

ANALISIS PARAMETER KEGEMPAAN a-VALUE DAN b-VALUE DI PROVINSI SULAWESI UTARA PERIODE 2019-2023

ANALYSIS OF a-VALUE AND b-VALUE SEISMIC PARAMETERS IN NORTH SULAWESI PROVINCE FOR THE 2019-2023 PERIOD

Monika Siska Sangi¹, Rolles N. Palilingan², Armstrong F. Sompotan³, Stasiun Geofisika
Manado⁴

ABSTRACT

¹Universitas Negeri Manado
Jl. Kampus Unima, Minahasa,
Indonesia
Monikasiska2002@gmail.com

²Universitas Negeri Manado
Jl. Kampus Unima, Minahasa,
Indonesia
rollespalilingan@unima.ac.id

³Universitas Negeri Manado
Jl. Kampus Unima, Minahasa,
Indonesia
armstrong@unima.ac.id

⁴Stasiun Geofisika Manado
Stageof.winangun@gmail.com

Indonesia is an area that is prone to natural disasters, one of which is earthquakes. Several strong earthquakes have occurred in North Sulawesi, causing extensive structural damage. This study aims to determine the seismicity parameter values a-value and b-value or to determine the level of fragility and seismicity in North Sulawesi. The earthquake data used is secondary data for the period 2019-2023 obtained from the Manado Geophysical Station, BMKG, North Sulawesi. The data obtained includes the date, time of occurrence, latitude, longitude, magnitude and depth of the earthquake. This study uses the Gutenberg-Richter method which is processed using Zmap software. From the distribution of earthquake data, it is known that a major earthquake occurred in 2019 with a magnitude of 7.1. The results of this study show that in 2019 it had a high a-value, namely 8.13. This shows that in 2019 in the North Sulawesi area there were relatively more earthquakes. The b-value results in this study show that in 2022 it has a high b-value, which is 1.32. This is influenced by elastic rocks that experience stress so that there is a change in shape or deformation called rock fragility. Seismicity vulnerability in the North Sulawesi region for the period 2019-2023 ranges from 6.16 to 8.13 with a rock fragility level range from 0.91 to 1.32.

Keywords : Earthquake, a-value, b-value

1. PENDAHULUAN

Indonesia terletak pada pertemuan tiga lempeng tektonik, yaitu lempeng Eurasia, Lempeng Pasifik, dan lempeng Indo-Australia, sehingga menyebabkan Indonesia memiliki banyak gunung api dan menjadi daerah yang rawan terjadi gempa bumi^[12].

Gempa bumi adalah getaran dari dalam bumi, bersumber di lapisan kerak bumi kemudian merambat ke permukaan bumi akibat rekahan bumi yang pecah, atau bergeser. Penyebab gempa bumi dapat berupa dinamika bumi, aktivitas gunung api, ledakan bom nuklir di bawah permukaan, dan lain sebagainya. Gempa bumi tektonik merupakan gempa bumi yang sering terjadi, karena getaran yang di hasilkan berasal dari patahan batuan akibat benturan dua lempeng secara perlahan-lahan. Gempa ini terjadi di daerah pertemuan lempeng tektonik, daerah patahan/sesar aktif dan daerah pemekaran lempeng tektonik^[4].

Beberapa gempa bumi kuat telah terjadi di Sulawesi Utara, yang menyebabkan kerusakan struktur yang luas. Salah satunya yang terjadi pada tahun 2019 dengan magnitudo 7.1 SR. Sampai saat ini, gempa bumi merupakan bencana yang tidak dapat dicegah karena terjadi secara tiba-tiba dan mengejutkan serta tidak dapat diperkirakan secara akurat lokasi pusatnya, waktu kejadiannya dan kekuatannya. Wilayah Sulawesi Utara diperkirakan memiliki tingkat kegempaan yang relatif tinggi jika dilihat berdasarkan sejarah pergerakan tektonik dan gempa bumi yang terjadi^[7]. Sehingga perlu dilakukan penelitian terkait parameter kegempaan untuk mengetahui besar nilai a-value dan b value.

Parameter a-value dan b-value digunakan untuk mengetahui nilai kegempaan dan kerapuhan batuan. Semakin besar nilai a-value yang diperoleh, maka hal tersebut menunjukkan bahwa daerah tersebut rentan terjadinya gempa bumi. Sedangkan, apabila nilai b-value yang diperoleh semakin besar, maka semakin besar tingkat kerawanannya.

Berdasarkan latar belakang di atas, maka penulis melakukan penelitian dengan judul “Analisis Parameter Kegempaan a-Value Dan b-Value Di Provinsi Sulawesi Utara Periode 2019-2023 dengan tujuan untuk mengetahui sebaran data gempa bumi periode 2019-2023 di wilayah Sulawesi Utara dan mengetahui parameter kegempaan a-value dan b-value tertinggi pada periode 2019-2023 di provinsi Sulawesi Utara.

2. KAJIAN PUSTAKA

Gempa Bumi

Gempa bumi merupakan bencana alam yang tidak dapat diprediksi kapan datangnya, dan dalam waktu yang relatif singkat. Gempa bumi adalah getaran di permukaan bumi yang dihasilkan oleh percepatan energi yang dilepaskan yang kemudian energi ini menyebar ke segala arah dari pusat sumbernya. Ketika gelombang mencapai permukaan bumi, getarannya dapat merusak atau tidak tergantung pada magnitudo, kedalaman, kondisi geologi serta kualitas bangunan di daerah tersebut^[1]. Setiap kejadian gempa bumi menghasilkan getaran pada tanah yang dapat diidentifikasi melalui nilai percepatan getaran tanah pada suatu tempat. Bahaya gempa bumi dapat dilihat dari besar nilai percepatan getaran tanah yang terjadi. Besar atau kecil nilai percepatan getaran tanah tersebut menjadi salah satu faktor yang dapat menunjukkan tingkat resiko gempa bumi^[2].

Parameter Gempa Bumi

Parameter gempa bumi yang sering dianalisis adalah sebagai berikut:

1. Waktu Asal

Waktu asal gempa bumi atau origin time adalah waktu suatu gempa bumi terjadi. Waktu asal dinyatakan dalam hari, tanggal, bulan, tahun, jam, menit dan detik dalam satuan UTC (*Universal Time Coordinated*).

2. Arah Dan Kedalaman

Arah gempa bumi menunjukkan arah lokasi datangnya gempa bumi terjadi sesuai arah mata angin. Sedangkan kedalaman sumber gempa bumi adalah jarak hipoteser dihitung tegak lurus dari permukaan bumi. Kedalaman dinyatakan oleh besaran jarak dalam satuan km.

3. Kekuatan Gempa Atau Magnitudo

Kekuatan gempa bumi atau magnitudo adalah ukuran kekuatan gempa bumi yang menggambarkan besarnya energi yang terlepas pada saat gempa bumi terjadi.

4. Episenter Atau Titik Permukaan Bumi

Titik permukaan bumi yang merupakan refleksi tegak lurus dari hiposenter atau fokus gempa bumi. Episenter dibuat dalam sistem koordinat geografis dan dinyatakan dalam derajat lintang dan bujur^[10].

Resiko Gempa

Resiko gempa adalah kemungkinan terlampauinya (*Probability of exceedance*) suatu gempa dengan intensitas tertentu selama suatu masa guna bangunan^[5]. Peristiwa gempa merupakan gejala alam yang bersifat acak yang tidak dapat diprediksi dengan pasti, baik waktu kejadiannya, maupun tempat terjadinya gempa tersebut. Dengan konsep probabilitas, terjadinya gempa dengan intensitas dan perioda ulang tertentu dapat diperkirakan. Dengan metode analisa menggunakan konsep probabilitas, dapat mencerminkan angka resiko gempa.

Histori Gempa di Sulawesi Utara

Sulawesi Utara merupakan salah satu daerah di Indonesia yang rawan terhadap gempa dengan zona gempa wilayah 5 yang memiliki resiko gempa tinggi dengan magnitudo 6–7 Skala Richter atau intensitas VII-VIII skala MMI. Berdasarkan beberapa peneliti sebelumnya mengatakan bahwa Sulawesi Utara diklasifikasikan sebagai zona subduksi dengan maksimum skala richter magnitudo dapat terjadi hingga 8 skala richter. Sulawesi Utara diklasifikasikan sebagai daerah dengan zona sumber gempa bumi subduksi, dimana gempa zona subduksi terjadi sebagai akibat dari pergerakan dua lempeng tektonik^[11].

Struktur Geologi Sulawesi Utara

Sejarah geologi Sulawesi dimulai dengan terendapkannya sedimen bertipe *flysch* pada zaman kapur. Batuan sedimen ini, termetamorfkan dan membentuk satuan batuan metamorf di daerah Sulawesi. Geologi Sulawesi Utara (Cluster II) didominasi oleh batu gamping, sebagai satuan pembentuk cekungan sedimen Ratatotok^[8].

Pulau Sulawesi dan sekitarnya, khususnya Sulawesi Utara merupakan salah satu margin aktif yang paling rumit dalam jangka waktu geologi, struktur, dan juga tektonik. Daerah Sulawesi Utara yang letaknya di darat ataupun laut, merupakan daerah yang dekat dengan sumber gempa bumi dan penyebab tsunami akibat proses tektonik. Terdapat sesar aktif yang mengakibatkan munculnya fenomena geologi. Sumber gempa di laut Sulawesi biasanya berasal dari penunjaman sub lempeng Sulawesi Utara, lempeng Panggungan Mayu, dan lempeng Sangihe yang letaknya di sebelah timur Sulawesi Utara^[6].

Relasi Gutenberg-Richter

Relasi Gutenberg-Richter atau *Frequency-Magnitude Distribution* (FMD) merupakan salah satu cara untuk menentukan parameter seismik yang menunjukkan keterkaitan antara frekuensi gempa bumi dan magnitudo.

$$\log [N = a - bM] \quad (1)$$

Dimana:

N = Jumlah kumulatif gempa bumi dengan magnitudo lebih besar atau sama dengan M pada periode tertentu

a = Aktivitas seismik

b = Parameter tektonik

M = Magnitudo

Persamaan relasi Gutenberg-Richter digunakan untuk mengetahui distribusi zona-zona gempa aktif atau pola aktivitas kegempaan. Frekuensi magnitudo dapat diperoleh dengan cara menggambarkan pola sebaran parameter-parameter seismisitas serta periode ulangnya dan melakukan pemetaan kegempaan untuk mengklasifikasikan suatu daerah dengan daerah lainnya. Hasil dari persamaan relasi Gutenberg-Richter dapat berupa data grafik persamaan linier^[3].

a-Value

Nilai-a menunjukkan keaktifan seismik suatu daerah yang di pengaruhi oleh tingkat kerapuhan batuan. Nilai tingkat seismisitas di suatu daerah tergantung pada periode, luas daerah, aktivitas seismik.

Semakin besar a-value di suatu daerah berarti daerah tersebut memiliki aktivitas seismik yang tinggi, sebaliknya untuk nilai-a yang kecil berarti aktivitas seismiknya rendah^[3].

b-Value

b-value menunjukkan gradien dari persamaan linier hubungan antara frekuensi kejadian gempa dengan magnitudo. b-value juga dapat menunjukkan tingkat kerapuhan batuan, dimana semakin besar b-value maka semakin besar pula tingkat kerapuhan batuanya. b-value juga tergantung pada kondisi struktur, semakin besar nilai-b menggambarkan struktur semakin tidak homogen. Dengan kata lain, b-value adalah parameter tektonik yang menunjukkan jumlah relatif dari gempa yang kecil hingga gempa besar, nilai ini biasanya mendekati 1.

Berdasarkan pengamatan perubahan b-value, diketahui bahwa b-value menggambarkan aktivitas stress lokal. Secara statistik perubahan b-value yang signifikan telah teramati di beberapa medan stress seperti di zona tumbukan lempeng, di sepanjang patahan dan di zona *aftershock*. Ada indikasi penurunan b-value menjelang terjadinya gempa bumi besar (*foreshocks*) dan kenaikan b-value setelah terjadinya sebuah gempa bumi besar tersebut (*aftershocks*).

Decluster Reasenberg

Decluster Reasenberg menghubungkan pemicuan *aftershock* dengan sebuah klaster gempa bumi. Apabila A adalah gempa utama dari B, dan B adalah gempa utama dari C, maka semua A, B, C dianggap menjadi bagian dari satu klaster yang sama. Saat mendefinisikan suatu klaster, hanya gempa yang paling besar yang disimpan sebagai gempa utama klaster^[9].

3. METODE PENELITIAN

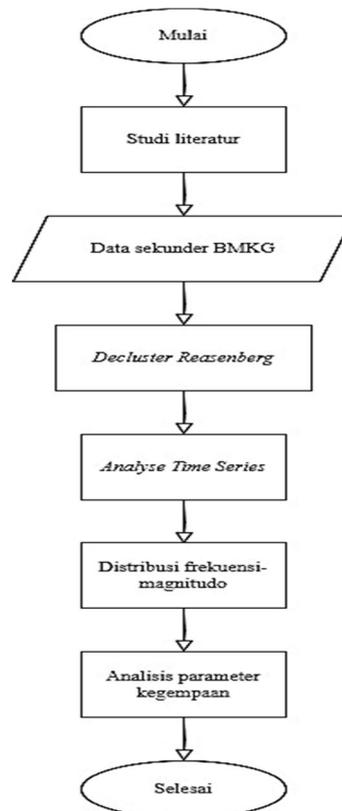
Penelitian ini dimulai *pada* bulan November 2023 sampai Maret 2024. Lokasi yang akan dijadikan sebagai lokasi penelitian berada di provinsi Sulawesi Utara tepatnya pada koordinat 0° LU-3° LU dan 123° BT-126° BT.



Gambar 1. Lokasi Penelitian

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini mencakup data kejadian gempa di Sulawesi Utara dari periode Januari 2019–Desember 2023, dari Stasiun Geofisika Manado, laptop, *software*

Excel, *software Matlab*, *software Zmap*. Desain penelitian ini berawal dari pandangan penulis pada kejadian gempa bumi yang terjadi di Sulawesi. Hal ini menjadi permasalahan bagi peneliti untuk melakukan penelitian lebih lanjut terkait parameter gempa bumi yang terjadi khususnya di Sulawesi Utara. Hal yang pertama dilakukan penulis adalah studi literatur, pengumpulan data dan informasi guna mendukung penyelesaian penelitian dengan cara mempelajari buku atau jurnal yang relevan terkait dengan bidang penelitian. Kemudian Pengambilan data gempa bumi. Data tersebut diperoleh dari Stasiun Geofisika Manado BMKG Sulawesi Utara. Selanjutnya data tersebut diolah menggunakan persamaan *Software Matlab* dan *Zmap*. Hasil data yang telah di olah kemudian dianalisis guna mengetahui parameter kegempaan a-value dan b-value. Variabel dalam penelitian ini mencakup gempa bumi, a-value, dan b-value.



Gambar 2. Diagram Alir Desain Penelitian

Teknik Pengumpulan Data

Hal yang pertama dilakukan penulis adalah Studi Literatur, pengumpulan data dan informasi guna mendukung penyelesaian penelitian dengan cara mempelajari buku atau jurnal yang relevan terkait dengan bidang penelitian. Kemudian Pengambilan data gempa bumi, data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data gempa bumi periode Januari 2019–Desember 2023. Data yang didapatkan berupa: lintang, bujur, tanggal kejadian gempa, waktu kejadian gempa (UTC), kedalaman gempa, serta magnitudo gempa. Data tersebut diperoleh dari Stasiun Geofisika Manado BMKG Sulawesi Utara.

Pengolahan Data dan Analisis Data

Penelitian ini diawali dengan menggunakan perangkat lunak *Microsoft Excel*. *Microsoft Excel* digunakan untuk memasukan data berupa koordinat pusat gempa, tanggal kejadian gempa (tahun, bulan, hari), magnitude gempa ≥ 3 , kedalaman gempa, dan orgin time (jam, menit). Data disimpan

pertahun dalam format *tabs delimited (.txt.)*. kemudain *file* dibuka dengan *notepad*. Selanjutnya disimpan kembali dalam format *.dat*. kemudian di olah di perangkat lunak *matlab* dan *zmap*. Hasil yang akan di dapatkan berupa peta sebaran data gempa bumi dan kemudian di plot akan menghasilkan tampilan distribusi frekuensi magnitudo.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini menggunakan data historis gempa bumi di Sulawesi Utara tahun 2019–2023. Dengan memilih gempa bumi dengan magnitudo ≥ 3 , magnitudo di dapat sebanyak 4.512 kejadian gempa. Data dapat dilihat dari Tabel 1 menunjukkan sampel data gempa bumi.

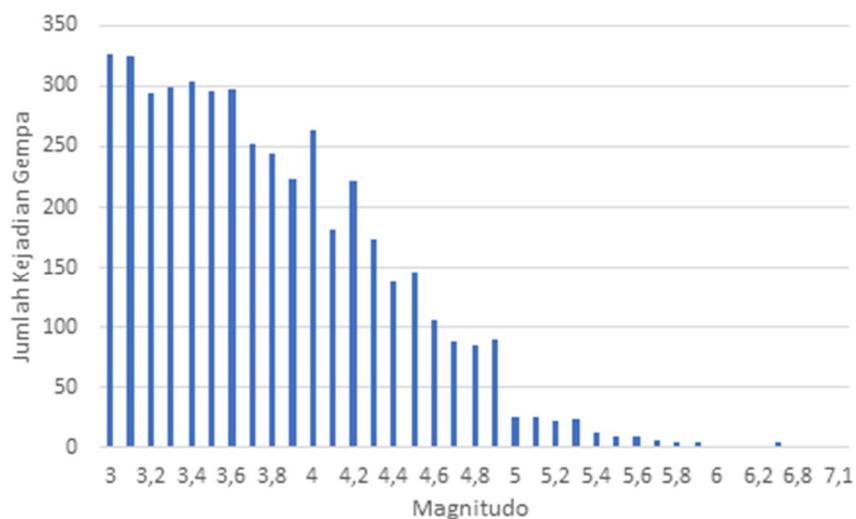
Tabel 1. Sampel data gempa bumi 2019-2023

<i>Date</i>	<i>UTC</i>	<i>Lat</i>	<i>Long</i>	<i>Depth (km)</i>	<i>Mag</i>
1/1/2019	0:58:45	-0.24	123.13	69	3.8
1/2/2019	1:02:11	0.4	122.6	95	3.6
1/3/2019	1:00:43	4.9	125.45	186	5
2/4/2019	6:03:07	4.47	126.52	5	4.2
1/5/2019	4:44:51	2.84	125.91	113	4.3
1/6/2019	5:39:50	1.4	121.36	18	3
2/7/2019	22:12:40	0.03	124.37	107	4.3
1/8/2019	2:16:12	-0.13	123.89	108	3.6
1/9/2019	6:33:07	0.47	123.93	202	3.6
1/10/2019	13:04:16	1.61	122.3	10	3.3
1/11/2019	2:20:27	3.34	127.14	37	3.6
1/12/2019	5:26:29	0.43	122.24	180	3.5
1/1/2020	0:58:45	-0.24	123.13	69	3.8
1/2/2020	1:02:11	0.4	122.6	95	3.6
1/3/2020	1:00:43	4.9	125.45	186	5
2/4/2020	6:03:07	4.47	126.52	5	4.2
1/5/2020	4:44:51	2.84	125.91	113	4.3
1/6/2020	5:39:50	1.4	121.36	18	3
2/7/2020	22:12:40	0.03	124.37	107	4.3
1/8/2020	2:16:12	-0.13	123.89	108	3.6
1/9/2020	6:33:07	0.47	123.93	202	3.6
1/10/2020	13:04:16	1.61	122.3	10	3.3
1/11/2020	2:20:27	3.34	127.14	37	3.6
1/12/2020	5:26:29	0.43	122.24	180	3.5
2/1/2021	3:43:08	0.4	122	157	3
1/2/2021	2:14:24	0.42	121.77	209	3.2
1/3/2021	4:04:51	1.07	122.81	38	3.5
1/4/2021	8:58:21	-0.09	122.76	135	4.5
1/5/2021	4:44:51	2.84	125.91	113	4.3
1/6/2021	16.31.51	4.89	127.37	128	4.3
1/7/2021	2:37:12	-0.14	122.92	18	3.3
1/8/2021	2:24:24	0.23	122.49	116	3.5
1/9/2021	13:40:38	-0.12	123.92	119	4.5
2/10/2021	11:51:56	0.16	122.45	132	3.1
1/11/2021	4:42:58	-0.37	123	56	3.1
1/12/2021	21:32:28	0.143	124.151	38	3.3
1/1/2022	7:51:46	4.03	127.84	129	4.2
1/2/2022	2:14:28	3.66	126.65	17	3.4
1/3/2022	7:30:05	4	126.09	122	4.1
1/4/2022	04:31:32	2.34	125.2	167	3.3
1/5/2022	02:10:53	3.1	127.84	110	4.5
2/6/2022	20:56:45	2	122.96	427	3.7
1/7/2022	5:40:15	0.73	121.37	57	3.2
1/8/2022	7:03:00	0.66	121.85	67	4.2

1/9/2022	7:12:20	-0.1	122.86	143	3.4
1/10/2022	11:47:37	-0.42	123	8	4.3
1/11/2022	1:48:02	1.1	121.74	21	3.2
1/12/2022	1:34:50	0.1	123.65	115	3.3
1/1/2023	17:17:25	1.03	121.75	16	3.6
1/2/2023	7:52:33	-0.08	123.01	91	3
1/3/2023	22:11:09	0	124.39	10	3,5
1/4/2023	7:54:47	0.49	120.67	13	3
1/5/2023	12:45:42	0.14	123.73	136	3.5
1/6/2023	6:05:08	0.22	121.84	199	4.1
1/7/2023	23:03:09	0.42	121.97	165	3
1/8/2023	7:16:55	4.26	126.21	8	3.3
1/9/2023	5:53:18	4.88	127.55	123	4.6
1/10/2023	01.42.54	0.61	121.28	64	3.1
1/11/2023	5:38:32	0.15	124.5	11	3.1
1/12/2023	18:20:00	-0.3	122.1	4	3.1

Grafik Hubungan Antara Jumlah Kejadian Gempa Bumi dan Magnitudo

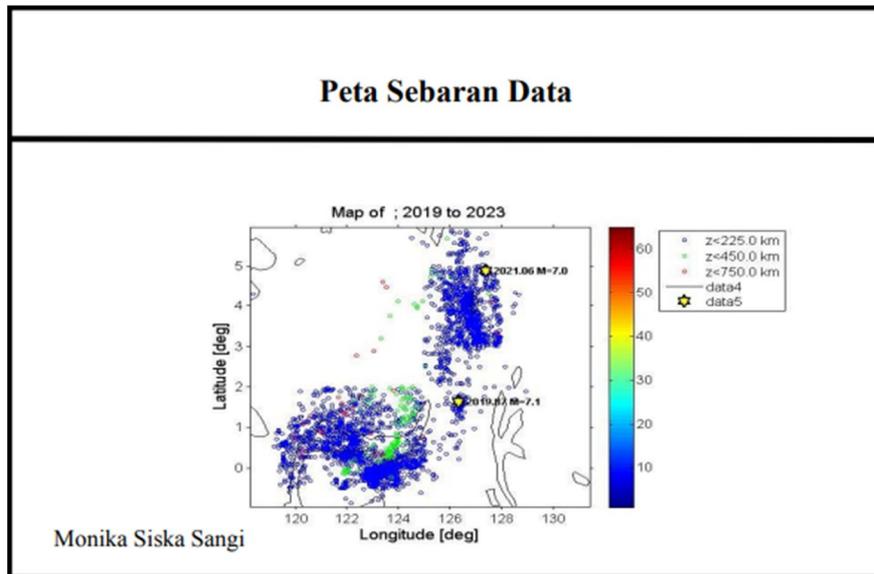
Hubungan antara jumlah kejadian gempa bumi dan magnitudo berdasarkan data kejadian gempa bumi 2019–2023 yang di peroleh dari Stasiun Geofisika Manado dikelompokkan berdasarkan jumlah kejadian gempa dan magnitudo. Sehingga di peroleh grafik seperti Gambar 3.



Gambar 3. Grafik hubungan antara jumlah kejadian gempa dan magnitudo periode 2019 -2023

Sebaran Data Gempa Bumi 2019-2023

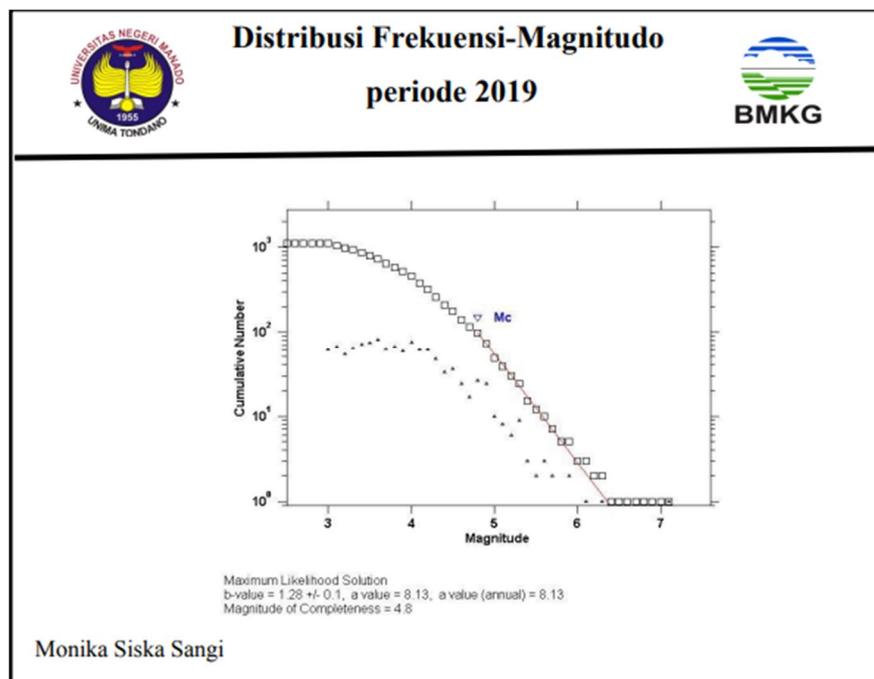
Gambar 4. merupakan gambar dari peta sebaran data gempa bumi di wilayah provinsi Sulawesi Utara pada periode tahun 2019-2023. Warna pada gambar tersebut dibedakan atas kedalaman dan magnitudo gempa, dimana pada warna biru memiliki kedalaman yang paling dangkal sedangkan yang paling dalam di tandai dengan warna merah. Kemudian magnitudo gempa dibedakan atas besar kecilnya lingkaran, dimana semakin besar lingkaran maka semakin besar magnitudo gempa bumi. Berdasarkan peta sebaran diketahui bahwa gempa bumi besar terjadi di tahun 2019 dengan magnitudo 7.1 dan pusat gempa terdeteksi berada di daerah perbatasan antara laut Maluku dan laut Sulawesi.



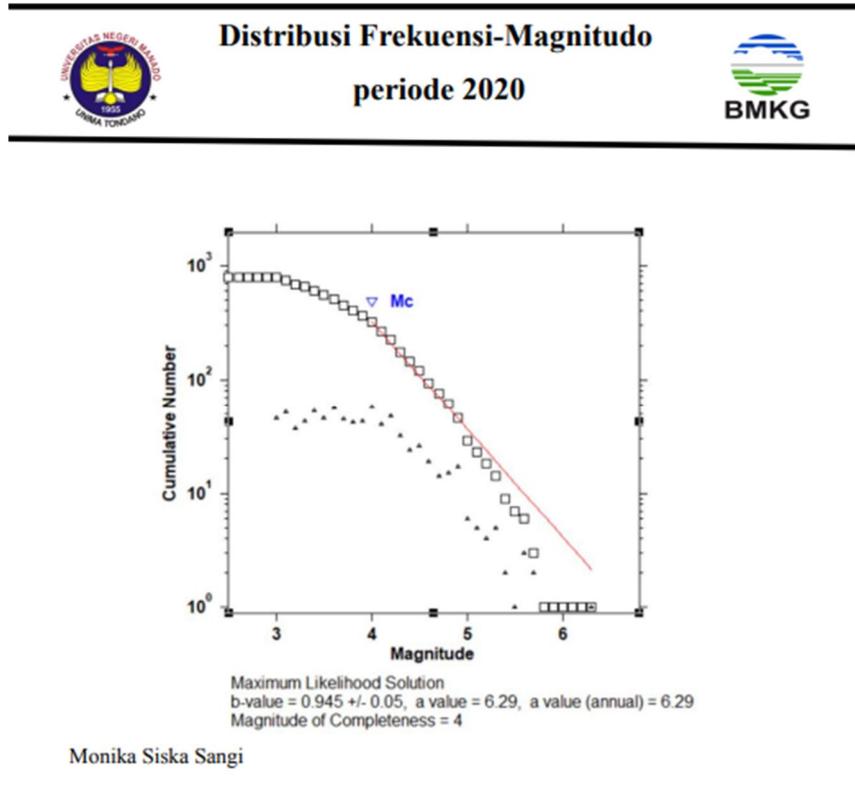
Gambar 4. Peta Sebaran Data periode 2019-2023

Distribusi Frekuensi-Magnitudo 2019-2023

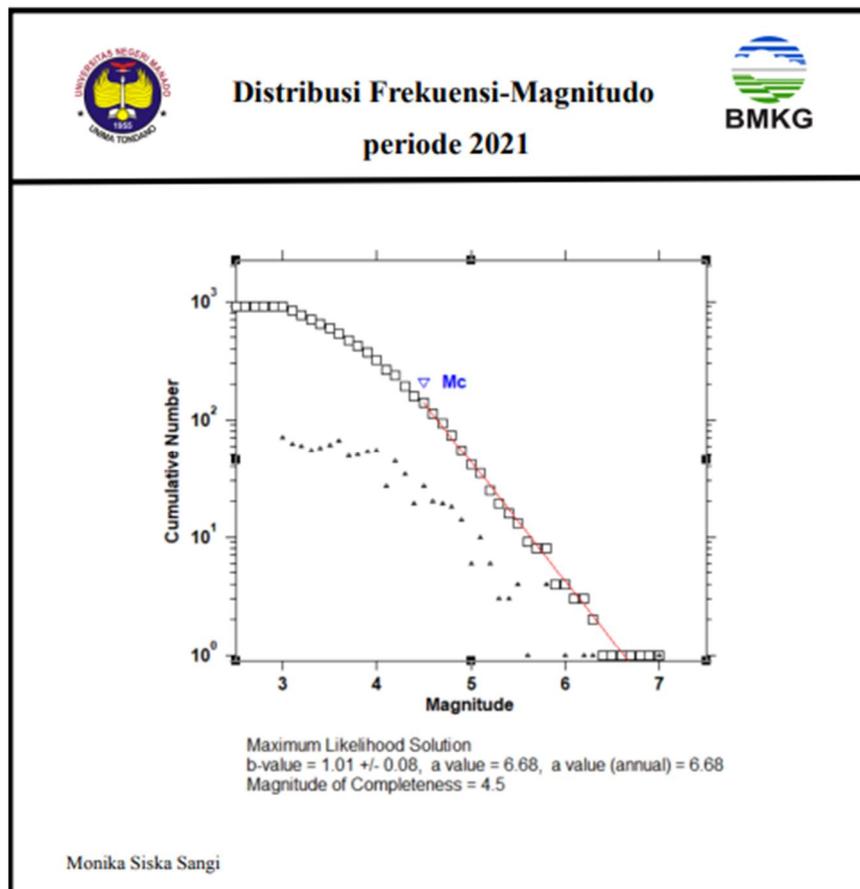
Gambar 5 sampai Gambar 9 merupakan frequency magnitude distribution (FMD) untuk keseluruhan wilayah di Sulawesi Utara periode 2019-2023, dimana sumbu x merupakan magnitudo dan sumbu y merupakan frekuensi (jumlah kejadian).



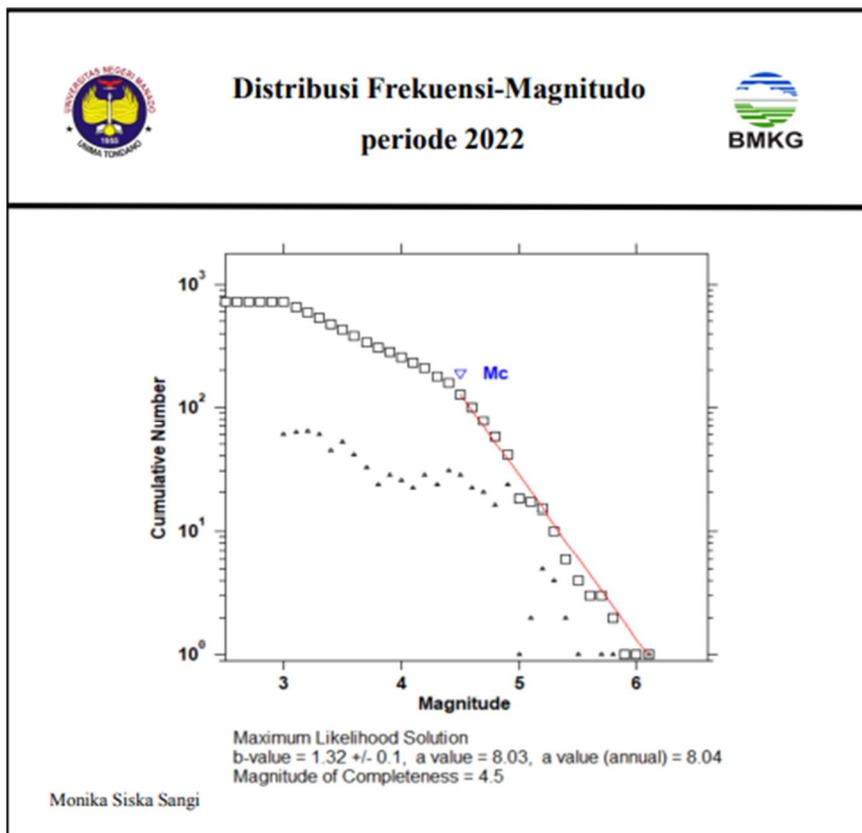
Gambar 5. Distribusi Frekuensi-Magnitudo 2019



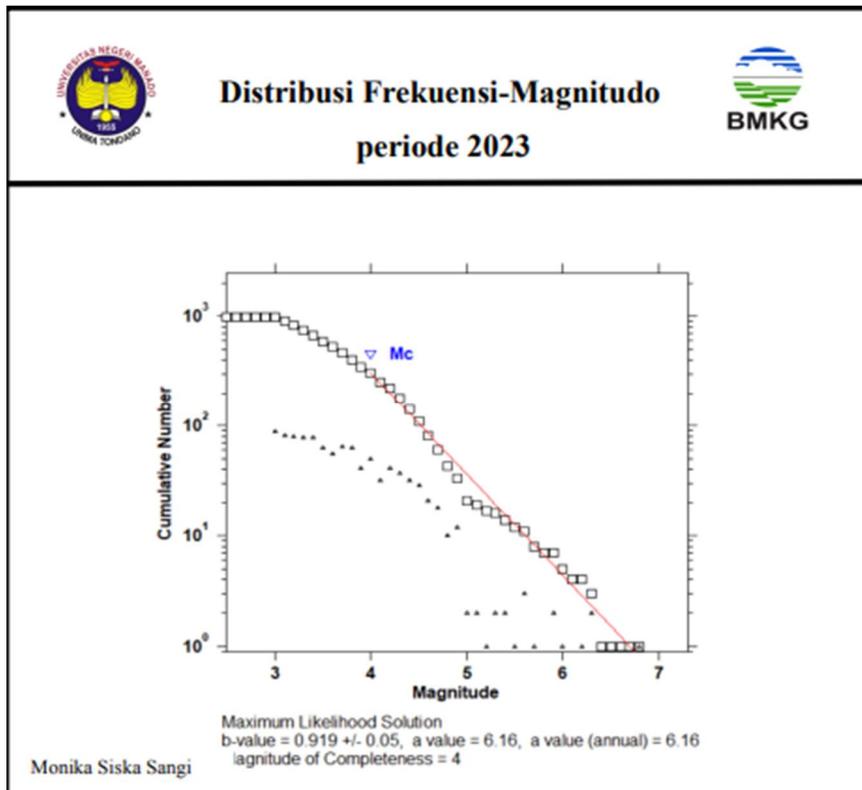
Gambar 6. Distribusi Frekuensi-Magnitudo 2020



Gambar 7. Distribusi Frekuensi-Magnitudo 2021



Gambar 8. Distribusi Frekuensi-Magnitudo 2022



Gambar 9. Distribusi Frekuensi-Magnitudo 2023

Hasil nilai a-value dan b-value

Berdasarkan hasil penelitian dari tahun 2019–2023 didapatkan hasil dari a-value dan b-value yang ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil a-Value dan b-Value

No	Tahun	a-Value	b-Value
1	2019	8.13	1.28
2	2020	6.29	0.94
3	2021	6.68	1.01
4	2022	8.03	1.32
5	2023	6.16	0.91

Suatu wilayah dianggap memiliki resiko terjadinya gempa bumi yang cukup tinggi jika tingkat seismisitas dan tingkat kerapuhan batuan tinggi. Tingkat seismisitas atau a-value di wilayah Sulawesi Utara periode 2019-2023 berkisar antara 6,16 sampai 8,13 dengan tingkat kerapuhan batuan berkisar antara 0,91 sampai 1,32. Tahun 2022 memiliki tingkat kerapuhan batuan tertinggi dengan nilai 1,32 dan tahun 2019 memiliki tingkat seismisitas tertinggi dengan nilai 8,13.

Secara umum pola sebaran spasial parameter hukum Gutenberg-Richter membuktikan konsep geodinamika suatu wilayah, seperti a-value mengindikasikan tingkat keaktifan gempa bumi. Tahun 2019 menunjukkan a-value sebesar 8,13 dengan annual rate of seismic yang sama, dimana pada 2019 terjadi gempa besar dengan magnitudo 7,1 SR yang terjadi di perbatasan laut Sulawesi dan laut Maluku, hal tersebut merepresentasikan tahun 2019 memiliki aktivitas seismik yang cukup besar di Sulawesi Utara, sehingga berpeluang akan terjadi gempa dengan magnitudo besar.

Pada wilayah penelitian yang memiliki b-value tertinggi yakni 1.32. apabila dibandingkan dengan b-value secara global, dimana nilai b-value secara global adalah sebesar 1. b-value tertinggi ditunjukkan pada tahun 2022. b-value yang tinggi juga dapat menunjukkan tingkat kerapuhan batuan, dimana b-value merupakan parameter seismotektonik yang bergantung pada kondisi struktur batuan sebagai indikator pendeteksi gempa bumi suatu wilayah. Secara teori sifat penjalaran gelombang seismik dipengaruhi elastisitas batuan yang dilewati, dimana batuan elastis akan mengalami stress sehingga terjadi perubahan bentuk atau deformasi yang disebut kerapuhan batuan. Parameter b-value mengindikasikan stressmeter, dimana b-value yang besar pada tahun 2022 menunjukkan tingkat stress yang kecil atau dapat dikatakan pernah terjadi gempa bumi dengan skala yang besar sehingga hanya tersisa energi yang mampu menghasilkan gempa kecil, namun sebaliknya jika b-value yang dihasilkan kecil maka menunjukkan tingkat stress yang besar karena akumulasi energi dalam bumi yang disimpan relatif lama mengakibatkan penumpukan energi dalam batuan yang rapat sehingga batuan permukaan tidak mampu menahannya maka berpeluang terjadinya gempa dengan magnitudo besar.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dan pembahasan dari penelitian ini, dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Sebaran data gempa bumi besar terjadi di tahun 2019 dengan magnitudo 7.1 dan pusat gempa terdeteksi berada di daerah perbatasan antara laut Maluku dan laut Sulawesi.
2. Hasil a-value pada penelitian ini menunjukkan bahwa di tahun 2019 memiliki a-value yang tinggi, yaitu 8,13. Hal ini menunjukkan bahwa di tahun 2019 pada daerah Sulawesi Utara relatif lebih sering terjadi gempa di bandingkan. tahun-tahun yang di bahas dalam penelitian ini. Hasil b-value pada penelitian ini menunjukkan di tahun 2022 memiliki b-value yang tinggi, yaitu 1,32. Hal dipengaruhi batuan elastis yang mengalami stress sehingga terjadi perubahan bentuk atau

deformasi yang disebut kerapuhan batuan. Hal ini dapat disimpulkan bahwa hasil b -value yang tinggi di tahun 2022 terjadi karena di pengaruhi oleh kerapuhan batuan, dimana b -value merupakan parameter seismotektonik yang bergantung pada kondisi struktur batuan sebagai indikator pendeteksi gempa bumi suatu wilayah. Rentan seismisitas di wilayah Sulawesi Utara periode 2019-2023 berkisar antara 6,16 sampai 8,13 dengan rentan tingkat kerapuhan batuanya berkisar antara 0,91 sampai 1,32.

UCAPAN TERIMAKASIH

Diucapkan banyak terimakasih kepada Universitas Negeri Manado, Fakultas Matematika, Ilmu Pengetahuan Alam dan Kebumihan serta kepada seluruh pihak yang telah berkontribusi dalam penelitian ini hingga terselesaikan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Hidayat, N., & Santoso, E. W. (1997). Gempa Bumi dan Mekanismenya. *Alami: Jurnal Teknologi Reduksi Risiko Bencana*, 2(3), 195-198.
- [2] Kurniawan, M. K., Suarbawa, K. N., & Septiadhi, A. (2017). Analisis Resiko Bencana Gempa Bumi Di Wilayah Nusa Tenggara Barat. *Buletin Fisika*, 18(1), 38-45.
- [3] Linda, L., Ihsan, N., & Palloan, P. (2019). Analisis distribusi spasial dan temporal seismotektonik berdasarkan nilai b -value dengan menggunakan metode likelihood di Pulau Jawa. *Jurnal Sains dan Pendidikan Fisika*, 8(3), 269-278.
- [4] Nur, A. M. (2010). Gempa bumi, tsunami dan mitigasinya. *Jurnal Geografi: Media Informasi Pengembangan dan Profesi Kegeografian*, 7(1).
- [5] Pasau, G., & Tanauma, A. (2015). Analisis Resiko Gempa Bumi Wilayah Lengan Utara Sulawesi Menggunakan Data Hiposenter Resolusi Tinggi Sebagai Upaya Mitigasi Bencana. *Spektra: Jurnal Fisika dan Aplikasinya*, 16(3), 6-10.
- [6] Patya, D. I., Rusdiana, D., Purwanto, C., & Ardi, N. D. (2018). Identifikasi Struktur Geologi Bawah Permukaan Berdasarkan Nilai Suseptibilitas Magnetik Batuan Di Laut Sulawesi. *Jurnal Meteorologi Klimatologi dan Geofisika*, 5(1), 57-63.
- [7] Seriaty, R., Sompotan, A., & Bujung, C. A. (2024). Analisis Seismisitas Di Sulawesi Utara Berdasarkan Data Gempa Bumi Tahun 2018-2022. *Bersatu: Jurnal Pendidikan Bhinneka Tunggal Ika*, 2(2), 121-130.
- [8] Sompotan, A. F. 2012. *Struktur Geologi Sulawesi*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- [9] Stiphout, T.V., Zhuang, J., & Marsan, D. (2012). Theme V – Models and Techniques for Analyzing Seismicity Seismicity Declustering. Community Online Resource for Statistical Seismicity Analyses.
- [10] Sunarjo., Gunawan, M. T., Pribadi, S. (2012). *Gempabumi Edisi Populer*. Jakarta: Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika.
- [11] Tenda, J. E. (2013). Evaluasi Gempa Daerah Sulawesi Utara Dengan Statistika Ekstrim Tipe \hat{a}^{∞} . *Jurnal Ilmiah Media Engineering*, 3(1).
- [12] Wahyuni, D., Intan, P. K., & Hendrastuti, N. (2020). Analisis seismotektonik dan periode ulang gempa bumi pada wilayah Jawa Timur menggunakan relasi Gutenberg–Richter. *Jurnal Mahasiswa Matematika ALGEBRA*, 1(1), 22-32.