

IDENTIFIKASI TINGKAT KERAPUHAN BATUAN (*B-VALUE*) DENGAN MENGGUNAKAN METODE *LIKELIHOOD* DI WILAYAH SUMATERA UTARA PERIODE 1990-2021

Ummi Khairani Siregar, Ratni Sirait, Lailatul Husna Lubis*

Program Studi Fisika, Fakultas Saintek, Universitas Islam Negeri Sumatera Utara

e-mail*: lailatulhusnalubis@uinsu.ac.id

Diterima 10 September 2022

Disetujui 5 Mei 2023

Dipublikasikan 23 Mei 2023

<https://doi.org/10.33369/jkf.6.1.37-46>

ABSTRAK

Sumatera Utara merupakan salah satu provinsi di Pulau Sumatera yang paling rentan terhadap bencana gempa bumi. Karena terletak pada zona subduksi antara Lempeng Eurasia dan Indo-Australia sehingga menjadi pemicu utama tingginya aktivitas gempa bumi di wilayah tersebut. Data yang dianalisis dalam kurun waktu 31 tahun (1990-2021). Kekuatan gempa bumi ≥ 4 SR dan kedalamannya 0 - 300 km. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui sebaran *b-value*, indeks seismisitas, probabilitas, serta periode ulang gempa bumi dengan menggunakan Metode *Likelihood*. Dari analisis menggunakan *software* Zmap diperoleh hasil sebaran *b-value* wilayah Sumatera Utara berkisar antara 0.9 – 1.5 dan untuk *a-value* berkisar antara 6 – 9 yang diperoleh sangat bervariasi dengan standar deviasi sebesar 0.17. Hasil perhitungan indeks seismisitas pertahun dengan magnitude ≥ 4 SR sebesar 0.33. Probabilitas gempa bumi dalam periode 10 - 100 tahun berkisar antara 68.3% - 99.9%. Periode ulang gempa bumi merusak berkisar 8.6 tahun.

Kata kunci : *b-value*, indeks seismisitas, probabilitas, periode ulang

ABSTRACT

North Sumatera is one of the provinces on the island of Sumatera that is most vulnerable to earthquake. Because it is located in a subduction zone between the Eurasian and Indo-Australia Plates, it is the main trigger for high earthquake activity in the region. The data were analyzed over a period of 31 years (1990-2021). Earthquake strength > 4 SR and depth 0-300 km. This study aims to determine the distribution of *b-values* in the North Sumatera region ranged from 0.9 to 1.5 and for *a-values* ranging from 6 to 9 the results obtained were very varied with a standard deviation of 0.17. The probability of an earthquake in a period of 10-100 years ranges from 68.3% - 99.9%. The return period of a destructive earthquake is about 8.6 years.

Keywords : *b-value*, seismicity index, probability, return period

I. PENDAHULUAN

Secara geografis, Sumatera Utara terletak pada 1-4° LU dan 98-100° BT, dengan luas daratannya mencapai 72.981,23 km. Data yang dianalisis dalam periode 1990-2021 (31 tahun) dengan kekuatan gempa ≥ 4 SR dan kedalamannya 0-300 km (1). Sumatera Utara termasuk zona tektonik aktif karena memiliki sesar semangko sehingga wilayah ini sering terjadi gempa bumi tektonik. Kondisi tektonik Sumatera Utara berada pada zona subduksi antara Lempeng Eurasia dan Indo-Australia, sehingga menyebabkan munculnya beberapa sesar aktif yang berpotensi menjadi titik pusat gempa bumi (2). Secara geologis, Sumatera Utara memiliki struktur dan batuan yang kompleks dan sudah beberapa kali mengalami proses tektonik. Hal ini mengakibatkan terbentuknya rangkaian jalur patahan, rekahan dan pelipatan disertai dengan aktivitas vulkanik. Gempa-gempa di wilayah Sumatera Utara sering terjadi karena beberapa sebab baik dari sesar Sumatera maupun gunung aktif disekitarnya (3). Sehubungan dengan keadaan tektonik di Sumatera Utara dan terdapat patahan aktif lokal yang dapat menyebabkan terjadinya gempa bumi.

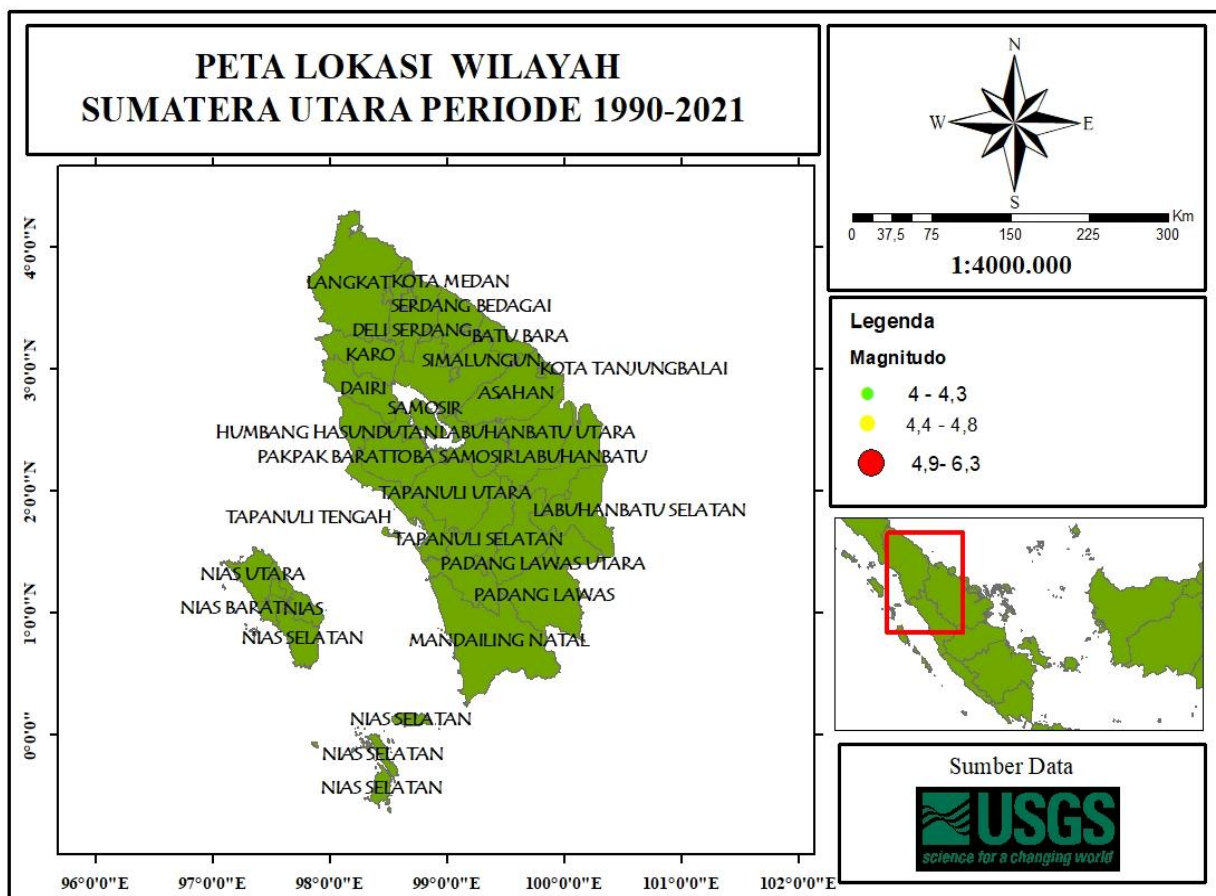
Gempa bumi merupakan guncangan bumi yang terjadi akibat tumbukan antar lempeng bumi dan runtuhnya batuan. Berdasarkan kejadian dan letak sumbernya, gempa bumi terdiri dari dua bagian, diantaranya gempa vulkanik dan gempa tektonik. Gempa vulkanik adalah gempa yang terjadi akibat getaran yang diakibatkan oleh letusan gunung api, getarannya hanya terasa di sekitar kaki gunung. Sedangkan gempa tektonik adalah gempa yang terjadi karena pergerakan pada lempeng tektonik yang menyebabkan tegangan dan regangan (4). Apabila tegangan dan regangan tersebut meningkat dan melewati batas kekuatannya, maka lempengan batuan akan patah. Dari patahan itu, energi yang ditahan akhirnya lepas sebagian bahkan seluruhnya dalam bentuk getaran ke seluruh permukaan bumi yang disebut gempa bumi tektonik (5).

Mitigasi bencana gempa bumi pada daerah penelitian perlu dilakukan pengujian mendasar tentang seismotektonik untuk mengetahui patahan atau sesar yang mempengaruhi aktivitas seismik di suatu wilayah. Seismisitas adalah data sebaran gempa antara satu wilayah dengan wilayah lain. Parameter seismisitas diantaranya *b-value*, posisi gempa, kedalaman gempa, dan percepatan permukaan tanah. Penelitian ini melakukan analisis parameter *b-value* karena mampu mempresentasikan akumulasi tekanan dan tingkat kerapuhan batuan (6). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui sebaran *b-value*, indeks seismisitas, probabilitas, serta periode ulang gempa bumi dengan menggunakan Metode *Likelihood*.

II. METODE PENELITIAN

2.1 Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian ini menggunakan data yang diperoleh dari situs USGS wilayah dengan koordinat 1-4° LU dan 98-100° BT. Peta lokasi penelitian terdapat pada gambar 1.



Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian

Software yang digunakan dalam penelitian ini yaitu, *Microsoft Word 2010*, *Microsoft Excel 2010*, *Software Argis 10.8* (untuk pemetaan), *software zmap v6.0*. untuk menghitung

sebaran *b-value*. Bahan yang digunakan berupa katalog gempa bumi periode 1990-2021. Data gempa bumi yang diperoleh USGS dan IRIS, dilakukan dengan menginputkan magnitude, waktu, kedalaman (*depth*) dan titik koordinatnya. Dalam pengolahan tersebut, ada beberapa data yang diperoleh antara lain latitude, longitude, waktu, magnitude dan kedalamannya (*depth*) dalam format *Excel*. Setelah parameter kita tentukan, data tersebut diolah dengan menggunakan metode *likelihood* dan metode statistik.

Pada penelitian ini, ada beberapa langkah yang dilakukan untuk menentukan nilai-*b*, yaitu :

1. Disusun data statistik gempa bumi pada tahun 1990-2021 berdasarkan latitude, longitude, magnitude, dan kedalaman. Data yang diambil dari situs USGS (*United States Geological Survey*) dan IRIS (*Incorporated Research Institutions for Seismology*).
2. Dihitung frekuensi kumulatif berdasarkan magnitudenya dengan menggunakan *Microsoft Excel*.
3. Dihitung dan dibuat pemetaan *a-value* dan *b-value* menggunakan *software Z-Map*

$$b = \frac{0,4343}{M - M_{\min}} \quad (1)$$

Dimana :

M : magnitude rata-rata

M min : magnitude minimum.

$$a = \log N(M > M_0) + \log \hat{b} \ln 10 + M_0 \hat{b} \quad (2)$$

4. Dicari Indeks Seismisitas menggunakan *Microsoft Excel* dan hasil perhitungan dibuat tabel. Hitung terlebih dahulu parameter – parameter untuk mencari indeks seismisitas dengan menggunakan persamaan 3 sampai 5.

$$\hat{a}_1 = \alpha - \log T \quad (3)$$

$$\hat{a}'_1 = \alpha_1 - \log T(\hat{b} \ln 10) \quad (4)$$

$$\hat{a}_1 = \alpha' - \log T \quad (5)$$

Setelah parameter didapat, maka kita dapat mencari indeks seismisitas menggunakan persamaan 8.

$$N_1(M \geq M_0) = 10^{(\alpha'_1 - bM)} \quad (6)$$

$$N_1(M \geq 0) = 10^{\alpha'_1} \quad (7)$$

$$N_1(M \geq 4) = 10^{(\alpha'_1 - 4b)} \quad (8)$$

5. Dicari probabilitas gempa bumi merusak dari kurun waktu tertentu dengan menggunakan persamaan 9.

$$P(M, T) = 1 - e^{-N(M) \cdot T} \quad (9)$$

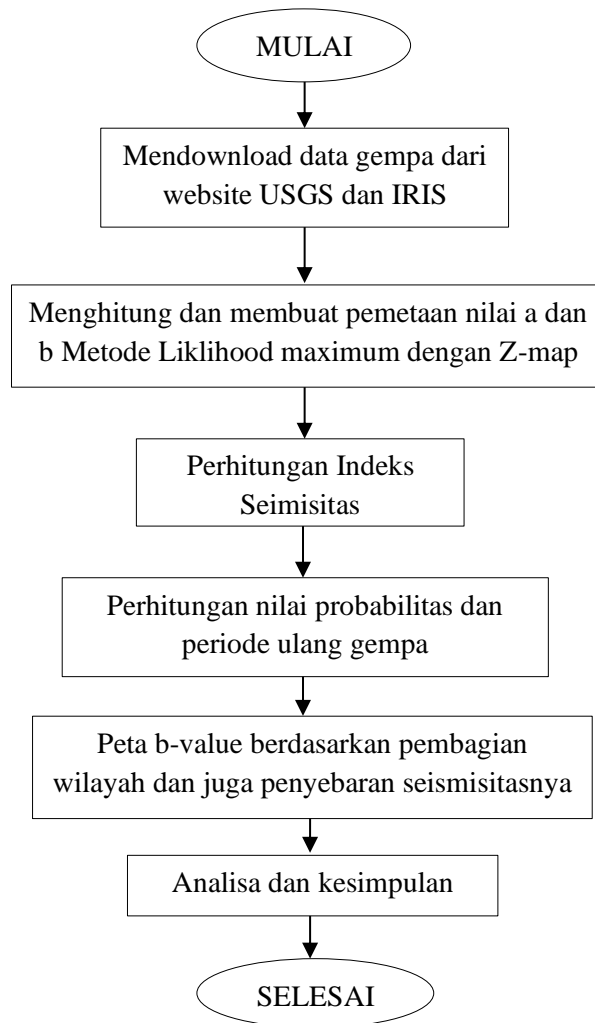
$$N_1(M) = N_1(M \geq 4) \cdot 10^{-4\hat{b}} \quad (10)$$

Untuk mendapatkan rata-rata periode ulang gempa bumi dapat dihitung dengan persamaan 11.

$$\theta = \frac{1}{N_1(M)} \quad (11)$$

6. Disajikan dalam bentuk tabel semua data dan hasil perhitungan agar lebih mudah dalam menganalisa.
7. Digambarkan peta sesimisitas yang terjadi pada lokasi penelitian dengan menggunakan *software Arcgis* (7).

2.4 Diagram Alir Penelitian

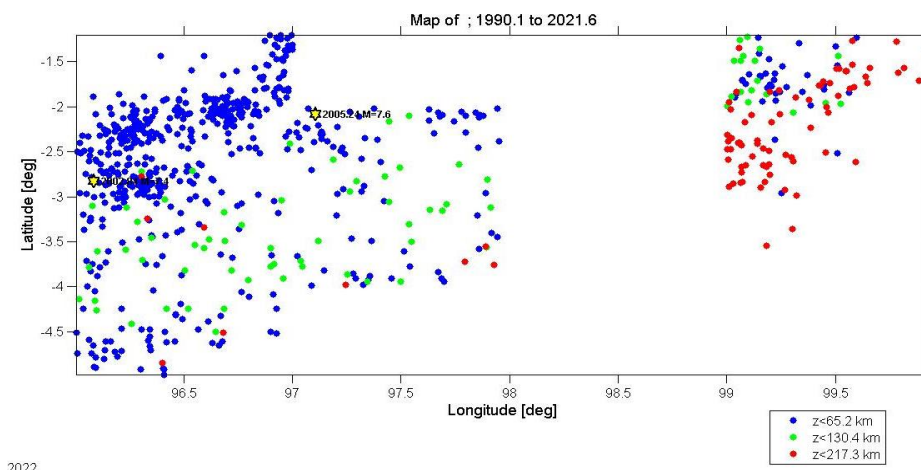


Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

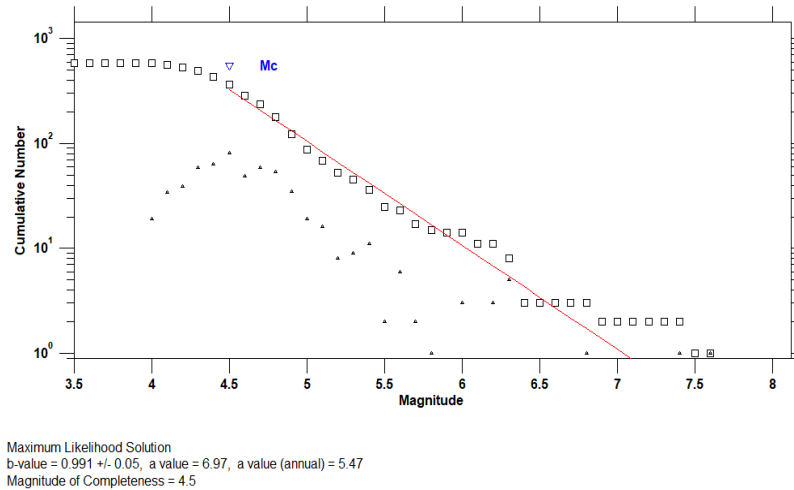
3.1 Hasil Penelitian

Data yang dianalisis dari situs USGS yaitu sebanyak 412 kejadian dengan magnitudo ≥ 4 SR dan kedalamannya 0-300 km. Setelah itu, data tersebut disortir untuk menentukan gempa utama (*mainshok*) yang lepas dari gempa *foreshock* dan *Aftershock* sehingga diperoleh data gempa utama sebanyak 326 kejadian, Data yang di plot berdasarkan hiposenter / kedalaman gempa yang terjadi di wilayah Sumatera Utara dapat dilihat pada gambar 3 (8).



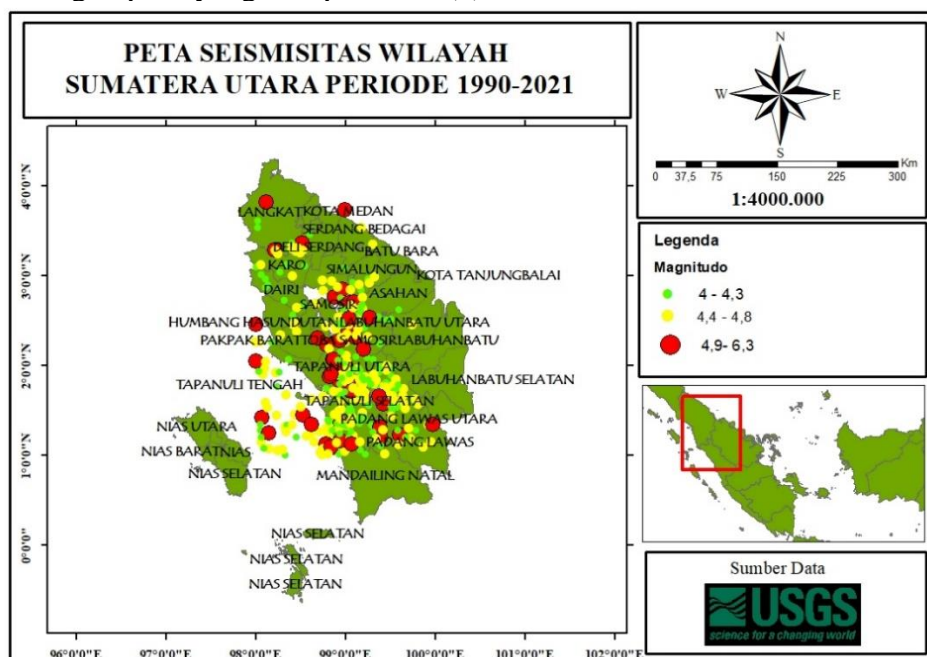
Gambar 3. Peta Seismisitas Wilayah Sumatera Utara (1990-2021)

Lalu ditentukan *Magnitude of Complemence* (M_c). Kemudian, tentukan parameter *b-value* dan *a-value* dengan menggunakan Metode *Likelihood* dengan M_c yang dipilih yaitu kombinasi terbaik (M_c 95% probability – M_c 90% probability – maximum curvatur). Nilai M_c dapat dilihat pada gambar 4. plot distribusi frekuensi magnitudo wilayah Sumatera Utara (1990-2021) (9)



Gambar 4. Distribusi frekuensi - magnitudo wilayah Sumatera Utara (1990-2021).

Pada gambar 4 diperoleh hubungan antara frekuensi dengan magnitudo dengan menggunakan Metode *likelihood*. Secara umum, hasil parameter *b-value* sebesar 0.991 ± 0.05 , artinya menggambarkan garis / kemiringan dari persamaan linier hubungan frekuensi dan magnitudo. *a-value* sebesar 6.97 dengan nilai tahunan 5.47 artinya nilai *a-value* menunjukkan bahwa tingkat aktivitas kegempaan cukup tinggi karena terjadi pergerakan lempeng tektonik di wilayah penelitian. Dan nilai M_c sebesar 4.5 merupakan batas magnitudo terendah dimana 100 % kejadian gempa bumi di suatu wilayah dalam kurun waktu tertentu tercatat seluruhnya pada katalog periode 31 tahun. Perlu diketahui, nilai M_c menggambarkan kualitas pada katalog gempa yang digunakan. Jika nilai M_c nya terlalu tinggi artinya penggunaan sampel terlalu sedikit, tetapi bila nilai M_c terlalu rendah maka parameter kegempaan yang di input salah (6)



Gambar 5. Peta Variasi *b-value* Wilayah Sumatera Utara

Adapun sebaran seismisitas dengan magnitudo ≥ 4 SR dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Sebaran Seismisitas Wilayah Penelitian

No.	Mag (M)	Jumlah (N)	Mn	Mo
1	4	27	108	
2	4.1	34	139.4	
3	4.2	30	126	
4	4.3	47	202.1	
5	4.4	53	233.2	
6	4.5	37	166.5	
7	4.6	25	115	
8	4.7	19	89.3	
9	4.8	14	67.2	4
10	4.9	12	58.8	
11	5	8	40	
12	5.1	5	25.5	
13	5.2	5	26	
14	5.3	3	15.9	
15	5.4	1	5.4	
16	5.5	3	16.5	
17	5.6	2	11.2	
18	6.3	1	6.3	
JUMLAH	87.9	326	1452.3	

Terdapat 326 kejadian gempa bumi di wilayah Sumatera Utara periode 1990-2021 dengan skala ≥ 4 SR. Berdasarkan tabel 1, gempa bumi dengan magnitudo 4.4 SR lebih sering terjadi yaitu sebanyak 53 kali, kemudian gempa terbesar dengan magnitudo 6.3 SR hanya terjadi satu kali (7).

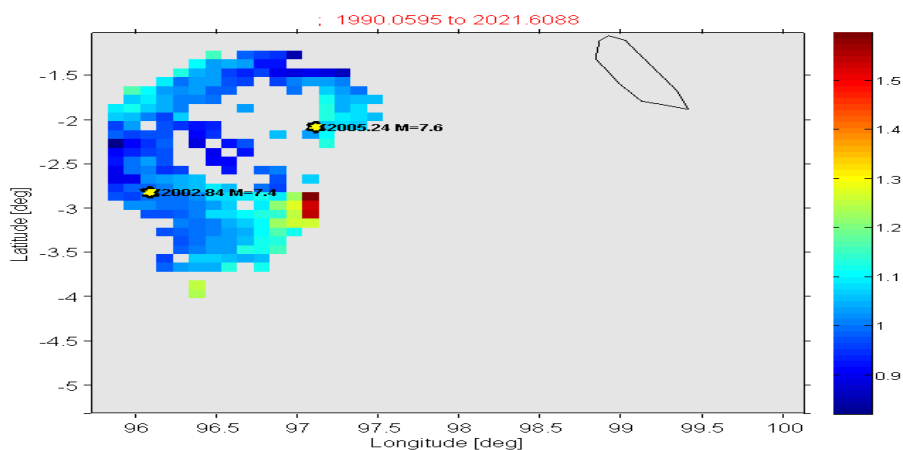
3.1.1 Hasil *b-value* dan *a-value*

Hasil perhitungan *b-value* dan *a-value* menggunakan *Microsoft Excel* terdapat pada tabel 2.

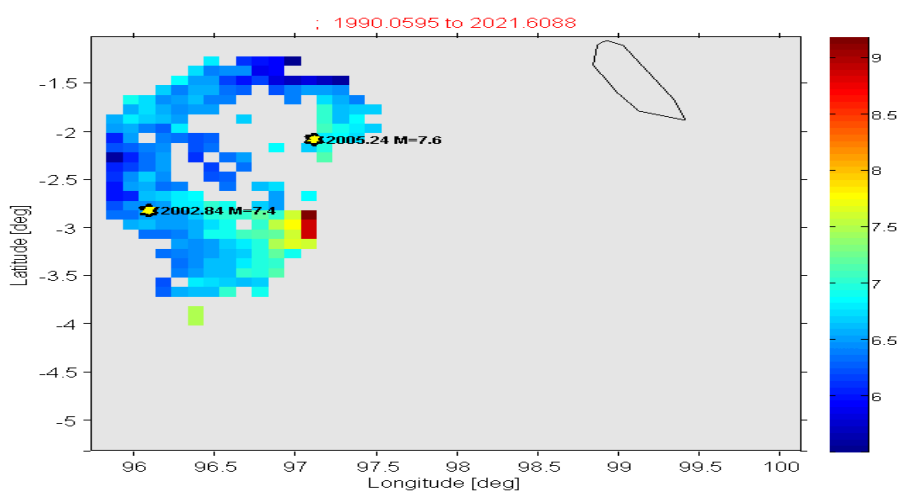
Tabel 2. *b-value*, b batas atas, b batas bawah, *a-value*

\hat{b}	\bar{b}	\underline{b}	\hat{a}
0.954686454	1.058321831	0.851051077	6.674039864

Hasil sebaran *b-value* dan *a-value* menggunakan *Software Zmap v6.0*. terdapat pada gambar 6 dan 7. Berdasarkan hasil perhitungan *a-value* dan *b-value* di wilayah Sumatera Utara, *b-value* berkisar antara 0.9 – 1.5 dan *a-value* berkisar antara 6 – 9 dengan standar deviasi 0.17. Hal tersebut sesuai dengan pernyataan Gutenberg-Richter mengenai *b-value* untuk gempa dangkal berkisar antara 0.45 – 1.5, dan menurut pernyataan (Sholz,1986) , *a-value* berkisar antara 1 – 10 dengan kriteria *a-value* < 6 relatif rendah, sedangkan *a-value* > 6 tergolong tinggi. Dapat diartikan bahwa wilayah tersebut memiliki aktivitas seismik yang tinggi dan tidak terjadi akumulasi energi, sehingga gempa yang terjadi banyak namun magnitudenya kecil (10) Jika *b-valuenya* semakin tinggi begitu juga dengan *a-valuenya* maka menunjukkan bahwa batuannya semakin rapuh diwilayah tersebut (11).



Gambar 6. Sebaran *b-value* Wilayah Sumatera Utara



Gambar 7. Sebaran *a-value* Wilayah Sumatera Utara

3.1.2 Hasil Indeks Seismisitas

Tabel 3. Indeks Seismisitas Wilayah Penelitian

\hat{a}_1	\hat{a}'	\hat{a}'_1	$N_1^{(M \geq 4)}$
5.18267817	4.8406017375	3.3492400475	0.339229969

Hasil perhitungan indeks seismisitas pertahun untuk wilayah penelitian dengan magnitude ≥ 4 SR sebesar 0.33. artinya memiliki tingkat aktivitas gempa yang tinggi dan rawan terjadi gempa. Hal ini dapat dibuktikan dengan jumlah frekuensi terjadinya gempa bumi (tabel 1.) sebanyak 326 kali selama 31 tahun (12).

3.1.3 Hasil Probabilitas dan Periode Ulang Kejadian Gempa Bumi

Tabel 4. Probabilitas Gempa Bumi Wilayah Penelitian

Probabilitas				
$N_1^{(M \geq M_0)}$	10 tahun	30 tahun	50 tahun	100 tahun
0.115076972	68.3%	97.1%	99.6%	99.9%

Probabilitas kejadian gempa bumi merupakan kemungkinan terjadinya gempa bumi pada waktu tertentu. Untuk masing-masing wilayah penelitian berbeda satu sama lain dilihat dari indeks seismisitasnya. Parameter yang dihitung sebagai indeks seismisitasnya memudahkan kita untuk mengetahui kemungkinan terjadinya gempa besar di suatu wilayah dalam kurun waktu tertentu.

Tabel 5. Periode Ulang Yang Merusak Di Wilayah Penelitian

Nilai periode ulang yang merusak (Tahun)
8.689835899

Untuk wilayah Sumatera Utara probabilitas terjadinya gempa merusak pada $T = 10, 30, 50,$ dan 100 tahun dengan $M \geq 6.3$ berkisar Antara $68.3\% - 99.9\%$ dengan periode ulang 8.6 tahun (8).

3.2 Pembahasan

Kondisi geografis Indonesia terletak diantara pertemuan tiga lempeng tektonik yaitu Lempeng Eurasia, Lempeng Indo-Australia, dan Lempeng Pasifik yang menjadikan Indonesia sebagai salah satu Negara dengan tingkat resiko gempa yang tinggi. Di Indonesia salah satu daerah yang rawan gempa adalah Pulau Sumatera karena kondisi geografisnya dilalui oleh sesar, zona subduksi, dan gunung berapi. Pada penelitian ini, kejadian gempa bumi di Sumatera Utara umumnya diawali dengan gempa utama dan diikuti oleh gempa susulan, akibatnya sebaran titik gempa bumi di Sumatera Utara cenderung menyatu di wilayah tertentu. Selain itu, ada kecenderungan bahwa gempa bumi terjadi di wilayah yang dekat dengan gunung berapi, zona subduksi, dan sesar aktif (13).

Berdasarkan data yang dikumpulkan dari USGS selama periode 1990-2021, telah terjadi gempa dengan skala besar yang mengguncang wilayah Sumatera Utara. Gempa dengan skala besar yang memungkinkan terjadinya kerusakan bahkan menelan korban jiwa yaitu gempa di Sibolga dengan kekuatan 6.3 SR dan kedalamannya 6.88 km pada tahun 2006, gempa di Kabupaten Samosir dengan kekuatan 5.6 SR dan kedalamannya 56.68 km pada tahun 2017. Berdasarkan hasil penelitian, *b-value* tertinggi berkisar antara 0.9 s/d 1.5 terdapat pada wilayah Sibolga dan Samosir. *B-value* merupakan parameter yang dapat menunjukkan tingkat kerapuhan batuan. Apabila *b-value* semakin tinggi, maka semakin rapuh batuan di wilayah tersebut sehingga aktifitas seismic juga semakin besar. *B-value* juga dapat menggambarkan kondisi tekanan batuan di wilayah penelitian, *b-value* yang tinggi menggambarkan tingkat tekanan yang rendah, tetapi apabila *b-valuenya* rendah maka tingkat *stress* atau tekanannya tinggi (14).

Menurut BMKG, gempa bumi yang terjadi di Sibolga merupakan jenis gempa bumi dangkal yang disebabkan oleh aktifitas subduksi Lempeng Indo-Australia terhadap Lempeng Eurasia. Dan gempa bumi yang terjadi di wilayah Samosir tersusun oleh morfologi perbukitan, lembah dan dataran. Batuannya merupakan endapan kuartar yang terdiri dari endapan sungai, rawa serta batuan rombakan gunung api muda yang beberapa bagian sudah mengalami pelapukan dan bersifat lepas, lunak, dan memperkuat guncangan, sehingga rawan terjadi gempa bumi (15). Endapan kuartar secara umum, bersifat belum menyatu dan bersifat memperkuat efek guncangan, sehingga rawan terjadi gempa bumi. Gempa bumi berpusat di Lempeng Samudera Indo-Australia yang terjadi akibat reaktivasi sesar disebabkan karena litosfer samudera yang mendekati zona subduksi dan menekuk ke dalam parit laut dalam. Sehingga di wilayah tersebut memiliki tingkat kerapuhan batuan yang cukup tinggi, salah satunya disebabkan karena tersusun oleh batuan endapan kuartar yang bersifat lepas lunak dan beberapa bagian merupakan batuan rombakan gunung api muda yang telah mengalami pelapukan.

IV. SIMPULAN DAN SARAN

4.1 Simpulan

Berdasarkan hasil analisis dengan menggunakan Metode *Likelihood* untuk wilayah Sumatera Utara dan sekitarnya dapat disimpulkan bahwa : 1) Sebaran *b-value* untuk wilayah Sumatera Utara Identifikasi Tingkat Kerapuhan Batuan (*b-value*) dengan Menggunakan Metode *Likelihood* di Wilayah Sumatera Utara
Ummi Khairani Siregar, Ratni Sirait, Lailatul Husna Lubis

dan sekitarnya 0.9 sampai 1.5 dan untuk *a-value* sebesar 6 sampai 9 dengan standar deviasi 0.170787325. 2) Hasil perhitungan indeks seismisitas pertahun pada wilayah Sumatera Utara dan sekitarnya dengan magnitude ≥ 4 SR adalah 0.339229969. 3) Probabilitas gempa bumi untuk wilayah Sumatera Utara dan sekitarnya dalam 68.3%, 97.1%, 99.6% dan 99.9% , dengan periode ulang gempa bumi merusak pada wilayah Sumatera Utara dan sekitarnya berkisar 8.6 tahun.

4.2 Saran

Adapun saran yang dapat diberikan adalah 1) untuk penelitian selanjutnya, dapat disempurnakan lagi dengan menambahkan faktor lain selain tingkat seismisitas, misalnya kepadatan penduduk dan faktor geologi. 2) Sebaiknya perlu dianalisis perbandingan antara metode *likelihood* dengan metode yang lain untuk mengetahui manakah metode yang paling akurat dalam menganalisis tingkat seismisitas suatu wilayah.

DAFTAR PUSTAKA

1. Madlazim. Kajian Awal Tentang *b Value* Gempa Bumi Di Sumatra Tahun 1964-2013. Jur Fis FMIPA UNESA [Internet]. 2013;3(1):41–6. Available from: <http://earthquake>.
2. Meiliana R, Rizki R, Fattah EI. Analisis Model Kecepatan Seismik 1-D dan Relokasi Hiposenter Gempa Sumatera Utara 19 Mei-31 Agustus 2008. RepoIteraAcId [Internet]. 2008; Available from: http://repo.itera.ac.id/assets/file_upload/SB2009140090/12116165_20_131247.pdf
3. Agustawati A, Mei I, Si M. Studi *B-value* Untuk Analisis Seismisitas Berdasarkan Data Gempabumi Periode 1904-2014. RepositoryUnhasAcId [Internet]. 2014;2014. Available from: http://repository.unhas.ac.id/bitstream/handle/123456789/22117/Jurnal_Aryani_Agustawati-H22112280.pdf?sequence=1
4. Tauladani R, Ismail N, Sugianto D. Kajian Seismisitas Dan Periode Ulang Gempa Bumi Di Aceh. Pascasarj Univ Syiah Kuala. 2015;7(1):44–50.
5. Hidayat N, Santoso EW. Gempa Bumi Dan Mekanismenya. Vol. 2, Alami: Jurnal Teknologi Reduksi Resiko Bencana. 1997. p. 50.
6. Ernandi FN, . M. Analisis Variasi *a-value* dan *b-value* Dengan Menggunakan *Software* Zmap V.6 Sebagai Indikator Potensi Gempa Bumi Di Wilayah Nusa Tenggara Barat. Inov Fis Indones. 2020;9(3):24–30.
7. Muhammad A. Perhitungan *b value* menggunakan metode *likelihood* untuk daerah sumatera barat dan sekitarnya (3 juni 1909 - 23 desember 2009). 2010;
8. Linda, Ihsan N, Palloan P. Analisis Distribusi Spasial Dan Temporal Seismotektonik Berdasarkan Nilai *b-value* dengan Analysis of Spatial and Temporal Distribution Of Seismotectonics Based On *b-value* Using The *Likelihood* Method On Java Pendahuluan Gempa bumi sering melanda Indonesia . 2019;(April):16–31.
9. Ikhlasul Amalia M. Kaitan *b Value* dengan Magnitudo dan Frekuensi Gempa Bumi Menggunakan Metode Gutenberg-Richter di Sumatera Utara Tahun 2002-2012. Jur Fis FMIPA Univ Negeri Surabaya. 2014;03:1–23.
10. Harlianto B, Farid M. Pemetaan *b Value* untuk Identifikasi Kerentanan Wilayah. 2018;
11. Soehaimi A. Seismotektonik dan Potensi Kegempaan Wilayah Jawa. Indones J Geosci. 2008;3(4):227–40.
12. Bulo D, Djayus, Supriyanto, Hendrawanto B. Penentuan Titik Epicenter dan Hypocenter Serta Parameter Magnitude Gempa Bumi Berdasarkan Data Seismogram. J Geosains Kutai

- Basin [Internet]. 2020;3(1):1–8. Available from: <http://jurnal.fmipa.unmul.ac.id/index.php/geofis/article/view/597>
13. Hilmi IL, Sutrisno S, Sunarya D. Analisis Seismisitas Berdasarkan Data Gempa Bumi Periode 1958-2018 Menggunakan *b-value* Pada Daerah Selatan Jawa Barat dan Banten. *Al-Fiziya J Mater Sci Geophys Instrum Theor Phys*. 2019;2(1):10–6.
 14. Pasau G, - F, Tamuntuan GH. Pengamatan Seismisitas Gempa Bumi Di Wilayah Pulau Sulawesi Menggunakan Perubahan Nilai a-b. *J MIPA*. 2017;6(1):31.
 15. Rohadi S. Studi Seismotektonik Sebagai Indikator Potensi Gempabumi Di Wilayah Indonesia. *J Meteorol dan Geofis*. 2015;10(2):111–20.