik kegempaan digunakan untuk menginterpretasikan tingkat aktivitas seismik, kondisi tegangan pada kerak bumi, serta kelengkapan data katalog gempa. Dalam penelitian ini, tiga parameter utama yang dianalisis adalah *Magnitude of Completeness* (Mc), *a-value*, dan *b-value*, yang diturunkan dari hubungan frekuensi-magnitudo gempa bumi. Ketiga parameter ini saling berkaitan dan memberikan informasi penting mengenai dinamika seismotektonik, untuk di wilayah Nusa Tenggara Barat (NTB).

2.4.1 *Magnitude of Completeness* (Mc)

Magnitude of Completeness (Mc) secara teoritis didefinisikan sebagai magnitudo terendah di mana seratus persen kejadian gempa suatu daerah pada rentang periode pengamatan yang telah ditentukan tercatat seluruhnya oleh jaringan seismograf stasiun gempa daerah tersebut. Perlu diperhatikan bahwa nilai *Magnitude of Completeness* (Mc) menggambarkan kualitas dari katalog gempa yang digunakan. Jika nilai *Magnitude of Completeness* (Mc) terlalu tinggi artinya penggunaan sampel data kurang atau terlalu sedikit, tetapi jika nilai *Magnitude of Completeness* (Mc) terlalu rendah parameter kegempaan yang diinput salah (Ina, Suhayat, & Marzuki, 2023).

Seseorang mungkin menganggap bahwa kurang 100% kemampuan pendeteksian sudah cukup untuk mendefinisikan *Magnitude of Completeness*

(Mc). Aspek yang paling penting untuk dipertimbangkan adalah bahwa penyimpangan dari definisi teoritis *Magnitude of Completeness* (Mc) seharusnya tidak mempengaruhi kelayakan atau keandalan analisis seismisitas berikutnya (Mignan & Woessner, 2012).

Wilayah Nusa Tenggara Barat (NTB) memiliki variasi kondisi geologi dan distribusi stasiun seismik yang tidak merata, sehingga nilai *Magnitude of Completeness* (Mc) dapat berbeda antar lokasi. Pada daerah yang dekat dengan stasiun seismik, *Magnitude of Completeness* (Mc) cenderung lebih rendah (lebih banyak gempa kecil yang terdeteksi), sedangkan di daerah yang jauh dari stasiun, *Magnitude of Completeness* (Mc) cenderung lebih tinggi. Oleh karena itu, pemetaan spasial *Magnitude of Completeness* (Mc) penting untuk menilai kualitas dan keterwakilan data gempa sebelum dilakukan analisis lebih

2.4.2 A-value

Parameter seismisitas atau *a-value* merupakan parameter seismik yang nilainya bergantung pada jumlah kejadian gempa bumi, volume dan *time window* yang berada dalam batasan penelitian (Rohadi et.al, 2007). Nilai seismisitas dapat menunjukkan karakteristik data tingkat seismik suatu daerah atau dengan kata lain menggambarkan aktivitas seismik pada suatu daerah dalam kurung waktu tertentu. Wilayah dengan *a-value* tinggi menunjukkan bahwa wilayah tersebut memiliki aktivitas seismik yang tinggi atau sering terjadi gempa bumi, sedangkan wilayah dengan *a-value* rendah menunjukkan bahwa wilayah tersebut memiliki aktivitas seismik yang rendah. Rendahnya aktivitas seismik pada suatu wilayah yang berada pada zona aktif gempa dikarenakan terjadi

akumulasi energi pada wilayah tersebut. Persamaan dibawah ini dapat digunakan untuk menghitung *a-value* (Daiana 2021).

$$a = \log N + \log (b \ln 10) + M_0 b \quad (2.1)$$

Keterangan:

N = Jumlah kejadian gempabumi dengan magnitudo $\geq M_c$

M_0 = Magnitudo minimum analisis

2.4.3 B-value

Parameter tektonik atau *b-value* menunjukkan akumulasi *stress* lokal sehingga dapat menjadi parameter kegempaan yang didapat dari frekuensi relatif dari jumlah kejadian gempa besar dan gempa kecil wilayah tersebut. *B-value* digunakan untuk mengetahui perubahan fenomena fisis yang diamati sebelum terjadinya gempa bumi. Fenomena fisis yang dapat diamati berupa akumulasi tegangan yang kemudian akan dilepaskan saat terjadi gempa bumi. *B-value* memiliki korelasi terhadap distribusi tegangan dan regangan sehingga dapat dijadikan indikator tegangan pada suatu wilayah (Ina, Suhayat, & Marzuki, 2023).

B-value yang rendah berkorelasi dengan tingkat *shear stress* yang tinggi, sedangkan saat *b-value* yang tinggi mencerminkan bahwa tingkat *shear stress* di wilayah tersebut rendah, hal ini karena wilayah dengan *b-value* tinggi memiliki tingkat kerapuhan batuan yang rendah sehingga *stress* yang disimpan akan lebih mudah dilepaskan dalam bentuk gelombang seismik ke permukaan karena struktur batuan nya mudah bergeser. Penelitian mengenai distribusi tegangan (*b-value*) terhadap kedalamannya dapat menunjukkan anomali struktural dan tingkat akumulasi energi di kerak dan mantel bagian atas pada lapisan bumi (Ina,

Suhayat, & Marzuki, 2023). Persamaan berikut dapat digunakan untuk menghitung *b-value*:

$$b = \frac{\log(e)}{M - \left(M_c - \frac{\Delta M}{2}\right)} \quad (2.2)$$

Keterangan:

$\log(e) = 0,4343$

M = Magnitudo rata-rata kejadian gempabumi

M_c = *Magnitude of Completeness*

ΔM = Interval Magnitudo

2.5 Hukum Gutenberg-Richter

Hukum Gutenberg-Richter merupakan hubungan empiris dasar dalam seismologi yang menjelaskan distribusi frekuensi kejadian gempa bumi berdasarkan magnitudonya. Hubungan ini pertama kali diperkenalkan oleh Gutenberg dan Richter tahun 1944, berdasarkan analisis katalog gempa global dan hingga kini menjadi landasan utama dalam analisis statistik kegempaan serta penilaian bahaya seismik (Gutenberg & Richter, 1944).

Secara umum, hukum Gutenberg-Richter menyatakan bahwa jumlah gempa berkurang secara eksponensial seiring dengan meningkatnya magnitudo. Dengan kata lain, gempa bermagnitudo kecil jauh lebih sering dibandingkan gempa bermagnitudo besar. Karakteristik ini mencerminkan pola alami pelepasan energi di kerak bumi, di mana sebagian besar deformasi dilepaskan melalui gempa kecil, sementara gempa besar relative jarang terjadi (Haryono & Santoso, 2012). Dalam bentuk logaritmik. Hubungan Gutenberg-Richter dinyatakan sebagai:

$$\log N(M) = a - bM \quad (2.3)$$

Dengan $N(M)$ adalah banyaknya gempa bumi dengan magnitudo $\geq m$, a , dan b adalah parameter yang menunjukkan karakteristik aktivitas seismik dari lokasi tersebut.

Dalam penerapannya, hukum Gutenberg–Richter hanya valid apabila katalog gempa telah lengkap di atas nilai *Magnitude of Completeness* (M_c). Jika katalog tidak lengkap pada magnitudo kecil, estimasi *a-value* dan *b-value* dapat menjadi bias, sehingga menghasilkan interpretasi seismotektonik yang keliru. Oleh karena itu, berbagai metode telah dikembangkan untuk menentukan *Magnitude of Completeness* (M_c) dan mengoreksi ketidaklengkapan data, salah satunya metode *Entire Magnitude Range* (EMR) yang digunakan dalam penelitian ini.

Dalam konteks wilayah Nusa Tenggara Barat (NTB), penerapan hukum Gutenberg–Richter sangat relevan karena kawasan ini dikontrol oleh kombinasi subduksi di selatan dan deformasi kerak dangkal di utara (*Flores Back-Arc Thrust*). Analisis hubungan frekuensi–magnitudo memungkinkan kuantifikasi tingkat aktivitas seismik (melalui *a-value*) serta interpretasi kondisi tegangan regional (melalui *b-value*), yang penting untuk memahami dinamika seismotektonik gempa dangkal di Nusa Tenggara Barat.

2.6 Metode *Entire Magnitude Range* (EMR)

Metode *Entire Magnitude Range* (EMR) adalah metode yang digunakan untuk memperkirakan *Magnitude of Completeness* (M_c) yang menggunakan seluruh rentang magnitudo dalam katalog gempa. Berbeda dengan metode konvensional yang hanya menganalisis data gempa di atas *Magnitude of Completeness* (M_c), *Entire Magnitude Range* (EMR) memungkinkan pemanfaatan

informasi dari gempa-gempa bermagnitudo kecil yang umumnya tidak tercatat secara lengkap dalam katalog seismik (Simamora & Namigo, 2016).

Dalam penerapannya, metode *Entire Magnitude Range* (EMR) menggabungkan hukum Gutenberg-Richter dengan fungsi probabilitas pendeteksian gempa ke dalam satu kerangka pemodelan statistik terpadu. Pendekatan ini memungkinkan estimasi nilai *Magnitude of Completeness* (M_c), *a-value*, *b-value* ditentukan secara bersamaan dalam satu proses analisis, tanpa harus menetapkan nilai *Magnitude of Completeness* (M_c) terlebih dahulu seperti pada *Maximum Likelihood* atau *Maximum Curvature*. Dengan demikian, potensi bias akibat ketidaklengkapan katalog gempa diminimalkan.

Keunggulan utama metode *Entire Magnitude Range* (EMR) terletak pada kestabilan dan keandalannya dalam mengestimasi parameter kegempaan, terutama pada wilayah dengan distribusi stasiun seismik yang tidak merata atau kualitas data yang bervariasi. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa metode *Entire Magnitude Range* (EMR) menghasilkan estimasi *b-value* yang lebih konsisten dan representatif terhadap kondisi tegangan di kerak bumi dibandingkan metode konvensional, sehingga lebih sesuai untuk analisis seismotektonik.

2.7 Hubungan Parameter Kegempaan dengan Seismotektonik Wilayah Nusa Tenggara Barat

Parameter statistik kegempaan berupa *Magnitude of Completeness* (M_c), *a-value*, dan *b-value* memiliki keterkaitan erat dengan kondisi seismotektonik suatu wilayah. Nilai *Magnitude of Completeness* (M_c) mencerminkan kemampuan system pencatat gempa dalam mendeteksi kejadian gempa, yang dipengaruhi oleh kerapatan jaringan stasiun seismic, tingkat kebisingan, serta karakteristik tektonik

wilayah. Di daerah dengan aktivitas tektonik yang tinggi seperti Nusa Tenggara Barat (NTB), nilai *Magnitude of Completeness* (M_c) dapat bervariasi secara spasial dan temporal akibat perbedaan intensitas gempa dan kompleksitas struktur geologi yang berkembang di wilayah tersebut (Woessner & Wiemer, 2005).

Nilai *a-value* menggambarkan tingkat aktivitas seismik suatu wilayah dan berkaitan dengan jumlah kejadian gempa dalam periode tertentu. Wilayah dengan nilai *a-value* tinggi menunjukkan frekuensi kejadian gempa yang lebih besar, yang umumnya berkaitan dengan keberadaan sumber gempa aktif seperti sesar dangkal dan sistem patahan *back arc thrust*. Di Nusa Tenggara Barat (NTB), tingginya aktivitas seismik dipengaruhi oleh keberadaan Flores *Back Arc Thrust* serta sesar-sesar lokal di Pulau Lombok dan Sumbawa, yang berkontribusi terhadap tingginya nilai *a-value* pada beberapa zona tertentu (Irsyam, et al., 2017).

Sementara itu, *b-value* mencerminkan distribusi ukuran gempa dan berkaitan erat dengan kondisi tegangan (*stress*) di dalam kerak bumi. Nilai *b-value* rendah umumnya diasosiasikan dengan kondisi tegangan tinggi dan potensi terjadinya gempa bermagnitudo besar, sedangkan nilai *b-value* tinggi menunjukkan dominasi gempa kecil dan kondisi tegangan yang relatif lebih rendah. Variasi spasial *b-value* di Nusa Tenggara Barat (NTB) dapat mengindikasikan perbedaan tingkat akumulasi tegangan akibat aktivitas sesar dangkal dan deformasi tektonik yang aktif di wilayah tersebut (Schorlemmer, Wiemer, & Wyss, 2005).

Hubungan antara *a-value* dan *b-value* juga memberikan informasi penting mengenai dinamika seismotektonik. Kombinasi nilai *a-value* tinggi dan *b-value* rendah menunjukkan wilayah dengan aktivitas gempa yang intens serta potensi akumulasi tegangan yang signifikan. Kondisi ini relevan dengan karakter

seismotektonik Nusa Tenggara Barat (NTB) yang sering mengalami gempa dangkal merusak, seperti yang terjadi pada rangkaian gempa Lombok tahun 2018, yang berkaitan dengan aktivitas sistem Flores *Back-Arc Thrust* dan sesar-sesar terkait. (Nugraha, Widiyantoro, & Shiddiqi, 2020).

Dengan mengintegrasikan analisis *Magnitude of Completeness* (M_c), *a-value*, dan *b-value* menggunakan metode *Entire Magnitude Range* (EMR), hubungan antara parameter statistik kegempaan dan kondisi seismotektonik di Nusa Tenggara Barat (NTB) dapat diinterpretasikan secara lebih komprehensif. Pendekatan ini memungkinkan identifikasi zona-zona dengan tingkat aktivitas seismik tinggi dan potensi bahaya gempa yang lebih besar, sehingga hasil penelitian dapat memberikan kontribusi penting dalam pemahaman dinamika tektonik serta upaya mitigasi bencana gempa bumi di wilayah Nusa Tenggara Barat (NTB).

2.8 Penelitian Terdahulu

Berikut ini merupakan penelitian-penelitian yang telah dilakukan sebelumnya:

Tabel 2. 1 Hasil Penelitian Nusa Tenggara Barat (NTB)

No.	Peneliti	Hasil
1.	Ernandi, dan Madlazim (2020)	Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai <i>b-value</i> di wilayah Nusa Tenggara Barat (NTB) memiliki variasi spasial yang dipengaruhi oleh kondisi tektonik setempat. Daerah dengan nilai <i>b-value</i> rendah diinterpretasikan sebagai wilayah yang mengalami akumulasi tegangan lebih tinggi sehingga berpotensi menghasilkan gempa dengan magnitudo lebih besar. Penelitian ini menunjukkan bahwa parameter <i>b-value</i>

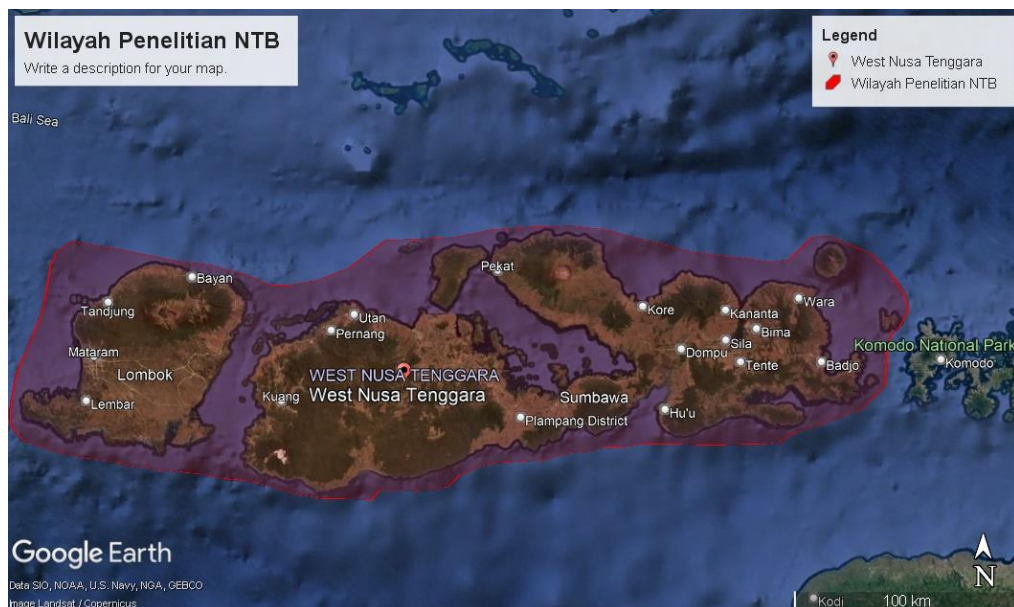
		dapat digunakan untuk mengidentifikasi tingkat kerawanan seismik di wilayah Nusa Tenggara Barat (NTB).
2.	Munir, et.al (2024)	Penelitian menunjukkan bahwa wilayah Nusa Tenggara memiliki distribusi nilai <i>b-value</i> yang beragam akibat pengaruh zona subduksi dan Flores <i>Back-Arc Thrust</i> . Nilai <i>b-value</i> yang rendah ditemukan pada beberapa zona aktif yang mengindikasikan tingginya tegangan batuan, sedangkan nilai <i>b-value</i> tinggi menunjukkan dominasi gempa kecil. Hasil penelitian digunakan untuk mengidentifikasi karakteristik seismotektonik regional.
3.	Bunaga, et.al (2025)	Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode <i>Entire Magnitude Range</i> (EMR) mampu menghasilkan estimasi <i>Magnitude of Completeness</i> (Mc), <i>a-value</i> , dan <i>b-value</i> yang lebih stabil dibandingkan metode konvensional. Variasi spasial dan temporal parameter kegempaan yang diperoleh menunjukkan hubungan erat dengan aktivitas tektonik regional serta perubahan tingkat aktivitas seismik dari waktu ke waktu.
4.	Faiza & Ariyanto (2024)	Hasil penelitian menunjukkan adanya variasi spasial dan temporal nilai <i>a-value</i> dan <i>b-value</i> pada wilayah Bali dan Nusa Tenggara. Nilai <i>a-value</i> menggambarkan tingkat aktivitas kegempaan, sedangkan nilai <i>b-value</i> digunakan untuk mengidentifikasi kondisi tegangan batuan. Daerah dengan <i>b-value</i> rendah memiliki potensi akumulasi tegangan yang lebih tinggi dibandingkan daerah dengan <i>b-value</i> tinggi.

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada periode Februari 2026 sampai Mei 2026 yang meliputi tahapan pengumpulan data, pengolahan data, analisis parameter kegempaan, dan interpretasi hasil. Wilayah penelitian difokuskan pada Provinsi Nusa Tenggara Barat (NTB) yang secara geografis terletak pada koordinat $115^{\circ}46' - 119^{\circ}5'$ Bujur Timur dan $8^{\circ}10' - 9^{\circ}5'$ Lintang Selatan (Wikipedia, 2026). Wilayah ini dipilih karena memiliki tingkat aktivitas gempa dangkal yang tinggi dan dipengaruhi oleh struktur tektonik aktif yaitu Flores *Back Arc Thrust* serta sesar-sesar lokal yang berkembang di wilayah Nusa Tenggara Barat (NTB).



Gambar 3. 1 Wilayah Penelitian Nusa Tenggara Barat (NTB)

3.2 Data Penelitian

Penelitian Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data sekunder yang berupa katalog gempa bumi yang diperoleh dari *United States Geological Survey* (USGS) melalui laman resmi <https://earthquake.usgs.gov/earth>

[quakes/search/](https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/search/). Data gempa bumi diambil pada rentang 2010-2025. Data katalog termasuk waktu kejadian, koordinat episenter (lintang dan bujur), magnitudo, serta kedalaman hiposenter.

3.3 Peralatan Penelitian

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu:

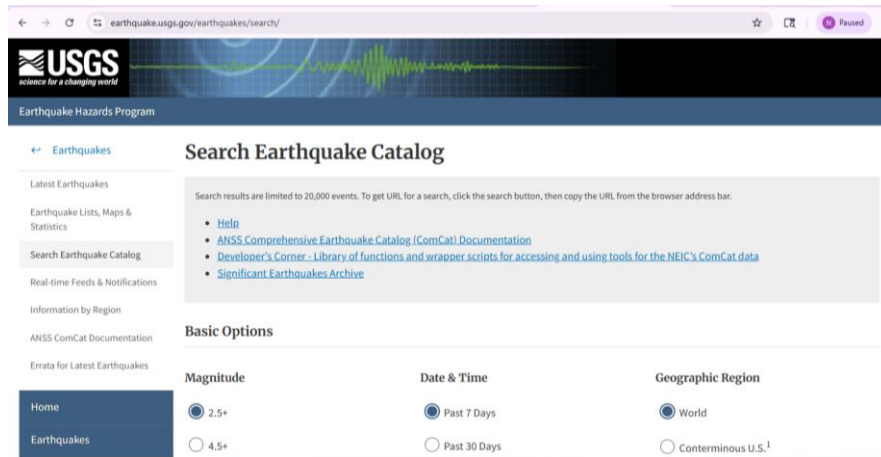
1. Laptop untuk pengolahan data
2. ZMAP versi 7.0
3. MATLAB R2021
4. *Microsoft Excel*

3.4 Prosedur Pelaksanaan

3.4.1 Pengumpulan Data

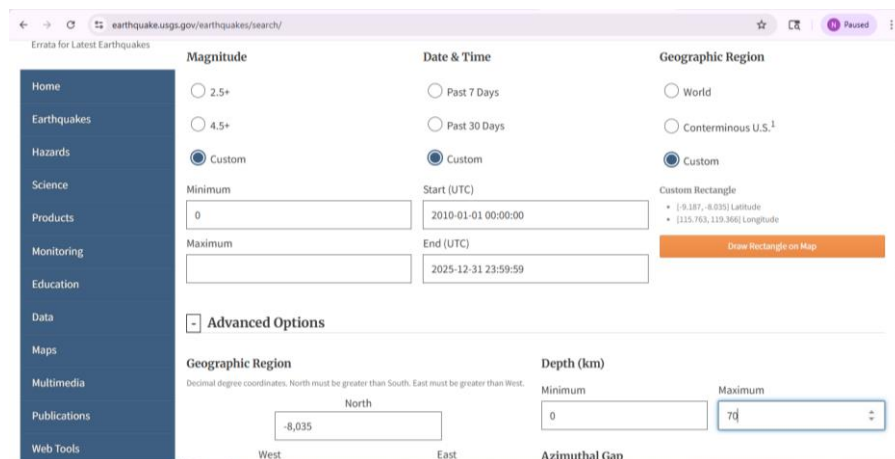
Prosedur pengambilan data dalam penelitian ini dilakukan melalui tahapan sebagai berikut:

1. Menentukan batas wilayah penelitian berdasarkan koordinat geografis Provinsi Nusa Tenggara Barat (NTB) yaitu $115^{\circ}46'$ – $119^{\circ}5'$ Bujur Timur dan $8^{\circ}10'$ – $9^{\circ}5'$ Lintang Selatan.
2. Menentukan rentang waktu pengambilan data gempabumi sesuai periode penelitian yaitu mulai dari 2010-2025.
3. Mengunduh data katalog gempa bumi dari *United States Geological Survey* (USGS) melalui laman resmi <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/search/>.



Gambar 3. 2 Halaman website USGS

4. Memilih parameter gempa bumi yang digunakan, meliputi koordinat episenter (lintang dan bujur), magnitudo, serta kedalaman hiposenter.



Gambar 3. 3 Parameter yang diinput dalam USGS

5. Menyimpan data gempa bumi dalam format yang dapat digunakan untuk proses pengolahan dan analisis.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	Longitude	Latitude	Year	Month	Day	Magnitude	Depth	Hour	Minute	Second
2	118.2472	-8.1453	2025	11	3	4.5	14.491	16	58	9.0
3	116.7258	-8.2437	2025	8	10	4.5	10.0	0	39	2.0
4	117.0017	-8.0366	2025	8	9	4.2	10.0	23	59	19.0
5	117.9632	-8.229	2025	7	26	4.4	10.0	23	42	15.0
6	116.017	-8.3553	2025	7	15	4.5	10.0	8	35	53.0
7	118.0548	-8.2579	2025	6	30	4.2	12.067	13	37	35.0
8	117.8192	-8.3706	2025	6	17	4.5	21.11	14	21	11.0
9	117.0613	-9.0215	2025	5	17	4.2	10.0	7	31	11.0
10	117.7654	-8.1866	2025	4	16	4.5	10.0	14	7	9.0
11	117.7873	-8.1968	2025	4	15	4.4	10.0	8	33	52.0
12	117.7506	-8.2393	2025	4	1	4.0	11.767	21	25	57.0
13	117.7552	-8.2517	2025	4	1	4.9	18.414	2	16	17.0
14	117.9935	-8.1011	2025	3	28	4.7	10.0	11	58	59.0
15	117.918	-8.0422	2025	3	20	4.9	10.0	22	9	3.0
16	118.6246	-8.8583	2025	1	14	4.7	10.548	16	16	58.0
17	119.3325	-8.2744	2025	1	7	5.0	10.0	17	52	21.0
18	117.2259	-8.0073	2024	9	11	4.6	12.041	18	1	53.0
19	119.2947	-9.114	2024	8	23	4.9	10.0	3	55	57.0
20	117.829	-8.0727	2024	7	11	4.3	10.0	18	25	18.0
21	116.8448	-9.0052	2024	6	6	5.0	10.967	13	15	37.0

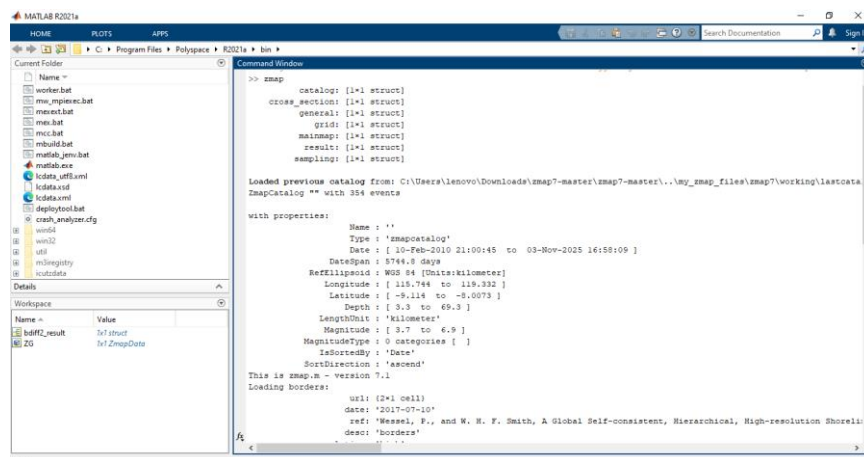
Gambar 3. 4 Data yang diperoleh dari USGS dalam bentuk CSV

- Menginput data yang diperoleh ke dalam file ZMAP. Data yang diperoleh berjumlah 354 kejadian gempa dangkal.

3.4.2 Metode Pengolahan dan Analisis Data

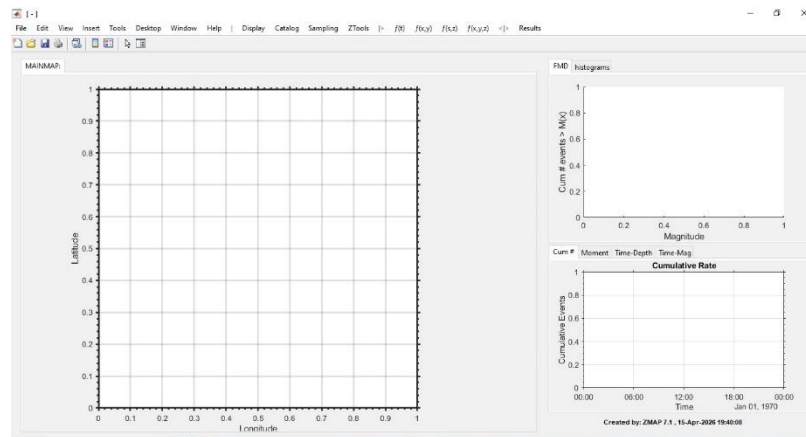
Prosedur pengolahan dan analisis data dilakukan melalui tahapan berikut:

- Buka ZMAP melalui *Command Window* di MATLAB



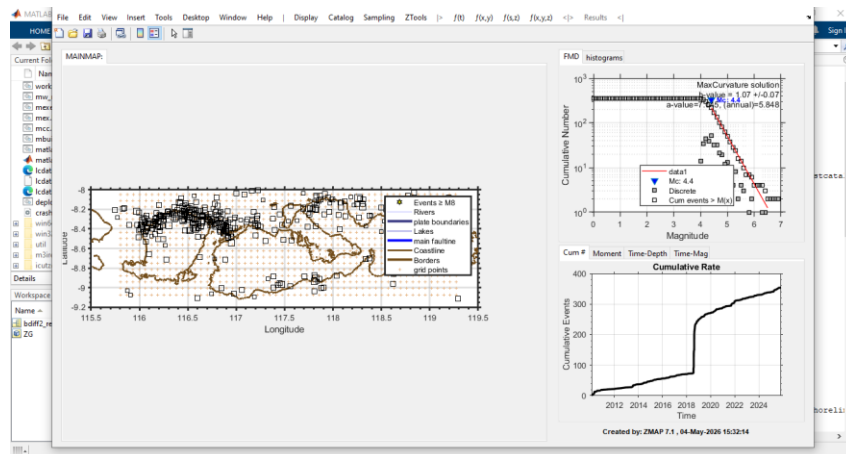
Gambar 3. 5 Tampilan pembukaan ZMAP melalui *Command Windows* pada MATLAB R2021a.

2. Muncul tampilan GUI ZMAP



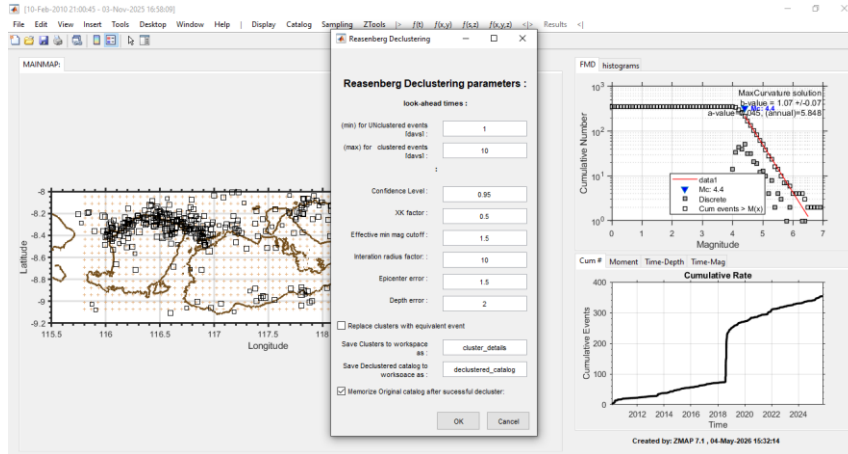
Gambar 3. 6 Tampilan GUI ZMAP pada MATLAB R2021a.

3. Klik menu *catalog* pada menu *bar*, kemudian pilih *Get/load Catalog*, lalu pilih opsi *from file*, selanjutnya cara dan pilih *file* data gempa dangkal, kemudian klik *Open* dan tunggu hingga data di proses sampai titik-titik gempa muncul dipeta



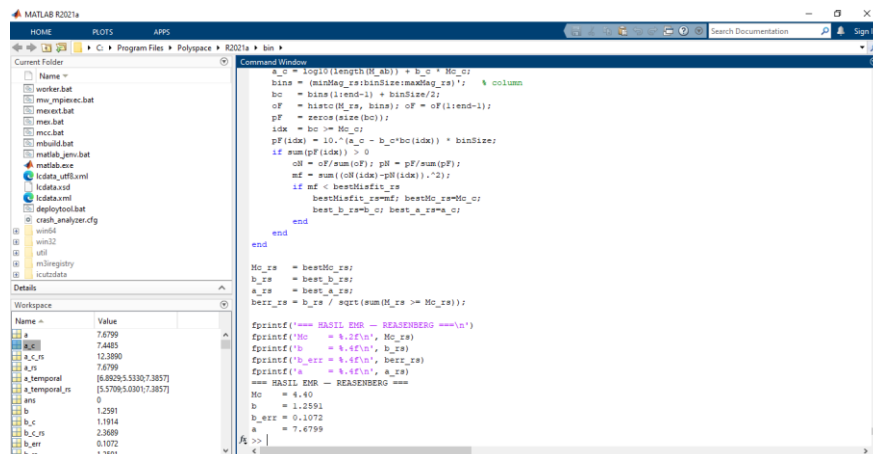
Gambar 3. 7 Tampilan GUI ZMAP setelah proses pemuatan (*load*) data gempa dangkal dari *file* katalog

4. Melakukan *Declustering* menggunakan metode Reasenberg pada ZMAP, dengan klik menu *Catalog*, pilih *Decluster* (Reasenberg), atau parameter di dialog yang muncul, klik *OK*, pilih *Declustered* di dialog hasil.



Gambar 3. 8 Tampilan proses *declustering* metode Reasenberg pada ZMAP

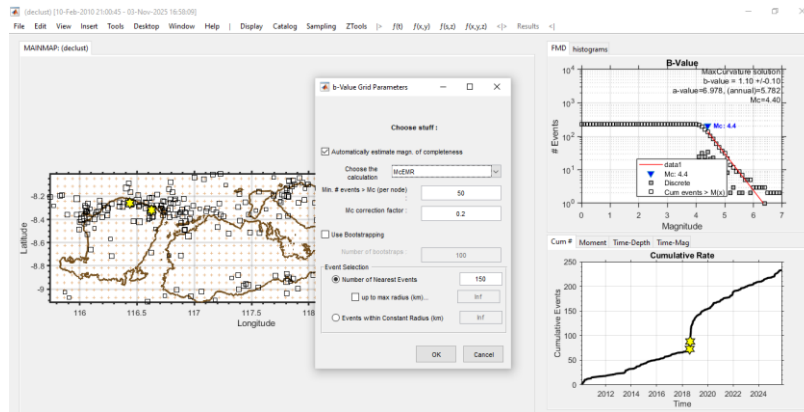
5. Menghitung *Magnitude of Completeness* (M_c), *a-value*, *b-value* menggunakan metode *Entire Magnitude Range* (EMR) melalui *command windows*.



Gambar 3. 9 Tampilan perhitungan nilai *Magnitude of Completeness* (M_c), *a-value*, dan *b-value* metode *Entire Magnitude Range* (EMR) pada *Command Window* MATLAB

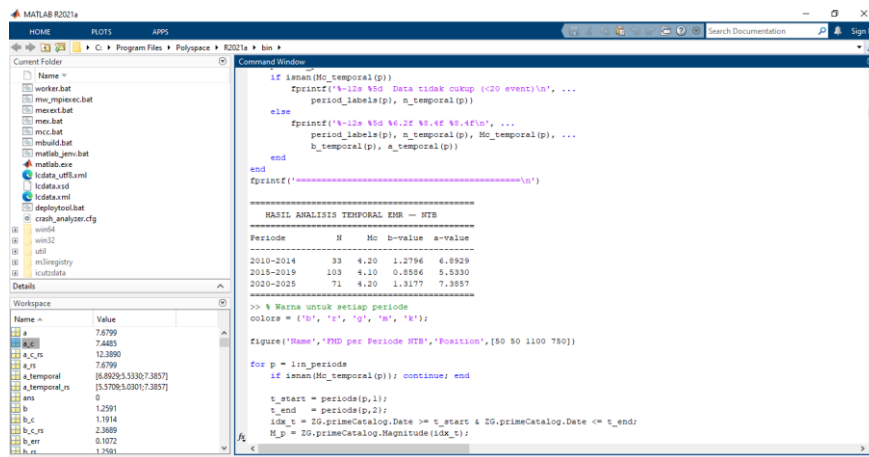
6. Membuat plot *Frequency-Magnitude Distribution* (FMD) pada *command windows*.

7. Membuat peta *Magnitude of Completeness* (M_c), *a-value* dan *b-value* melalui GUI ZMAP.



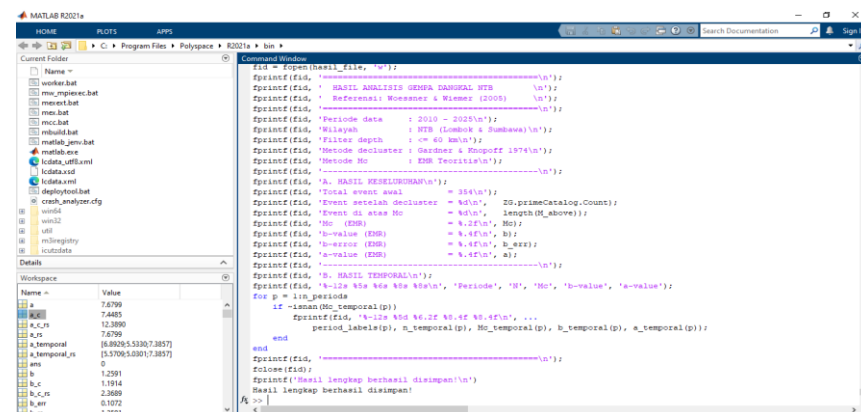
Gambar 3. 10 Tampilan pembuatan peta *Magnitude of Completeness* (Mc), *a-value*, dan *b-value* melalui GUI ZMAP

8. Membuat analisis temporal melalui *command windows*.



Gambar 3. 11 Tampilan analisis temporal melalui *command windows*

9. Menyimpan semua hasil akhir ke file teks melalui *command windows*



Gambar 3. 12 Tampilan penyimpanan hasil pada MATLAB

10. Menganalisis serta menginterpretasikan hasil nilai *Magnitude of Completeness* (Mc), *a-value*, dan *b-value* serta analisis *spasial* dan temporal parameter *Magnitude of Completeness* (Mc), *a-value*, dan *b-value* berdasarkan kondisi seismotektonik regional Nusa Tenggara Barat

3.5 Interpretasi Parameter Kegempaan

Dalam penelitian ini, parameter kegempaan yang dianalisis meliputi *Magnitude of Completeness* (Mc), *b-value*, dan *a-value*. Ketiga parameter ini digunakan untuk menggambarkan karakteristik seismisitas wilayah penelitian baik dari aspek kelengkapan data, distribusi magnitudo gempa, maupun tingkat produktivitas seismik.

3.5.1 *Magnitude of Completeness* (Mc)

Magnitude of Completeness (Mc) merupakan magnitudo minimum dimana seluruh kejadian gempa dalam suatu katalog dianggap telah terekam secara lengkap oleh jaringan pengamatan gempa bumi. Nilai *Magnitude of Completeness* (Mc) menjadi parameter penting dalam analisis seismisitas karena perhitungan parameter Gutenberg-Richter hanya dilakukan pada data gempa yang memiliki magnitudo sama atau lebih besar dari nilai *Magnitude of Completeness* (Mc). Penggunaan data dibawah nilai *Magnitude of Completeness* (Mc) dapat menyebabkan hasil estimasi parameter kegempaan menjadi bias.

Tabel 3. 1 Interpretasi Nilai *Magnitude of Completeness* (Mc) (Pavlenko dan Zavyalov (2022) serta Wang et al. (2025).

Kondisi <i>Magnitude of Completeness</i> (Mc)	Interpretasi
Rendah	Kemampuan deteksi jaringan seismograf lebih baik karena mampu merekam gempa bermagnitudo kecil.

Tinggi	Kemampuan deteksi gempa kecil lebih rendah sehingga banyak kejadian gempa kecil yang tidak terekam.
Relatif konstan	Kemampuan deteksi jaringan relatif stabil selama periode pengamatan.

3.5.2 B-value

Nilai *b-value* merupakan parameter dalam hubungan Gutenberg-Richter yang menggambarkan perbandingan antara jumlah gempa bermagnitudo kecil dan gempa bermagnitudo besar dalam suatu wilayah. Nilai *b-value* sering digunakan untuk mengidentifikasi kondisi tegangan batuan dan karakteristik aktivitas seismik suatu wilayah.

Tabel 3. 2 Interpretasi Nilai *b-value* (Scholz, 2015).

Nilai <i>b-value</i>	Interpretasi	Keterangan
< 0,8	Rendah	Menunjukkan akumulasi tegangan batuan yang relatif tinggi sehingga peluang terjadinya gempa bermagnitudo besar meningkat.
0,8-1,2	Sedang	Menunjukkan distribusi kejadian gempa yang seimbang antara gempa bermagnitudo kecil dan gempa bermagnitudo besar.
> 1,2	Tinggi	Menunjukkan dominasi gempa kecil hingga menengah dan mengindikasikan kondisi tegangan batuan relatif lebih rendah, serta banyak retakan.

3.5.3 A-value

Nilai *a-value* merupakan parameter dalam hubungan Gutenberg-Richter yang menunjukkan tingkat aktivitas kegempaan pada suatu wilayah. Nilai *a-value* dipengaruhi oleh jumlah kejadian gempa yang tercatat, distribusi magnitudo gempa, luas wilayah penelitian, rentang waktu pengamatan, serta nilai *Magnitude of*

Completeness (M_c) yang digunakan dalam analisis. Semakin tinggi nilai *a-value*, maka semakin tinggi aktivitas kegempaan pada wilayah tersebut. Sebaliknya, semakin rendah nilai *a-value* menunjukkan aktivitas kegempaan yang relatif lebih rendah.

Tabel 3. 3 Interpretasi Nilai *a-value* (Scholz, 2015).

Kondisi Nilai <i>a-value</i>	Interpretasi	Keterangan
Nilai <i>a-value</i> lebih rendah	Aktivitas kegempaan lebih rendah	Menunjukkan aktivitas kegempaan yang relatif lebih rendah dibandingkan wilayah atau periode pembanding.
Nilai <i>a-value</i> lebih tinggi	Aktivitas kegempaan lebih tinggi	Menunjukkan aktivitas kegempaan yang relatif lebih tinggi dibandingkan wilayah atau periode pembanding.
Nilai <i>a-value</i> meningkat	Peningkatan aktivitas kegempaan	Menunjukkan kecenderungan meningkatnya aktivitas kegempaan dibandingkan periode atau wilayah pembanding.
Nilai <i>a-value</i> menurun	Penurunan aktivitas kegempaan	Menunjukkan kecenderungan menurunnya aktivitas kegempaan dibandingkan periode atau wilayah pembanding.

3.6 Interpretasi Variasi Temporal Parameter Kegempaan

Analisis temporal dilakukan untuk mengetahui perubahan karakteristik seismisitas berdasarkan variasi nilai *Magnitude of Completeness* (M_c), *b-value*, dan *a-value* pada interval waktu tertentu. Dalam penelitian ini, data dibagi menjadi beberapa periode pengamatan untuk mengidentifikasi perubahan aktivitas kegempaan yang terjadi selama rentang waktu penelitian.

Tabel 3. 4 Interpretasi Perubahan Temporal *b-value* (Schorlemmer et al. 2005)

Perubahan <i>b-value</i>	Interpretasi	Implikasi Seismotektonik
Meningkat	Jumlah gempa bermagnitudo besar meningkat dibandingkan gempa kecil	Mengindikasikan peningkatan akumulasi tegangan (<i>stress</i>) batuan
Menurun	Jumlah gempa bermagnitudo kecil meningkat dibandingkan gempa besar	Mengindikasikan pelepasan tegangan batuan dan dominasi gempa kecil-menengah
Relatif tetap	Distribusi magnitudo gempa relatif tidak berubah	Kondisi tegangan batuan relatif stabil

Tabel 3. 5 Interpretasi Perubahan Temporal *a-value*

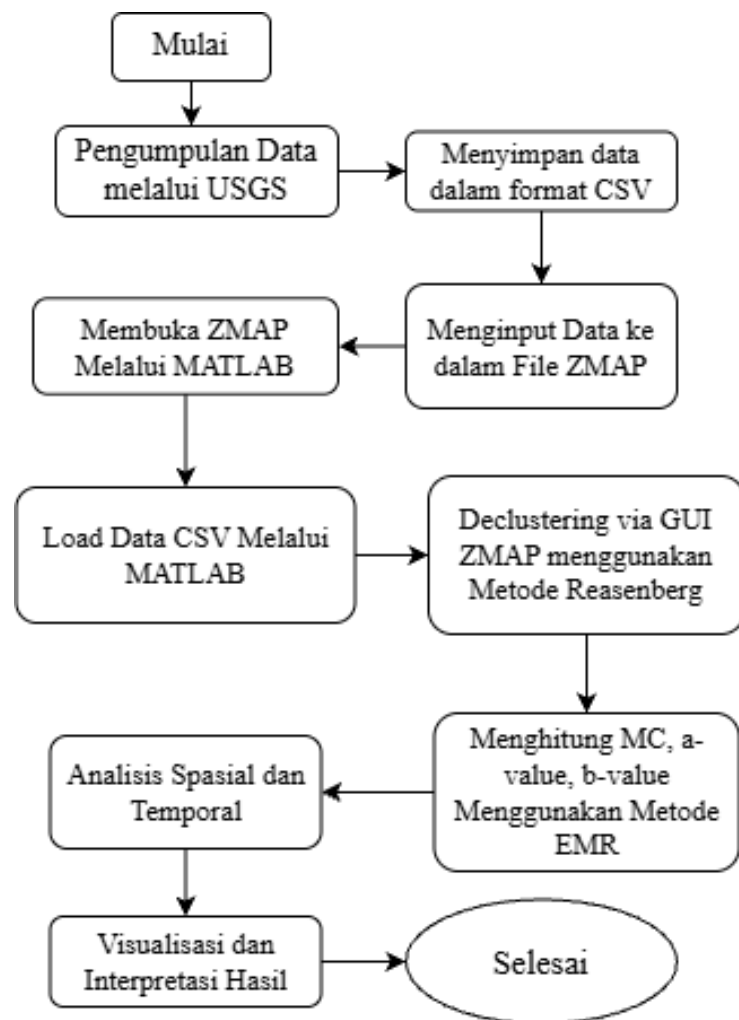
Perubahan <i>a-value</i>	Interpretasi	Implikasi Aktivitas Kegempaan
Meningkat	Jumlah kejadian gempa yang tercatat bertambah	Produktivitas seismik meningkat dan aktivitas kegempaan lebih aktif
Menurun	Jumlah kejadian gempa yang tercatat berkurang	Produktivitas seismik menurun dan aktivitas kegempaan lebih rendah
Relatif tetap	Jumlah kejadian gempa relatif tidak berubah	Aktivitas kegempaan relatif stabil selama periode pengamatan

Tabel 3. 6 Interpretasi Perubahan Nilai *Magnitude of Completeness* (Mc)

Perubahan <i>Magnitude of Completeness</i> (Mc)	Interpretasi	Implikasi terhadap Katalog Gempa
Meningkat	Batas magnitudo minimum yang dianggap lengkap menjadi lebih besar	Sebagian gempa bermagnitudo kecil tidak seluruhnya terekam sehingga tingkat kelengkapan katalog terhadap gempa kecil menurun
Menurun	Batas magnitudo minimum yang dianggap lengkap menjadi lebih kecil	Lebih banyak gempa bermagnitudo kecil yang terekam sehingga tingkat kelengkapan katalog meningkat
Relatif tetap	Nilai <i>Magnitude of Completeness</i> (Mc) tidak mengalami perubahan yang signifikan	Kemampuan deteksi jaringan pengamatan dan kelengkapan katalog relatif stabil selama periode pengamatan

Dalam penelitian ini, interpretasi variasi temporal parameter *Magnitude of Completeness* (Mc), *b-value*, dan *a-value* dilakukan berdasarkan perubahan nilai parameter pada setiap periode pengamatan. Perubahan nilai *Magnitude of Completeness* (Mc) digunakan untuk mengevaluasi tingkat kelengkapan katalog gempa, perubahan *b-value* digunakan untuk mengidentifikasi perubahan kondisi tegangan batuan, sedangkan perubahan *a-value* digunakan untuk mengevaluasi perubahan tingkat produktivitas seismik di wilayah penelitian.

3.7 Diagram Alir



Gambar 3. 13 Diagram Alir Penelitian

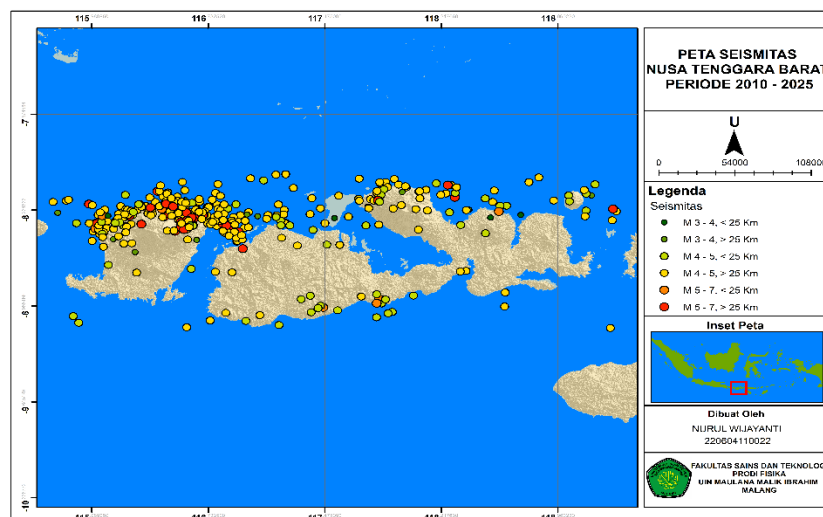
BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Deskripsi Data Gempa Bumi Nusa Tenggara Barat (NTB)

4.1.1 Data Gempa Bumi Dangkal Wilayah Nusa Tenggara Barat (NTB)

Data gempa bumi yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data sekunder yang diperoleh dari data *United States Geological Survey* (USGS) periode tahun 2010-2025. Data yang diunduh meliputi parameter longitude, latitude, tahun, bulan, hari, magnitudo, kedalaman, jam, menit, dan detik kejadian gempa. Seluruh data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan gempa dangkal dengan kedalaman kurang dari 70 km sesuai dengan batasan penelitian yang telah ditetapkan. Berdasarkan hasil pengumpulan data, diperoleh data sebanyak 354 kejadian gempa bumi dangkal yang terjadi di wilayah Nusa Tenggara Barat selama periode 2010-2025.



Gambar 4. 1 Peta Sebaran Gempa Bumi Dangkal Nusa Tenggara Barat (NTB) Sebelum Declustering Periode 2010–2025

Gambar 4.1 menunjukkan persebaran episenter gempa bumi dangkal di wilayah Nusa Tenggara Barat sebelum melakukan *declustering*. Berdasarkan peta

tersebut, kejadian gempa tersebar di wilayah Pulau Lombok, Pulau Sumbawa, Laut Flores, Selat Alas, serta Samudra Hindia di bagian selatan Nusa Tenggara Barat. Persebaran ini menunjukkan bahwa aktivitas kegempaan pada bagian wilayah penelitian terjadi baik di daratan maupun perairan.

Dalam penelitian seismisitas regional, data gempa darat dan laut dapat dianalisis secara bersamaan karena keduanya merepresentasikan aktivitas kegempaan yang berkembang di wilayah Nusa Tenggara Barat. Aktivitas tersebut dipengaruhi oleh beberapa struktur tektonik aktif, yaitu zona subduksi Indo-Australia–Eurasia di bagian selatan Nusa Tenggara Barat (NTB), Flores *Back Arc Thrust* di bagian utara, serta sesar-sesar lokal yang berkembang di Pulau Lombok dan Pulau Sumbawa.

Oleh karena itu, seluruh kejadian gempa dangkal yang berada dalam batas wilayah Nusa Tenggara Barat (NTB) digunakan dalam penelitian ini untuk menggambarkan karakteristik seismisitas regional melalui analisis parameter Gutenberg-Richter, yaitu *Magnitude of Completeness* (M_c), *a-value*, dan *b-value*. Pendekatan serupa juga banyak digunakan dalam penelitian seismisitas regional karena fokus analisis terletak pada distribusi frekuensi dan magnitudo gempa, bukan pada karakteristik perambatan gelombang seismik. (Woessner & Wiemer, 2005).

Tabel 4. 1 Statistik Data Gempa Bumi Sebelum *Declustering*

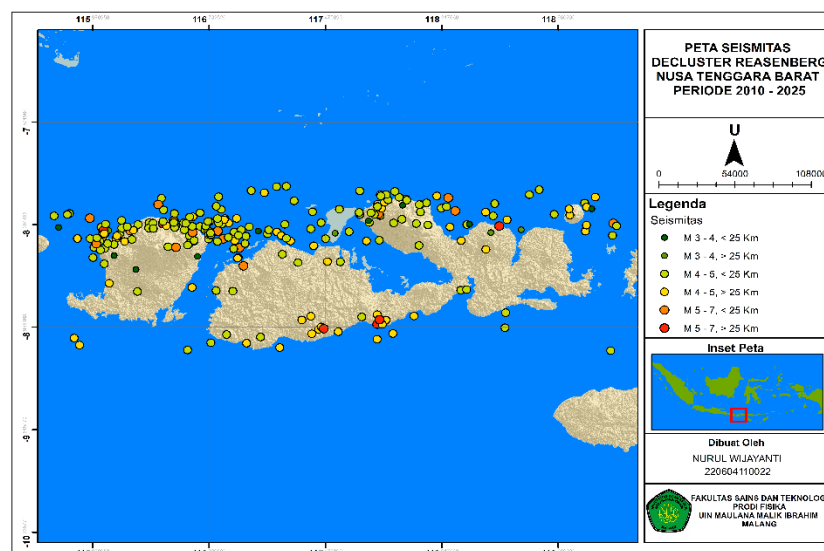
Parameter	Nilai
Jumlah Data	354 kejadian
Magnitudo minimum	3,7
Magnitudo maksimum	6,9

Kedalaman minimum	3,3 km
Kedalaman maksimum	69,3 km

Berdasarkan Tabel 4.1, magnitudo gempa bumi yang digunakan dalam penelitian ini berkisar antara 3,7 hingga 6,9. Sementara itu, kedalaman gempa berkisar antara 3,3 km hingga 69,3 km. Rentang tersebut menunjukkan bahwa seluruh data yang digunakan termasuk ke dalam kategori gempa dangkal sesuai dengan kriteria penelitian yang membatasi kedalaman gempa kurang dari 70 km.

4.1.2 Hasil *Declustering* Reasenberg

Proses *declustering* dilakukan menggunakan metode Reasenberg untuk memisahkan kejadian gempa yang tergolong sebagai *cluster*, seperti gempa susulan (*aftershock*), dan gempa pendahulu (*foreshock*), dari gempa utama yang merepresentasikan aktivitas seismik dasar (*background seismicity*). Proses ini bertujuan untuk mengurangi pengaruh pengelompokan gempa terhadap estimasi parameter kegempaan sehingga hasil yang diperoleh lebih representatif.



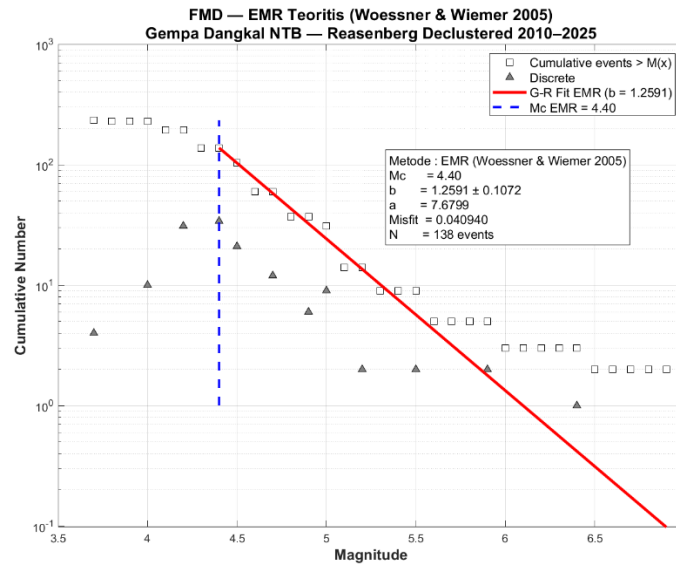
Gambar 4. 2 Peta Sebaran Gempa Bumi Dangkal Nusa Tenggara Barat (NTB) Setelah *Declustering* Reasenberg Periode 2010–2025

Berdasarkan hasil *declustering* pada Gambar 4.2 menggunakan metode Reasenberg, jumlah data gempa bumi berkurang dari 354 kejadian menjadi 233 kejadian. Sebanyak 121 kejadian gempa teridentifikasi sebagai *cluster* dan dikeluarkan dari katalog, sehingga presentase *cluster* yang berhasil dipisahkan mencapai 34,2%. Secara umu, pola persebaran pola persebaran episenter setelah *declustering* masih menunjukkan konsentrasi aktivitas gempa pada wilayah yang sama, yaitu di sekitar Pulau Lombok, Pulau Sumbawa, Laut Flores, dan Samudra Hindia bagian selatan Nusa Tenggara Barat (NTB). Namun, jumlah episenter yang ditampilkan menjadi lebih sedikit dibandingkan sebelum *declustering* karena kejadian-kejadian gempa yang memiliki keterkaitan ruang dan waktu telah dihilangkan.

Katalog hasil *declustering* selanjutnya digunakan dalam seluruh tahapan analisis pada penelitian ini, meliputi perhitungan *Frequency Magnitude Distribution* (FMD), *Magnitude of Completeness* (Mc), *a-value*, *b-value*, analisis spasial, serta analisis temporal. Penggunaan katalog independen diharapkan dapat menghasilkan estimasi parameter kegempaan yang lebih representatif terhadap kondisi seismisitas regional Nusa Tenggara Barat.

4.2 Distribusi Frekuensi Magnitudo

Distribusi frekuensi magnitudo digunakan untuk menggambarkan hubungan antara frekuensi kejadian gempa bumi dan magnitudonya berdasarkan persamaan Gutenberg-Richter. Analisis *Frequency Magnitude Distribution* (FMD) dilakukan menggunakan data gempa hasil *declustering* sebanyak 233 kejadian untuk memperoleh nilai *Magnitude of Completeness* (Mc), *a-value*, dan *b-value* yang menjadi parameter utama dalam karakterisasi seismisitas wilayah penelitian.



Gambar 4. 3 Grafik *Frequency Magnitude Distribution* (FMD) gempa dangkal wilayah Nusa Tenggara Barat hasil *declustering* Reasenberg periode 2010–2025.

Berdasarkan Gambar 4.3 menunjukkan grafik *Frequency Magnitude Distribution* (FMD) gempa dangkal di wilayah Nusa Tenggara Barat hasil *declustering* Reasenberg periode 2010–2025. Pada grafik tersebut, sumbu horizontal menunjukkan nilai magnitudo gempa bumi, sedangkan sumbu vertikal menunjukkan jumlah kumulatif kejadian gempa bumi dalam skala logaritmik. Simbol persegi menunjukkan jumlah kumulatif kejadian gempa yang memiliki magnitudo lebih besar atau sama dengan magnitudo tertentu (*cumulative events* > M), sedangkan simbol segitiga menunjukkan jumlah kejadian gempa pada setiap kelas magnitudo (*discrete events*). Garis merah merupakan hasil fitting hubungan Gutenberg-Richter menggunakan metode *Entire Magnitude Range* (EMR), sedangkan garis biru putus-putus menunjukkan nilai *Magnitude of Completeness* (Mc).

Berdasarkan hasil analisis *Frequency Magnitude Distribution* (FMD) diperoleh nilai *Magnitude of Completeness* (Mc) sebesar 4,40, b-value sebesar

1,2591, *a-value* sebesar 7,6799, *b-error* sebesar 0,1072, dan *misfit* sebesar 0,040940. Nilai *Magnitude of Completeness* (*Mc*) sebesar 4,40 menunjukkan bahwa katalog gempa yang digunakan dalam penelitian ini dianggap lengkap untuk kejadian gempa dengan magnitudo $\geq 4,40$. Oleh karena itu, perhitungan parameter kegempaan dilakukan menggunakan data yang berada di atas batas kelengkapan katalog tersebut sehingga hasil yang diperoleh lebih representatif.

Nilai *b-value* sebesar 1,2591 menunjukkan bahwa distribusi kejadian gempa di wilayah Nusa Tenggara Barat (NTB) didominasi oleh gempa bermagnitudo kecil hingga menengah dibandingkan gempa bermagnitudo besar. Menurut hubungan Gutenberg-Richter, semakin besar nilai *b-value* maka semakin tinggi proporsi kejadian gempa bermagnitudo kecil pada suatu wilayah. Selain itu, diperoleh nilai *b-error* sebesar 0,1072 yang menunjukkan tingkat ketidakpastian dari estimasi *b-value*. Nilai *b-error* yang relatif kecil menunjukkan bahwa hasil estimasi *b-value* memiliki tingkat keandalan yang cukup baik dan dapat digunakan untuk merepresentasikan kondisi seismisitas wilayah penelitian.

Sementara itu, nilai *a-value* sebesar 7,6799 menunjukkan bahwa aktivitas kegempaan di wilayah Nusa Tenggara Barat (NTB) selama periode pengamatan tergolong tinggi. Parameter *a-value* menggambarkan banyaknya kejadian gempa yang tercatat pada suatu wilayah dalam periode tertentu. Semakin besar nilai *a-value*, maka semakin tinggi aktivitas kegempaan yang terjadi pada wilayah tersebut. Nilai *a-value* yang diperoleh menunjukkan bahwa wilayah Nusa Tenggara Barat (NTB) merupakan daerah yang aktif secara seismik selama periode pengamatan 2010–2025.

Selain parameter *Magnitude of Completeness* (M_c), *a-value*, dan *b-value*, metode *Entire Magnitude Range* (EMR) juga menghasilkan nilai *misfit* sebesar 0,040940. Nilai *misfit* merupakan ukuran ketidaksesuaian antara distribusi frekuensi–magnitudo hasil observasi dengan model Gutenberg-Richter yang dihasilkan melalui proses *fitting* menggunakan metode *Entire Magnitude Range* (EMR). Semakin kecil nilai *misfit*, maka semakin baik tingkat kecocokan antara model dan data observasi. Sebaliknya, nilai *misfit* yang besar menunjukkan bahwa model kurang mampu merepresentasikan distribusi frekuensi–magnitudo gempa yang diamati.

Pada penelitian ini, nilai *misfit* sebesar 0,040940 tergolong kecil dan mendekati nol. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa kurva Gutenberg-Richter hasil *fitting* memiliki tingkat kecocokan yang baik terhadap distribusi data gempa observasi. Hal ini juga terlihat dari kesesuaian garis Gutenberg-Richter dengan tren utama data FMD pada magnitudo di atas nilai *Magnitude of Completeness* (M_c). Dengan demikian, parameter *Magnitude of Completeness* (M_c), *a-value*, dan *b-value* yang diperoleh dapat dianggap cukup representatif untuk menggambarkan karakteristik seismisitas gempa dangkal di wilayah Nusa Tenggara Barat.

4.3 Estimasi Parameter Kegempaan

Estimasi parameter kegempaan pada penelitian ini juga dilakukan menggunakan Metode *Entire Magnitudo Range* (EMR) berdasarkan data gempa hasil *declustering*. Metode ini digunakan untuk menggambarkan karakteristik seismisitas wilayah Nusa Tenggara Barat (NTB)

4.3.1 *Magnitudo of Completeness* (M_c)

Berdasarkan hasil analisis, diperoleh nilai *Magnitudo Completeness* (M_c) sebesar 4,40. Nilai tersebut menunjukkan bahwa katalog gempa dianggap lengkap

untuk gempa dengan magnitudo $\geq 4,40$. Dengan demikian, perhitungan parameter kegempaan dilakukan menggunakan data yang telah memenuhi batas kelengkapan katalog sehingga hasil analisis yang diperoleh lebih representatif terhadap kondisi seismisitas wilayah penelitian.

Nilai *Magnitude of Completeness* (M_c) sebesar 4,40 juga menunjukkan bahwa sebagian gempa bermagnitudo kecil masih berpotensi tidak tercatat secara lengkap dalam katalog gempa. Kondisi ini dapat dipengaruhi oleh keterbatasan sensitivitas alat pencatat gempa, distribusi stasiun seismik, serta kondisi geografis wilayah kepulauan yang dapat memengaruhi kemampuan deteksi kejadian gempa bermagnitudo kecil.

4.3.2 B-value

Hasil analisis menggunakan metode *Entire Magnitudo Range* (EMR) menghasilkan nilai *b-value* sebesar 1,2591. Nilai tersebut menunjukkan bahwa distribusi kejadian gempa di wilayah Nusa Tenggara Barat didominasi oleh gempa bermagnitudo kecil hingga menengah dibandingkan gempa bermagnitudo besar. Dengan kata lain, frekuensi kejadian gempa bermagnitudo kecil lebih banyak terjadi selama periode pengamatan.

Menurut hubungan Gutenberg–Richter, semakin besar nilai *b-value* maka semakin tinggi proporsi kejadian gempa bermagnitudo kecil pada suatu wilayah. Selain menggambarkan distribusi magnitudo gempa, parameter *b-value* juga sering digunakan untuk menginterpretasikan kondisi tegangan batuan. Nilai *b-value* yang rendah umumnya berkaitan dengan akumulasi tegangan yang lebih tinggi, sedangkan nilai *b-value* yang tinggi menunjukkan dominasi kejadian gempa bermagnitudo kecil hingga menengah

Selain itu, diperoleh nilai *b-error* sebesar 0,1072 yang menunjukkan tingkat ketidakpastian dari estimasi *b-value*. Nilai *b-error* yang relatif kecil menunjukkan bahwa hasil estimasi *b-value* memiliki tingkat keandalan yang cukup baik dan dapat digunakan untuk merepresentasikan karakteristik kegempaan wilayah penelitian.

4.3.3 A-value

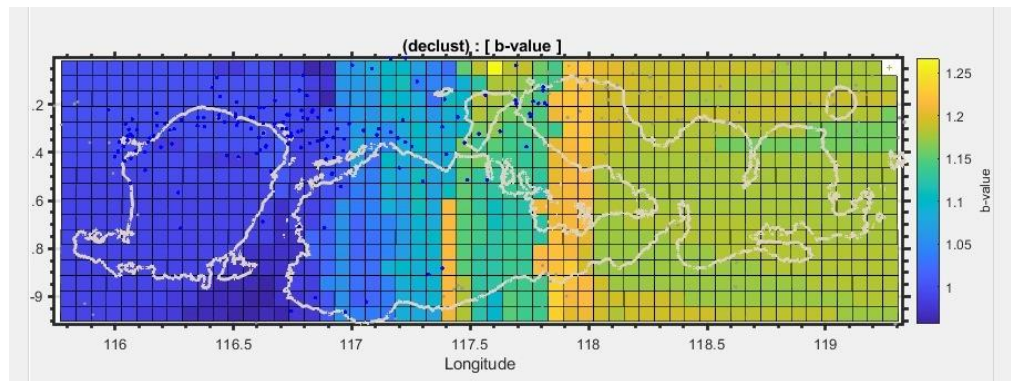
Berdasarkan hasil analisis diperoleh nilai *a-value* sebesar 7,6799. Parameter *a-value* dalam hubungan Gutenberg–Richter digunakan untuk menggambarkan tingkat aktivitas kegempaan pada suatu wilayah berdasarkan hubungan frekuensi–magnitudo. Semakin besar nilai *a-value*, maka semakin tinggi aktivitas kegempaan yang terjadi selama periode pengamatan.

Nilai *a-value* sebesar 7,6799 menunjukkan bahwa wilayah Nusa Tenggara Barat memiliki aktivitas kegempaan yang relatif tinggi selama periode penelitian. Kondisi tersebut tercermin dari banyaknya kejadian gempa yang terekam dalam katalog hasil declustering, yaitu sebanyak 233 kejadian, dengan 138 kejadian berada di atas nilai *Magnitude of Completeness* (M_c).

Hasil tersebut menunjukkan bahwa aktivitas kegempaan di wilayah penelitian masih berlangsung secara aktif selama periode pengamatan. Namun demikian, interpretasi nilai *a-value* dilakukan secara relatif dan digunakan sebagai parameter pembandingan terhadap wilayah atau periode pengamatan lainnya.

4.4 Analisis Spasial *a-value* dan *b-value*

Analisis spasial dilakukan untuk mengetahui variasi distribusi nilai *a-value* dan *b-value* pada wilayah Nusa Tenggara Barat (NTB). Distribusi kedua parameter tersebut digunakan untuk menggambarkan perbedaan karakteristik seismisitas berdasarkan kondisi tegangan batuan dan tingkat produktivitas seismik pada setiap wilayah penelitian.



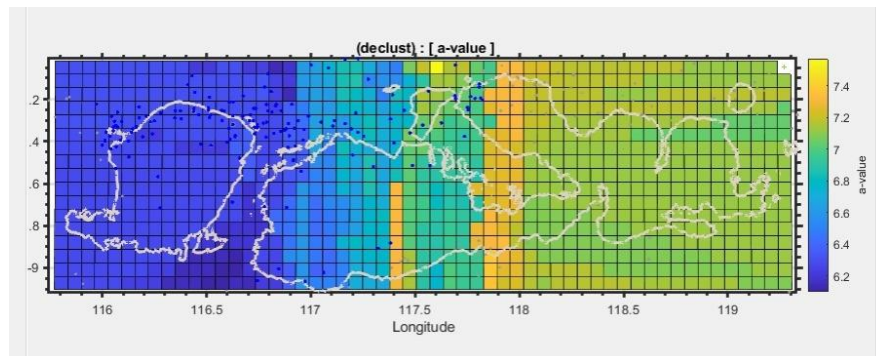
Gambar 4. 4 Distribusi spasial *b-value* di wilayah Nusa Tenggara Barat periode 2010–2025

Berdasarkan Gambar 4.4, distribusi nilai *b-value* di wilayah Nusa Tenggara Barat menunjukkan variasi yang tidak merata. Bagian barat wilayah penelitian memiliki nilai *b-value* yang relatif lebih rendah dibandingkan bagian tengah hingga timur. Sebaliknya, bagian tengah hingga timur menunjukkan nilai *b-value* yang relatif lebih tinggi.

Nilai *b-value* digunakan untuk menggambarkan hubungan frekuensi–magnitudo serta kondisi tegangan batuan pada suatu wilayah. Berdasarkan pada tabel 3.2, nilai *b-value* yang rendah mengindikasikan akumulasi tegangan batuan yang relatif lebih tinggi, sedangkan nilai *b-value* yang tinggi menunjukkan dominasi gempa bermagnitudo kecil hingga menengah serta kondisi tegangan batuan yang relatif lebih rendah.

Interpretasi tersebut kemudian dibandingkan dengan peta sebaran gempa hasil *declustering* pada Gambar 4.2. Peta tersebut menunjukkan bahwa kejadian gempa di wilayah Nusa Tenggara Barat (NTB) didominasi oleh gempa bermagnitudo 4–5, namun masih dijumpai beberapa kejadian gempa bermagnitudo 5–7 pada wilayah penelitian. Keberadaan gempa dengan magnitudo yang lebih

besar menunjukkan bahwa distribusi magnitudo gempa di wilayah Nusa Tenggara Barat (NTB) tidak bersifat seragam.



Gambar 4. 5 Distribusi spasial *a-value* di wilayah Nusa Tenggara Barat (NTB) periode 2010–2025

Selanjutnya, distribusi nilai *a-value* pada Gambar 4.6 menunjukkan variasi spasial aktivitas kegempaan di wilayah Nusa Tenggara Barat. Wilayah tengah hingga timur memiliki nilai *a-value* yang relatif lebih tinggi dibandingkan wilayah barat.

Parameter *a-value* digunakan untuk menggambarkan tingkat aktivitas kegempaan berdasarkan hubungan frekuensi–magnitudo Gutenberg–Richter. Semakin tinggi nilai *a-value*, maka semakin tinggi aktivitas kegempaan yang direpresentasikan oleh hubungan frekuensi–magnitudo pada wilayah tersebut. Namun demikian, nilai *a-value* tidak hanya dipengaruhi oleh jumlah kejadian gempa, tetapi juga dipengaruhi oleh distribusi magnitudo yang membentuk hubungan frekuensi–magnitudo pada masing-masing wilayah.

Sebagai pembanding, peta sebaran gempa hasil declustering pada Gambar 4.2 menunjukkan bahwa kejadian gempa tersebar di seluruh wilayah Nusa Tenggara Barat dengan beberapa konsentrasi kejadian pada wilayah tertentu. Secara visual, konsentrasi kejadian gempa juga terlihat di sekitar Pulau Lombok. Namun demikian, peta sebaran gempa hanya menunjukkan distribusi lokasi

kejadian gempa dan tidak secara langsung merepresentasikan nilai a -value yang diperoleh dari analisis *Frequency Magnitude Distribution* (FMD)

Untuk memperoleh gambaran yang lebih rinci mengenai karakteristik kegempaan pada wilayah barat dan tengah hingga timur Nusa Tenggara Barat (NTB), dilakukan analisis katalog gempa menggunakan perangkat lunak ZMAP sebagaimana disajikan pada tabel berikut:

Tabel 4. 2 Hasil Analisis Katalog Gempa pada Wilayah Barat dan Tengah–Timur Nusa Tenggara Barat (NTB) Menggunakan ZMAP

Parameter	Barat NTB	Tengah-Timur NTB
Jumlah gempa	83	145
Magnitudo rata-rata	4,54	4,49
<i>Magnitude of Completeness</i> (Mc)	4,40	4,20

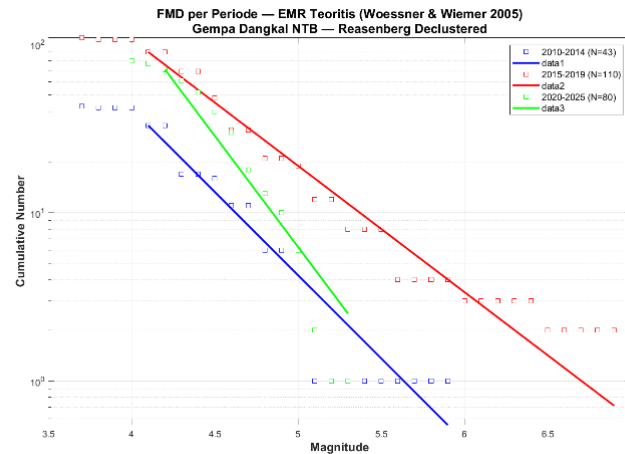
Hasil analisis katalog gempa menggunakan perangkat lunak ZMAP menunjukkan bahwa wilayah tengah hingga timur mencatat 145 kejadian gempa, sedangkan wilayah barat mencatat 83 kejadian gempa selama periode pengamatan. Perbedaan jumlah kejadian gempa tersebut menunjukkan adanya variasi karakteristik kegempaan antarwilayah yang kemudian tercermin pada distribusi nilai a -value yang diperoleh.

Dengan demikian, nilai a -value yang lebih tinggi pada wilayah tengah hingga timur menunjukkan bahwa hubungan frekuensi–magnitudo pada wilayah tersebut merepresentasikan aktivitas kegempaan yang relatif lebih tinggi dibandingkan wilayah barat selama periode pengamatan. Secara umum, hasil analisis menunjukkan bahwa karakteristik aktivitas kegempaan di wilayah Nusa Tenggara Barat tidak tersebar secara merata.

4.5 Analisis Temporal a-value dan b-value

Analisis temporal parameter kegempaan dilakukan untuk mengetahui perubahan karakteristik seismisitas gempa dangkal di wilayah Nusa Tenggara Barat (NTB) selama periode 2010–2025. Analisis dilakukan menggunakan data gempa hasil declustering Reasenberg yang dibagi menjadi tiga periode pengamatan, yaitu 2010–2014, 2015–2019, dan 2020–2025. Pembagian periode ini bertujuan untuk mengidentifikasi perubahan karakteristik kegempaan dari waktu ke waktu berdasarkan parameter *Magnitude of Completeness* (M_c), *b-value*, dan *a-value* yang diestimasi menggunakan metode *Entire Magnitude Range* (EMR).

Perlu diperhatikan bahwa jumlah kejadian gempa pada setiap periode pengamatan berbeda, yaitu 43 kejadian pada periode 2010–2014, 110 kejadian pada periode 2015–2019, dan 80 kejadian pada periode 2020–2025. Oleh karena itu, interpretasi parameter kegempaan dilakukan secara relatif dengan mempertimbangkan distribusi magnitudo gempa pada masing-masing periode. Dengan demikian, perubahan nilai *Magnitude of Completeness* (M_c), *b-value*, dan *a-value* tidak hanya ditentukan oleh jumlah kejadian gempa, tetapi juga oleh karakteristik hubungan frekuensi–magnitudo yang terbentuk pada setiap periode.



Gambar 4. 6 Grafik *Frequency Magnitude Distribution* (FMD) setiap periode pengamatan menggunakan metode *Entire Magnitude Range* (EMR).

Gambar 4.6 menunjukkan bahwa kurva *Frequency Magnitude Distribution* (FMD) pada setiap periode memiliki bentuk dan kemiringan garis Gutenberg–Richter yang berbeda. Perbedaan tersebut menunjukkan bahwa distribusi magnitudo gempa berubah pada setiap periode pengamatan. Karena metode *Entire Magnitude Range* (EMR) mengestimasi parameter berdasarkan hubungan frekuensi–magnitudo, perubahan bentuk kurva *Frequency Magnitude Distribution* (FMD) akan memengaruhi nilai *Magnitude of Completeness* (M_c), *b-value*, dan *a-value* yang dihasilkan..

Tabel 4. 3 Hasil analisis temporal gempa dangkal wilayah Nusa Tenggara Barat periode 2010–2025 hasil declustering Reasenberg menggunakan metode *Entire Magnitude Range* (EMR).

Periode	N	Mc-value	b-value	a-value
2010-2014	43	4,10	0,9884	5,5709
2015-2019	110	4,10	0,7502	5,0301
2020-2025	80	4,20	1,3177	7,3857

Berdasarkan Tabel 4.3, nilai *Magnitude of Completeness* (Mc) pada periode 2010–2014 dan 2015–2019 sebesar 4,10, kemudian meningkat menjadi 4,20 pada periode 2020–2025. Peningkatan sebesar 0,10 magnitudo menunjukkan adanya sedikit perubahan batas kelengkapan katalog gempa. Namun demikian, perubahan tersebut masih relatif kecil sehingga kualitas katalog gempa pada setiap periode tetap dapat dibandingkan.

Perubahan yang lebih jelas terlihat pada nilai *b-value*. Pada periode 2010–2014 diperoleh nilai *b-value* sebesar 0,9884 yang menunjukkan distribusi magnitudo gempa relatif seimbang. Selanjutnya, nilai *b-value* menurun menjadi 0,7502 pada periode 2015–2019. Penurunan tersebut ditunjukkan oleh garis Gutenberg–Richter yang lebih landai pada kurva *Frequency Magnitude Distribution* (FMD), yang mengindikasikan meningkatnya proporsi kejadian gempa bermagnitudo besar dibandingkan periode lainnya. Kondisi tersebut berkaitan dengan rangkaian Gempa Lombok tahun 2018 yang menghasilkan beberapa kejadian gempa bermagnitudo besar. Setelah periode tersebut, nilai *b-value* meningkat menjadi 1,3177 pada periode 2020–2025. Peningkatan tersebut ditunjukkan oleh garis Gutenberg–Richter yang lebih curam sehingga mengindikasikan bahwa distribusi gempa kembali didominasi oleh gempa bermagnitudo kecil hingga menengah. Berdasarkan

Perubahan distribusi frekuensi–magnitudo tersebut juga memengaruhi nilai *a-value*. Nilai *a-value* menurun dari 5,5709 pada periode 2010–2014 menjadi 5,0301 pada periode 2015–2019, meskipun periode tersebut mencatat jumlah kejadian gempa paling banyak. Kondisi ini menunjukkan bahwa nilai *a-value* tidak hanya dipengaruhi oleh jumlah kejadian gempa, tetapi juga oleh distribusi

magnitudo yang membentuk hubungan frekuensi–magnitudo. Pada metode *Entire Magnitude Range* (EMR), estimasi *a-value* dilakukan secara bersamaan dengan *b-value* dan *Magnitude of Completeness* (Mc), sehingga perubahan bentuk kurva *Frequency Magnitude Distribution* (FMD) akan memengaruhi nilai *a-value* yang dihasilkan. Sebagaimana dijelaskan oleh Risanti dan Prastowo (2021), estimasi *a-value* dipengaruhi oleh hasil estimasi *b-value* dan *Magnitude of Completeness* (Mc) karena seluruh parameter tersebut diperoleh melalui hubungan Gutenberg–Richter. Oleh karena itu, meskipun periode 2015–2019 memiliki jumlah kejadian gempa yang lebih banyak, distribusi magnitudo yang berbeda menghasilkan nilai *a-value* yang lebih rendah dibandingkan periode lainnya.

Selanjutnya, pada periode 2020–2025 nilai *a-value* meningkat menjadi 7,3857. Peningkatan tersebut terjadi bersamaan dengan meningkatnya nilai *b-value* serta bentuk kurva *Frequency Magnitude Distribution* (FMD) yang lebih curam, sehingga menunjukkan bahwa distribusi gempa kembali didominasi oleh gempa bermagnitudo kecil hingga menengah. Kondisi tersebut menghasilkan aktivitas kegempaan yang relatif lebih tinggi berdasarkan hubungan frekuensi–magnitudo Gutenberg–Richter.

Secara umum, hasil analisis temporal menunjukkan bahwa karakteristik kegempaan gempa dangkal di wilayah Nusa Tenggara Barat mengalami perubahan pada setiap periode pengamatan. Perubahan tersebut tercermin dari variasi bentuk kurva *Frequency Magnitude Distribution* (FMD), nilai *Magnitude of Completeness* (Mc), *b-value*, dan *a-value*. Dengan demikian, perubahan karakteristik kegempaan tidak hanya ditunjukkan oleh jumlah kejadian gempa, tetapi juga oleh perubahan distribusi magnitudo yang memengaruhi hubungan frekuensi–magnitudo. Hasil

tersebut mengindikasikan bahwa kondisi tegangan batuan dan aktivitas kegempaan di wilayah Nusa Tenggara Barat berubah dari waktu ke waktu sebagai bagian dari karakteristik seismotektonik wilayah penelitian.

4.6 Analisis Dinamika Seismotektonik Nusa Tenggara Barat (NTB)

Wilayah Nusa Tenggara Barat (NTB) merupakan salah satu daerah dengan tingkat aktivitas kegempaan yang tinggi di Indonesia. Kondisi tersebut berkaitan dengan keberadaan sistem tektonik aktif yang terdiri atas zona subduksi Indo-Australia–Eurasia di bagian selatan serta Flores *Back Arc Thrust* di bagian utara. Interaksi kedua sistem tektonik tersebut menyebabkan proses deformasi kerak bumi berlangsung secara aktif dan menghasilkan aktivitas gempa bumi yang relatif tinggi di wilayah Nusa Tenggara Barat (NTB).

Hasil analisis *Frequency Magnitude Distribution* (FMD) menggunakan metode *Entire Magnitude Range* (EMR) menunjukkan nilai *Magnitude of Completeness* (M_c) sebesar 4,40, *b-value* sebesar $1,2591 \pm 0,1072$, dan *a-value* sebesar 7,6799. Nilai *b-value* yang tergolong tinggi menunjukkan bahwa aktivitas kegempaan di wilayah Nusa Tenggara Barat (NTB) didominasi oleh gempa bermagnitudo kecil hingga menengah. Sementara itu, nilai *a-value* yang relatif tinggi menunjukkan bahwa aktivitas kegempaan di wilayah Nusa Tenggara Barat (NTB) selama periode pengamatan tergolong aktif.

Berdasarkan analisis spasial, karakteristik seismisitas di wilayah Nusa Tenggara Barat (NTB) menunjukkan variasi yang berbeda pada setiap lokasi. Bagian barat Nusa Tenggara Barat (NTB) memiliki nilai *b-value* yang relatif lebih rendah dibandingkan wilayah tengah hingga timur yang mengindikasikan akumulasi tegangan batuan yang relatif lebih tinggi. Sebaliknya, wilayah tengah hingga timur memiliki nilai *a-value* yang lebih tinggi serta jumlah kejadian gempa

yang lebih banyak dibandingkan bagian barat. Hasil tersebut menunjukkan bahwa distribusi aktivitas kegempaan dan kondisi tegangan batuan di wilayah Nusa Tenggara Barat (NTB) tidak tersebar secara merata.

Hasil analisis temporal menunjukkan bahwa parameter kegempaan mengalami perubahan pada setiap periode pengamatan. Penurunan *b-value* pada periode 2015–2019 menunjukkan meningkatnya akumulasi tegangan batuan yang berkaitan dengan terjadinya rangkaian Gempa Lombok tahun 2018. Selanjutnya, peningkatan *b-value* pada periode 2020–2025 menunjukkan dominasi gempa bermagnitudo kecil hingga menengah yang lebih tinggi dibandingkan periode sebelumnya. Pada periode yang sama, nilai *a-value* juga mengalami peningkatan yang menunjukkan aktivitas kegempaan yang relatif lebih tinggi berdasarkan hubungan frekuensi–magnitudo Gutenberg–Richter

Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa karakteristik seismisitas wilayah Nusa Tenggara Barat (NTB) mengalami variasi baik secara spasial maupun temporal. Variasi nilai *Magnitude of Completeness* (M_c), *a-value*, dan *b-value* menunjukkan bahwa distribusi tegangan batuan serta aktivitas kegempaan di wilayah Nusa Tenggara Barat (NTB) tidak bersifat seragam. Kondisi tersebut mengindikasikan bahwa wilayah Nusa Tenggara Barat (NTB) masih memiliki tingkat aktivitas kegempaan yang tinggi sehingga perlu menjadi perhatian dalam upaya mitigasi dan pengurangan risiko bencana gempa bumi.

4.7 Diskusi Hasil Penelitian

Hasil penelitian ini kemudian dibandingkan dengan beberapa penelitian terdahulu yang relevan untuk melihat kesesuaian maupun perbedaan hasil yang diperoleh. Ringkasan perbandingan tersebut disajikan pada tabel berikut:

Tabel 4. 4 Perbandingan Hasil Penelitian dengan Penelitian Sebelumnya

Peneliti	Judul Penelitian	Hasil penelitian terdahulu	Hasil penelitian ini	Hubungan
Ernandi & 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	b-value = 0,844 dan a-value = 6,10.	b-value = 1,2591 dan a-value = 7,6799.	Interpretasi hasil sejalan, namun nilai parameter yang diperoleh berbeda. Perbedaan tersebut diduga dipengaruhi oleh perbedaan periode pengamatan, jumlah kejadian gempa, proses declustering, serta nilai <i>Magnitude of Completeness</i> (Mc) yang digunakan dalam analisis.
Bunaga dkk. (2025)	Analisis Variasi Temporal <i>Magnitude of Completeness</i> (Mc) dan b-value di Wilayah Bali–Nusa Tenggara Tahun 2017–2023	Nilai b-value mengalami penurunan sebelum terjadinya Gempa Lombok 2018 dan Gempa Laut Flores 2021, kemudian meningkat setelah	Nilai b-value menurun pada periode 2015–2019 menjadi 0,7502 dan meningkat pada periode 2020–2025	Sesuai. Kedua penelitian menunjukkan pola temporal yang sama, yaitu penurunan b-value sebelum atau saat terjadinya gempa signifikan dan peningkatan b-value setelahnya.

		kejadian gempa besar.	menjadi 1,3177.	
Rahmiati dkk. (2024)	Kajian Nilai <i>b-Value</i> untuk Menganalisis Aktivitas Seismik di Wilayah Pulau Jawa, Bali dan Nusa Tenggara Barat	Wilayah Lombok menunjukkan nilai <i>b-value</i> relatif rendah dibandingkan beberapa wilayah lainnya sehingga mengindikasikan kondisi tegangan batuan yang berbeda.	Bagian barat Nusa Tenggara Barat (NTB) memiliki nilai <i>b-value</i> relatif lebih rendah dibandingkan wilayah tengah hingga timur.	Sejalan. Kedua penelitian menunjukkan adanya variasi spasial nilai <i>b-value</i> yang mengindikasikan perbedaan kondisi tegangan batuan pada masing-masing wilayah.

Berdasarkan Tabel 4.4, hasil penelitian ini secara umum memiliki keterkaitan dengan penelitian-penelitian sebelumnya. Kesamaan tersebut terlihat pada interpretasi nilai *b-value* sebagai indikator kondisi tegangan batuan serta pola perubahan temporal *b-value* yang berkaitan dengan akumulasi dan pelepasan tegangan. Meskipun terdapat perbedaan nilai parameter pada beberapa penelitian, perbedaan tersebut dapat dipengaruhi oleh variasi periode pengamatan, jumlah kejadian gempa, metode pengolahan data, dan nilai *Magnitude of Completeness* (M_c) yang digunakan. Dengan demikian, hasil penelitian ini memperkuat temuan penelitian sebelumnya mengenai pemanfaatan parameter *Magnitude of*

Completeness (Mc), *a-value*, dan *b-value* dalam menggambarkan karakteristik seismisitas suatu wilayah.

4.8 Hasil Penelitian dalam Perspektif Islam

Hasil penelitian menunjukkan bahwa wilayah Nusa Tenggara Barat memiliki aktivitas seismik yang cukup tinggi dengan nilai *b-value* sebesar 1,2591 dan *a-value* sebesar 7,6799. Nilai tersebut menunjukkan bahwa aktivitas kegempaan di wilayah Nusa Tenggara Barat (NTB) masih berlangsung secara aktif selama periode pengamatan. Kondisi tersebut dapat dipahami tidak hanya melalui pendekatan ilmiah, tetapi juga melalui ayat-ayat Al-Qur'an yang menjelaskan tentang guncangan bumi, perubahan pada struktur bumi, serta dampak yang ditimbulkan oleh gempa bumi.

Fenomena guncangan pada bumi dapat dikaitkan dengan firman Allah SWT dalam Q.S Al-Hajj (22): 1:

يَا أَيُّهَا النَّاسُ اتَّقُوا رَبَّكُمُ إِنَّ زَلْزَلَةَ السَّاعَةِ شَيْءٌ عَظِيمٌ ﴿١﴾

Artinya: “Wahai manusia, bertakwalah kepada tuhanmu. Sesungguhnya guncangan hari kiamat itu adalah sesuatu yang sangat besar.” (Q.S Al-Hajj (22): 1).

Menurut Fakhruddin Al-Razi dalam Mafatih al-Ghayb, lafaz زَلْزَلَةٌ berasal dari kata *zalzalah* yang bermakna guncangan yang sangat kuat dan terjadi secara berulang sehingga menimbulkan perubahan besar pada keadaan di sekitarnya. Ibnu Katsir juga menjelaskan bahwa ayat tersebut menggambarkan dahsyatnya guncangan yang mampu mengguncang kestabilan bumi dan memberikan dampak yang besar terhadap makhluk yang berada di atasnya (Razhak et al., 2025).

Gambaran mengenai banyaknya kejadian gempa juga disebutkan dalam hadist Rosulullah SAW yang diriwayatkan oleh Imam Bukhori:

لَا تَقُومُ السَّاعَةُ حَتَّى تَكْثُرَ الزَّلَازِلُ

“Tidak akan tiba hari kiamat hingga banyak terjadi gempa bumi.” (HR. Bukhori). Dalam penjelasannya, Ibnu Hajar Al-Asqalani menyatakan bahwa yang dimaksud dengan banyaknya gempa bukan hanya meningkatnya jumlah kejadian gempa, tetapi juga persebarannya yang semakin luas dan terjadi secara berulang di berbagai wilayah (Yusuf, 2022).

Dalam konteks penelitian ini, guncangan bumi terjadi akibat pelepasan energi yang tersimpan pada batuan. Ketika akumulasi tegangan pada batuan melebihi kekuatan batuan tersebut, energi akan dilepaskan dalam bentuk gelombang seismik yang menghasilkan guncangan di permukaan bumi. Proses tersebut merupakan salah satu mekanisme terjadinya gempa bumi yang berlangsung secara alami dan terus menerus di dalam kerak bumi.

Hasil penelitian menunjukkan nilai *a-value* sebesar 7,6799. Dalam hubungan Gutenberg-Richter, *a-value* menggambarkan tingkat aktivitas kegempaan yang berkaitan dengan jumlah kejadian gempa pada suatu wilayah. Semakin besar nilai *a-value*, semakin banyak kejadian gempa yang terjadi. Oleh karena itu, nilai *a-value* yang diperoleh menunjukkan bahwa aktivitas pelepasan energi yang menghasilkan guncangan bumi masih berlangsung secara aktif di wilayah Nusa Tenggara Barat. Kondisi tersebut sejalan dengan gambaran guncangan yang dijelaskan dalam lafaz زَلَزَلَة serta hadis Rasulullah SAW mengenai banyaknya kejadian gempa.

Selain menggambarkan guncangan bumi, Al-Qur'an juga memberikan gambaran mengenai perubahan yang terjadi pada bagian bumi sebagaimana terdapat dalam Q.S. At-Takwir (81): 3:

وَإِذَا الْجِبَالُ سُيِّرَتْ ﴿٣﴾

Artinya: "Dan apabila gunung-gunung dijalkan." (Q.S. At-Takwir (81): 3).

Menurut Ibnu Katsir, lafaz الْجِبَالُ سُيِّرَتْ menunjukkan bahwa gunung-gunung yang sebelumnya tampak kokoh dan tetap pada tempatnya mengalami pergerakan serta perubahan dari keadaan semula (Ibnu Katsir, 1999). Al-Qurthubi menjelaskan bahwa ayat tersebut menggambarkan berubahnya kondisi bumi yang sebelumnya terlihat stabil menjadi mengalami pergeseran dan perpindahan akibat kekuatan yang sangat besar. Penafsiran tersebut menunjukkan bahwa struktur bumi yang tampak tetap pada kenyataannya dapat mengalami perubahan dan pergerakan (Al-Qurthubi, 2006)

Dalam kajian geologi, gunung merupakan bagian dari kerak bumi yang berada di atas lempeng tektonik. Oleh karena itu, ketika lempeng bergerak, gunung yang berada di atasnya juga ikut mengalami pergeseran bersama kerak bumi. Pergerakan tersebut berlangsung sangat lambat, namun dalam jangka waktu yang panjang mampu menghasilkan deformasi batuan, pembentukan sesar, pengangkatan pegunungan, serta gempa bumi (Huda, 2024).

Hasil penelitian menunjukkan bahwa aktivitas kegempaan di wilayah Nusa Tenggara Barat masih berlangsung aktif selama periode 2010–2025. Variasi nilai *a-value*, *b-value*, serta distribusi spasial dan temporal kegempaan menunjukkan adanya proses akumulasi dan pelepasan energi yang berlangsung secara dinamis.

Dengan demikian, lafaz *سُيِّرَتْ الْجِبَالُ* dapat dipahami sebagai gambaran bahwa bagian bumi yang tampak stabil sebenarnya mengalami pergerakan yang dalam kajian geofisika berkaitan dengan aktivitas lempeng tektonik sebagai salah satu penyebab terjadinya gempa bumi.

Selain menggambarkan guncangan dan perubahan pada bumi, Al-Qur'an juga menjelaskan dampak yang ditimbulkan oleh gempa bumi terhadap kehidupan manusia sebagaimana terdapat dalam Q.S Al-A'raf (7): 78:

فَاَخَذَتْهُمُ الرَّجْفَةُ فَاصْبَحُوا فِي دَارِهِمْ جَثِيمِينَ ﴿٧٨﴾

Artinya: “Maka, gempa (dahsyat) menimpa mereka sehingga mereka menjadi (mayat-mayat yang) bergelimpangan di dalam (reruntuhan) tempat tinggal mereka.” (Q.S Al-A'raf (7): 78).

Menurut Al-Thabari, lafaz *الرَّجْفَةُ* bermakna guncangan yang sangat kuat sehingga menyebabkan kehancuran pada tempat tinggal kaum yang mengalaminya. Ibn 'Ashur juga menjelaskan bahwa penggunaan lafaz tersebut menunjukkan dampak fisik yang ditimbulkan oleh guncangan bumi, yaitu rusaknya bangunan dan lumpuhnya kehidupan masyarakat akibat peristiwa tersebut. Penafsiran tersebut menunjukkan bahwa gempa bumi merupakan bencana yang dapat menimbulkan kerusakan besar terhadap lingkungan dan kehidupan manusia. Dampak yang ditimbulkan tidak hanya berupa kerusakan bangunan, tetapi juga korban jiwa, kerugian ekonomi, dan terganggunya aktivitas masyarakat. (Muflihah et al., 2025).

Dalam konteks penelitian ini, aktivitas seismik yang masih tinggi di wilayah Nusa Tenggara Barat menunjukkan bahwa gempa bumi tetap menjadi salah satu ancaman bencana yang perlu diperhatikan. Informasi mengenai nilai *a-value*, *b-value*, serta pola distribusi spasial dan temporal kegempaan dapat digunakan untuk

memahami karakteristik aktivitas gempa di wilayah Nusa Tenggara Barat (NTB). Informasi tersebut penting sebagai dasar dalam upaya mitigasi bencana, perencanaan tata ruang, dan peningkatan kesiapsiagaan masyarakat guna mengurangi risiko yang ditimbulkan oleh gempa bumi.

Dengan demikian, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa aktivitas kegempaan di wilayah Nusa Tenggara Barat dapat dipahami melalui pendekatan ilmiah dan perspektif Islam secara bersamaan. Q.S. Al-Hajj (22): 1 memberikan gambaran mengenai guncangan bumi, Q.S. At-Takwir (81): 3 menunjukkan adanya pergerakan pada bagian bumi yang dalam kajian geofisika berkaitan dengan aktivitas lempeng tektonik, sedangkan Q.S. Al-A'raf (7): 78 menjelaskan dampak yang dapat ditimbulkan oleh gempa bumi sehingga penting untuk dilakukan upaya mitigasi guna mengurangi risiko bencana

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian mengenai analisis parameter kegempaan gempa dangkal di wilayah Nusa Tenggara Barat menggunakan metode Entire Magnitude Range (EMR), diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Analisis menggunakan metode *Entire Magnitude Range* (EMR) menghasilkan nilai *Magnitude of Completeness* (M_c) sebesar 4,40, *b-value* sebesar 1,2591, dan *a-value* sebesar 7,6799. Nilai *Magnitude of Completeness* (M_c) menunjukkan bahwa katalog gempa dianggap lengkap untuk kejadian gempa dengan magnitudo $\geq 4,40$. Nilai *b-value* mengindikasikan bahwa distribusi gempa di wilayah Nusa Tenggara Barat didominasi oleh gempa bermagnitudo kecil hingga menengah, sedangkan nilai *a-value* menunjukkan bahwa wilayah tersebut memiliki aktivitas kegempaan yang relatif tinggi selama periode pengamatan..
2. Analisis spasial menunjukkan bahwa distribusi *a-value* dan *b-value* di wilayah Nusa Tenggara Barat (NTB) tidak merata. Wilayah barat memiliki nilai *b-value* yang relatif lebih rendah, sedangkan wilayah tengah hingga timur memiliki nilai *a-value* yang relatif lebih tinggi. Analisis temporal menunjukkan bahwa nilai *a-value* dan *b-value* mengalami perubahan pada setiap periode pengamatan akibat perubahan distribusi frekuensi–magnitudo gempa. Variasi spasial dan temporal tersebut mengindikasikan bahwa karakteristik aktivitas kegempaan serta distribusi tegangan batuan di wilayah Nusa Tenggara Barat (NTB) berubah dari waktu ke waktu,

sehingga mencerminkan dinamika seismotektonik yang berbeda pada setiap wilayah dan periode pengamatan.

5.2 Saran

Pada penelitian ini masih terdapat beberapa keterbatasan yang dapat dikembangkan lebih lanjut pada penelitian selanjutnya, antara lain sebagai berikut:

1. Penelitian selanjutnya disarankan menggunakan rentang data gempa bumi yang lebih panjang agar hasil analisis parameter kegempaan dapat menggambarkan kondisi seismisitas wilayah secara lebih detail.
2. Penelitian berikutnya dapat menggunakan metode lain sebagai pembandingan dalam estimasi parameter kegempaan sehingga hasil analisis yang diperoleh dapat dibandingkan dan dievaluasi lebih lanjut.
3. Analisis spasial parameter kegempaan dapat dikembangkan menggunakan jumlah data yang lebih banyak agar distribusi spasial *a-value* dan *b-value* dapat terlihat lebih detail pada setiap wilayah penelitian.
4. Penelitian selanjutnya diharapkan dapat mengombinasikan analisis parameter kegempaan dengan data geologi dan data sesar aktif sehingga interpretasi kondisi seismotektonik wilayah dapat dilakukan secara lebih mendalam.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, I., Sapiie, Benyamin, Magetsari, Noer, A., Harsolumakso, & Agus, H. (2006). *Gologi Fisik*. Bandung: Penerbit ITB.
- Abdullah, M. (2007). *Tafsir Ibnu Katsir Jilid V*. Bogor: Pustaka Imam Asy-Syafi'i.
- Abdurrahman Aisyah. (1996). *Tafsir al-Bayani lil Qur'an al-Karim*, Tafsir Bintusy-Syathi terj. Muzakkir Abdussalam. Bandung: Penerbit Mizan.
- Abha, M. M. (2013). Gempa Bumi dalam al-Quran. 1, 20-21.
- Al-Qurthubi, A. A. M. (2006). *Al-Jāmi' li Ahkām al-Qur'ān*. Beirut: Muassasah Ar-Risalah.
- Al-Razi, F. (1999). *Mafātīḥ al-Ghayb (Jilid 23)*. Beirut: Dar Ihya al-Turath al-'Arabi
- Al-Tabari, M. J. (2001). *Jāmi' al-Bayān 'an Ta'wīl Āy al-Qur'ān*. Kairo: Dar Hajr.
- Al-Wabil, Y.B.A.B.Y., 2022. Banyak Gempa Bumi dan Ditenggelamkan ke Dalam Bumi. Almanhaj, 30 November. Tersedia pada: <https://almanhaj.or.id/66828-banyak-gempa-bumi-dan-ditenggelamkan-kedalam-bumi.html> [Diakses 7 Juni 2026].
- Arifin, M., Prasetiawati, E., & Agus, M. (2024). Maqasid Surat Az-Zalزالah (Studi Kajian Tafsir Hasbi Ash-Shiddiqey Dan Tafsir Ibnu 'Arabi). *Qur'anic Interpretation Journal*, 24-36.
- Basid, A., Mahardika, I. K., Subchan, W., & Astutik, S. (2021). Mapping risk levels of earthquake damage as disaster mitigation efforts: Case studies in West Java, Central Sulawesi and Lombok. In AIP Conference Proceedings (Vol. 2320, No. 1, Article 040007). AIP Publishing. <https://doi.org/10.1063/5.003754>
- BMKG. (2021). *Ulasan Akibat Guncangan Tanah Akibat Gempa Bumi di Laut Flores Nusa Tenggara*. Jakarta: BMKG.
- Bustari, A. (2024). Kajian Seismisitas dan Energi Gempabumi Sesar Naik Busur Belakang Flores di Segmen Utara Pulau Lombok Berdasarkan Data Kegempaan 2013-2023. *Jurnal Kolaboratif Sains*, 2268-2275.
- Chasanah, U., & Handoyo, E. (2021). Analisis Tingkat Kegempaan Wilayah Jawa Timur berbasis Distribusi Spasial dan Temporal Magnitude Of Completeness (Mc), A-Value Dan B-Value. *ndonesian Journal of Applied Physics*, 210-222.
- Cindy, N., Sugeng, & Erniwati, H. (2023). Analisis Kerawanan Seismik di Wilayah Nusa Tenggara Barat Berdasarkan Nilai Peak Ground Acceleration (PGA) dengan Persamaan Ground Motion Prediction Equation GMPE Donovan. *Jurnal Hasil Penelitian Bidang Fisika*, 32-37.

- 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).
- Don, L., & Leet, F. (2006). *Gempa bumi: Penjelasan Ilmiah Sederhana*. Yogyakarta: Kreasi Kencana.
- 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*, 24-30.
- Faiza, & Puji, A. (2014). Analisis Tingkat Seismisitas dan Resiko Kegempaan Tektonik Berdasarkan Nilai Variasi Spasio-Temporal Wilayah Bali dan Nusa Tenggara. *Buletin Metereologi, Klimatologi, dan Geofisika*, 18-25.
- Faiza, N., & Ariyanto, P. (2024). Analisis Tingkat Seismisitas dan Resiko Kegempaan Tektonik Berdasarkan Nilai Variasi Spasio-Temporal Wilayah Bali dan Nusa Tenggara. *Buletin, Klimatologi, dan Geofisika*, 18-25.
- Gusti, K., & Rian, M. (2021). Studi Seismotektonik Nusa Tenggara Barat Menggunakan Data Gempa Tahun 1922-2021. *AGREGAT*, Vol.6, No.2.
- Gutenberg, B., & Richter, C. (1944). Frequency of earthquakes in California. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 185-188.
- Hanafi, R., Ira Kusuma, D., & Ngatiyo. (2024). Pemetaan Magnitude of Completeness (Mc) Untuk Wilayah Gempa di Wilayah Bengkulu. *JGE (Jurnal Geofisika Eksplorasi)*, 121-138.
- Harlianto, & Farid, M. (2018). Pemetaan B Value Untuk Identifikasi Kerentanan Wilayah Terhadap Gempa Bumi di Sumatera Barat Menggunakan Metode Gutenberg Richter.
- Haryono, E., & Santoso, D. (2012). Analisis Hubungan Frekuensi–Magnitudo Gempabumi di Indonesia. *Jurnal Meteorologi dan Geofisika*, 85-94.
- Hidayati., Trisnawati, Sativa, O., Wallansha, R., & Sakti, A. (2018). *Ulasan Guncangan Tanah Akibat Gempa Lombok Timur*. Lombok: Bidang Seismologi Teknik BMKG.
- Huda, N.a. (2024). *TAFSIR ILMI Telaah Tafsir Ayat-Ayat Kauniah*. Jakarta: IIQ Jakarta Press.
- Ibn Hajar Al-Asqalani, A. A. (2001). *Fath al-Bārī bi Syarh Şaḥīḥ al-Bukhārī*. Riyadh: Dar al-Salam.
- Ibn Kathir, I. U. (1999). *Tafsīr al-Qur'ān al-'Azīm*. Riyadh: Dar Tayyibah
- Iefah Muflihah, P. A. (2025). Ayat-Ayat Tentang Gempa Bumi dalam Al-Qur'an: Analisis Tafsir Ilmi dan Korelasinya dengan Ilmu Seismologi. *Jurnal Pengabdian Masyarakat dan Riset Pendidikan*, 647-655.

- Ina, R., Suhayat, M., & Marzuki. (2023). Analisis a-value dan b-value Sebagai Parameter Seismotektonik Wilayah Nusa Tenggara Barat Periode 1992-2022. *Jurnal Universitas Mataram*.
- Irsyam, M., Widiyantoro, S., Natawidjaja, D. H., Meliano, I., Rudyanto, A., Hidayati, S., & Triyoso, W. (2017). *Peta sumber dan bahaya gempa Indonesia tahun 2017*. Bandung: Badan Penelitian dan Pengembangan.
- 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*, 1-45.
- Munir, R., Nurrahmah, L., Friesky, V., Imran, T., & Haryono, A. (2024). Kajian Nilai B-Value untuk Menganalisis Aktivitas Seismik di Wilayah Pulau Jawa, Bali dan Nusa Tenggara Barat. *Jurnal Geosains Kutai Basin*, 2-7.
- Murtianto, H. (2016). Potensi Kerusakan Gempa Bumi Akibat Pergerakan Patahan Sumatera di Sumatera Barat dan Sekitarnya. *Jurnal Geografi Gea*, <https://ejournal.upi.edu/index.php/gea/article/view/1667/1126>.
- Nugraha, A. D., Widiyantoro, S., & Shiddiqi, H. A. (2020). The 2018 Lombok earthquake sequence: Seismotectonic implications of Flores Back-Arc Thrust activity. *Journal of Asian Earth Sciences*, 196.
- Pasau, G., Lumintang, & Tengkokut. (2015). Analisis Tingkat Seismisitas dan Tingkat Kerapuhan Batuan di Maluku Utara. *Jurnal Ilmiah Sains*, 95-98.
- Pengetahuan, L. P.-Q. (2010). *Tafsir Ilmi: Tumbuhan Bumi Dalam Perspektif Al-Qur'an dan Sains*. Jakarta: Lajnah Pentashihan Mushaf Al-Qur'an.
- Rahmiati, M., Laila, N., Vindhiyah, F., Muh. Imran, T., & Arif, H. (2024). Kajian Nilai B-Value untuk Menganalisis Aktivitas Seismik di Wilayah Pulau Jawa, Bali dan Nusa Tenggara. *Jurnal Geosains Kutai Basin*, 2-7.
- Razhak, A., Norfaridatunnisa, N., & Taufik, W. M. (2025). Tahir Dalam Al-Qur'an (Analisis Komparatif Tafsir Ruh Al-Ma'any Dan Mafatih Al-Ghaib) Pada Surat Al-Mudassir Dan Al-Hajj. *Islamika: Jurnal Ilmu-Ilmu Keislaman*.
- Rohadi, Supriyanto, Grandis, Hendra, & Ratag, M. (2007). Studi Variasi Spatial Seismisitas Zona Subduksi Jawa. *Jurnal Meteorologi dan Geofisika*, Vol.8 No. 1.
- Schorlemmer, D., Wiemer, S., & Wyss, M. (2005). Variations in Earthquake-size Distribution Across Different Stress Regimes. *Nature*, 539-542.
- Shearer, P. M. (2010). *Introduction to Seismology: The wave equation and Body Waves*. San Diego: University of California. .
- Shulgin, A., & et.al. (2009). Sunda-Banda arc transition: incipient continent-island arc collision (northwest Australia). *Geophysics Research Letter*, 36.
- Shi, Y., & Bolt, B. A. (1982). The standard error of the magnitude-frequency b value. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 72(5), 1677–1687.

- Simamora, J., & Namigo, E. (2016). Pemetaan Magnitude of Completeness (Mc) untuk Gempa Sumatera. *Jurnal Fisika Unand*, 176-186.
- Simanjutak, A., & Olymphina, O. (2017). Perbandingan Energi Gempa Bumi Utama dan Susulan (Studi Kasus: Gempa Subduksi Pulau Sumatera dan Jawa). *Jurnal Fisika FLUX*, 14-19.
- Stein, S., & Wyession, M. (2003). *An Introduction to Seismology, Earthquakes and Earth Structure*. Oxford: Blackwell Publishing.
- Sunarjo, Gunawan, M., & Pribadi, S. (2012). *Gempa Bumi Edisi Populer*. Jakarta: Badan Metereologi Klimatologi dan Geofisika.
- USGS. (2016). *Earthquake Glossary stress*.
<http://earthquake.usgs.gov/learn/glossary/?term=stress>.
- Wikipedia. (2026). *Nusa Tenggara Barat*. Jakarta: Wikipedia.
- Woessner, J., & Wiemer, S. (2005). Assessing the quality of earthquake catalogues: Estimating the magnitude of completeness and its uncertainty. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 684-698.

LAMPIRAN

Lampiran 1

```
>> zmap
  catalog: [1×1 struct]
  cross_section: [1×1 struct]
  general: [1×1 struct]
  grid: [1×1 struct]
  mainmap: [1×1 struct]
  result: [1×1 struct]
  sampling: [1×1 struct]
Loaded previous catalog from: C:\Users\lenovo\Downloads\zmap7-
master\zmap7-master\..\my_zmap_files\zmap7\working\lastcatalog.mat
ZmapCatalog "" with 354 events
with properties:
    Name : "
    Type : 'zmapcatalog'
    Date : [ 10-Feb-2010 21:00:45 to 03-Nov-2025 16:58:09 ]
    DateSpan : 5744.8 days
    RefEllipsoid : WGS 84 [Units:kilometer]
    Longitude : [ 115.744 to 119.332 ]
    Latitude : [ -9.114 to -8.0073 ]
    Depth : [ 3.3 to 69.3 ]
    LengthUnit : 'kilometer'
    Magnitude : [ 3.7 to 6.9 ]
    MagnitudeType : 0 categories [ ]
    IsSortedBy : 'Date'
    SortDirection : 'ascend'
This is zmap.m - version 7.1
Loading borders:
    url: {2×1 cell}
    date: '2017-07-10'
    ref: 'Wessel, P., and W. H. F. Smith, A Global Self-consistent,
Hierarchical, High-resolution Shoreline Database, J. Geophys. Res., 101, 8741-
8743, 1996'
    desc: 'borders'
    resolution: 'high'
    reference_ellipsoid: 'wgs84'
Elapsed time is 9.032184 seconds.
Loading coast:
    url: {2×1 cell}
    date: '2017-07-10'
    ref: 'Wessel, P., and W. H. F. Smith, A Global Self-consistent,
Hierarchical, High-resolution Shoreline Database, J. Geophys. Res., 101, 8741-
8743, 1996'
    desc: 'continents'
    resolution: 'high'
    reference_ellipsoid: 'wgs84'
```

Elapsed time is 1.069715 seconds.

Loading European faults:

url: 'http://diss.rm.ingv.it/share-edsf/'

date: '2017-07-10'

ref: 'Basili R., Kastelic V., Demircioglu M. B., Garcia Moreno D., Nemser E. S., Petricca P., Sboras S. P., Besana-Ostman G. M., Cabral J., Camelbeeck T., Caputo R., Danciu L., Domac H., Fonseca J., García-Mayordomo J., Giardini D., Glavatovic B., Gulen L., Ince Y., Pavlides S., Sesetyan K., Tarabusi G., Tiberti M. M., Utkucu M., Valensise G., Vanneste K., Vilanova S., Wössner J. (2013). The European Database of Seismogenic Faults (EDSF) compiled in the framework of the Project SHARE. <http://diss.rm.ingv.it/share-edsf/>, doi: 10.6092/INGV.IT-SHARE-EDSF.'

desc: 'faults traces top'

reference_ellipsoid: 'wgs84'

Loading Lakes:

url: {2×1 cell}

date: '2017-07-10'

ref: 'Wessel, P., and W. H. F. Smith, A Global Self-consistent, Hierarchical, High-resolution Shoreline Database, J. Geophys. Res., 101, 8741-8743, 1996'

desc: 'lakes'

resolution: 'high'

reference_ellipsoid: 'wgs84'

Loading rivers:

url: {2×1 cell}

date: '2017-07-10'

ref: 'Wessel, P., and W. H. F. Smith, A Global Self-consistent, Hierarchical, High-resolution Shoreline Database, J. Geophys. Res., 101, 8741-8743, 1996'

desc: 'Rivers'

resolution: 'high'

reference_ellipsoid: 'wgs84'

```
bdiff2(ZAP, 'mc_method', McMethods.MaxCurvature, 'mc_auto', auto,
'nBstSample', 100, 'useBootstrapping', false, 'doLinearityCheck', false, 'fBinning',
0.1, 'showDiscrete', on, 'ax', <some matlab.graphics.axis.Axes>,
'bFitLineMaxMagCatalogPct', 99.9, 'AutoShowPlots', true, 'InteractiveMode',
false) % called by Zmap : 25-May-2026 09:56:13
```

```
% results in: bdiff2_result
```

```
>> % Pastikan title bar ZMAP tidak ada tulisan '(declust)'
```

```
% Kalau ada → load ulang file catalog original dulu
```

```
% File → Open → pilih file .mat/.csv catalog raw
```

```
% Simpan catalog raw ke variable
```

```
catalog_asli = ZG.primeCatalog;
```

```
fprintf('Raw catalog: %d events\n', catalog_asli.Count)
```

```

% Harusnya lebih dari 354 — kalau sama berarti file bukan raw
Raw catalog: 354 events
Original mainshocks kept
>> % Capture hasil RS
rs_catalog = declustered_catalog;
fprintf('=== HASIL DECLUSTERING REASENBERG ===\n')
fprintf('Event raw      : %d\n', catalog_asli.Count)
fprintf('RS background   : %d\n', rs_catalog.Count)
fprintf('Cluster removed : %d\n', catalog_asli.Count - rs_catalog.Count)
fprintf('Persentase      : %.1f%%\n', ...
    (catalog_asli.Count - rs_catalog.Count)/catalog_asli.Count*100)
=== HASIL DECLUSTERING REASENBERG ===
Event raw      : 354
RS background   : 233
Cluster removed : 121
Persentase      : 34.2%
>> ZG.primeCatalog = rs_catalog;
M_rs = ZG.primeCatalog.Magnitude(:); % paksa jadi column vector
binSize = 0.1;
minMag_rs = floor(min(M_rs)*10)/10;
maxMag_rs = ceil(max(M_rs)*10)/10;

McCandidates_rs = minMag_rs:binSize:maxMag_rs-binSize;
bestMc_rs = minMag_rs; bestMisfit_rs = inf;
best_b_rs = 1.0; best_a_rs = 0.0;
for i = 1:length(McCandidates_rs)
    Mc_c = McCandidates_rs(i);
    M_ab = M_rs(M_rs >= Mc_c);
    if length(M_ab) < 20; continue; end
    b_c = log10(exp(1)) / (mean(M_ab) - Mc_c);
    a_c = log10(length(M_ab)) + b_c * Mc_c;
    bins = (minMag_rs:binSize:maxMag_rs)'; % column
    bc = bins(1:end-1) + binSize/2;
    oF = histc(M_rs, bins); oF = oF(1:end-1);
    pF = zeros(size(bc));
    idx = bc >= Mc_c;
    pF(idx) = 10.^(a_c - b_c*bc(idx)) * binSize;
    if sum(pF(idx)) > 0
        oN = oF/sum(oF); pN = pF/sum(pF);
        mf = sum((oN(idx)-pN(idx)).^2);
        if mf < bestMisfit_rs
            bestMisfit_rs=mf; bestMc_rs=Mc_c;
            best_b_rs=b_c; best_a_rs=a_c;
        end
    end
end
Mc_rs = bestMc_rs;
b_rs = best_b_rs;

```

```

a_rs = best_a_rs;
berr_rs = b_rs / sqrt(sum(M_rs >= Mc_rs));
fprintf('=== HASIL EMR — REASENBERG ===\n')
fprintf('Mc = %.2f\n', Mc_rs)
fprintf('b = %.4f\n', b_rs)
fprintf('b_err = %.4f\n', berr_rs)
fprintf('a = %.4f\n', a_rs)
=== HASIL EMR — REASENBERG ===
Mc = 4.40
b = 1.2591
b_err = 0.1072
a = 7.6799
>> M = M_rs;
Mc = Mc_rs;
b = b_rs;
a = a_rs;
b_err = berr_rs;
M_above = M(M >= Mc);
output_folder = 'C:\Users\lenovo\Downloads\zmap7-master\zmap7-
master\output';
if ~exist(output_folder, 'dir')
    mkdir(output_folder);
end
%% =====
% HITUNG FMD
%% =====
mag_bins = floor(min(M)*10)/10 : 0.1 : ceil(max(M)*10)/10;
N_cum = zeros(size(mag_bins));
N_disc = zeros(size(mag_bins));
for i = 1:length(mag_bins)
    N_cum(i) = sum(M >= mag_bins(i));
    if i < length(mag_bins)
        N_disc(i) = sum(M >= mag_bins(i) & ...
            M < mag_bins(i)+0.1);
    end
end

end
%% =====
% PLOT FMD
%% =====
figure('Name','FMD NTB EMR','Position',[50 50 950 700])
% Data kumulatif
semilogy(mag_bins, N_cum,...
    'ks',...
    'MarkerSize',8,...
    'MarkerFaceColor','w')
hold on
% Data diskrit

```

```

valid = N_disc > 0;
semilogy(mag_bins(valid), N_disc(valid),...
    'k^',...
    'MarkerSize',6,...
    'MarkerFaceColor',[0.5 0.5 0.5])
% Kurva Gutenberg-Richter
M_fit = Mc:0.1:max(M);
N_fit = 10.^(a - b*M_fit);
semilogy(M_fit, N_fit,...
    'r-',...
    'LineWidth',2.5)
% Garis Mc
semilogy([Mc Mc],[1 max(N_cum)],...
    'b--',...
    'LineWidth',2)
%% =====
% LABEL DAN JUDUL
%% =====
xlabel('Magnitude',...
    'FontSize',13,...
    'FontWeight','bold')
ylabel('Cumulative Number',...
    'FontSize',13,...
    'FontWeight','bold')
title({'FMD — EMR Teoritis (Woessner & Wiemer 2005)'; ...
    'Gempa Dangkal NTB — Reasenbergl Declustered 2010–2025'}, ...
    'FontSize',14)
legend('Cumulative events > M(x)',...
    'Discrete',...
    sprintf('G-R Fit EMR (b = %.4f)',b),...
    sprintf('Mc EMR = %.2f',Mc),...
    'Location','northeast',...
    'FontSize',11)
grid on
%% =====
% TEXTBOX HASIL
%% =====
text(5.35, max(N_cum)*0.23,...
    sprintf(['Metode : EMR (Woessner & Wiemer 2005)\n' ...
        'Mc    = %.2f\n' ...
        'b     = %.4f ± %.4f\n' ...
        'a     = %.4f\n' ...
        'Misfit = %.6f\n' ...
        'N     = %d events'], ...
        Mc,...
        b,...
        b_err,...
        a,...

```

```

        bestMisfit_rs,...
        length(M_above)),...
    'FontSize',11,...
    'BackgroundColor','white',...
    'EdgeColor','black')
%% =====
% SIMPAN GAMBAR
%% =====
saveas(gcf,...
    fullfile(output_folder,...
        '1_FMD_NTB_EMR_Reasenbergs.png'))
fprintf('\n')
fprintf('=== HASIL EMR — REASENBERG ===\n')
fprintf('Mc    = %.2f\n', Mc)
fprintf('b     = %.4f\n', b)
fprintf('b_err  = %.4f\n', b_err)
fprintf('a     = %.4f\n', a)
fprintf('Misfit = %.6f\n', bestMisfit_rs)
fprintf('N     = %d\n', length(M_above))
fprintf('FMD berhasil disimpan!\n')>> figure('Name','Peta NTB
EMR','Position',[50 50 1000 750])
scatter(ZG.primeCatalog.Longitude, ZG.primeCatalog.Latitude, ...
    (ZG.primeCatalog.Magnitude-3).^3*8, ZG.primeCatalog.Depth, ...
    'filled', 'MarkerEdgeColor', 'k', 'LineWidth', 0.5)
colormap(jet); caxis([0 60])
cb = colorbar; cb.Label.String = 'Kedalaman (km)'; cb.Label.FontSize = 12;
xlabel('Longitude (E)', 'FontSize', 13, 'FontWeight', 'bold')
ylabel('Latitude (N)', 'FontSize', 13, 'FontWeight', 'bold')
title({'Peta Sebaran Gempa Dangkal NTB'; 'GK Declustered — 2010 s/d 2025'},
'FontSize', 14)
grid on; axis tight
text(min(ZG.primeCatalog.Longitude)+0.05, max(ZG.primeCatalog.Latitude)-
0.05, ...
    sprintf('Metode: EMR\nN=%d, Mc=%.2f, b=%.4f+/-%.4f, a=%.4f', ...
        ZG.primeCatalog.Count, Mc, b, b_err, a), ...
    'FontSize', 11, 'BackgroundColor', 'white', 'EdgeColor', 'black',
    'VerticalAlignment', 'top')
hold on
for mag_ref = [4 5 6 7]
    scatter(NaN, NaN, (mag_ref-3).^3*8, 'k', 'filled', 'DisplayName', sprintf('M%d',
mag_ref))
end
legend('Location', 'southwest', 'FontSize', 10)
saveas(gcf, fullfile(output_folder, '2_Peta_NTB_EMR.png'))
fprintf('Peta sebaran berhasil disimpan!\n')
Peta sebaran berhasil disimpan!
>> figure('Name','Time-Magnitude NTB','Position',[50 50 1000 600])
scatter(ZG.primeCatalog.Date, ZG.primeCatalog.Magnitude, ...

```

```

(ZG.primeCatalog.Magnitude-3).^3*8, ZG.primeCatalog.Magnitude, ...
'filled', 'MarkerEdgeColor', 'k', 'LineWidth', 0.3)
colormap(jet); cb = colorbar; cb.Label.String = 'Magnitude';
hold on
plot([min(ZG.primeCatalog.Date) max(ZG.primeCatalog.Date)], [Mc Mc], 'r--',
'LineWidth', 2)
xlabel('Tahun', 'FontSize', 13, 'FontWeight', 'bold')
ylabel('Magnitude', 'FontSize', 13, 'FontWeight', 'bold')
title({'Time-Magnitude — EMR Teoritis'; 'Gempa Dangkal NTB — GK
Declustered 2010-2025'}, 'FontSize', 14)
legend('Events', sprintf('Mc EMR = %.2f', Mc), 'Location', 'northeast')
grid on
saveas(gcf, fullfile(output_folder, '3_TimeMag_NTB_EMR.png'))
fprintf('Time-Magnitude berhasil disimpan!\n')
Time-Magnitude berhasil disimpan!
>> figure('Name','Time-Depth NTB','Position',[50 50 1000 600])
scatter(ZG.primeCatalog.Date, ZG.primeCatalog.Depth, ...
(ZG.primeCatalog.Magnitude-3).^3*8, ZG.primeCatalog.Depth, ...
'filled', 'MarkerEdgeColor', 'k', 'LineWidth', 0.3)
colormap(jet); cb = colorbar; cb.Label.String = 'Kedalaman (km)';
xlabel('Tahun', 'FontSize', 13, 'FontWeight', 'bold')
ylabel('Kedalaman (km)', 'FontSize', 13, 'FontWeight', 'bold')
title({'Time-Depth — EMR Teoritis'; 'Gempa Dangkal NTB — GK Declustered
2010-2025'}, 'FontSize', 14)
set(gca, 'YDir', 'reverse'); grid on
saveas(gcf, fullfile(output_folder, '4_TimeDepth_NTB_EMR.png'))
fprintf('Time-Depth berhasil disimpan!\n')
Time-Depth berhasil disimpan!
>> % Definisi periode 5 tahunan
periods_5yr = {
    datetime(2010,1,1), datetime(2014,12,31), '2010-2014';
    datetime(2015,1,1), datetime(2019,12,31), '2015-2019';
    datetime(2020,1,1), datetime(2025,12,31), '2020-2025'
};
% Atau definisi periode 3 tahunan
periods_3yr = {
    datetime(2010,1,1), datetime(2012,12,31), '2010-2012';
    datetime(2013,1,1), datetime(2015,12,31), '2013-2015';
    datetime(2016,1,1), datetime(2018,12,31), '2016-2018';
    datetime(2019,1,1), datetime(2021,12,31), '2019-2021';
    datetime(2022,1,1), datetime(2025,12,31), '2022-2025'
};
% Pilih salah satu: periods_5yr atau periods_3yr
periods = periods_5yr; % ganti ke periods_3yr jika ingin per 3 tahun
>> % Inisialisasi array hasil
n_periods = size(periods, 1);
Mc_temporal = zeros(n_periods, 1);
b_temporal = zeros(n_periods, 1);

```

```

a_temporal = zeros(n_periods, 1);
berr_temporal = zeros(n_periods, 1);
n_temporal = zeros(n_periods, 1);
period_labels = {};
for p = 1:n_periods
    t_start = periods{p,1};
    t_end = periods{p,2};
    label = periods{p,3};
    period_labels{p} = label;
    % Filter catalog per periode
    idx_t = ZG.primeCatalog.Date >= t_start & ZG.primeCatalog.Date <= t_end;
    M_p = ZG.primeCatalog.Magnitude(idx_t);
    fprintf('\n--- Periode: %s | N = %d event ---\n', label, length(M_p))
    if length(M_p) < 20
        fprintf('Data terlalu sedikit untuk analisis EMR\n')
        Mc_temporal(p) = NaN; b_temporal(p) = NaN;
        a_temporal(p) = NaN; berr_temporal(p) = NaN;
        n_temporal(p) = length(M_p);
        continue
    end
    % Implementasi EMR Teoritis per periode
    minMag_p = floor(min(M_p));
    maxMag_p = ceil(max(M_p));
    binSize = 0.1;
    magBins_p = minMag_p:binSize:maxMag_p;
    binCenters_p = magBins_p(1:end-1) + binSize/2;
    obsFreq_p = zeros(length(binCenters_p), 1);
    for i = 1:length(binCenters_p)
        obsFreq_p(i) = sum(M_p >= binCenters_p(i)-binSize/2 & M_p <
binCenters_p(i)+binSize/2);
    end
    McCandidates_p = minMag_p:binSize:maxMag_p-binSize;
    bestMc_p = minMag_p; bestMisfit_p = inf;
    best_b_p = 1.0; best_a_p = 0.0;
    for i = 1:length(McCandidates_p)
        Mc_c = McCandidates_p(i);
        M_ab = M_p(M_p >= Mc_c);
        if length(M_ab) < 20; continue; end
        b_c = log10(exp(1)) / (mean(M_ab) - Mc_c);
        a_c = log10(length(M_ab)) + b_c * Mc_c;
        predFreq_p = zeros(length(binCenters_p), 1);
        for j = 1:length(binCenters_p)
            if binCenters_p(j) >= Mc_c
                predFreq_p(j) = 10^(a_c - b_c * binCenters_p(j)) * binSize;
            end
        end
        idx_ab = binCenters_p >= Mc_c;
        if sum(predFreq_p(idx_ab)) > 0

```

```

    obs_n = obsFreq_p / sum(obsFreq_p);
    pred_n = predFreq_p / sum(predFreq_p);
    mf = sum((obs_n(idx_ab) - pred_n(idx_ab)).^2);
    if mf < bestMisfit_p
        bestMisfit_p = mf; bestMc_p = Mc_c;
        best_b_p = b_c; best_a_p = a_c;
    end
end
end
M_above_p = M_p(M_p >= bestMc_p);
Mc_temporal(p) = bestMc_p;
b_temporal(p) = log10(exp(1)) / (mean(M_above_p) - bestMc_p);
a_temporal(p) = log10(length(M_above_p)) + b_temporal(p) * bestMc_p;
berr_temporal(p) = b_temporal(p) / sqrt(length(M_above_p));
n_temporal(p) = length(M_above_p);
fprintf('Mc = %.2f | b = %.4f +/- %.4f | a = %.4f\n', ...
    Mc_temporal(p), b_temporal(p), berr_temporal(p), a_temporal(p))
end
--- Periode: 2010-2014 | N = 43 event ---
Mc = 4.20 | b = 1.2796 +/- 0.2228 | a = 6.8929
--- Periode: 2015-2019 | N = 110 event ---
Mc = 4.10 | b = 0.8586 +/- 0.0846 | a = 5.5330

--- Periode: 2020-2025 | N = 80 event ---
Mc = 4.20 | b = 1.3177 +/- 0.1564 | a = 7.3857
>> fprintf('\n=====\\n')
fprintf('  HASIL ANALISIS TEMPORAL EMR — NTB    \\n')
fprintf('=====\\n')
fprintf('%-12s %5s %6s %8s %8s\\n', 'Periode', 'N', 'Mc', 'b-value', 'a-value')
fprintf('-----\\n')
for p = 1:n_periods
    if isnan(Mc_temporal(p))
        fprintf('%-12s %5d  Data tidak cukup (<20 event)\\n', ...
            period_labels{p}, n_temporal(p))
    else
        fprintf('%-12s %5d %6.2f %8.4f %8.4f\\n', ...
            period_labels{p}, n_temporal(p), Mc_temporal(p), ...
            b_temporal(p), a_temporal(p))
    end
end
end
fprintf('=====\\n')

=====
HASIL ANALISIS TEMPORAL EMR — NTB
=====
Periode      N   Mc b-value a-value
-----
2010-2014    33  4.20 1.2796 6.8929

```

```

2015-2019    103  4.10  0.8586  5.5330
2020-2025    71  4.20  1.3177  7.3857
=====
>> % Warna untuk setiap periode
colors = {'b', 'r', 'g', 'm', 'k'};
figure('Name','FMD per Periode NTB','Position',[50 50 1100 750])
for p = 1:n_periods
    if isnan(Mc_temporal(p)); continue; end
    t_start = periods{p,1};
    t_end   = periods{p,2};
    idx_t = ZG.primeCatalog.Date >= t_start & ZG.primeCatalog.Date <= t_end;
    M_p = ZG.primeCatalog.Magnitude(idx_t);
    % Hitung kumulatif
    mag_bins_p = floor(min(M_p)*10)/10 : 0.1 : ceil(max(M_p)*10)/10;
    N_cum_p = zeros(size(mag_bins_p));
    for i = 1:length(mag_bins_p)
        N_cum_p(i) = sum(M_p >= mag_bins_p(i));
    end
    % Plot data observasi
    semilogy(mag_bins_p, N_cum_p, 's', 'Color', colors{p}, ...
        'MarkerSize', 6, 'MarkerFaceColor', 'w', ...
        'DisplayName', sprintf('%s (N=%d)', period_labels{p}, length(M_p)))
    hold on
    % Plot G-R fit
    M_fit_p = Mc_temporal(p):0.1:max(M_p);
    N_fit_p = 10.^(a_temporal(p) - b_temporal(p)*M_fit_p);
    semilogy(M_fit_p, N_fit_p, '-', 'Color', colors{p}, 'LineWidth', 2)
end
xlabel('Magnitude', 'FontSize', 13, 'FontWeight', 'bold')
ylabel('Cumulative Number', 'FontSize', 13, 'FontWeight', 'bold')
title({'FMD per Periode — EMR Teoritis (Woessner & Wiemer 2005); ...
    'Gempa Dangkal NTB — GK Declustered'}, 'FontSize', 14)
legend('Location', 'northeast', 'FontSize', 10)
grid on
saveas(gcf, fullfile(output_folder, '6_FMD_per_Periode.png'))
fprintf('FMD per periode berhasil disimpan!\n')
FMD per periode berhasil disimpan!
>> % Ambil hanya periode yang valid (tidak NaN)
valid_p = ~isnan(b_temporal);
x_pos = 1:n_periods;
figure('Name','Variasi b-value Temporal NTB','Position',[50 50 1000 600])
% Plot b-value dengan error bar
errorbar(x_pos(valid_p), b_temporal(valid_p), berr_temporal(valid_p), ...
    'ko-', 'MarkerSize', 10, 'MarkerFaceColor', 'b', ...
    'LineWidth', 2, 'CapSize', 8)
hold on
% Garis referensi b-value keseluruhan
plot([0.5 n_periods+0.5], [b b], 'r--', 'LineWidth', 1.5, ...

```

```

'DisplayName', sprintf('b-value keseluruhan = %.4f', b))
% Garis b=1.0 sebagai referensi normal
plot([0.5 n_periods+0.5], [1.0 1.0], 'g:', 'LineWidth', 1.5, ...
'DisplayName', 'b = 1.0 (referensi normal)')
% Label sumbu x dengan nama periode
set(gca, 'XTick', x_pos, 'XTickLabel', period_labels, 'FontSize', 11)
xlabel('Periode', 'FontSize', 13, 'FontWeight', 'bold')
ylabel('b-value', 'FontSize', 13, 'FontWeight', 'bold')
title({'Variasi b-value per Periode — EMR Teoritis'; ...
'Gempa Dangkal NTB — GK Declustered'}, 'FontSize', 14)
legend('b-value per periode', sprintf('b-value overall = %.4f', b), ...
'b = 1.0 (normal)', 'Location', 'best', 'FontSize', 10)
grid on
ylim([0.5 1.8])
saveas(gcf, fullfile(output_folder, '7_Variasi_bvalue_Temporal.png'))
fprintf('Variasi b-value temporal berhasil disimpan!\n')
Variasi b-value temporal berhasil disimpan!
>> figure('Name','Variasi Mc & a-value Temporal NTB','Position',[50 50 1100
800])

% Subplot 1: Variasi Mc
subplot(2,1,1)
plot(x_pos(valid_p), Mc_temporal(valid_p), 'rs-', ...
'MarkerSize', 10, 'MarkerFaceColor', 'r', 'LineWidth', 2)
hold on
plot([0.5 n_periods+0.5], [Mc Mc], 'r--', 'LineWidth', 1.5)
set(gca, 'XTick', x_pos, 'XTickLabel', period_labels, 'FontSize', 10)
ylabel('Mc', 'FontSize', 12, 'FontWeight', 'bold')
title('Variasi Mc per Periode — EMR Teoritis', 'FontSize', 13)
grid on
legend('Mc per periode', sprintf('Mc overall = %.2f', Mc), 'Location', 'best')
% Subplot 2: Variasi a-value
subplot(2,1,2)
plot(x_pos(valid_p), a_temporal(valid_p), 'bs-', ...
'MarkerSize', 10, 'MarkerFaceColor', 'b', 'LineWidth', 2)
hold on
plot([0.5 n_periods+0.5], [a a], 'b--', 'LineWidth', 1.5)
set(gca, 'XTick', x_pos, 'XTickLabel', period_labels, 'FontSize', 10)
ylabel('a-value', 'FontSize', 12, 'FontWeight', 'bold')
xlabel('Periode', 'FontSize', 12, 'FontWeight', 'bold')
title('Variasi a-value per Periode — EMR Teoritis', 'FontSize', 13)
grid on
legend('a-value per periode', sprintf('a-value overall = %.4f', a), 'Location', 'best')
saveas(gcf, fullfile(output_folder, '8_Variasi_Mc_avalue_Temporal.png'))
fprintf('Variasi Mc & a-value temporal berhasil disimpan!\n')
Variasi Mc & a-value temporal berhasil disimpan!
>> temporal_file = fullfile(output_folder, 'Hasil_Analisis_Temporal_NTB.txt');
fid = fopen(temporal_file, 'w');
```

```

fprintf(fid, '=====\n');
fprintf(fid, '  HASIL ANALISIS TEMPORAL EMR — NTB    \n');
fprintf(fid, '  Referensi: Woessner & Wiemer (2005)    \n');
fprintf(fid, '=====\n');
fprintf(fid, 'Metode      : EMR Teoritis\n');
fprintf(fid, 'Declustering : Gardner & Knopoff 1974\n');
fprintf(fid, '-----\n');
fprintf(fid, '%-12s %5s %6s %8s %8s\n', 'Periode', 'N', 'Mc', 'b-value', 'a-value');
fprintf(fid, '-----\n');
for p = 1:n_periods
    if isnan(Mc_temporal(p))
        fprintf(fid, '%-12s %5d  Data tidak cukup\n', period_labels{p},
n_temporal(p));
    else
        fprintf(fid, '%-12s %5d %6.2f %8.4f %8.4f\n', ...
            period_labels{p}, n_temporal(p), Mc_temporal(p), ...
            b_temporal(p), a_temporal(p));
    end
end
fprintf(fid, '=====\n');
fclose(fid);
fprintf('Hasil temporal berhasil disimpan!\n')
Hasil temporal berhasil disimpan!
>> ZG.primeCatalog = rs_catalog;
fprintf('Catalog RS: %d events\n', ZG.primeCatalog.Count)
Catalog RS: 233 events
>> % Definisi periode — pilih salah satu
periods_5yr_rs = {datetime(2010,1,1), datetime(2014,12,31), '2010-2014'; ...
    datetime(2015,1,1), datetime(2019,12,31), '2015-2019'; ...
    datetime(2020,1,1), datetime(2025,12,31), '2020-2025'};
periods_3yr_rs = {datetime(2010,1,1), datetime(2012,12,31), '2010-2012'; ...
    datetime(2013,1,1), datetime(2015,12,31), '2013-2015'; ...
    datetime(2016,1,1), datetime(2018,12,31), '2016-2018'; ...
    datetime(2019,1,1), datetime(2021,12,31), '2019-2021'; ...
    datetime(2022,1,1), datetime(2025,12,31), '2022-2025'};
periods_rs = periods_5yr_rs; % ganti ke periods_3yr_rs jika ingin per 3 tahun
n_periods_rs = size(periods_rs, 1);
period_labels_rs = periods_rs(:,3);
>> Mc_temporal_rs = zeros(n_periods_rs, 1);
b_temporal_rs = zeros(n_periods_rs, 1);
a_temporal_rs = zeros(n_periods_rs, 1);
berr_temporal_rs = zeros(n_periods_rs, 1);
n_temporal_rs = zeros(n_periods_rs, 1);
for p = 1:n_periods_rs
    t_start_rs = periods_rs{p,1};
    t_end_rs = periods_rs{p,2};
    % Gunakan operator >= dan <= yang benar (bukan >=)

```

```

    idx_t_rs = ZG.primeCatalog.Date >= t_start_rs & ZG.primeCatalog.Date <=
t_end_rs;
    M_p_rs = ZG.primeCatalog.Magnitude(idx_t_rs);
    n_temporal_rs(p) = length(M_p_rs);
    fprintf('RS Periode %s: %d events\n', period_labels_rs{p}, length(M_p_rs))
    if length(M_p_rs) < 20
        fprintf(' Data terlalu sedikit untuk EMR\n')
        Mc_temporal_rs(p) = NaN; b_temporal_rs(p) = NaN;
        a_temporal_rs(p) = NaN; berr_temporal_rs(p) = NaN;
        continue
    end
    minMag_p_rs = floor(min(M_p_rs)*10)/10;
    maxMag_p_rs = ceil(max(M_p_rs)*10)/10;
    bS_rs = 0.1;
    bC_rs = minMag_p_rs:bS_rs:maxMag_p_rs-bS_rs;
    % Hitung frekuensi observasi
    oF_rs = zeros(length(bC_rs),1);
    for i = 1:length(bC_rs)
        oF_rs(i) = sum(M_p_rs >= bC_rs(i)-bS_rs/2 & M_p_rs < bC_rs(i)+bS_rs/2);
    end
    bestMc_p_rs = minMag_p_rs; bestMf_rs = inf;
    best_b_p_rs = 1.0; best_a_p_rs = 0.0;
    for i = 1:length(bC_rs)
        Mc_c_rs = bC_rs(i);
        M_ab_rs = M_p_rs(M_p_rs >= Mc_c_rs);
        if length(M_ab_rs) < 15; continue; end
        b_c_rs = log10(exp(1)) / (mean(M_ab_rs) - Mc_c_rs);
        a_c_rs = log10(length(M_ab_rs)) + b_c_rs * Mc_c_rs;
        pF_rs = zeros(length(bC_rs),1);
        for j = 1:length(bC_rs)
            if bC_rs(j) >= Mc_c_rs
                pF_rs(j) = 10^(a_c_rs - b_c_rs*bC_rs(j)) * bS_rs;
            end
        end
        idx_rs2 = bC_rs >= Mc_c_rs;
        if sum(pF_rs(idx_rs2)) > 0
            oN = oF_rs / sum(oF_rs);
            pN = pF_rs / sum(pF_rs);
            mf2 = sum((oN(idx_rs2) - pN(idx_rs2)).^2);
            if mf2 < bestMf_rs
                bestMf_rs = mf2; bestMc_p_rs = Mc_c_rs;
                best_b_p_rs = b_c_rs; best_a_p_rs = a_c_rs;
            end
        end
    end
    end
    Mc_temporal_rs(p) = bestMc_p_rs;
    % Hitung ulang b dengan Mc terpilih
    M_above_p = M_p_rs(M_p_rs >= bestMc_p_rs);

```

```

    b_temporal_rs(p) = log10(exp(1)) / (mean(M_above_p) - bestMc_p_rs);
    a_temporal_rs(p) = log10(length(M_above_p)) + b_temporal_rs(p) *
bestMc_p_rs;
    berr_temporal_rs(p) = b_temporal_rs(p) / sqrt(length(M_above_p));
    fprintf(' RS Mc=%.2f b=%.4f a=%.4f\n', Mc_temporal_rs(p),
b_temporal_rs(p), a_temporal_rs(p))
end
RS Periode 2010-2014: 43 events
RS Mc=4.10 b=0.9884 a=5.5709
RS Periode 2015-2019: 110 events
RS Mc=4.10 b=0.7502 a=5.0301
RS Periode 2020-2025: 80 events
RS Mc=4.20 b=1.3177 a=7.3857
>> colors_rs = {'b', 'r', 'g', 'm', 'k'};
figure('Name','FMD per Periode RS NTB','Position',[100 100 1100 750])

for p = 1:n_periods_rs
    if isnan(Mc_temporal_rs(p)); continue; end
    t_s = periods_rs{p,1};
    t_e = periods_rs{p,2};
    % Perbaiki operator: gunakan >= dan <= (bukan >= atau <=)
    idx_t2 = ZG.primeCatalog.Date >= t_s & ZG.primeCatalog.Date <= t_e;
    M_p2 = ZG.primeCatalog.Magnitude(idx_t2);
    mb2 = floor(min(M_p2)*10)/10 : 0.1 : ceil(max(M_p2)*10)/10;
    Nc2 = zeros(size(mb2));
    for i = 1:length(mb2)
        Nc2(i) = sum(M_p2 >= mb2(i));
    end
    semilogy(mb2, Nc2, 's', 'Color', colors_rs{p}, 'MarkerSize', 6, ...
'MarkerFaceColor', 'w', ...
'DisplayName', sprintf('%s (N=%d)', period_labels_rs{p}, length(M_p2)))
    hold on
    M_fit2 = Mc_temporal_rs(p):0.1:max(M_p2);
    N_fit2 = 10.^(a_temporal_rs(p) - b_temporal_rs(p)*M_fit2);
    semilogy(M_fit2, N_fit2, '-', 'Color', colors_rs{p}, 'LineWidth', 2)
end
xlabel('Magnitude', 'FontSize', 13, 'FontWeight', 'bold')
ylabel('Cumulative Number', 'FontSize', 13, 'FontWeight', 'bold')
title({'FMD per Periode — EMR Teoritis (Woessner & Wiemer 2005); ...
'Gempa Dangkal NTB — Reasenber Declustered'}, 'FontSize', 14)
legend('Location', 'northeast', 'FontSize', 10)
grid on
% Pastikan output_folder sudah didefinisikan
if ~exist('output_folder','var')
    output_folder = 'C:\Users\OMEN\Downloads\zmap\zmap7-master\output';
    if ~exist(output_folder,'dir'), mkdir(output_folder); end
end
saveas(gcf, fullfile(output_folder, '9_FMD_per_Periode_RS.png'))

```

```

fprintf('FMD RS per periode berhasil disimpan!\n')
FMD RS per periode berhasil disimpan!
>> valid_rs = ~isnan(b_temporal_rs);
x_pos_rs = 1:n_periods_rs;
figure('Name','Variasi b-value Temporal RS NTB','Position',[100 100 1000 600])
errorbar(x_pos_rs(valid_rs), b_temporal_rs(valid_rs), berr_temporal_rs(valid_rs),
...
    'ko-', 'MarkerSize', 10, 'MarkerFaceColor', [0.5 0 0.8], ...
    'LineWidth', 2, 'CapSize', 8)
hold on
plot([0.5 n_periods_rs+0.5], [b_rs b_rs], 'm--', 'LineWidth', 1.5, ...
    'DisplayName', sprintf('b-value RS keseluruhan = %.4f', b_rs))
plot([0.5 n_periods_rs+0.5], [1.0 1.0], 'g:', 'LineWidth', 1.5, ...
    'DisplayName', 'b = 1.0 (referensi normal)')
set(gca, 'XTick', x_pos_rs, 'XTickLabel', period_labels_rs, 'FontSize', 11)
xlabel('Periode', 'FontSize', 13, 'FontWeight', 'bold')
ylabel('b-value', 'FontSize', 13, 'FontWeight', 'bold')
title({'Variasi b-value per Periode — EMR Teoritis'; ...
    'Gempa Dangkal NTB — Reasenbergl Declustered'}, 'FontSize', 14)
legend('b-value RS per periode', ...
    sprintf('b-value RS overall = %.4f', b_rs), ...
    'b = 1.0 (normal)', 'Location', 'best', 'FontSize', 10)
grid on; ylim([0.5 1.8])
saveas(gcf, fullfile(output_folder, '10_Variasi_bvalue_Temporal_RS.png'))
fprintf('Variasi b-value RS temporal berhasil disimpan!\n')
Variasi b-value RS temporal berhasil disimpan!
>> figure('Name','Variasi Mc & a-value Temporal RS NTB','Position',[100 100
1100 800])
subplot(2,1,1)
plot(x_pos_rs(valid_rs), Mc_temporal_rs(valid_rs), 'ms-', ...
    'MarkerSize', 10, 'MarkerFaceColor', 'm', 'LineWidth', 2)
hold on
plot([0.5 n_periods_rs+0.5], [Mc_rs Mc_rs], 'm--', 'LineWidth', 1.5)
set(gca, 'XTick', x_pos_rs, 'XTickLabel', period_labels_rs, 'FontSize', 10)
ylabel('Mc', 'FontSize', 12, 'FontWeight', 'bold')
title('Variasi Mc per Periode — RS Declustered', 'FontSize', 13)
legend('Mc RS per periode', sprintf('Mc RS overall = %.2f', Mc_rs), 'Location',
'best')
grid on
subplot(2,1,2)
plot(x_pos_rs(valid_rs), a_temporal_rs(valid_rs), 'cs-', ...
    'MarkerSize', 10, 'MarkerFaceColor', 'c', 'LineWidth', 2)
hold on
plot([0.5 n_periods_rs+0.5], [a_rs a_rs], 'c--', 'LineWidth', 1.5)
set(gca, 'XTick', x_pos_rs, 'XTickLabel', period_labels_rs, 'FontSize', 10)
ylabel('a-value', 'FontSize', 12, 'FontWeight', 'bold')
xlabel('Periode', 'FontSize', 12, 'FontWeight', 'bold')
title('Variasi a-value per Periode — RS Declustered', 'FontSize', 13)

```

```

legend('a-value RS per periode', ...
    sprintf('a-value RS overall = %.4f', a_rs), 'Location', 'best')
grid on
saveas(gcf, fullfile(output_folder, '11_Variasi_Mc_avalue_Temporal_RS.png'))
fprintf('Variasi Mc & a-value RS temporal berhasil disimpan!\n')
Variasi Mc & a-value RS temporal berhasil disimpan!
>> temporal_file_rs = fullfile(output_folder,
'Hasil_Analisis_Temporal_RS_NTB.txt');
fid_rs = fopen(temporal_file_rs, 'w');
fprintf(fid_rs, '=====\n');
fprintf(fid_rs, '  HASIL ANALISIS TEMPORAL EMR --- NTB \n');
fprintf(fid_rs, '  Referensi: Woessner & Wiemer (2005) \n');
fprintf(fid_rs, '=====\n');
fprintf(fid_rs, 'Metode      : EMR Teoritis\n');
fprintf(fid_rs, 'Declustering : Reasenber 1985\n');
fprintf(fid_rs, '-----\n');
fprintf(fid_rs, '%-12s %5s %6s %8s %8s\n', 'Periode', 'N', 'Mc', 'b-value', 'a-value');
fprintf(fid_rs, '-----\n');
for p = 1:n_periods_rs
    if isnan(Mc_temporal_rs(p))
        fprintf(fid_rs, '%-12s %5d  Data tidak cukup\n', period_labels_rs{p},
n_temporal_rs(p));
    else
        fprintf(fid_rs, '%-12s %5d %6.2f %8.4f %8.4f\n', ...
            period_labels_rs{p}, n_temporal_rs(p), Mc_temporal_rs(p), ...
            b_temporal_rs(p), a_temporal_rs(p));
    end
end
fprintf(fid_rs, '=====\n');
fclose(fid_rs);
fprintf('Hasil temporal RS berhasil disimpan!\n')
>> temporal_file_rs = fullfile(output_folder,
'Hasil_Analisis_Temporal_RS_NTB.txt');
fid_rs = fopen(temporal_file_rs, 'w');

fprintf(fid_rs, '=====\n');
fprintf(fid_rs, '  HASIL ANALISIS TEMPORAL EMR --- NTB \n');
fprintf(fid_rs, '  Referensi: Woessner & Wiemer (2005) \n');
fprintf(fid_rs, '=====\n');
fprintf(fid_rs, 'Metode      : EMR Teoritis\n');
fprintf(fid_rs, 'Declustering : Reasenber 1985\n');
fprintf(fid_rs, 'Katalog      : rs_catalog (%d events)\n', rs_catalog.Count);
fprintf(fid_rs, '-----\n');
fprintf(fid_rs, '%-12s %5s %6s %8s %8s\n', 'Periode', 'N', 'Mc', 'b-value', 'a-
value');
fprintf(fid_rs, '-----\n');
for p = 1:n_periods_rs
    if isnan(Mc_temporal_rs(p))

```

```

        fprintf(fid_rs, '%-12s %5d Data tidak cukup\n', period_labels_rs{p},
n_temporal_rs(p));
    else
        fprintf(fid_rs, '%-12s %5d %6.2f %8.4f %8.4f\n', ...
            period_labels_rs{p}, n_temporal_rs(p), Mc_temporal_rs(p), ...
            b_temporal_rs(p), a_temporal_rs(p));
    end
end
fprintf(fid_rs, '=====\n');
fclose(fid_rs);
fprintf('Hasil temporal RS berhasil disimpan di:\n%s\n', temporal_file_rs);
Hasil temporal RS berhasil disimpan di:
C:\Users\lenovo\Downloads\zmap7-master\zmap7-
master\output\Hasil_Analisis_Temporal_RS_NTB.txt
[End]

```

10:23 AM

Sistem Informasi Akademik Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang 2.0



KEMENTERIAN AGAMA
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM MALANG
Jalan Gajayana Nomor 50, Telepon (0341)551354, Fax (0341) 572533
Website: <http://www.uin-malang.ac.id> Email: info@uin-malang.ac.id

JURNAL BIMBINGAN SKRIPSI/TESIS/DISERTASI

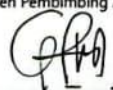
IDENTITAS MAHASISWA

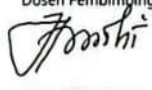
NIM : 220604110022
Nama : NURUL WIJAYANTI
Fakultas : SAINS DAN TEKNOLOGI
Jurusan : FISIKA
Dosen Pembimbing 1 : AHMAD LUTHFIN, M.Si
Dosen Pembimbing 2 : Dr. ERNA HASTUTI, M.Si
Judul Skripsi/Tesis/Disertasi : ESTIMASI MAGNITUDE OF COMPLETENESS (MC), A-VALUE, DAN B VALUE UNTUK MENILAI DINAMIKA SEISMOTEKTONIK GEMPA DANGKAL DI WILAYAH NUSA TENGGARA BARAT MENGGUNAKAN METODE ENTIRE MAGNITUDE RANGE (EMR)

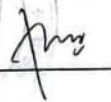
IDENTITAS BIMBINGAN

No	Tanggal Bimbingan	Nama Pembimbing	Deskripsi Proses Bimbingan	Tahun Akademik	Status
1	22 Oktober 2025	AHMAD LUTHFIN, M.Si	Konsultasi judul dan outline	Ganjil 2025/2026	Sudah Dikoreksi
2	04 November 2025	AHMAD LUTHFIN, M.Si	Konsultasi penyusunan bab 1	Ganjil 2025/2026	Sudah Dikoreksi
3	08 Desember 2025	AHMAD LUTHFIN, M.Si	Konsultasi penyusunan bab 2	Ganjil 2025/2026	Sudah Dikoreksi
4	15 Januari 2026	AHMAD LUTHFIN, M.Si	Konsultasi online penyusunan bab 3	Genap 2025/2026	Sudah Dikoreksi
5	23 Januari 2026	AHMAD LUTHFIN, M.Si	Konsultasi bab 1, 2, dan 3	Genap 2025/2026	Sudah Dikoreksi
6	28 Januari 2026	AHMAD LUTHFIN, M.Si	ACC Proposal	Genap 2025/2026	Sudah Dikoreksi
7	02 Juni 2026	AHMAD LUTHFIN, M.Si	Konsultasi hasil pengolahan data	Genap 2025/2026	Sudah Dikoreksi
8	08 Juni 2026	AHMAD LUTHFIN, M.Si	ACC bab 4, dan 5	Genap 2025/2026	Sudah Dikoreksi
9	10 Juni 2026	Dr. ERNA HASTUTI, M.Si	Konsultasi integrasi ayat-ayat Al-Qur'an	Genap 2025/2026	Sudah Dikoreksi
10	15 Juni 2026	Dr. ERNA HASTUTI, M.Si	Konsultasi revisi ayat-ayat Al-Qur'an	Genap 2025/2026	Sudah Dikoreksi

Telah disetujui
Untuk mengajukan ujian Skripsi/Tesis/Desertasi

Dosen Pembimbing 2

Dr. ERNA HASTUTI, M.Si

Malang, 15 Juni 2026
Dosen Pembimbing 1

AHMAD LUTHFIN, M.Si

Kajur / Kaprodi,


Phased_uin-malang.ac.id/2_Dikd-PrintJurnalBimbingan/TA-83ee6f0d97375274e9e3303e9b7751766c07a08a531648b056d7e4756c26e8

Dipindai dengan CamScanner

1/1

