

Analisis Seismisitas Wilayah Kepulauan Maluku Periode 1970-2019 Menggunakan Metode *Likelihood*

Indri Septiani*, Dwi Pujiastuti

Laboratorium Fisika Bumi, Jurusan Fisika

Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Andalas
Kampus Unand Limau Manis, Padang, 25163, Indonesia

Info Artikel

Histori Artikel:

Diajukan: 15 September 2021

Direvisi: 03 Oktober 2021

Diterima: 04 Oktober 2021

Kata kunci:

gempa
metode *likelihood*
indeks seismisitas
kepulauan maluku

Keywords:

earthquake
likelihood method
seismicity index
maluku island

Penulis Korespondensi:

Indri Septiani

Email: iindrisseptianii@gmail.com

ABSTRAK

Analisis tingkat seismisitas dan periode ulang gempa bumi berdasarkan magnitudo telah dilakukan pada daerah Kepulauan Maluku dan sekitarnya. Data yang digunakan adalah data sekunder yang di unduh dari katalog ISC (*International Seismological Centre*) pada periode 1970 - 2019, dengan magnitudo ≥ 5 dan kedalaman 0 - 200 km. Untuk menghitung periode ulang gempa bumi digunakan persamaan Guttenberg-Richter yang dihitung menggunakan metode *Likelihood*. Berdasarkan hasil perhitungan, diperoleh nilai b (parameter seismotektonik) sebesar 0,821 dan nilai a (parameter seismik) sebesar 7,373 serta nilai indeks seismisitas untuk magnitudo 5-8 berkisar antara 21,570 - 0,077. Hal ini menunjukkan daerah penelitian memiliki tingkat keaktifan kegempaan yang tinggi. Periode ulang gempa bumi untuk magnitudo 5 - 8 bervariasi antara 0,046 - 12,931 tahun. Secara umum dapat disimpulkan bahwa daerah Kepulauan Maluku dan sekitarnya memiliki tingkat seismisitas yang tinggi dan rawan bencana gempa bumi. Hal ini dibuktikan dengan tingginya tingkat keaktifan gempa dan nilai periode ulang gempa yang singkat.

Analysis of seismicity levels and earthquake return periods based on magnitude has been carried out in the Maluku Islands and surrounding areas. The data used is secondary data downloaded from the ISC (International Seismological Center) catalog in the period 1970 - 2019, with a magnitude ≥ 5 and a depth of 0 - 200 km. to calculate the return period of an earthquake, the Guttenberg-Richter equation is used which is calculated using the Likelihood method. Based on the calculation results, the b value (seismotectonic parameter) is 0,821 and a value (seismic parameter) is 7.373 and the seismicity index value for magnitude 5-8 ranges from 21.570 - 0.077. This shows that the research area has a high level of seismic activity. The return period of earthquakes for magnitude 5-8 varies between 0.046 - 12.931 years. In general, it can be concluded that the Maluku Islands and its surroundings have a high level of seismicity and are prone to earthquakes. This is evidenced by the high level of earthquake activity and the value of the short earthquake return period.

Copyright © 2021 Author(s). All rights reserved

I. PENDAHULUAN

Indonesia terletak pada batas pertemuan tiga lempeng tektonik besar di dunia yang aktif bergerak, yaitu lempeng Eurasia, lempeng Pasifik, dan lempeng Indo-Australia serta satu lempeng mikro yaitu lempeng mikro Filipina. Pertemuan lempeng ini merupakan salah satu penyebab Indonesia menjadi daerah yang rawan terhadap bencana gempa bumi.

Kepulauan Maluku merupakan salah satu daerah Wilayah Timur Indonesia yang memiliki tingkat kerawanan gempa bumi dan tsunami yang tinggi (Jannah and Supardiyono, 2013). Kerentanan gempa di Kepulauan Maluku juga berkaitan dengan zona subduksi ganda, yakni subduksi dari Lempeng Pasifik melalui busur Halmahera yang mendorong ke arah barat, dan subduksi Lempeng Eurasia melalui busur Sangihe yang mendorong ke arah timur, sedangkan di sebelah selatannya terikat oleh Patahan Sorong. Menurut (Kertapati, 2006), dua zona penunjaman yang berlawanan arah ini membentuk kemiringan ganda yang tidak simetris. Subduksi ganda ini terbentuk akibat tekanan Lempeng laut Filipina dari timur di zona Halmahera. Sementara dari barat, Lempeng Sangihe mendorong ke timur. Pertemuan dari beberapa lempeng tersebut menyebabkan saling mendorong antara satu dengan yang lain. Kondisi ini menjadikan wilayah Maluku memiliki potensi kegempaan yang cukup aktif.

Sejarah mencatat di kawasan Maluku pernah terjadi suatu gempa besar yakni pada tanggal 17 Februari 1964 yang menyebabkan tsunami pada daerah Kepulauan Maluku dan sekitarnya. BNPB menjelaskan bahwa sejarah gempa yang terjadi di laut Maluku seringkali memicu tsunami di perairan laut Maluku. Zona sumber gempa Laut Maluku juga memiliki catatan sejarah gempa destruktif seperti yang terjadi di Banggai-Sangihe pada tahun 1858 yang menyebabkan seluruh kawasan pantai timur Sulawesi, Banggai, dan Sangihe dilanda tsunami. Selain sejarah gempa bumi dan tsunami masa lalu, catatan terbaru gempa kuat di Laut Maluku cukup banyak dan sebagian besar diantaranya berpotensi tsunami.

Untuk meminimalisir dampak negatif dari gempa bumi seperti kerusakan bangunan, korban jiwa dan sebagainya, maka diperlukan upaya mitigasi salah satunya dengan memprediksi periode ulang gempa yang berpotensi menimbulkan kerusakan. Perkiraan gempa bumi akan menunjukkan bahwa gempa bumi dengan interval magnitudo tertentu dapat terjadi di daerah tertentu pula (Fidia *et al.*, 2018). Metode untuk menghitung periode ulang gempa bumi ada beberapa seperti Metode *Least Square*, Metode *Likelihood* dan sebagainya (Yuliza, 2017). Metode *Likelihood* bertujuan untuk mendapatkan estimasi parameter dengan cara memaksimumkan fungsi *likelihood*. Dengan metode ini dapat diketahui tingkat keaktifan gempa bumi (nilai a dan nilai b) dari persamaan Gutteberg-Richter, indeks seismisitas, tingkat resiko gempa atau probabilitas dan periode ulang untuk magnitudo tertentu pada suatu daerah secara kuantitatif. Nilai a merupakan parameter seismik yang besarnya bergantung pada banyak gempa bumi suatu wilayah. Nilai b merupakan parameter tektonik dimana nilainya mendekati 1 yang menunjukkan jumlah relatif dari getaran yang kecil dan yang besar (Rohadi *et al.*, 2008). Kelebihan dari metode ini adalah dalam menghitung secara statistik nilai parameter keaktifan gempa bumi, kelas interval magnitudonya dapat diatur guna untuk menghindari kekosongan magnitudo pada kelas interval tertentu (Budiman *et al.*, 2011).

(Lumintang *et al.*, 2015) telah melakukan penelitian untuk menganalisis tingkat seismisitas dan tingkat kerapuhan batuan di Maluku Utara. Penelitian dilakukan dengan menghitung nilai a dan b secara spasial menggunakan metode *likelihood*. Lumintang dkk juga melakukan perhitungan terhadap kemungkinan waktu terjadinya kembali gempa bumi merusak secara spasial berdasarkan hasil perhitungan nilai $a-b$. Penelitian yang dilakukan hanya terfokus pada daerah Maluku Utara saja dan indeks seismisitas tidak dipaparkan dengan jelas. Oleh sebab itu, penelitian kali ini dilakukan untuk mengetahui seismisitas wilayah Kepulauan Maluku berdasarkan nilai a dan nilai b , serta mengetahui indeks seismisitas dan periode ulang gempa bumi di daerah penelitian. Penelitian ini nantinya akan memberikan informasi tentang potensi kegempaan dan parameter precursor gempa bumi serta waktu perulangan gempa bumi di wilayah Kepulauan Maluku.

II. METODE

Penelitian tentang analisis tingkat seismisitas dan periode ulang gempa bumi periode 1970-2019 di daerah Kepulauan Maluku dilakukan dengan menggunakan metode *likelihood*. Estimasi

parameter a dan b dengan menggunakan analisa statistik model memaksimalkan fungsi *likelihood*, memberikan hasil yang lebih stabil karena memodelkan kemiringan garis bukan dari hasil *fitting least square* tiap manitudo, tapi kemiringan nilai tengah magnitudo fungsi distribusi Gaussian (Pasau and Tamuntuan, 2017). Data yang digunakan merupakan data sekunder berupa parameter gempa bumi yang terdiri dari: kejadian gempa, letak episenter (*latitude dan longitude*), kedalaman, magnitudo gempa bumi. Data tersebut diperoleh melalui katalog ISC (*International Seismological Center*), periode gempa tahun 1970-2019 dengan ketentuan magnitudo ≥ 5 SR dan kedalaman ≥ 10 km sampai kedalaman ≤ 200 km pada koordinat 3° LU - 5° LS dan $128,4^\circ$ - 132° BT. Dalam pengolahan data dilakukan beberapa langkah sistematis sebagai berikut:

1. Jumlah data gempa keseluruhan yang terjadi di Kepulauan Maluku pada tahun 1970-2019 yang diunduh dari katalog ISC berjumlah 1168.
2. Data yang terkumpul difilter kembali berdasarkan magnitudo ($5 \leq M \leq 10$) dengan kedalaman ($10 \text{ km} \leq h \leq 200 \text{ km}$) sehingga diperoleh 1083 data.
3. Frekuensi kejadian gempa dihitung berdasarkan magnitudonya dengan membuat interval magnitudo. Frekuensi yang telah dihitung kemudian diplot grafiknya.
4. Nilai b dan nilai a dihitung dengan menggunakan Persamaan 1 dan 2.

$$b = \frac{\log e}{M - M_0} \quad (1)$$

dan

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

dengan M adalah magnitudo rata-rata, M_0 adalah magnitudo minimum dan N adalah jumlah gempa dengan magnitudo ≥ 5 SR.

5. Indeks seismisitas dihitung berdasarkan Persamaan 3 dan periode ulang gempa bumi dengan menggunakan Persamaan 4.

$$N_1(M) = 10^{a1' - M*b} \quad (3)$$

dengan $a' = a - \log(b * \ln 10)$ dan $a1' = a' - \log T$, dimana $a1'$ dan a' adalah suatu konstanta, N_1 adalah indeks seismisitas. Periode ulang gempa bumi (θ) ditentukan dengan persamaan berikut.

$$\theta = \frac{1}{N_1(M)} \quad (4)$$

6. Data gempa bumi diplot ke dalam peta daerah Kepulauan Maluku dan sekitarnya dengan menggunakan program *Generics Mapping Tools* (GMT).

III. HASIL DAN DISKUSI

3.1 Nilai b dan a dengan Menggunakan Metode *Likelihood*

Dari data yang telah difilter tersebut jumlah frekuensi gempa bumi dihitung berdasarkan interval magnitudonya seperti pada Tabel 1, dimana terlihat bahwa frekuensi terbesar terdapat pada magnitudo 5,0 – 5,4 yang berjumlah 586 kejadian gempa bumi dan interval terkecil terdapat pada magnitudo 7,0 – 8,0 yaitu dengan 1 kejadian gempa bumi pada rentang tahun 1970 – 2019.

Tabel 1 Hasil pengolahan data frekuensi gempa bumi berdasarkan magnitudo dengan metode *likelihood*

Interval Magnitudo	N (frekuensi)	X (Median)	X*N
5,0 – 5,4	586	5,2	3047,2
5,5 – 5,9	414	5,7	2359,8
6,0 – 6,4	76	6,2	471,2
6,5 - 6,9	7	6,7	47,2
7,0 – 8,0	1	8,5	8,5
Jumlah	1083	23,8	5933,9

Berdasarkan hasil perhitungan, wilayah Kepulauan Maluku memiliki nilai b rendah (0,821) dapat diidentifikasi bahwa wilayah tersebut menyimpan *stress* tinggi yang sewaktu-waktu dapat dilepaskan dalam bentuk gelombang seismik berukuran besar maupun kecil. Hal ini berdasarkan dengan literatur yang ada dimana suatu wilayah dengan kondisi *stress* batuan tinggi memiliki nilai b sebesar 0,4 - 0,9 atau bisa dikatakan secara umum nilai b yaitu mendekati 1, sedangkan pada kondisi *stress* batuan yang rendah nilai b sekitar $>1,2$ (Wiemer and Wyss, 1994). Nilai a di Kepulauan Maluku yaitu sebesar 7,373 yang menunjukkan wilayah Kepulauan Maluku memiliki keaktifan gempa yang tinggi. Suatu wilayah dapat dikatakan memiliki tingkat keaktifan kegempaan yang tinggi dengan nilai $a \geq 7,0$ (Wiemer and Wyss, 1994). Berdasarkan hasil yang didapatkan, terlihat bahwa wilayah Kepulauan Maluku memiliki nilai a yang tinggi dan nilai b yang rendah. Tingginya parameter seismik (nilai a) dan variasi spasial nilai a pada wilayah Kepulauan Maluku menunjukkan bahwa Maluku memiliki aktifitas kegempaan yang tinggi, sedangkan rendahnya parameter tektonik (nilai b) dan variasi nilai b menunjukkan kondisi *stress* lokal yang tinggi dan berpotensi terjadi gempa bumi besar dan merusak. Berdasarkan nilai a dan nilai b dapat disimpulkan bahwa wilayah Kepulauan Maluku merupakan wilayah yang mempunyai peluang tinggi untuk terjadinya gempa besar di wilayah tersebut.

3.2 Indeks Seismisitas

Indeks seismisitas digunakan untuk menghitung jumlah rata-rata gempa bumi pertahun dengan magnitudo tertentu. Hasil indeks seismisitas untuk magnitudo 5-8 dapat dilihat pada Tabel 2. Berdasarkan Tabel 2 dapat diketahui bahwa indeks seismisitas tertinggi terdapat pada magnitudo 5 yaitu sebesar 21,570, sedangkan indeks seismisitas terendah terdapat pada magnitudo 8 yaitu sebesar 0,077. Hasil tersebut menunjukkan bahwa pada daerah penelitian tingkat kejadian gempa bumi dengan magnitudo kecil lebih banyak dibandingkan dengan kejadian gempa bumi magnitudo besar. Hal ini bersesuaian dengan data yang didapatkan yaitu gempa bumi dengan magnitudo 5 - 5,5 terjadi sebanyak 586 kali, sedangkan magnitudo 7 - 8 gempa bumi yang terjadi hanya 1 kali. Semakin besar nilai indeks seismisitas, maka semakin sering terjadinya gempa. Hal ini akan mempengaruhi periode ulang gempa bumi berdasarkan magnitudo tertentu.

Tabel 2 Indeks Seismisitas

Magnitudo	$N_1(M)$
5,0	21,570156
5,5	8,4382677
6,0	3,3010591
6,5	1,2913777
7,0	0,5051883
8,0	0,0773131

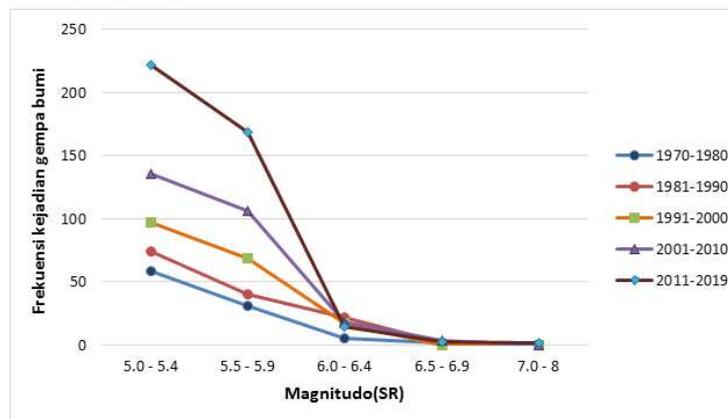
3.3 Periode Ulang Gempa

Pada Tabel 3 dapat diketahui bahwa gempa bumi yang terjadi di Kepulauan Maluku dengan magnitudo 5 - 8 mengalami periode ulang gempa yang berbeda-beda yaitu sekitar 0,046 - 12,934 tahun yang jika dikonversikan ke dalam hari yaitu selama 16,923 - 4721,056 hari. Pada wilayah Kepulauan Maluku gempa dengan kekuatan 5 - 5,4 SR sering terjadi. Hal ini ditunjukkan oleh Tabel 3 dimana jangka waktu periode ulang gempa bumi pada magnitudo tersebut relatif pendek dibandingkan dengan magnitudo lainnya. Sedangkan gempa dengan magnitudo 7 - 8 mempunyai periode ulang yang relatif lama, sehingga gempa bumi dengan magnitudo ≥ 7 jarang terjadi di daerah Kepulauan Maluku. Hasil penelitian periode ulang gempa pada magnitudo 7 - 8 mengalami perbedaan dengan kondisi yang sebenarnya. Hal ini dapat dikatakan bahwa perhitungan periode ulang gempa dengan menggunakan metode *likelihood* secara statistik hanya dapat dilakukan pada gempa dengan magnitudo kecil hingga sedang. Sedangkan untuk gempa besar tidak dapat dideteksi dengan hanya menggunakan perubahan nilai a dan nilai b saja, melainkan diperlukan data penunjang lainnya seperti kondisi geologi daerah, lapisan batuan dan sebagainya.

Tabel 3 Periode Ulang Gempa

Magnitudo (SR)	Periode Ulang (Tahun)
5,0-5,4	0,04636034
5,5-5,9	0,11850773
6,0-6,4	0,30293308
6,5-6,9	0,77436675
7,0-8,0	12,93441228

Tabel 2 dan Tabel 3 menunjukkan bahwa apabila nilai indeks seismisitas besar maka periode ulang gempa menjadi singkat/pendek. Kondisi ini menunjukkan bahwa pada daerah Kepulauan Maluku memiliki aktivitas seismik yang tinggi sehingga rawan terjadinya gempa bumi dengan magnitudo ≥ 5 dan sebaliknya. Apabila nilai indeks seismisitas kecil maka periode ulang gempa akan semakin lama, sehingga nilai b menjadi kecil. Kondisi ini menggambarkan daerah penelitian memiliki energi besar yang tersimpan dan diprediksi berpeluang terjadi gempa besar. Hal ini sesuai dengan kondisi dimana pada daerah Maluku dan sekitarnya sering mengalami gempa kecil hingga gempa sedang dalam kurun waktu yang singkat.



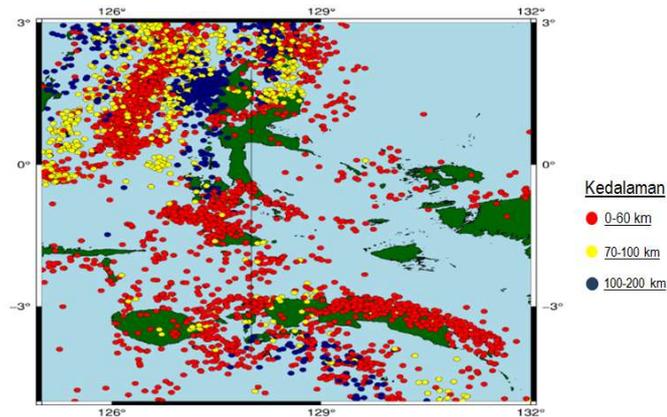
Gambar 1 Grafik hubungan frekuensi gempa bumi terhadap magnitudo

Gambar 1 menjelaskan frekuensi kejadian gempa bumi dengan skala besar semakin kecil dari tahun ke tahun sehingga menyebabkan periode ulang yang akan terjadi semakin lama, sedangkan grafik pada magnitudo dengan skala kecil frekuensi kejadiannya semakin banyak sehingga periode ulang gempa bumi yang terjadi akan semakin pendek. Semakin besar magnitudo gempa bumi, maka periode ulangnya lebih lama. Hal ini didukung dalam teori elastisitas *rebound* yang menyatakan bahwa lempeng yang mengumpulkan energi dalam jangka waktu yang lama akan melepaskan energi dalam bentuk gempa bumi dengan skala yang besar. Dengan kata lain, semakin lama periode ulang suatu gempa bumi, maka semakin besar pula magnitudo gempa yang akan terjadi.

3.4 Seismisitas Wilayah Kepulauan Maluku

Historis gempa di Kepulauan Maluku pada tahun 1970-2019 dapat diketahui peta seismisitas yang menggambarkan sebaran gempa di wilayah Kepulauan Maluku dan sekitarnya seperti dilihat pada Gambar 2. Pada Gambar 2 terlihat bahwa wilayah Kepulauan Maluku dan sekitarnya merupakan daerah yang sering mengalami gempa bumi yang didominasi oleh gempa dengan kedalaman dangkal.

Gambar 2 menunjukkan bahwa bagian Provinsi Maluku lebih didominasi oleh gempa yang berpusat di daratan sedangkan di Maluku Utara didominasi oleh gempa laut. Hal ini juga bersesuaian dengan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh (Lumintang *et al.*, 2015) yang menghitung variasi nilai b di daerah Maluku Utara. Dari hasil penelitiannya menunjukkan bahwa tingkat kerapuhan batuan dan tingkat seismisitas pada Maluku Utara bagian Barat lebih rendah dibandingkan dengan wilayah Maluku Utara bagian timur. Hal ini menyebabkan daerah-daerah yang berpotensi mengalami gempa merusak adalah gempa yang terjadi di wilayah Laut Maluku, Ternate, Tidore, sebagian wilayah Kabupaten Helmahera Utara dan Barat, Pulau Kasiruta dan Pulau Obi.



Gambar 2 Peta Seismisitas wilayah Kepulauan Maluku dan sekitarnya

IV. KESIMPULAN

Daerah Kepulauan Maluku dan sekitarnya memiliki tingkat keaktifan kegempaan yang tinggi. Nilai parameter aktivitas gempa bumi untuk daerah penelitian diperoleh nilai b sebesar 0,821 dan nilai a sebesar 7,373 yang mengindikasikan bahwa wilayah kepulauan Maluku dan sekitarnya mempunyai aktivitas tektonik yang tinggi. Nilai indeks seismisitas untuk magnitudo 5-8 berkisar antara 21,570 - 0,077, nilai indeks seismisitas bervariasi tergantung pada besar kecilnya magnitudo gempa. Dari hasil perhitungan parameter seismotektonik yang diperoleh di wilayah Kepulauan Maluku dan sekitarnya dapat diprediksi memiliki energi besar yang masih tersimpan sehingga berpotensi terjadi gempa besar di wilayah tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

- Budiman, A., Nandia, R. and Gunawan, M.T. (2011), "Analisis Periode Ulang Dan Aktivitas Kegempaan Pada Daerah Sumatera Barat Dan Sekitarnya", *Jurnal Ilmu Fisika | Universitas Andalas*, Vol. 3 No. 2, pp. 55–61.
- Fidia, R., Pujiastuti, D. and Sabarani, A. (2018), "Korelasi Tingkat Seismisitas dan Periode Ulang Gempa Bumi di Kepulauan Mentawai dengan Menggunakan Metode Guttenberg-Richter", *Jurnal Fisika UNAND*, Vol. 7 No. 1, pp. 84–89.
- Jannah, I.F. and Supardiyono, S. (2013), "Analisis Model Kecepatan Lokal Gelombang Primer 1-D dan Koreksi Stasiun di Kepulauan Maluku", *Inovasi Fisika Indonesia*, Vol. 2 No. 2.
- Kertapati, E.K. (2006), *Aktivitas Gempa Bumi Di Indonesia : Perspektif Regional Pada Karakteristik Gempa Bumi Merusak*, Pusat Survei Geologi, Badan Geologi, Departemen Energi dan Sumberdaya Mineral, Bandung.
- Lumintang, V.G., Pasau, G. and Tongkukut, S.J. (2015), "Analisis Tingkat Seismisitas Dan Tingkat Kerapuhan Batuan Di Maluku Utara", *Jurnal Ilmiah Sains*, Vol. 17 No. 1, p. 94.
- Pasau, G. and Tamuntuan, G.H. (2017), "Pengamatan seismisitas gempa bumi di wilayah pulau Sulawesi menggunakan perubahan nilai ab ", *Jurnal MIPA*, Vol. 6 No. 1, pp. 31–35.
- Rohadi, S., Grandis, H. and Ratag, M.A. (2008), "Studi Potensi Seismotektonik sebagai Precursor Tingkat Kegempaan di Wilayah Sumatera", *Jurnal Meteorologi Dan Geofisika*, Vol. 9 No. 2.
- Wiemer, S. and Wyss, M. (1994), "Seismic quiescence before the Landers ($M=7.5$) and Big Bear ($M=6.5$) 1992 earthquakes", *Bulletin of the Seismological Society of America*, The Seismological Society of America, Vol. 84 No. 3, pp. 900–916.
- Yuliza, N. (2017), *Analisis PEriode Ulang Gempa Bumi Daerah Kepulauan Nias Dan Sekitarnya Dengan Menggunakan Metode Likelihood*, Skripsi. Universitas Andalas.