BERSATU: Jurnal Pendidikan Bhinneka Tunggal Ika
Vol. 2 No. 2 Maret 2024
e-ISSN:2988-0440, p-ISSN : 2988-0491, Hal 118-127
DOI: https://doi.org/10.51903/bersatu.v2i2.622

Analisis Seismisitas Di Sulawesi Utara Berdasarkan Data Gempa Bumi Tahun 2018-2022

Rut Seriaty[1], Armstrong Sompotan[2], Cyrke A. N. Bujung[3]

[1-3]Universitas Negeri Manado, Indonesia

Alamat: Jl. Kampus Unima, Tonsaru, Kec. Tondano Sel., Kabupaten Minahasa, Sulawesi Utara 95618

Korespondensi penulis: ruthseriaty55@gmail.com[1]

Abstract. *The objective of this study is to assess the seismic activity and brittleness of rocks, as well as the level of risk associated with natural disasters in North Sulawesi. The earthquake data utilized is derived from secondary sources spanning the years 2018 to 2022, specifically received from the Manado Geophysical Station. The data processing encompasses many criteria such as locations, magnitude, depth, and time of occurrence. The Guttenberg-Richter approach yields a seismicity level ranging from 4.121 to 5.589, while the rock fragility falls within the range of 0.98 to 1.072. The Talaud Islands Regency has the highest level of seismicity, measured at 5,589, while the East Bolaang Mongondow Regency has the lowest level, measured at 4,121. The Talaud Islands Regency region has the highest degree of rock fragility, measured at a value of 1.072, while the North Bolaang Mongondow Regency area demonstrates the lowest amount of rock fragility, measured at a value of 0.98. The Talaud Islands have the most significant earthquake risk, whereas the areas with the least danger include Minahasa, Sangihe Islands, Siau Tagulandang Biaro, Manado, Bitung, Tomohon, Kotamobagu, Southeast Minahasa, South Minahasa, and North Minahasa.*

Keywords: *a–value, b–value, earthquake, Guttenberg Richter method*

Abstrak. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengkaji aktivitas seismik dan kerapuhan batuan, serta tingkat risiko bencana alam di Sulawesi Utara. Data gempa yang digunakan berasal dari sumber sekunder pada tahun 2018 hingga 2022, khususnya diperoleh dari Stasiun Geofisika Manado. Pengolahan data mencakup banyak kriteria seperti lokasi, besaran, kedalaman, dan waktu kejadian. Pendekatan Guttenberg-Richter menghasilkan tingkat kegempaan berkisar antara 4,121 hingga 5,589, sedangkan kerapuhan batuan berada dalam kisaran 0,98 hingga 1,072. Kabupaten Kepulauan Talaud memiliki tingkat kegempaan tertinggi sebesar 5.589, sedangkan Kabupaten Bolaang Mongondow Timur memiliki tingkat kegempaan terendah sebesar 4.121. Wilayah Kabupaten Kepulauan Talaud mempunyai tingkat kerapuhan batuan paling tinggi, diukur dengan nilai 1,072, sedangkan wilayah Kabupaten Bolaang Mongondow Utara mempunyai tingkat kerapuhan batuan paling rendah, diukur dengan nilai 0,98. Kepulauan Talaud mempunyai risiko gempa paling besar, sedangkan wilayah yang paling kecil bahayanya adalah Minahasa, Kepulauan Sangihe, Siau Tagulandang Biaro, Manado, Bitung, Tomohon, Kotamobagu, Minahasa Tenggara, Minahasa Selatan, dan Minahasa Utara.

Kata kunci: a–value, b–value, gempa bumi, metode Guttenberg Richte

PENDAHULUAN

Gempa bumi adalah peristiwa alam yang menghasilkan getaran di permukaan bumi karena aktivitas gunung berapi, pergerakan lempeng, dan keruntuhan batuan (Amin, 2015; Rysnawati dkk., 2017; Esriani, 2022). Sulawesi dan sekitarnya adalah tempat di mana tiga lempeng utama berkumpul (Ahda & Burhany, 2017; Nurrobikha, 2021; Hasan dkk., 2022). Lempeng Filipina yang lebih kecil dan lempeng Indo-Australia yang lebih besar bergerak ke utara; lempeng Pasifik bergerak ke barat; dan lempeng Eurasia bergerak ke selatan-tenggara

Received Desember 18, 2023; Accepted Januari 19, 2024; Published Maret 30, 2024
*Rut Seriaty, ruthseriaty55@gmail.com

(Permana, 2017; Suwuh dkk., 2020; Rifai dkk., 2022). Pembangunan sesar di Sulawesi disebabkan oleh penggabungan Benua Mikro Benua Australia dan Benua Mikro Sunda sejak Miosen. Munculnya sesar yang lebih kecil di dekatnya dipengaruhi oleh patahan besar seperti sesar Walane dan sesar palu-koro. (Sompotan,2012).

Beberapa gempa bumi kuat telah terjadi di Sulawesi Utara, yang menyebabkan kerusakan struktur yang luas. Urutan bencana dimulai pada 2018 dengan magnitudo 7.5 SR, diikuti oleh magnitudo 7.1 SR pada 2019, magnitudo 7.0 SR pada 2021, dan magnitudo 6.1 Sr pada kedalaman 12 km pada tahun 2022. Serangkaian bencana terjadi pada saat yang sama menyebabkan kerusakan yang signifikan, meskipun upaya mitigasi bencana belum efektif (Wardyaningrum, 2014; Rahadian & Kencana, 2016; Nuraeni dkk., 2020). Ini mungkin karena kurangnya sumber daya dan informasi. Hingga saat ini, informasi waktu kejadian dan lokasi gempa belum dapat di prediksi secara pasti. Namun, lokasi atau wilayah dengan potensi yang cukup dapat diantisipasi dengan berbagai cara.

Memprediksi jumlah kegempaan dan kerapuhan batuan di wilayah tersebut merupakan salah satu indikasi yang digunakan untuk memperkirakan tingkat kerentanan gempa di suatu tempat. Semakin besar nilai kegempaan dan kerapuhan batuan di suatu tempat, semakin besar pula kemungkinan bencana gempa bumi di wilayah tersebut. Wilayah Sulawesi Utara diprediksi memiliki tingkat kegempaan yang relatif tinggi berdasarkan sejarah pergerakan tektonik dan gempa bumi yang sering terjadi. Sehingga penelitian untuk mengidentifikasi dan memetakan tingkat seismisitas serta kerapuhan batuan diperlukan.

Kegempaan dan kerapuhan batuan dapat diukur dengan menggunakan parameter nilai-a dan b yang dihitung di suatu area. Karena nilai b yang tinggi berkorelasi dengan ketahanan batuan terhadap nilai tegangan yang lebih rendah, nilai a yang diperoleh harus lebih besar atau sama dengan nilai maksimum yang telah ditentukan. (Pasau et al., 2017), semakin tinggi nilai b maka semakin besar tingkat kerentanannya. Nilai a dan nilai b dihitung dengan mengevaluasi kejadian gempa sebelumnya menggunakan berbagai metodologi. Metode *Gutenberg-Richter* menghasilkan persamaan nilai-a dan nilai-b berdasarkan besarnya gempa bumi dan estimasi frekuensi potensial maksimum. Parameter nilai-b menunjukkan nilai konstan pada derajat kerapuhan batuan, kecuali bahwa nilai-b besar menunjukkan kerapuhan batuan di sekitar area tersebut lebih tinggi dan sebaliknya. Sebaliknya, konstanta a menunjukkan jumlah aktivitas sesmik (Sabriani, 2017).

Fokus pada penelitian ini adalah untuk memetakan daerah dengan risiko gempa bumi tinggi dan kerentanan berdasarkan hasil analisis tingkat kerapuhan batuan dan tingkat seismisitasnya.

METODE

Lokasi penelitian adalah Provinsi Sulawesi Utara, yang merupakan provinsi di ujung utara Pulau Sulawesi. Secara geografis, area ini terletak di 0°LU-3°LU dan 123 BT-126 BT. Penelitian ini dilakukan pada bulan oktober, dan data dikembalikan ke Stasiun Geofisika Manado.

Desain penelitian ini tergolong dalam penelitian kuantitatif. Pada rancangan penelitian ini, pertama penulis melihat adanya fenomena untuk diteliti sehingga perlu dilakukan studi literatur untuk memeriksa data pustaka berupa skripsi, buku, serta jurnal terdahulu yang dapat digunakan untuk mengetahui dan memahami informasi yang berkaitan dengan penelitian tersebut. selanjutnya melakukan survei pendahuluan di lokasi penelitian yang bertempat pada Stasiun Geofisika klas 1 Manado, untuk mengumpulkan data gempa berupa waktu (jam, menit, detik), lokasi (*latitide* dan *longitude*), kedalaman, magnitudo dan tanggal dari kejadian gempa bumi yang terjadi di Sulawesi utara pada tahun 2018 – 2022. Data gempa yang telah dikumpulkan selanjutnya di sortir dan di *save* dengan format yang bisa terbaca pada ArcMAP 10.8. Agar hasil yang di dapatkan lebih teliti dan lebih akurat, data yang diperoleh kemudian di bagi ke dalam wilayah kabupaten di Sulawesi Utara kemudian data tersebut dapat di gunakan untuk mencari nilai a dan b. dari nilai tersebut, selanjutnya akan dipakai untuk membuat peta zonasi rawan bencana pada tiap wilayah di Sulawesi Utara.

Pada penelitian ini, dibutuhkan data sekunder yang merupakan data yang diperoleh dari stasiun Geofisika klas 1 Manado. Pada tabel 1 menunjukkan data gempa berupa tanggal, waktu (jam, menit, detik), lokasi (*latitude* dan *longitude*), kedalaman, dan magnitudo dari kejadian gempa bumi yang terjadi di Sulawesi Utara pada tahun 2018 – 2022.

Tabel 1. Format Data Gempa Yang Di Ambil Dari Stasiun Geofisika Manado

Date	OT(OTC)	Lat	Long	Depth(km)	Mag

Penelitian ini menggunakan berbagai metode pengolahan data, salah satunya adalah mengategorikan data berdasarkan wilayah di Sulawesi Utara: Kepulauan Talaud, Bolang Mongondow, Bolaang Mongondow Selatan, Minahasa, Minahasa Utara, Minahasa Selatan, Bolaang Mongondow Utara, Siau Tagulandang Biaro, Minahasa Tenggara, Bolaang1Mongondow Timur, Bitung, Tomohon, Manado, dan1Kotamobagu.

Proses pengolahan data akan dilakukan dengan menggunakan metode Guttenberg Richter untuk menghasilkan nilai a dan b. Nilai-nilai ini kemudian dibandingkan untuk mengetahui tingkat seismisitas gempa untuk masing-masing wilayah kabupaten di Sulawesi Utara. Terakhir, tingkat seismisitas tertinggi di Sulawesi Utara akan diidentifikasi.

Adapun untuk mendapatkan nilai b-value dan a-value, terlebih dahulu mencari nilai Magnitudo rata–rata dan Magnitudo minimum wilayah. Persamaan yang digunakan adalah fungsi Likelihood berdasarkan persamaan Guttenberg–Richter yang di rumuskan sebagai berikut :

$$b = \frac{1}{\bar{M} - M_0} Log\ 10\ e$$

$$a = \log N + \log (b\ In\ 10) + M_0$$

Keterangan :

a, b : konstanta

$\bar{M}$: Magnitudo rata – rata

$M_{min,0}$: Magnitudo minimum

Log e : Bilangan euler (0.4343)

Hubungan statistik antara magnitudo gempa (m) dan frekuensi (jumlah kejadian gempa) dinyatakan oleh persamaan ini.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Penelitian

5.291 gempa dengan magnitudo lebih dari 3 SR terjadi dalam jangka waktu 5 tahun, dari 1 Januari 2018 hingga 2022, menurut data sekunder dari Stasiun Geofisika Manado. Tabel 2 di bawah ini menunjukkan sampel data gempa bumi di Sulawesi Utara.

Tabel 2. Sampel Data Gempa Bumi

Date	OTC	Lat	Long	Depth (Km)	Mag (SR)
27/02/2018	00:29:59	4,24	114,54	10	6,4
01/03/2018	00:07:28	8,8	131,54	10	5,9
29/03/2018	23:00:24	8,83	132,22	10	6,1
28/09/2018	10:02:44	-0,22	119,85	10	7,5
28/09/2018	10:14:21	0,04	119,83	14	5,8
07/07/2019	15:08:39	0,45	126,18	10	7,1
29/10/2019	01:04:45	6,84	125,22	15	6,6
29/10/2019	02:42:40	6,82	125,12	10	5,9
31/10/2019	01:11:21	6,97	125,23	28	6,5
14/11/2019	18:45:39	1,49	126,40	10	5,9
15/11/2019	01:17:35	1,73	126,39	10	5,9

22/01/2022	02:26:13	3,67	126,82	12	6,1
05/04/2022	01:44:06	2,11	126,97	10	6
08/05/2022	21:51:39	1,83	127,15	10	5,8
14/08/2022	02:47:47	1,86	126,44	10	5,9

Keterangan :

Lat : Bujur (º)

Long : Lintang (º)

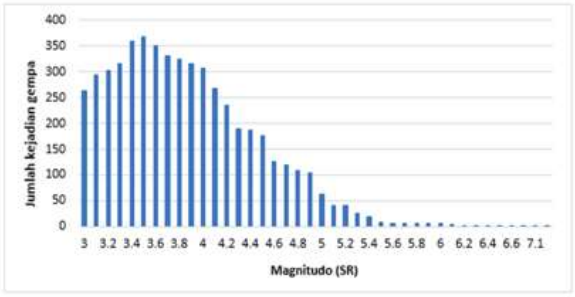
Date : Tanggal/Bulan/Tahun

Depth : Kedalaman (Km)

Mag : Magnitudo (SR)

Grafik Hubungan Antara Jumlah Kejadian Gempa Bumi Dan Magnitudo

Terlebih dahulu dilakukan pengumpulan data sekunder dari Stasiun Geofisika Manado, kemudian dilakukan pengelompokan data gempa berdasarkan jumlah gempa dan magnitudo yang selanjutnya akan diinput ke microsoft Excel sehingga diperoleh Gambar 1, seperti di bawah ini.



Gambar 1. Grafik hubungan Antara jumlah Kejadian gempa Dan magnitudo Periode 2018 Hingga 2022

Hasil Nilai *a–value* dan *b–value*

Untuk memperolah nilai *b–value* dan *a-value* dapat mencari nilai magnitudo rata – rata dam magnitudo minimum wilayah terlebih dahulu. Selanjutnya digunakan persamaan untuk mendapatkan nilai *b – value* dan *a – value*.

Tabel 3. Rata-Rata Dan Magnitudo Minimum

Wilayah	$\overline{M}$	M_0
Kabupaten Bolaang Mongondow	3,3	3,2
Kabupaten Bolaang Mongondow Timur	3,4	3,1
Kabupaten Bolaang Mongondow Utara	3,4	3
Kabupaten Talaud	4,2	3,2

$\hat{b} = \frac{Log\ e}{\overline{M} - M_0} = 1{,}049$

Tabel 4. Nilai *b – Value* Hasil pengolahan Data pada Setiap Wilayah di Sulawesi Utara

Wilayah	b-value
Kabupaten Bolaang Mongondow	1,049
Kabupaten Bolaang Mongondow Timur	1,016
Kabupaten Bolaang Mongondow Utara	0,98
Kabupaten Talaud	1,072

Kabupaten Kepulauan Talaud memiliki nilai b tertinggi, 1,072, dan nilai b terendah, 0,98, sesuai dengan nilai hasil perhitungan kerapuhan batuan setiap kabupaten, seperti yang ditunjukkan dalam tabel 4.

$\hat{a}$ = log N (M + M_0) + log($\hat{b}$ ln 10) + M_0 $\hat{b}$ = 4,519

Tabel 5. Nilai *a – Value* Hasil Pengolahan data Dengan Metode *Guttenberg Richter* Pada Setiap wilayah Di sulawesi Utara

Wilayah	a-value
Kabupaten Bolaang Mongondow	4,519
Kabupaten Bolaang Mongondow Timur	4,121
Kabupaten Bolaang Mongondow Utara	4,196
Kabupaten Talaud	5,589

Kabupaten Kepulauan Talaud memiliki nilai a tertinggi, 5,589, dan Kabupaten Bolaang Mongondow Timur memiliki nilai a terendah, 4,121, seperti yang ditunjukkan dalam tabel 5.

Pembahasan

Pada wilayah penelitian di Sulawesi Utara di bagi menjadi 15 wilayah untuk dapat mempermudah dalam menganalisis perbandingan *b – value* dan *a – value*. di mana daerah tersebut antara lain: Kabupaten Bolaang Mongondow timur, Kabupaten Bolaang Mongondow Utara, Kabupaten Bolaang Mongondow, Kabupaten Bolaang Mongondow selatan, Kabupaten Kepulauan talaud, Kepulauan Siau Tagulandang Biaro, Kabupaten Kepulauan Sangihe, Kabupaten Minahasa, Kabupaten Minahasa Selatan, Kabupaten Minahasa Tenggara, Kabupaten Minahasa Utara, Kabupaten Minahasa Tenggara, Kabupaten Minahasa, Kota Bitung, Kotamobagu, Kota Manado, dan Tomohon. Untuk tujuan penelitian ini, tanggal gempa bumi digunakan dari data sekunder yang dikumpulkan dari Stasiun Geofisika Manado selama rentang waktu 5 (lima) tahun, atau sebanyak ± 5.291 kejadian. Berdasarkan nilai yang diperoleh, nilai a dan b bervariasi, dan gempa bumi terbesar yang pernah terjadi di Bumi terjadi pada tanggal 28 September 2018 dengan magnitudo 7,5 SR. Selanjutnya, nilai-nilai ini digunakan untuk menentukan daerah mana yang memiliki tingkat seismisitas yang tinggi.

Tingkat Seismisitas Dan Tingkat Kerapuhan Batuan Di Sulawesi Utara

Pada Tabel 4 dan Tabel 5 merupakan hasil pengolahan data b – value dan a - value yang akan digunakan untuk menentukan tingkat seismisitas berdasarkan wilayah kabupaten di

Sulawesi Utara . dari pengolahan data tersebut di dapatkan nilai yang bervariasi, dimana nilai terkecil berada pada wilayah Kabupaten Bolaang Mongondow Utara dengan nilai 0,98 dan tertinggi pada wilayah Kabupaten Kepulauan Talaud yaitu 1,072. b value Nilai di Kabupaten Kepulauan Talaud, Bolaang Mongondow timur, Bolaang Mongondow, dan Bolaang Mongondow Utara lebih dari 0,7, yang menunjukkan bahwa wilayah tersebut memiliki konsentrasi stres rendah dan frekuensi rata-rata yang tinggi untuk gempa magnitudo kecil. Jadi, wilayah yang dimaksud menunjukkan bahwa tingkat kerapuhan batuan di sana cukup tinggi.

Tingkat Risiko Bencana1Berdasarkan Tingkat Seismisistas Dan Tingkat Kerapuhan Batuan Di Sulawesi Utara

Gelombang seismik adalah gerakan atau getaran yang terjadi di permukaan Bumi sebagai hasil dari pelepasan energi internal yang cepat. Sulawesi Utara memiliki banyak struktur sesar yang berpotensi menyebabkan gempa bumi. Selain itu, sebagian besar struktur Neogen dan beberapa struktur pra-Neogen masih ada atau masih aktif hingga saat ini. Struktur utama termasuk Thrust Sulu, Sesar Gorontalo, Subduksi Sulawesi Utara (North Sulawesi Trench/Minahasa Trench), dan tumbukan ganda laut Maluku. yang cukup memengaruhi peningkatan aktivitas seismik di daerah tersebut. Oleh karena itu, melakukan penelitian tentang tingkat kerapuhan batuan dan seismisitas di wilayah Sulawesi Utara sangat penting untuk menentukan potensi risiko dan dampak gempa bumi.

Suatu wilayah dianggap memiliki risiko terjadinya gempa bumi yang cukup tinggi yaitu jika tingkat seismisitas dan tingkat kerapuhannya tinggi. Tingkat kegempaan yang tinggi menunjukkan bahwa daerah tersebut telah mengalami banyak gempa bumi sebelumnya dan mungkin akan mengalaminya lagi di kemudian hari. Seismisitas pada sebuah daerah berkorelasi dengan kerapuhan batuan, yang berarti bahwa batuan di daerah tersebut lebih lemah dalam menahan tekanan.

Tingkat seismisitas di wilayah penelitian berkisar antara 4,121 dan 5,589, dengan kerapuhan batuan berkisar antara 0,98 dan 1,072. Kabupaten Kepulauan Talaud memiliki tingkat seismisitas tertinggi, dengan nilai 5,589, dan Kabupaten Bolaang Mongondow Timur memiliki tingkat seismisitas terendah, dengan nilai 4,121.



Gambar 2. Peta Sebaran Gempa Bumi Di Sulawesi Utara Tahun 2018 – 2022

Berdasarkan nilai (nilai *b* - *value*) dan (nilai *a* - *value*), wilayah kabupaten Kepulauan Talaud memiliki risiko gempa bumi tertinggi jika dibandingkan dengan wilayah lain di Sulawesi Utara. Selain itu, proses lempeng tektonik yang mungkin memicu terjadinya gempa bumi inilah yang membuat wilayah ini dikategorikan sebagai lokasi dengan tingkat kerentanan tertinggi di Sulawesi Utara. Karena memiliki lebih dari satu faktor yang dominan, lokasi ini masuk dalam kategori kerawanan gempa tipe B. Yang pertama adalah bahwa ia memiliki kualitas batuan yang lemah dan terletak di dekat patahan. Akibatnya, jika daerah tersebut tersentak oleh gempa bumi, itu mungkin mengakibatkan kerusakan mulai dari yang ringan hingga berat. Sedangkan wilayah dengan risiko paling kecil atau termasuk dalam wilayah yang aman antara lain : Minahasa, Tomohon, Kotamobagu, Manado, Bitung, Minahasa Selatan, Minahasa Tenggara, Kepulauan Sangihe, Siau Tagulandang Biaro dan Minahasa Utara. Hal ini disebabkan wilayah tersebut memiliki kejadian gempa sedikit dibandingkan dengan wilayah lain. dikarenakan hanya memiliki satu faktor dominan sehingga wilayah ini termasuk dalam kerawanan gempa tipe A. Karena lokasinya di sesar, daerah ini kurang berpotensi menjadi pusat gempa bumi. Namun, meskipun daerah ini dianggap aman, tidak menutup kemungkinan terkena dampak gempa bumi mulai dari ringan hingga sedang di tempat lain.

KESIMPULAN

Menurut hasil analisis metode *Guttenberg Richter*, wilayah Sulawesi Utara memiliki tingkat seismisitas yang berbeda. Wilayah kepulauan Talaud memiliki seismisitas tertinggi sebesar 5,589, sedangkan wilayah Bolaang Mongondow Timur memiliki seismisitas terendah sebesar 4,121. Wilayah kepulauan Talaud memiliki kerapuhan batuan tertinggi sebesar 1,072, dan wilayah Bolaang Mongondow Utara memiliki kerapuhan batuan terendah sebesar 0,98.

Menurut analisis seismisitas dan kerapuhan batuan, wilayah kepulauan talaud memiliki tingkat kerawanan gempa bumi paling tinggi di wilayah Sulawesi Utara. Daerah dengan resiko paling rendah adalah Minahasa, Tomohon, Kotamobagu, Manado, Bitung, Minahasa Selatan, Minahasa Tenggara, Kepulauan Sangihe, Siau Tagulandang Biaro, dan Minahasa Utara. Tingkat kerawanan gempa bumi di wilayah Sulawesi utara berdasarkan hasil analisis data seismisitas dan kerapuhan batuan diperoleh wilayah kabupaten kepulauan talaud memiliki risiko paling rentan terjadinya gempa bumi, sedangkan daerah yang termasuk dalam risiko kecil adalah Minahasa, Tomohon, Kotamobagu, Manado, Bitung, Minahasa Selatan, Minahasa Tenggara, Kepulauan Sangihe, atau Tagulandang Biaro dan Minahasa Utara dengan jumlah gempa paling sedikit.

DAFTAR PUSTAKA

Ahda Mulyati, M. N., & Burhany, N. R. (2017). Pengetahuan Lokal Berbasis Mitigasi Bencana pada Pembentukan Permukiman Orang Bajo di Perairan Sulawesi Tengah.

Amin, T. M. (2015). Penyuluhan rumah tahan gempa di dusun jeringan, kulon progo, yogyakarta sebagai upaya pengurangan risiko dampak gempa bumi. *Asian Journal of Innovation and Entrepreneurship (AJIE)*, *4*(03), 139-143.

Efendi, Rahmat. (2011). *Analisis Waktu Berakhirnya Gempa Bumi Susulan Dengan Metode Mogi*. Skripsi. UIN Jakarta

Esriani, E. (2022). *Kesiapsiagaan Santri Tingkat Tsanawi dalam Menghadapi Bencana Alam Gempa Bumi di Lingkungan Pondok Pesantren Riyadlul Huda Desa Sukarapih Kecamatan Sukarame Kabupaten Tasikmalaya*(Doctoral dissertation, Universitas Siliwangi).

Hasan, E. S., Hasria, H., Masri, M., Haraty, S. R., Okto, A., & Hamimu, L. (2022). Pengurangan Risiko Bencana Bagi Masyarakat Desa Tumbu-tumbu Jaya, Kabupaten Konawe Selatan, Sulawesi Tenggara. *Jurnal Abdidas*, *3*(5), 838-847.

Nuraeni, N., Mujiburrahman, M., & Hariawan, R. (2020). Manajemen Mitigasi Bencana pada Satuan Pendidikan Anak Usia Dini untuk Pengurangan Risiko bencana Gempa Bumi dan Tsunami. *Jurnal Penelitian Dan Pengkajian Ilmu Pendidikan: E-Saintika*, *4*(1), 68-79.

Nurrobikha, N., Novrikasari, N., & Windusari, Y. (2021). Kualitas Hidup dan Kesiapsiagaan Bencana Gempa Bumi pada Masyarakat Pesisir Pantai Panjang Kelurahan Teluk Sepang. *Jurnal Keperawatan Silampari*, *5*(1), 513-520.

Pasau, G., & Tamuntuan, G. H. (2017). Pengamatan seismisitas gempa bumi di wilayah pulau Sulawesi menggunakan perubahan nilai ab. *Jurnal MIPA*, *6*(1), 31-35.

Permana, A. P. (2017). Analisis Stratigrafi Daerah Tanjung Kramat Kecamatan Hulonthalangi Kota Gorontalo. *Jurnal Geomine*, *5*(1).

Rahadian, A. H., & Kencana, M. (2016). Pengaruh disiplin dan motivasi kerja pegawai terhadap efektivitas kerja penanggulangan bencana alam di Kecamatan Sukamakmur Kabupaten Bogor. *Transparansi: Jurnal Ilmiah Ilmu Administrasi*, *8*(2), 185-207.

Rifai, A. I., Prasetyo, E. G., & Thalib, H. (2022). Implementasi Perencanaan dan Pelaksanaan Rehabilitasi dan Rekonstruksi Jalan Pasca Bencana Gempa dan Liquefaksi. In *In Proceeding Civil Engineering Research Forum* (Vol. 2, No. 1, pp. 42-50). In Proceeding Civil Engineering Research Forum.

Rysnawati, N. M., Sukarasa, I. K., & Paramarta, I. B. A. (2017). Analisa tingkat bahaya dan kerentanan bencana gempa bumi di wilayah nusa tenggara timur (NTT). *Buletin Fisika*, *18*(1), 32-3732.

Sabriani. (2017). *Uji analisis perbandingan metode fraktal dan metode empiris untuk penentuan tingkat seismisitas di wilayah sulawesi*. Skripsi, 1–61.

Simandjuntak, T. O. (1992). An Outline of Tectonics of the Indonesian Region. *Geological News Letter*, *252*(3), 4-6.

Sompotan, A. (2012). Struktur geologi Sulawesi (bandung: Perpustakaan Sains Kebumian Institut Teknologi Bandung).

Sunarjo, G., & Pribadi, S. (2012). Gempa Bumi Edisi Populer. *Jakarta: Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika*.

Suwuh, S., Sompotan, A., & Umboh, S. (2020). KOREKSI LOKASI HIPOSENTRUM GEMPABUMI DI SULAWESI UTARA MENGGUNAKAN METODE MODIFIED JOINT HYPOCENTER DETERMINATION. *Jurnal FisTa: Fisika dan Terapannya*, *1*(2), 80-87.

Wardyaningrum, D. (2014). Perubahan komunikasi masyarakat dalam inovasi mitigasi bencana di wilayah rawan bencana gunung merapi. *Jurnal Aspikom*, *2*(3), 179-197.