



Analisis *b-value* gempabumi menggunakan metode Gutenberg Richter Berdasarkan Estimasi *Maximum Likelihood* di Daerah Sulawesi Utara

Reski Maulinda¹, Tri Kusmita^{*1}, Herman Aldila¹, Triani²

¹Jurusan Fisika, Universitas Bangka Belitung

Kampus Terpadu Balunijuk, Bangka, Kepulauan Bangka Belitung, Indonesia 33172

²Jurusan Pendidikan Fisika, Universitas Sembilanbelas November Kolaka,

Jl. Pemuda No.339, Taha, Kec. Kolaka, Kabupaten Kolaka, Sulawesi Tenggara 93561

*E-mail korespondensi: trikusmita@ubb.ac.id

Info Artikel:

Dikirim:

17 Mei 2023

Revisi:

20 Mei 2024

Diterima:

30 Juni 2024

Kata Kunci:

b-value;
maximum
likelihood;
gempabumi,
sulawesi utara

Abstract

The Sulawesi region has a pretty complex tectonic setting. Sulawesi is located at the confluence of three main plates, namely the Pacific Ocean plate moving towards the West, the Australian Continental Plate moving towards the North, and the Eurasian Plate moving towards the South-Southeast. This causes a high level of seismicity in the Sulawesi region. The level of seismicity depends on a-value, b-value and the distribution of earthquakes in the region. The purpose of this study was to determine the periodicity of earthquakes in the North Sulawesi region based on b-value analysis. The method used for this study is the Gutenberg-Richter method with Maximum Likelihood estimation. The earthquake catalog was collected from Meteorology Climatology and Geophysics Council for a period of 10 years (2012-2021). The results showed that the earthquake recurrence period of the North Sulawesi region ranged from 0.33 - 2.27 years and the b-value was 0.19 - 1.67. The average b value is 0.37. It indicates that the North Sulawesi region has a high probability of earthquake occurrence.

PENDAHULUAN

Sulawesi merupakan daerah yang sering terjadi gempa bumi karena diapit oleh tiga lempeng utama yaitu lempeng benua Eurasia yang bergerak mengarah ke Selatan-Tenggara, lempeng Samudera Pasifik bergerak ke arah Barat, lempeng benua Australia bergerak ke arah Utara [1]. Selain ke tiga lempeng tersebut terdapat juga lempeng mikro Filipina yang bergerak ke arah Selatan di sebelah Utara Sulawesi. Pergerakan lempeng yang kompleks tersebut, mengakibatkan daerah Sulawesi rawan terjadi gempabumi dan memiliki tingkat seismisitas yang tinggi [2].

Daerah Sulawesi memiliki tingkat seismisitas yang tinggi setelah Maluku. Setiap daerah di Sulawesi memiliki tatanan tektonik yang berbeda-beda sehingga keaktifan gempabumi di setiap daerah Sulawesi berbeda-beda pula [3]. Hal ini tergantung pada distribusi gempabumi di setiap daerah dan tergantung pada tingkat kerapuhan batuan di daerah tersebut [4]. Tingkat kerapuhan batuan tinggi dan tingkat seismisitas erat berkaitan dengan b-value dan indeks seismisitas. Kedua

parameter ini dapat ditentukan dengan menggunakan tiga metode yaitu metode statistik least square, metode Maximum likelihood dan metode Gutenberg-Richter [5].

Nilai b dapat menentukan daerah rawan terjadinya gempabumi karena nilai b menunjukkan tingkat kerapuhan batuan atau berhubungan dengan keadaan tektonik di daerah yang diamati [6]. Nilai b daerah Sulawesi bagian tengah periode 1997-2017 berkisar antara 0,6-1,8. Daerah yang memiliki nilai b tertinggi terdapat dibagian Kepulauan Banggai, Barat Daya Poso, Selatan Banggai, Barat Laut Donggala, Barat Mamuju Utara, Selatan, dan Timur Luwu Utara. Hal ini disebabkan pada wilayah tersebut terdapat batuan kerak, batuan plutonik, dan batuan vulkanik. Selain itu, juga di daerah tersebut terdapat sesar Sorong, Tunjaman Sangihe, dan sesar aktif Palu-Koro [7]. b -value daerah Sulawesi Utara pada tahun 1980–2015 khususnya daerah Sangihe dan Talaud berkisar antara 0,75–1,5. Aktivitas tersebut dipengaruhi oleh aktivitas penunjaman Mayu [7]. Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan tersebut, maka dapat disimpulkan bahwa tingkat seismisitas di Sulawesi sangat tinggi. Oleh karena itu, maka perlu dilakukan penelitian tentang tingkat kerapuhan batuan di daerah Sulawesi. Pentingnya dilakukan penelitian tersebut agar bisa meminimalkan kerusakan yang kemungkinan terjadi apabila gempabumi terulang lagi. Nilai b atau parameter tektonik mencerminkan akumulasi stress lokal. Nilai b yang tinggi menunjukkan di daerah tersebut tingkat stress rendah dan jika nilai b rendah menunjukkan tingkat stress di daerah tersebut tinggi [8].

METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan di daerah Sulawesi yaitu Sulawesi Utara. Titik koordinat lokasi penelitian 118° BT - 125° BT 1° LU - 6° LS. Peta lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian

Data

Data yang digunakan adalah data katalog gempabumi yang diperoleh dari BMKG (Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika). Data tersebut diakses secara online di website http://repogempa.bmkg.go.id/repo_new/. Data yang diperoleh tersebut berupa informasi tentang magnitudo (SR), kedalaman (Km), waktu terjadinya gempabumi (tanggal, bulan, tahun, jam, menit, detik), longitude (λ), latitude (φ), dan daerah administrasi. Data yang digunakan adalah gempabumi selama kurun waktu 10 tahun (2012 – 2021) yang terekam pada seismometer 3 komponen yaitu (x,y,z).

Pemilihan Data

Data parameter gempabumi yang diperoleh masih terdistribusi secara acak. Data ini kemudian dikelompokkan berdasarkan sebaran magnitudo dan kedalaman. Data gempabumi ini terdapat 267 kejadian. Selanjutnya, data ini dipilih berdasarkan magnitudo dan kedalaman dari yang terkecil sampai terbesar. Data yang digunakan adalah data gempabumi dengan magnitudo ≥ 3 SR.

Penentuan Nilai a dan Nilai b

Nilai b atau parameter tektonik mencerminkan akumulasi stress lokal. Akumulasi tersebut dapat menentukan parameter gempabumi berdasarkan frekuensi relatif yang memiliki jumlah kejadian gempabumi kecil dan gempabumi besar disuatu daerah [9]. Nilai b dapat mengamati akumulasi tegangan yang terlepas pada saat gempabumi terjadi. Nilai b mempunyai korelasi terhadap distribusi regangan dan tegangan [10]. a-value memiliki tingkat seismisitas di suatu wilayah yang bergantung pada jumlah gempabumi, periode pengamatan, dan luas wilayah pengamatan. Jika nilai a semakin tinggi maka wilayah tersebut semakin aktif [11]. Gutenberg-Richter menyatakan distribusi gempabumi di suatu wilayah pada seluruh rentang kejadian yang diamati akan mengikuti sebuah rumusan yang dikenal dengan relasi Gutenberg-Richter. Metode estimasi Maximum Likelihood merupakan metode yang digunakan untuk menghitung secara statistik parameter keaktifan gempabumi. Menghindari kekosongan magnitudo kelas interval tertentu, maka dapat diatur dengan kelas interval magnitudo [9]. Pada metode Maximum Likelihood nilai b dan nilai a dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan (1) dan (2) berikut:

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

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

M adalah magnitudo rata-rata, $\log e = 0.4343$, M_0 adalah magnitudo minimum dan N adalah jumlah gempabumi dengan magnitudo lebih atau sama dengan 5 SR.

Penentuan Indeks Seismisitas dan Periode Ulang Gempabumi

Indeks seimistas dapat mengetahui jumlah kejadian gempabumi dengan magnitudo lebih besar dari magnitudo minimum pada daerah penelitian. Kejadian gempabumi dapat diketahui melalui waktu pengamatan dan distribusi magnitudo [12]. Indeks seismistas dapat dihitung menggunakan persamaan 3 berikut:

$$N1 = 10^{a' - \log \Delta T - M * b} \quad (2)$$

Dengan $a' = a - \log(b \ln 10)$ dan ΔT merupakan interval waktu tahun pengamatan.

Periode ulang gempabumi dapat diprediksi dengan tiga kategori yaitu jangka pendek, jangka menengah dan jangka panjang. Periode ulang gempabumi dapat menentukan kemungkinan kapan terulang lagi terjadinya gempabumi di suatu daerah dalam waktu yang ditentukan. Sehingga dapat meminimalkan kerusakan yang terjadi [13]. Periode pengulangan (θ) gempabumi dapat dihitung menggunakan persamaan 3 berikut:

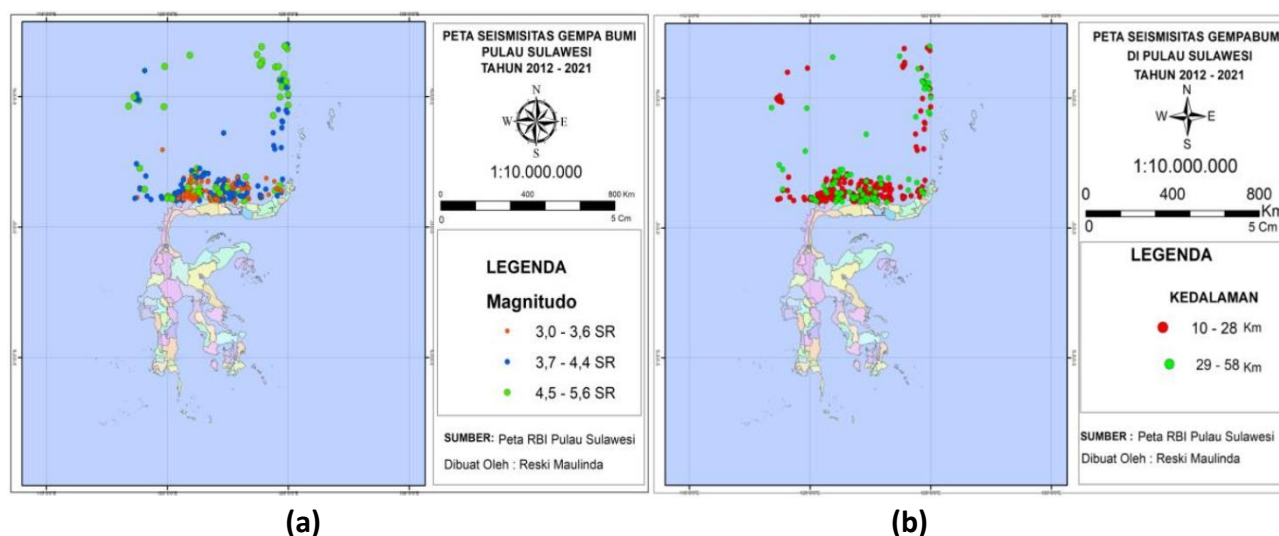
$$\theta = \frac{1}{N1} \quad (3)$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sebaran Seismisitas Gempabumi Di Pulau Sulawesi

Sebaran seismisitas di daerah Sulawesi Utara akan dibuat berdasarkan sebaran magnitudo dan kedalaman. Gambar 2 merupakan sebaran seismisitas berdasarkan magnitudo. Dari 267 data

gempabumi yang terjadi dari kurun waktu 10 tahun (2012 – 2021) gempabumi yang terjadi di daerah tersebut berkisar 3 – 5,6 SR.



Gambar 2. Peta sebaran gempabumi di Pulau Sulawesi berdasarkan (a) Magnitudo (b) kedalaman

Pada Gambar 2 (a), titik-titik berwarna orange memiliki magnitudo 3.0-3.6 SR. Titik-titik berwarna biru memiliki magnitudo 3.7 – 4.4 SR. Titik-titik berwarna hijau memiliki magnitudo 4.5 – 5.6 SR. Sebaran gempabumi yang mengarah ke arah laut dalam Sulawesi Utara didominasi titik berwarna hijau dan titik berwarna biru. Sebaran gempabumi yang ada di bagian antara darat dan laut Sulawesi Utara didominasi oleh titik yang berwarna biru, orange, dan sedikit titik berwarna hijau. Sebaran kejadian gempabumi kebanyakan terjadi di bagian laut Sulawesi. Hal ini diakibatkan adanya pergeseran sistem tumbukan laut maluku ke arah barat karena desakan lempeng pasifik yang bergerak ke barat. Pergeseran tumbukan laut disebabkan adanya penunjaman lempeng laut maluku ke arah barat yang memiliki kemiringan lebih tajam dibandingkan yang tersubduksi ke timur. Selain itu juga disebabkan oleh sesar-sesar aktif yaitu sesar gorontalo, dan adanya aktivitas subduksi di daerah Sulawesi Utara yang termasuk kedalam sistem penunjaman yang relatif dalam/dangkal [2]). Adapun gempa magnitudo besar hanya terjadi beberapa kali yaitu 12 kali kejadian dalam rentang waktu tersebut.

Berdasarkan peta seismisitas gempabumi di daerah Sulawesi Utara pada Gambar 3(b), gempabumi paling sering terjadi pada kedalaman dangkal. Titik-titik sebaran gempabumi yang berwarna merah memiliki kedalaman (10 – 28). Titik sebaran gempabumi yang berwarna hijau memiliki kedalaman (29 – 58). Titik sebaran gempabumi berwarna merah dan hijau dengan kedalaman tersebut termasuk jenis kedalaman dangkal. Sebaran gempabumi yang mengarah ke laut dalam Sulawesi Utara didominasi titik berwarna merah dengan kedalaman (10 – 28). Sebaran gempabumi diantara darat dan laut Sulawesi Utara didominasi titik berwarna merah dengan kedalaman (10 – 28), dan hijau (29 – 58). Sebaran gempabumi yang mengarah ke Barat laut Sulawesi didominasi kedalaman (29 – 58) yaitu titik berwarna hijau dan sedikit titik berwarna merah yaitu kedalaman (10 – 28). Sehingga dapat ditarik kesimpulan bahwa berdasarkan kedalamannya daerah Sulawesi Utara memiliki kedalaman ≤ 70 (gempa dangkal). Hal ini terjadi disebabkan adanya zona subduksi dan sesar sesar aktif yang memiliki kedalaman dangkal [14].

Frekuensi Kejadian Gempabumi

Frekuensi kejadian gempabumi dan nilai log N dihitung berdasarkan interval magnitudo. Data hiposenter yang digunakan diurutkan dari magnitudo terkecil sampai dengan terbesar.

Tabel 1 merupakan hasil perhitungan frekuensi kejadian gempabumi dan log N. Nilai frekuensi kejadian gempabumi dari magnitudo 3.0 – 3.5 didapatkan 83 kejadian, magnitudo 3.6 – 4.0 didapatkan 73 kejadian, magnitudo 4.1 – 4.5 didapatkan 51 kejadian, magnitudo 4.6 – 5.0 didapatkan 48 kejadian. Sedangkan, magnitudo 5.1 – 5.6 didapatkan 12 kejadian gempabumi. Jumlah seluruh kejadian gempabumi didapatkan 267 kejadian gempabumi. Selanjutnya, nilai log N diperoleh dari frekuensi kejadian gempabumi (N). Berdasarkan tabel 1 terlihat bahwa nilai log N (logaritmit frekuensi) yang diperoleh adalah 1,919 untuk magnitudo (3.0 – 3.5 SR), 1.863 (3.6 – 4.0 SR), 1.707 (4.1 – 4.5 SR), 1.681 (4.6 – 5.0 SR), 1.079 (5.1 – 5.6 SR). Log N diperlukan untuk mendapatkan nilai a. Hasil nilai frekuensi dan log N dapat dilihat pada Tabel 1.

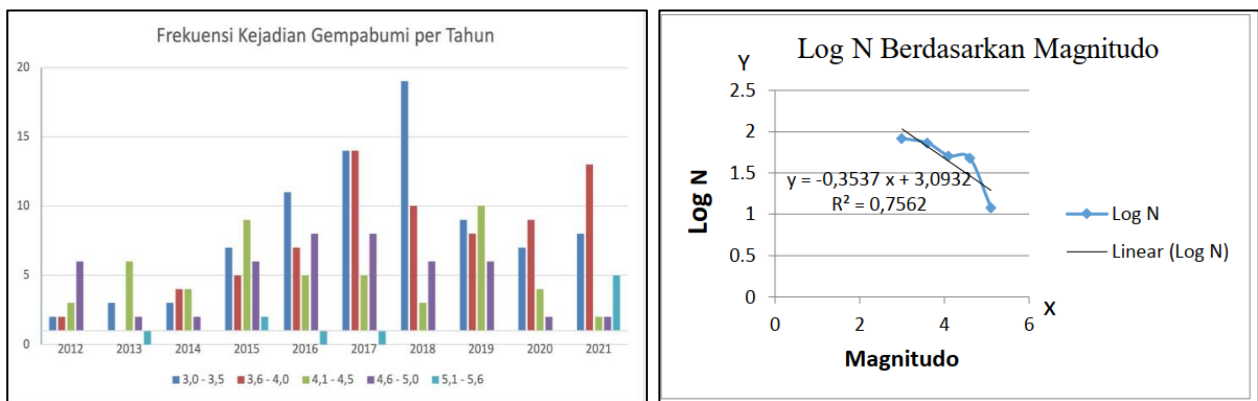
Tabel 1. Hasil perhitungan frekuensi kejadian gempabumi dan log N berdasarkan magnitudo

No	Interval Magnitudo	N (frekuensi)	Magnitudo (SR)	Log N
1	3.0 – 3.5	83	3	1.919
2	3.6 – 4.0	73	3.6	1.863
3	4.1 – 4.5	51	4.1	1.707
4	4.6 – 5.0	48	4.6	1.681
5	5.1 – 5.6	12	5.1	1.079
Jumlah		267	20.4	8.250

Berdasarkan hasil perhitungan pada Tabel 1 tersebut dapat ditunjukkan bahwa frekuensi terbesar terdapat pada magnitudo 3,0 – 3,5 SR dengan jumlah frekuensi yaitu 83 kejadian gempabumi. Frekuensi terkecil yaitu 12 kejadian gempabumi yang terdapat pada magnitudo 5,1 – 5,6 SR. Hal ini menunjukkan bahwa semakin kecil magnitudo maka semakin besar frekuensi gempabumi di daerah Sulawesi Utara. Sebaliknya, semakin besar magnitudo maka semakin kecil frekuensi gempabumi di daerah tersebut [15].

Hubungan Frekuensi Gempabumi dan Magnitudo

Hubungan kejadian gempabumi dan magnitudo didapatkan dari perhitungan interval magnitudo 3,0 SR sampai dengan magnitudo 5,6 SR. Data magnitudo tersebut dipilah untuk mendapatkan berapa banyak kejadian gempabumi pada magnitudo 3,0 – 5,6 SR. Kemudian, setelah didapatkan kejadian gempabumi diploting grafik tersebut. Gambar 3 adalah hubungan magnitudo dan kejadian gempabumi di daerah Sulawesi Utara.



(a) (b)
Gambar 4. Grafik hubungan frekuensi gempabumi dan magnitudo (a) kejadian gempabumi per tahun (b) log N terhadap magnitudo

Gambar 4 merupakan hubungan magnitudo dan jumlah gempabumi yang terjadi dari tahun 2012 sampai dengan 2021. Gambar 4 memperlihatkan bahwa di daerah Sulawesi Utara dari

tahun 2015 – 2018 jumlah frekuensi gempabumi semakin bertambah banyak pada magnitudo 3.0 – 3.5 SR. Tahun 2015 gempabumi terjadi 7 kali, tahun 2016 terjadi 11 kali, 2017 terjadi 14 kali, dan 2018 terjadi 19 kali. Magnitudo 5,1 – 5,6 SR kejadian gempabumi terjadi 12 kali. Tahun 2012 terjadi 1 kali, 2014 terjadi 1 kali, 2015 terjadi 2 kali, 2018 terjadi 1 kali, 2019 terjadi 1 kali, 2020 terjadi 1 kali, dan 2021 terjadi 5 kali. Magnitudo kecil maka frekuensi gempabumi semakin besar. Sebaliknya, magnitudo besar maka frekuensi gempabumi semakin kecil. Hal ini diakibatkan adanya batuan elastis yang mengalami stress, mengalami perubahan dimensi atau perubahan bentuk. Perubahan ini disebut dengan kerapuhan batuan atau regangan [16]. Menunjukkan bahwa daerah Sulawesi Utara memiliki peluang sering terjadinya gempabumi dengan magnitudo kecil.

Nilai a dan Nilai b

Plotting grafik log N berdasarkan magnitudo. Log N merupakan hasil dari jumlah kejadian gempabumi yang dipilah dari masing-masing magnitudo. Nilai log N terhadap magnitudo dapat menunjukkan nilai b-value dan a-value seperti pada Gambar 5. Gambar 5 menunjukkan linier log N terhadap magnitudo dengan koefisien korelasi yaitu 0.7562 yang mendekati korelasi relatif baik. Analisis frekuensi berdasarkan magnitudo dalam bentuk Log N. Nilai b-value yaitu 0.3537 dan nilai a-value yaitu 3.0932. Secara teori atau beberapa ahli mengatakan bahwa nilai b-value dan a-value adalah konstan. Adanya perbedaan hasil nilai b-value ini dengan menurut beberapa ahli tergantung metode dan data yang digunakan [17]. Pada perhitungan tersebut menunjukkan nilai b-value rendah. Nilai b-value yang rendah memiliki korelasi tingkat stress yang tinggi. Hal ini bahwa daerah Sulawesi Utara berpotensi terjadi gempabumi besar dan daerah tersebut memiliki batuan yang lebih rapuh [18]. Gambar 4 dapat dilihat bahwa Frekuensi gempabumi dengan magnitudo >3 relatif besar karena nilai b-value tinggi. Sehingga, tingkat stress pada batuan rendah dan menyebabkan gempabumi kecil. Sedangkan, magnitudo >5 frekuensi gempabumi relatif kecil. Hal ini disebabkan bahwa nilai b-value rendah. Sehingga, memiliki tingkat kerapuhan pada batuan besar yang menyebabkan potensi terjadinya gempabumi besar pada daerah tersebut. b-value yang rendah menunjukkan besarnya kekuatan yang ada didalam batuan [19].

Indeks Seismisitas dan Periode Pengulangan Gempabumi

Untuk menentukan periode pengulangan gempabumi disetiap interval magnitudo, nilai a dan nilai b dihitung menggunakan persamaan maximum likelihood. Hal ini dilakukan untuk mendapatkan periode pengulangan gempabumi yang lebih spesifik dengan rentang magnitudo tertentu. Nilai b dan a berturut-turut berada pada rentang nilai 0,19 – 1,67 dan 1,31 – 7,5. Nilai b dan nilai a yang kecil menyatakan bahwa daerah Sulawesi Utara mempunyai aktivitas seismik yang tinggi dan memiliki peluang terjadinya gempabumi lebih sering [9]. Nilai-a menggambarkan aktivitas seismik dan b menggambarkan karakteristik tekanan yang dialami oleh medium. Nilai b dan a sangat bergantung pada jumlah kejadian gempabumi yang terjadi di suatu daerah.

Tabel 2 Nilai-b, nilai-a, indeks seismisitas dan periode pengulangan gempabumi

M	M₀	b	a	N1	θ
3,26	3	1,67	7,52	3,05	0,33
3,78	3	0,56	3,64	2,69	0,37
4,27	3	0,34	2,63	1,88	0,53
4,78	3	0,24	2,16	1,77	0,57
5,24	3	0,19	1,31	0,44	2,27

Keterangan : M = Magnitudo Rata-rata (SR)

M_0 = Magnitudo Minimum (SR)

N1 = Nilai Indeks Seismisitas

θ = Nilai Periode Pengulangan (Tahun)

Tabel 2 hasil indeks seismisitas daerah Sulawesi Utara berada pada rentang 0,44 - 3.05. Tabel 2 memperlihatkan bahwa nilai indeks seismisitas menurun seiring dengan bertambah besarnya megnitudo gempabumi. Hal tersebut menunjukkan bahwa jumlah kejadian gempabumi di daerah Sulawesi Utara dengan magnitudo kecil lebih banyak dibandingkan jumlah kejadian gempabumi pada magnitudo besar. Hal ini menunjukkan bahwa daerah Sulawesi Utara memiliki nilai indeks seismisitas besar pada magnitudo kecil dan memiliki nilai indeks seismisitas kecil pada magnitudo besar. Pada daerah tersebut bahwa semakin besar nilai indeks seismisitas maka semakin sering terjadinya gempabumi dan semakin kecil nilai indeks seismisitas gempabumi maka peluang terjadinya gempabumi semakin sedikit [20]. Berdasarkan hasil periode pengulangan gempabumi pada Tabel 4.2 terlihat bahwa nilai berkisar antara 0,33 – 2,27 tahun dengan magnitudo rata-rata 3,26 – 5,24. Waktu pengulangan gempabumi relatif lebih kecil untuk gempabumi dengan magnitudo lebih kecil dari 3,5 SR. Hal ini selaras dengan aktivitas seismik di daerah Sulawesi Utara di dominasi oleh gempabumi dengan magnitudo 3,0 – 3,5 SR. Dalam waktu 10 tahun pengamatan, jumlah kejadian gempabumi dengan magnitudo tersebut sebanyak 83 kali. Nilai pengulangan gempabumi tertinggi yaitu 2,27 tahun untuk gempabumi dengan magnitudo > 5 SR. Selama 10 tahun pengamatan gempabumi dengan magnitudo tersebut hanya terjadi 12 kali.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis data gempabumi yang telah dijabarkan dapat disimpulkan bahwa periode pengulangan gempabumi daerah Sulawesi Utara berkisar antara 0,33 – 2,27 tahun. Hal ini menunjukkan bahwa daerah Sulawesi Utara memiliki peluang terjadinya gempabumi yang cukup besar. Hal ini disebabkan daerah Sulawesi memiliki tingkat stress yang tinggi yang ditunjukkan oleh berada pada rentang nilai 0,19 – 1,67 dengan b rata-rata yaitu 0,37.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] N. Lira, "Analisis Parameter Seismik Gempabumi Wilayah Lengan Timur Sulawesi dengan Metode Empiris," Universitas Islam Negeri Alauddin, Makassar, 2017.
- [2] G. Pasau and A. Tanauma, "Pemodelan sumber gempa di Wilayah Sulawesi Utara sebagai upaya mitigasi bencana gempa bumi," *Jurnal Ilmiah Sains*, pp. 202-209, 2011.
- [3] T. Putra, E. Juita and A. Rezki, "Analisis Seismistas Wilayah Kabupaten Kepulauan Mentawai Berdasarkan Data Gempa Bumi Periode 2011-2021," *Jurnal Multidisiplin Indonesia*, vol. 1, no. 3, pp. 804-824, 2022.
- [4] D. Wahyudi, P. Intan and N. Hendrastuti, "Analisis seismotektonik dan periode ulang gempa bumi pada wilayah Jawa Timur menggunakan relasi Gutenberg–Richter," *Jurnal Mahasiswa Matematika ALGEBRA*, vol. 1, no. 1, pp. 22-32, 2020.
- [5] H. Hariani and A. Wahyuni, "Karakteristik Tektonik dan Periode Ulang Gempa Bumi pada Sesar Matano Sulawesi Selatan," *JFT: Jurnal Fisika dan Terapannya*, vol. V, no. 2, pp. 147-158, 2018.

- [6] A. Mutiarani, M. Madlazim and T. Prastowo, "Studi B-Value Untuk Pengamatan Seismisitas Wilayah Pulau Jawa Periode 1964-2012," *Jurnal Inovasi Fisika Indonesia (IFI)*, vol. II, no. 2, 2013.
- [7] B. Harimei, M. Massinai and M. Mustakin, "Analisis Seismisitas pada Daerah Sulawesi Utara," *Jurnal Geoelebes*, vol. I, no. 2, pp. 53-61, 2017.
- [8] F. Ernandi, "Ernandi, Fahira Nadiva. "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*, vol. IX, no. 3, pp. 24-30, 2020.
- [9] R. Fidias, D. Pujiastuti and A. Sabarani, "Korelasi Tingkat Seismisitas Dan Periode Ulang Gempabumi Di Kepulauan Mentawai Dengan Menggunakan Metode Gutenberg-Richter," *Jurnal Fisika Unand*, vol. VII, no. 1, pp. 84-89, 2018.
- [10] F. N. Ernandi and Madlazim, "Analisis Variasi A-value Dan B-value Dengan Menggunakan Software Zmap V.6 Sebagai Indikator Potensi Gempabumi Di Wilayah Nusa Tenggara Barat," *Jurnal Inovasi Fisika Indonesia*, vol. Vol.IX, no. No.03, pp. 24-30, 2020.
- [11] I. & R. R. M. Kurniawati, "Analisis Statistik Kegempaan Wilayah Sulawesi Selatan Periode 2006-2018.," *Jurnal Matematika dan Statistika Serta Aplikasinya*, vol. 8, pp. 78-81, 2020.
- [12] W. Asnita, D. S. and I. Rusydy, "Kajian Statistik Seismisitas Kawasan Sumatera," *Jurnal Natural*, vol. XVI, no. 2, pp. 5-9, 2016.
- [13] N. A. R. Kusumawati, "Analisis Periode Ulang Gempa Bumi Sebagai Mitigasi Bencana Menggunakan Metode Likelihood Berdasarkan Data Gempa Yogyakarta," Semarang, 2020.
- [14] A. Huda and N. Ridho, "Analisis Seismisitas Sulawesi Berdasarkan Data Kegempaan Periode 2008 - 2018," *Jurnal Petrogas*, vol. I, pp. 34-43, 2019.
- [15] R. Fidias, D. Pujiastuti and A. Sabarani, "Korelasi Tingkat Seismisitas dan Periode Ulang Gempa Bumi di Kepulauan Mentawai dengan Menggunakan Metode Gutenberg-Richter," *Jurnal Fisika Unand*, vol. VII, no. 1, pp. 84-89, 2018.
- [16] A. Mutiarani and T. Prastowo, "Studi b-value Untuk Pengamatan Seismisitas Wilayah Pulau Jawa Periode 1964-2012," *Jurnal Fisika*, vol. II, pp. 1-5, 2013.
- [17] H. Risanti and T. Prastowo, "Estimasi Parameter a-value dan b-value Untuk Analisis Studi Seismisitas dan Potensi Bahaya Bencana Gempa Tektonik Di Wilayah Maluku Utara," *Jurnal Inovasi Fisika Indonesia*, vol. X, pp. 1-10, 2021.
- [18] P. I, "Analisis Statistik Distribusi Kejadian Gempabumi Di Luwu Timur Morowali, dan Morowali Utara, Sulawesi," *Jurnal Geofisika*, vol. XX, pp. 1-7, 2022.
- [19] A. I and Madlazim, "Analisis Variasi a-value dan b-value Dengan Menggunakan Software Zmap V.6 Sebagai Indikator Potensi Gempabumi Di Wilayah Nusa Tenggara Barat," *Jurnal Inovasi Fisika Indonesia*, vol. IX, pp. 24-30, 2020.
- [20] E. A. S. & N. M. F. Lusiani, "Penentuan Tingkat Seismisitas Wilayah Provinsi Aceh Dengan Metode Gutenberg Richter (Nilai a dan Nilai b)," *Jurnal Meteorologi dan Geofisika*, vol. 19, pp. 71-79, 2018.