



Analisis Variasi Spasial a - dan b -Value Sebagai Indikator Kegempaan di Wilayah Nusa Tenggara bagian Timur

Putri Amindar Rahmadani^{1*}, Risky Martin Antosia², Anas Fauzi Masykuri³, Putu Pradnya Andika⁴

^{1,2,4} Program Studi Teknik Geofisika, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sumatera, Lampung, Indonesia

³ Pusat Gempabumi Regional VII / BMKG Yogyakarta, Sleman, Indonesia

DOI: <https://doi.org/10.29303/geoscienceed.v6i4.1382>

Article Info

Received: 31 Agustus 2025

Revised: 30 September 2025

Accepted: 19 Oktober 2025

Correspondence:

putri.121120128@student.itera.ac.id

Abstract: Eastern Nusa Tenggara, encompassing Timor, Flores, Alor, and Kupang City, lies along the active collision zone between the Indo-Australian and Eurasian plates, making the region highly susceptible to earthquakes. This study analyzes the spatial variation of a -value and b -value based on the earthquake catalog from 1998–2023 using ZMAP v.6.0 software. The frequency–magnitude distribution (FMD) curve indicates an inverse relationship between earthquake frequency and magnitude. Spatially, relatively high b -values are observed in eastern Flores to Alor, indicating frequent seismic activity with low released energy, while the variation of a -value reflects the level of seismicity, ranging from 5.0–6.0, with b -values between 0.8–1.1. These findings provide valuable insights for disaster mitigation, infrastructure planning, and enhancing community preparedness in Eastern Nusa Tenggara, including Kupang City.

Keywords: Eastern Nusa Tenggara, Earthquake, Seismotectonics, a -value, b -value, ZMAP

Citation: Rahmadani, P. A., Antosia, R. M., Masykuri, A. F., & Andika, P. P. (2025). Analisis Variasi Spasial a - dan b -Value Sebagai Indikator Kegempaan di Wilayah Nusa Tenggara bagian Timur. *Jurnal Pendidikan Sains, Geologi, dan Geofisika (GeoScienceEd)*, 6(4), 1712-1717. doi: <https://doi.org/10.29303/geoscienceed.v6i4.1382>

Introduction

Indonesia merupakan salah satu wilayah dengan tingkat kerawanan gempa sekaligus aktivitas seismik tertinggi di dunia (Amalia et al., 2021; Barakbah et al., 2019; Gunawan et al., 2020; Muttaqy et al., 2023; Suhada et al., 2023). Hal ini disebabkan posisi Indonesia yang berada pada pertemuan tiga lempeng utama, yaitu Lempeng Indo-Australia, Eurasia, dan Pasifik (Rahardiawan & Purwanto, 2018). Salah satu kawasan dengan aktivitas tektonik tinggi adalah Nusa Tenggara Timur (NTT), termasuk Kota Kupang sebagai ibu kota provinsi yang terletak di pesisir Teluk Kupang, bagian barat laut Pulau Timor (Ernandi & Madlazim, 2020).

Secara tektonik, NTT berada pada zona subduksi aktif akibat tumbukan Lempeng Indo-Australia dengan

Lempeng Eurasia (Rahardiawan & Purwanto, 2018). Aktivitas tektonik ini menjadikan wilayah tersebut rentan terhadap bencana seismik. Pergerakan lempeng yang saling menunjam, menyebar, maupun mendeformasi dapat menghasilkan akumulasi tegangan di batuan yang pada akhirnya dilepaskan dalam bentuk gempa bumi (Aslamia & Supardi, 2022). Untuk memahami potensi bahaya kegempaan, analisis seismotektonik dengan menggunakan parameter a -value dan b -value menjadi penting. Parameter b -value merepresentasikan tingkat kerapuhan atau *stress* batuan, sedangkan a -value menggambarkan tingkat seismisitas suatu wilayah. Keduanya diturunkan dari persamaan Gutenberg-Richter yang menunjukkan hubungan logaritmik antara frekuensi kejadian dan

Email: putri.121120128@student.itera.ac.id

magnitudo gempa (Godano et al., 2014; Risanti & Prastowo, 2021; Shohaya et al., 2013). Variasi spasial *a-value* dan *b-value* dapat memberikan informasi mengenai pola aktivitas seismik serta potensi bahaya gempa di wilayah NTT, termasuk Kupang dan sekitarnya.

Dalam penelitian ini digunakan perangkat lunak ZMAP v.6.0 (Wiemer, 2001) yang memungkinkan analisis data gempa bumi secara spasial (Aslamia & Supardi, 2022; Ernandi & Madlazim, 2020) Melalui pemetaan variasi spasial *a-value* dan *b-value*, diharapkan diperoleh gambaran yang lebih komprehensif mengenai potensi kegempaan di NTT. Informasi tersebut dapat dimanfaatkan untuk mendukung upaya mitigasi bencana, perencanaan infrastruktur, serta peningkatan kesiapsiagaan masyarakat terhadap ancaman gempa bumi.

Method

Penelitian tentang analisis variasi *a-* dan *b-value* menggunakan katalog gempa bumi untuk periode tahun 1998-2023 di wilayah Nusa Tenggara bagian Timur dengan Hukum Gutenberg-Richter, sebagai berikut:

$$\log N(M) = a - bM \tag{1}$$

dimana:

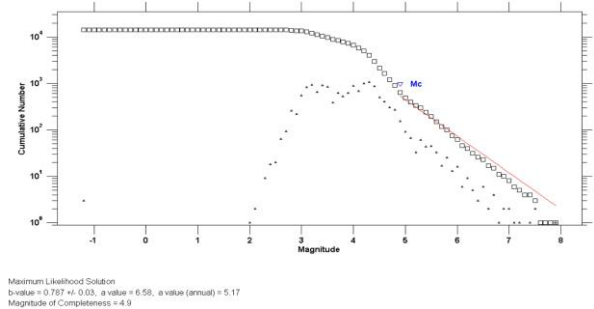
- $N(M)$ = jumlah kumulatif gempa bumi
- M = magnitudo yang digunakan
- a = konstanta seismisitas
- b = konstanta distribusi tegangan

Data katalog gempabumi yang digunakan dalam penelitian ini terdiri atas informasi waktu kejadian, koordinat episenter (*longitude* dan *latitude*), kedalaman, serta magnitudo gempa bumi. Data PGR VIII Kota Kupang diperoleh dari BMKG Stasiun Geofisika Kelas I Sleman dengan cakupan wilayah penelitian pada koordinat 122° BT - 141° BT dan 14° LS - 7° LS. Tahapan pengolahan data dilakukan melalui beberapa langkah berikut:

- 1) *Clustering* data parameter gempa bumi sesuai dengan kriteria data yang ditentukan (magnitudo, kedalaman, letak astronomis wilayah, serta *event* kejadian gempa bumi).
- 2) Penyeragaman seluruh magnitudo gempa bumi menjadi magnitudo momen (*Mw*) (Ernandi & Madlazim, 2020; Ghita et al., 2020), hal ini dilakukan agar memudahkan perbandingan antarwilayah dan waktu.
- 3) Melakukan *preprocessing data* dengan dua tahap yaitu duplikasi dan redudansi untuk menghilangkan pengaruh *foreshock* dan *aftershock*.
- 4) Melakukan *declustering* agar dataset hanya berisikan kejadian *mainshock* sehingga analisis statistik dan pemodelan bahaya gempa mencerminkan kondisi tektonik sebenarnya (Ernandi & Madlazim, 2020).

- 5) Perhitungan parameter *a-value* dan *b-value* berdasarkan persamaan (1)

Result and Discussion



Gambar 1. Distribusi Frekuensi Magnitudo

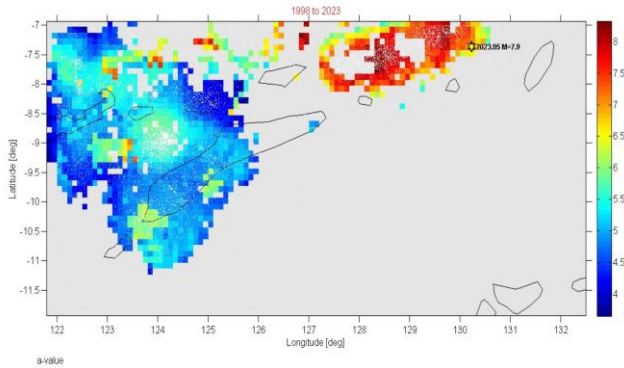
Berdasarkan hasil penelitian, kurva Frequency-Magnitude Distribution (FMD) menunjukkan bahwa jumlah gempa bermagnitudo kecil lebih tinggi dibandingkan gempa bermagnitudo besar (Chasanah & Handoyo, 2021; Shohaya et al., 2013). Hal ini menegaskan bahwa semakin kecil magnitudo, maka frekuensi kejadiannya semakin besar, dan sebaliknya. Dari grafik tersebut diperoleh nilai Magnitude of *Completeness* (*Mc*) sebesar 4,9 untuk periode data gempa 1998-2023. Artinya, gempa dengan magnitudo $\geq 4,9$ dapat tercatat dengan baik oleh sistem, sehingga hasil analisis statistik menjadi lebih representatif. Pada grafik, garis linier berwarna merah merepresentasikan persamaan Gutenberg-Richter yang diperoleh dengan metode *Maximum Likelihood*:

$$\log N(M) = 6,58 - 0,787M.$$

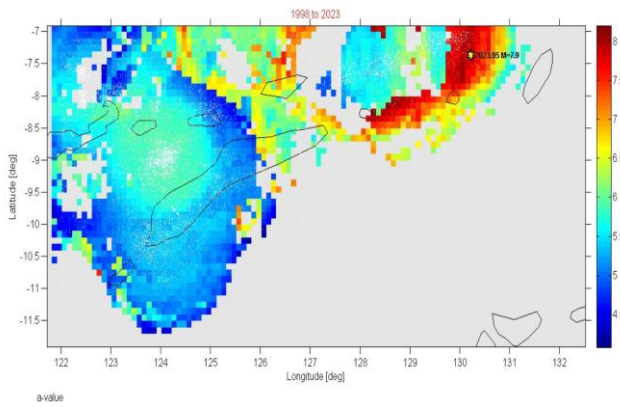
Nilai *b-value* sebesar $0,787 \pm 0,03$ menunjukkan nilai yang relatif rendah dibandingkan rata-rata global ($\sim 1,0$). Hal ini mengindikasikan tingkat tegangan tektonik yang tinggi akibat akumulasi energi yang besar, sehingga wilayah dengan *b-value* rendah lebih berpotensi mengalami gempa bermagnitudo besar dengan tingkat kerusakan signifikan (Geffers et al., 2022). Sementara itu, nilai *a-value* sebesar 6,58 dengan laju seismisitas tahunan (*annual rate*) sebesar 5,17 menunjukkan tingkat aktivitas gempa yang cukup tinggi. Kondisi ini mengindikasikan bahwa wilayah penelitian relatif sering mengalami gempa, sehingga peluang terjadinya gempa bermagnitudo besar sekaligus potensi dampak kerusakan juga semakin tinggi (Aslamia & Supardi, 2022).

Variasi Spasial *a-value* dan *b-value*

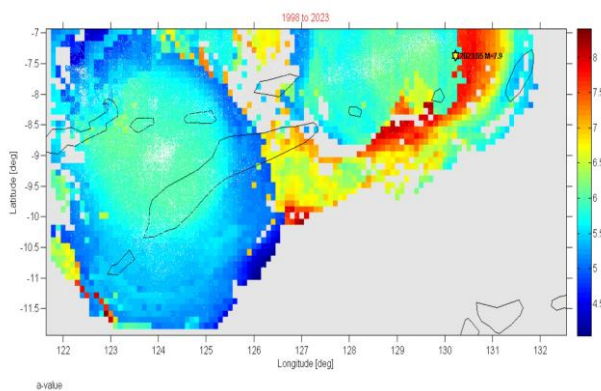
Input parameter dalam pembuatan peta *a-value* dan *b-value* dilakukan secara *trial and error* dengan inputan yang bervariasi. Peta yang ditunjukkan pada hasil menghasilkan pemetaan nilai *a-value* menggunakan *software* *zmap* untuk periode 1998 – 2023.



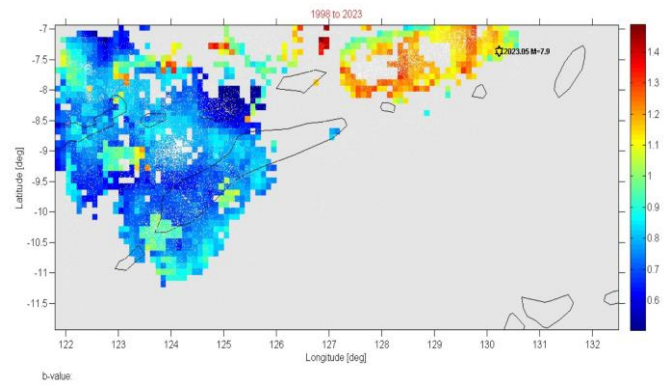
Gambar 2. Hasil *a-value* 50



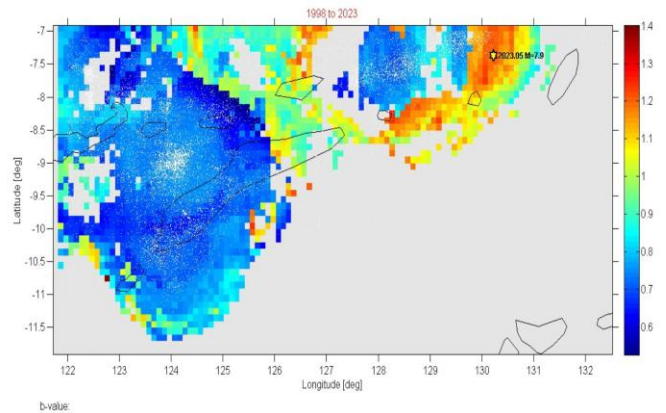
Gambar 3. Hasil *a-value* 100



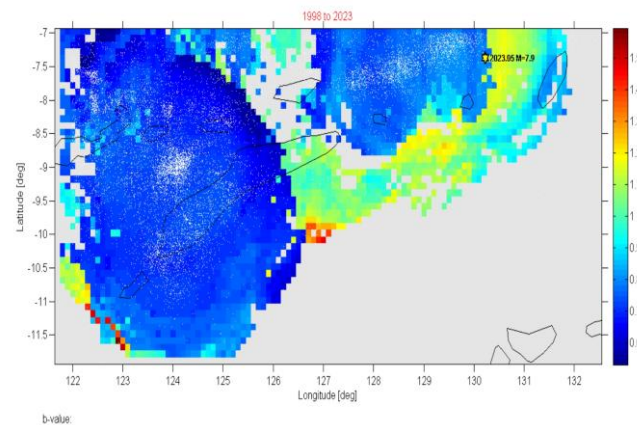
Gambar 4. Hasil *a-value* 150



Gambar 5. Hasil *b-value* 50



Gambar 6. Hasil *b-value* 100



Gambar 7. Hasil *b-value* 150

Dalam penelitian ini, *a-value* dihitung menggunakan metode *constant radius*, sehingga setiap grid memperoleh nilai berdasarkan jumlah kejadian gempa dalam radius tertentu agar hasilnya representatif. Pada Gambar 2 *constant radius* 50, distribusi *a-value* tampak sangat detail dan lokal; pola seismisitas pada zona padat maupun jarang gempa dapat diidentifikasi dengan jelas. Namun, cakupan perhitungan yang sempit membuat variasi terlihat tajam

dan terfragmentasi sehingga tren regional kurang terbaca. Pada Gambar 3 *constant radius* 100, peta terlihat lebih seimbang. Variasi lokal masih terjaga, sementara pola regional mulai terbaca, misalnya zona barat yang meliputi Laut Sawu hingga selatan Pulau Sumba menunjukkan *a-value* rendah-sedang, sedangkan zona timur di sekitar Laut Banda dan Timor bagian timur konsisten memperlihatkan nilai tinggi. Pada Gambar 4 *constant radius* 150, distribusi *a-value* tampak lebih halus dan stabil pada skala regional. Zona dengan *a-value* tinggi di sekitar episenter gempa M7,9 tahun 2023 di Laut Banda tetap menonjol, dengan transisi yang lebih mulus menuju nilai rendah di bagian barat dan selatan. Hasil ini menunjukkan radius 150 mampu menyeimbangkan kecukupan data dengan kestabilan spasial, meskipun detail lokal berkurang.

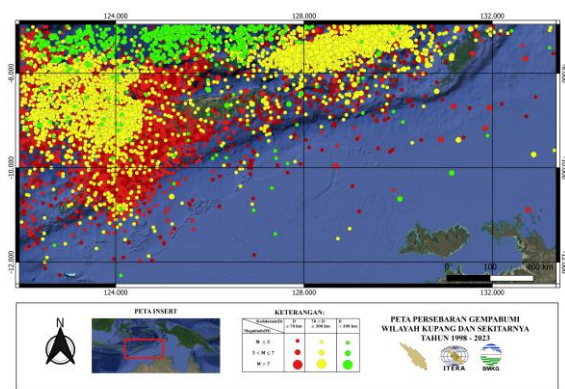
Perbedaan ketiga hasil tersebut menegaskan adanya pola spasial aktivitas seismik yang dipengaruhi struktur geologi regional. Zona *a-value* tinggi yang bertepatan dengan episenter gempa 2023 tidak hanya aktif secara frekuensi, tetapi juga berpotensi menghasilkan gempa bermagnitudo besar.

Selanjutnya, distribusi nilai *b-value* di wilayah Kupang dan sekitarnya pada rentang waktu 1998–2023 (Gambar 5–7) memperlihatkan perbedaan sesuai radius yang digunakan. Pada *constant radius* 50, peta tampak rinci dengan variasi lokal serta anomali kecil yang jelas, namun hasilnya terfragmentasi sehingga pola regional sulit ditangkap dan beberapa titik kurang kuat secara statistik. *Constant radius* 100 menghasilkan detail spasial lebih tajam; *b-value* rendah ($<0,8$) terlihat menonjol di sepanjang zona subduksi selatan Sumba hingga Rote, sedangkan *b-value* tinggi ($>1,2$) muncul di sekitar Laut Banda dan Timor bagian timur dekat episenter gempa M7,9 tahun 2023. Meski mampu menggambarkan variasi lokal, hasilnya cenderung kurang halus akibat keterbatasan jumlah data dalam tiap sel. Sementara itu, *constant radius* 155 menampilkan pola yang lebih stabil dan kontinyu. Variasi *b-value* terbaca jelas pada skala regional, dengan transisi lebih mulus dibanding radius 100. Nilai rendah di barat dan selatan Kupang hingga Laut Sawu serta nilai tinggi di wilayah Laut Banda dan Timor bagian timur tetap tampak, tetapi lebih representatif untuk analisis seismisitas secara regional.

Dengan cakupan panjang (1998–2023), terlihat bahwa sebagian besar wilayah barat dan tengah Kupang hingga Laut Sawu memiliki *b-value* rendah (0,6–0,9), yang mengindikasikan dominasi gempa bermagnitudo besar. Sebaliknya, *b-value* tinggi ($>1,0$ hingga 1,5) mendominasi wilayah Laut Banda dan Timor bagian timur, menandakan daerah ini lebih sering mengalami gempa kecil, sehingga meskipun aktivitas seismiknya tinggi, energi yang dilepaskan relatif kecil pada setiap kejadian.

Peta Seismisitas Menggunakan *Software Qgis*

Persebaran gempa bumi di wilayah Nusa Tenggara bagian Timur selama periode 1998–2023 (Gambar 8) memperlihatkan episentrum dengan kedalaman bervariasi, mulai dangkal hingga dalam. Sebaran yang rapat menegaskan bahwa kawasan ini berada pada zona tektonik aktif. Pola persebaran episentrum tampak jelas di bagian selatan Pulau Timor hingga Laut Sawu yang didominasi gempa dangkal–menengah, sedangkan ke arah utara dan Laut Banda menunjukkan aktivitas gempa menengah hingga dalam. Temuan ini sesuai dengan hasil *a-value* yang relatif tinggi, mengindikasikan tingkat seismisitas besar atau jumlah kejadian gempa yang cukup banyak selama periode pengamatan. Menurut teori Gutenberg–Richter (1944), nilai *a-value* menggambarkan tingkat aktivitas seismik suatu wilayah, sehingga semakin besar nilainya maka semakin sering terjadi gempa. Sementara itu, variasi *b-value* mencerminkan karakteristik magnitudo gempa: nilai rendah ($<1,0$) biasanya berkaitan dengan akumulasi tegangan tinggi yang berpotensi memicu gempa bermagnitudo besar (Geffers et al., 2022), sedangkan nilai tinggi ($>1,0$) menandakan dominasi gempa kecil dengan energi relatif rendah (Aslamia & Supardi, 2022) Pada wilayah penelitian, *b-value* di sekitar Kupang relatif rendah, yang menunjukkan potensi terjadinya gempa besar dengan dampak kerusakan signifikan meskipun jarang terjadi. Sebaliknya, wilayah Laut Sawu dan Laut Banda memperlihatkan *b-value* yang lebih tinggi, sehingga lebih sering mengalami gempa kecil dengan energi terbatas. Dengan demikian, peta seismisitas mendukung analisis *a-value* sebagai indikator frekuensi kejadian, sekaligus *b-value* sebagai representasi distribusi magnitudo di wilayah penelitian.



Gambar 8. Peta Persebaran Titik Gempa Bumi Wilayah Nusa Tenggara bagian Timur

Conclusion

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa: 1). Kurva *frequency-magnitude distribution (FMD)* menunjukkan pola hubungan terbalik antara frekuensi dan magnitudo, di mana gempa kecil lebih sering terjadi dibandingkan gempa besar. Nilai *magnitude of completeness (MC)* sebesar 4,9 menandakan bahwa data gempa yang terekam secara andal hanya untuk magnitudo $\geq 4,9$, sehingga analisis distribusi gempa lebih representatif pada rentang magnitudo tersebut; 2). Nilai *a-value* sebesar 6,58 dengan tingkat seismisitas tahunan 5,17 memperlihatkan bahwa wilayah penelitian relatif sering mengalami gempa. Distribusi spasial *a-value* juga menunjukkan perbedaan antar zona, di mana bagian timur hingga tenggara lebih tinggi sehingga mencerminkan frekuensi kejadian gempa yang lebih besar, sementara bagian barat dan tengah lebih rendah yang berarti aktivitas gempanya lebih jarang; 3). Nilai *b-value* sebesar 0,787 termasuk relatif rendah, yang mengindikasikan tingkat tegangan tinggi akibat akumulasi energi besar. Kondisi ini menandakan potensi terjadinya gempa bermagnitudo besar dengan dampak kerusakan signifikan. Secara spasial, wilayah dengan *b-value* rendah lebih berpotensi menghasilkan gempa besar, sedangkan bagian timur-tenggara yang memiliki *b-value* tinggi cenderung didominasi oleh gempa kecil dengan frekuensi tinggi; 4). Peta seismisitas periode 1998–2023 memperlihatkan sebaran episenter yang padat dengan kedalaman bervariasi, mulai dari dangkal hingga menengah. Hal ini menegaskan bahwa Nusa Tenggara bagian Timur merupakan zona tektonik aktif dengan kerentanan tinggi terhadap dampak gempa, terutama dari gempa dangkal yang berpotensi menimbulkan kerusakan signifikan.

Acknowledgements

Penulis menyampaikan apresiasi kepada BMKG Kelas I Sleman atas dukungan dan akses katalog data seismik yang digunakan dalam penelitian ini.

References

- Amalia, A., Harmoko, U., & Yuliyanto, G. (2021). Clustering of seismicity in the Indonesian Region for the 2018-2020 Period using the DBSCAN Algorithm. *Journal of Physics and Its Applications*, 4(1), 1–6. <https://doi.org/10.14710/jpa.v4i1.11884>
- Aslamia, H., & Supardi, Z. A. I. (2022). Analisis Parameter a-value dan b-value Sebagai Mitigasi Bencana Gempa Bumi Di Nusa Tenggara Timur. *Jambura Physics Journal*, 4(1), 14–27. <https://doi.org/10.34312/jpj.v4i1.13815>
- Barakbah, A. R., Harsono, T., & Sudarsono, A. (2019). Automatic cluster-oriented seismicity prediction analysis of earthquake data distribution in Indonesia. *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*, 9(2), 587–593. <https://doi.org/10.18517/ijaseit.9.2.7269>
- Chasanah, U., & Handoyo, E. (2021). Determination the Magnitude of Completeness, b-Value and a-Value for Seismicity Analysis in East Java, Indonesia. *Journal of Physics: Conference Series*, 1805(1), 0–9. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1805/1/012009>
- 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. *Inovasi Fisika Indonesia*, 9(3), 24–30. <https://doi.org/10.26740/ifi.v9n3.p24-30>
- Geffers, G. M., Main, I. G., & Naylor, M. (2022). Biases in estimating b-values from small earthquake catalogues: How high are high b-values. *Geophysical Journal International*, 229(3), 1840–1855. <https://doi.org/10.1093/gji/ggac028>
- Ghita, C., Diaconescu, M., Moldovan, I. A., Oros, E., & Constantinescu, E. G. (2020). Spatial and temporal variation of seismic b-value beneath danubian and Hateg-Strei seismogenic areas. *Romanian Reports in Physics*, 72(1).
- Godano, C., Lippiello, E., & De Arcangelis, L. (2014). Variability of the b value in the Gutenberg-Richter distribution. *Geophysical Journal International*, 199(3), 1765–1771. <https://doi.org/10.1093/gji/ggu359>
- Gunawan, T., Ratri, A. D. P., & Gunawan, M. T. (2020). Studi Karakteristik Gempabumi Signifikan Mw > 6.0 Akibat Aktivitas Sistem Busur Belakang Segmen Bali Lombok Menggunakan Analisis Energi Kumulatif Dan Periode Ulang. *Jurnal Meteorologi Dan Geofisika*, 21(1), 29–35. <https://doi.org/10.31172/jmg.v21i1.625>
- Muttaqy, F., Nugraha, A. D., Puspito, N. T., Sahara, D. P., Zulfakriza, Z., Rohadi, S., & Suspendi, P. (2023). Double-difference earthquake relocation using waveform cross-correlation in Central and East Java, Indonesia. *Geoscience Letters*, 10(1), 5. <https://doi.org/10.1186/s40562-022-00259-2>
- Rahardiawan, R., & Purwanto, C. (2018). Geological structures of Flores Sea, East Nusa Tenggara. *Jurnal Geologi Kelautan*, 12(3), 165–178.
- Risanti, H., & Prastowo, T. (2021). Estimasi Parameter a-value dan b-value Untuk Analisis Studi Seismisitas dan Potensi Bahaya Bencana Gempa Tektonik di Wilayah Maluku Utara. *Inovasi Fisika*

- Indonesia*, 10(1), 1-10.
<https://doi.org/10.26740/ifi.v10n1.p1-10>
- Shohaya, J. N., Chasanah, U., Mutiarani, A., Wahyuni P, L., & Madlazim, M. (2013). Survey dan Analisis Seismisitas Wilayah Jawa Timur Berdasarkan Data Gempa Bumi Periode 1999-2013 Sebagai Upaya Mitigasi Bencana Gempa Bumi. *Jurnal Penelitian Fisika Dan Aplikasinya (JPFA)*, 3(2), 18.
<https://doi.org/10.26740/jpfa.v3n2.p18-27>
- Suhada, A. S., Kardoso, R., Zuhdi, M., A, S., & Syamsuddin, S. (2023). Penghitungan Peak Ground Acceleration (PGA) di Desa Kuta Menggunakan Persamaan Empiris pada Gempa Bumi 19 Agustus 1977 (Mw = 8.3). *Jurnal Pendidikan, Sains, Geologi, Dan Geofisika (GeoScienceEd Journal)*, 4(1), 1-5.
<https://doi.org/10.29303/goescienceed.v4i1.218>
- Supendi, P., Rawlinson, N., Prayitno, B. S., Widiyantoro, S., Simanjuntak, A., Palgunadi, K. H., Kurniawan, A., Marliyani, G. I., Nugraha, A. D., Daryono, D., Anugrah, S. D., Fatchurochman, I., Gunawan, M. T., Sadly, M., Adi, S. P., Karnawati, D., & Arimuko, A. (2022). The Kalaotoa Fault: A Newly Identified Fault that Generated the Mw 7.3 Flores Sea Earthquake. *Seismic Record*, 2(3).
<https://doi.org/10.1785/0320220015>
- Wiemer, S. (2001). A software package to analyze seismicity: ZMAP. *Seismological Research Letters*, 72(3). <https://doi.org/10.1785/gssrl.72.3.373>