

Analisis perubahan Coulomb stress gempa bumi Mw 5,8 di kabupaten Tapanuli Utara 1 Oktober 2022

Lailatul Husna Lubis^{1*}, Faradilla Firdani Harefa²,
Christofel Haposan Sibuea³, Mira Hestina Ginting⁴

^{1,2} Program Studi Fisika Universitas Islam Negeri Ssumatera Utara

Jln. Lapangan Golf, Desa Durian Jangak, Kecamatan Pancur Batu, Kabupaten Deli Serdang

^{3,4} Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika

Jln. Geofisika No.1 Tuntungan 1, Pancur Batu, Deli Serdang

*email:lailatulhusnalubis@uinsu.ac.id

Abstrak - Gempa bumi dengan magnitudo Mw 5,8 mengguncangkan wilayah Tapanuli Utara pada tanggal 1 Oktober 2022 (02:28:43 WIB) pada segmen Renun yang disebabkan oleh jenis sesar (right-lateral strike slip). Data gempa bumi utama dan parameter sesar dari mekanisme sumber diperoleh dari Global CMT dan data gempa bumi susulan diperoleh dari katalog BMKG dengan rentang wilayah lokasi penelitian berada pada 1,60° LU – 2,52° LU dan 98,55° BT – 99,50° BT. Metode yang digunakan adalah metode Coulomb Stress dengan menggunakan software Coulomb 3.4. Hasil analisa perubahan coulomb stress yaitu daerah yang terdapat peningkatan stress batuan sebesar 0 hingga 0,2 bar dan penurunan stress batuan sebesar 0 hingga -0,2 bar. Daerah yang memiliki peningkatan stress berada pada arah utara, timur laut ke timur, tenggara, dan barat daya. Sedangkan daerah yang mengalami penurunan stress berada pada arah timur laut, timur ke tenggara, selatan dan barat ke barat laut

Kata kunci: Gempa bumi, Perubahan Coulomb Stress, Mekanisme Sumber.

Abstract – An earthquake with a magnitude of Mw 5.8 shook the North Tapanuli region on October 1, 2022 (02:28:43 WIB) on the Renun segment caused by right-lateral strike slip. The main earthquake data and fault parameters of the source mechanism were obtained from Global CMT and aftershock data were obtained from the BMKG catalog with the range of the research location area at 1.60° LU - 2.52° LU and 98.55° East - 99.50° East. The method used is the Coulomb Stress method using Coulomb 3.4 software. The results of the analysis of coulomb stress changes are areas where there is an increase in rock stress of 0 to 0.2 bar and a decrease in rock stress of 0 to -0.2 bar. Areas that have increased stress are in the north, northeast to east, southeast, and southwest directions. While areas that experience a decrease in stress are in the northeast, east to southeast, south and west to northwest directions.

Key words: Earthquake, Coulomb Stress Change, Source Mechanism

PENDAHULUAN

Kawasan tektonik aktif di dunia di antaranya adalah daerah Sumatera. Berdasarkan kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, di antara daerah tinggi bahaya gempa terletak pada daratan Sumatera Utara. Kuatnya efek kegempaan di daerah Sumatera dikuasai oleh keadaan geografis daerahnya, di mana seluruh daerah daratan Sumatera dilalui oleh patahan aktif, zona subduksi dan jalur gunung berapi [1]. Daerah Sumatera Utara ditemukan tiga patahan ialah sesar Renun, sesar Toru dan sesar Angkola. 3 sesar tersebut membagi daerah Sumatera Utara dan menjadi pusat jalur perambatan gempa bumi [2]. Sumatera Utara mempunyai sebagian segmen gempa bumi

tektonik aktif yang berada di Renun yang terhampar dari Tapanuli Utara hingga Sidikalang [3].

Timbulnya pelepasan tegangan batuan yang saling menekan merupakan sebab terjadinya gempa bumi. Ketidakmampuan batuan menahan tekanan menyebabkan batas fleksibel batuan terlewati maka timbul pelepasan energi sebagai gempa bumi. Sehingga terjadi pergantian ambang stress batuan di wilayah pusat dan di wilayah lingkungannya. Cara memeriksa penyebaran stress batuan yang disebabkan oleh gempa bumi adalah dengan metode perubahan *Coulomb stress* [4]. *Coulomb stress* difungsikan secara luas mampu menjabarkan hubungan gempa bumi dalam area tegangannya. Kondisi

ini mempunyai indikasi krusial dalam penggambaran wilayah rawan gempa bumi [5].

LANDASAN TEORI

A. Geologi dan Tektonik Tarutung

Ibu kota kabupaten Tapanuli Utara adalah Tarutung berdasarkan geografis berlokasi di titik $2,010^{\circ}$ LU dan $98,959^{\circ}$ BT. Adanya struktur *pull-apart basin* (cekungan tarik-pisah) yang terbentuk sepanjang Sumatera Fault Zone (SFZ). Keberadaan *pull-apart basin* disebabkan karena adanya modifikasi tahap dan jurusan aktifitas lempeng Indo-Australia yang menimbulkan pembagian pada patahan Sumatera.

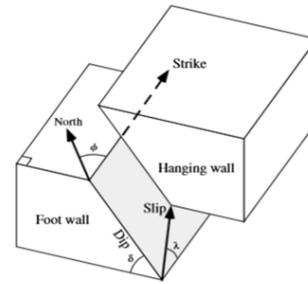
Menurut data historis kegempaan dan keberadaan sesar (Renun, Toru dan Angkola) yang bergerak aktif di Sumatera Fault Zone (SFZ). Tarutung adalah wilayah yang mempunyai potensi bahaya kegempaan yang cukup tinggi. Kemudian karakteristik wilayah tarutung dikuasai oleh batuan vulkanik, yaitu batuan beku (seperti batuan beku andesit yang diperkirakan berumur tersier yang sudah mengalami pelapukan), piroklastik (yang di perkirakan berumur kuartar) dan breksi vulkanik [6]. Batuan yang berumur tersier yang sudah melapuk juga sedimen kuartar yang berkelakuan lepas, urai dan unconsolidated akan meningkatkan dampak getaran, mengakibatkan rawan gempa bumi [7].

B. Mekanisme Sumber

Mekanisme sumber gempa bumi adalah metode yang difungsikan dalam memastikan jenis sesar dengan mempelajari parameter sesar yaitu *dip*, *rake* dan *strike* yang ditinjau berdasarkan gelombang P yang tercatat oleh stasiun pencatat. Gelombang P adalah gelombang badan yang menjalar di dalam bumi baik di media cair (air dan magma), padat, gas maupun udara. Gelombang ini merupakan gelombang yang pertama tercatat oleh seismograf karena mempunyai kecepatan yang lebih tinggi dari pada gelombang lainnya [8]. Mekanisme sumber dihasilkan dari solusi momen tensor dengan menggunakan gelombang P. Hasil dari solusi momen tensor ditampilkan secara grafik menggunakan diagram bola fokus (*beach ball*) [9]

Sesar adalah bentuk dari patahan yang sudah terjadi pergeseran. Gempa bumi sangat berdampak terhadap pergerakan lempeng atau batuan pada sesar. Untuk mengetahui suatu jenis sesar pada gempa bumi, diperlukan nilai-nilai

dari parameter sesar ditunjukkan pada **gambar 1**.



Gambar 1. *Strike*, *dip* dan *rake* pada bidang sesar

- Strike* atau Jurus (ϕ) adalah arah garis potongan jurus patahan dengan arah utara. jurus diukur dari arah utara ke timur. Besarnya nilai sudut *strike* yaitu $0^{\circ} \leq \phi \leq 360^{\circ}$.
- Dip* (δ) yaitu sudut yang dibuat dari bidang patahan dengan bagian sejajar dan dihitung pada bagian tegak lurus *strike* sesar. Besar nilai *dip* yaitu $0^{\circ} \leq \delta \leq 90^{\circ}$.
- Rake* (λ) merupakan sudut yang terbentuk oleh *slip* dan *strike*. Pada sesar naik bobot *rake* positif dan sesar turun berbobot minus. Besar nilai *rake* yaitu $-180^{\circ} \leq \lambda \leq 180^{\circ}$.

Jenis-jenis sesar pada umumnya ada tiga, yakni:

- Strike slip faults* merupakan sesar yang bergeser secara horizontal. Jika bidang di depan yang bergeser ke kiri dinamakan dengan *left-lateral*, sedangkan jika bergeser ke kanan dinamakan *right-lateral*.
- Dip-slip fault* merupakan patahan yang bergeser secara vertikal. Jika bergeser ke atas atau naik dinamakan dengan *reverse fault*. Sedangkan jika bergeser kebawah atau turun dinamakan dengan *normal fault*.

Dip-strike slip fault adalah campuran dari *strike-slip fault* dengan *dip-slip fault*. Sesar campuran ini dinamakan dengan *Oblique fault* [8].

METODE PENELITIAN

A. Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian ini berada di wilayah Tapanuli Utara pada koordinat $1,60^{\circ}$ LU – $2,52^{\circ}$ LU dan $98,55^{\circ}$ BT – $99,50^{\circ}$ BT. Tujuan Penelitian ini dilaksanakan untuk menganalisis perubahan coulomb stress gempa bumi utama dan selanjutnya proses penelitian dilakukan di

BMKG stasiun Geofisik kelas I Deli Serdang dan kampus IV UIN Sumatera Utara.

B. Data

Data yang diperlukan dalam penelitian ini berupa data gempa bumi utama dan parameter sesarnya di wilayah Kabupaten Tapanuli Utara yang diambil dari website Global CMT dengan mencari wilayah Tapanuli Utara 1,60° LU – 2,52° LU dan 98,55° BT – 99,50° BT. Data yang diperoleh waktu kejadian: 1 Oktober 2022, *longitude*: 98,90°, *latitude*: 2,17°, kedalaman: 16 km, magnitudo: 5,8 Mw, *strike*: 146°, *dip*: 81°, *rake*: -176° dan bentuk bola fokusnya [10](Global CMT, 2023). Selanjutnya data katalog gempa susulan bersumber dari BMKG dengan mencari wilayah Tapanuli Utara 1,60° LU – 2,52° LU dan 98,55° BT – 99,50° BT. Data tersebut diambil dari tanggal 30 September 2022 (19:40:31 UTC) hingga 9 Oktober 2022 (00:00:00 UTC), dari skala magnitudo 2-10. Data yang bersumber dari website BMKG diperoleh sebanyak 92 gempa susulan dengan rata-rata kedalaman 10 km [10].

C. Coulomb Stress

Software yang diperuntukkan untuk proses analisis perubahan *coulomb stress* adalah software *coulomb 3.4.2* dari *United States Geological Survey (USGS)*.

Coulomb stress ialah selisih tegangan geser dengan kekuatan gesekan. Tegangan geser yaitu tegangan yang posisinya sejajar dengan permukaan bidang sesar dan kekuatan gesekan ialah batas kekuatan dalam menahan gesekan sebelum pecah pada permukaan. Berdasarkan teori kerutuhan coulomb, saat ada dua batuan yang saling bergeser dengan arah yang berbeda maka tegangan geser akan bekerja sejajar dengan bidang sesar. Selain dari pada itu juga bekerja tegangan yang tegak lurus terhadap bidang sesar yang disebut tegangan normal [11].

Coulomb stress adalah cara yang dilakukan dalam memeriksa persebaran tegangan yang masih tersimpan atau telah terlepas pada suatu sesar. Cara ini mampu menunjukkan arah pergerakan tegangan dalam menganalisis arah persebaran gempa bumi susulan [12]. Definisi perubahan *coulomb stress* (ΔCS) dapat dilihat pada rumusan sebagai berikut [4]

$$\Delta CS = \Delta \tau + \mu' \Delta \sigma \quad (1)$$

Diketahui:

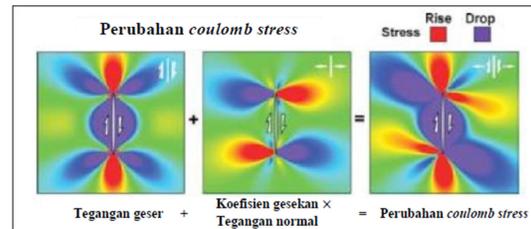
ΔCS = Perubahan *coulomb stress* (bar)

$\Delta \tau$ = Tegangan geser (bar)

μ' = Koefisien gesekan (0,4)

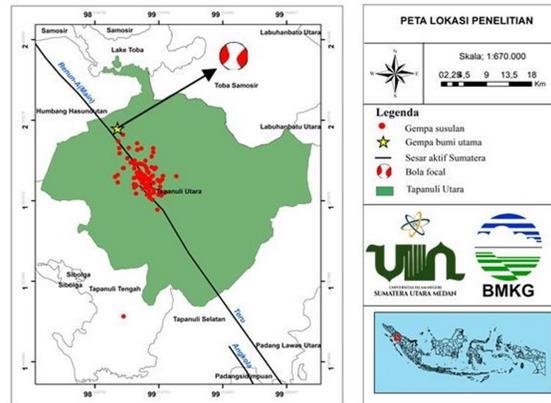
$\Delta \sigma$ = Tegangan normal (bar)

Gambar 2 merupakan ilustrasi dari perubahan *coulomb stress* [13]



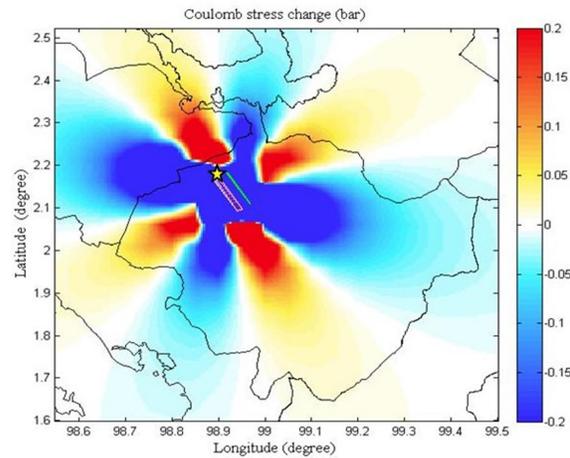
Gambar 2. Ilustrasi perubahan coulomb stress. Warna merah menunjukkan perubahan coulomb stress positif (meningkat) dan warna biru menunjukkan perubahan coulomb stress negatif (menurun).

HASIL DAN PEMBAHASAN



Gambar 3. Peta Lokasi Penelitian

Gambar 3 menunjukkan bahwa lokasi episenter gempa bumi utama terletak pada segmen renun, sedangkan episenter gempa susulannya mendominasi di daerah Tarutung terkhususnya pada wilayah cekung tarik pisah (*Pull Apart Basin*). Gempa bumi tersebut merupakan gempa bumi tipe *mainshock-aftershock* yaitu gempa bumi utama dan kemudian di ikuti oleh serangkaian gempa bumi susulan. Hasil mekanisme sumber menunjukkan bahwa gempa bumi utama Mw 5,8 terjadi pada segmen Renun yang disebabkan oleh jenis sesar geser ke kanan (*right-lateral strike slip*) [14].

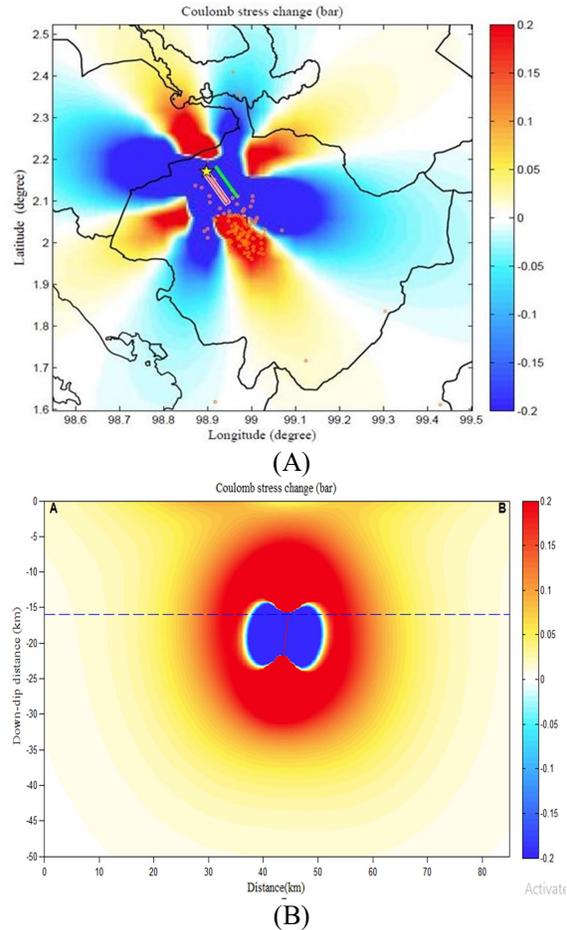


Gambar 4. Hasil analisis perubahan *coulomb stress* gempa bumi Mw 5,8 pada 1 Oktober 2022.

Gambar 4 menunjukkan hasil analisis perubahan *coulomb stress* secara horizontal dari gempa bumi Mw 5,8 di Kabupaten Tapanuli Utara, di mana pada gambar tersebut menjelaskan bahwa terdapat delapan lobus yang terdiri dari Empat lobus biru dan 4 lobus merah. Daerah yang mengalami penurunan *stress* batuan ditandai lobus biru terjadi dari timur laut, timur ke tenggara, selatan dan barat ke barat laut, sedangkan daerah yang terjadi peningkatan *stress* batuan ditandai lobus merah berarah barat laut ke utara, timur laut ke timur, tenggara, dan barat daya. Simbol bintang kuning memperlihatkan lokasi hiposenter gempa bumi utama Mw 5,8 di Kabupaten Tapanuli Utara. Dari posisi tersebut terlihat bahwa hiposenter gempa bumi utama berada pada lobus negatif berkisar 0 sampai -0,2 bar. Sehingga pada lobus negatif tersebut *stress* batuan telah terlepas dan daerah ini mengalami relaksasi tetapi masih diperkirakan terdapat *stress* di daerah ini.

Pada **gambar 5 (a)** menunjukkan titik persebaran gempa bumi susulan yang disimbolkan bulatan oranye setelah kejadian gempa pada tanggal 1 Oktober 2022 yang dominan tersebar di daerah yang memiliki tingkat *stress* tinggi pada arah tenggara. **Gambar 5 (b)** menunjukkan hasil perubahan *coulomb stress* secara vertikal gempa bumi 1 Oktober 2022 Mw 5,8. Pada zona lobus merah yang mengalami peningkatan *stress* batuan sebesar 0 hingga 0,2 bar berada pada kedalaman berkisar 30 km. sedangkan zona lobus biru yang merupakan daerah penurunan *stress* batuan sebesar 0 hingga -0,2 bar berada pada kedalaman berkisar 23 km. hasil penelitian ini daerah yang memiliki tingkat *stress* tinggi berdasarkan teori pada penelitian yang

dilakukan oleh Siwi dkk. ([4]) akan menimbulkan kejadian gempa bumi yang terjadi pasca terjadi gempa 1 Oktober 2022 terbukti setelah kejadian gemp utama tersebut daerah yang menyimpan *stress* tinggi pada arah tenggara mampu menimbulkan gempa susulan yang ditunjukkan pada **gambar 5 (a)**.



Gambar 5. (A). Titik persebaran gempa susulan. (B). Cross section dari perubahan *coulomb stress* terhadap kedalaman.

Terjadinya peningkatan *stress* di wilayah Tapanuli Utara disebabkan oleh sesar geser ke kanan yang terjadi pada segmen Renun dan di dukung oleh litologi daerah tarutung yang didominasi oleh batuan vulkanik, berupa batuan beku (seperti batuan beku andesit yang diperkirakan berumur tersier yang sudah mengalami pelapukan), piroklastik (yang di perkirakan berumur kuartar) dan breksi vulkanik [6]. Batuan yang berumur tersier yang sudah melapuk juga sedimen kuartar yang berkelakuan lepas, urai, dan unconsolidated akan meningkatkan dampak getaran, akibatnya rawan gempa bumi [7].

KESIMPULAN

Terdapat delapan lobus hasil dari analisis perubahan coulomb stress pada gempa bumi utama. Empat lobus biru dan empat lobus merah. Gempa bumi utama berada pada lobus negatif berkisar 0 sampai $-0,2$ bar dengan kedalaman berkisar 23 km sehingga pada lobus negatif tersebut stress telah terlepas. Sedangkan daerah yang mengalami peningkatan stress ditandai dengan lobus merah berkisar 0 hingga $0,2$ bar dengan kedalaman 30 km.

Hasil penelitian ini mampu menunjukkan zona yang memiliki peningkatan stress batuan yang dapat menimbulkan gempa bumi dimasa yang akan datang sehingga memberikan informasi lebih awal dalam mitigasi bencana alam terkhususnya gempa bumi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. Metrikasari, & A. Choiruddin, "Pemodelan Risiko Gempa Bumi di Pulau Sumatera Menggunakan Model Inhomogeneous Neyman-Scott Cox Process", *Jurnal Sains Dan Seni ITS*, vol. 9 no.2, 2021.
<https://doi.org/10.12962/j23373520.v9i2.52318>
- [2] L. Kurniawan, "Kajian penilaian bahaya tanah longsor provinsi sumatera utara", *Jurnal Sains Dan Teknologi Indonesia*, vol. 10 no. 2, pp. 90–98, 2008.
- [3] S. Wulandari, A. F. T. Parera, & L. H. Lubis, "Relokasi Gempabumi di Sesar Renun A, B, Dan C dengan Menggunakan Metode Double Difference (Hypo-DD)", *GRAVITASI: Jurnal Pendidikan Fisika dan Sains*, vol. 4, no. 2, pp. 30-35, 2021.
- [4] P. W. Siwi, S. P. D. Sriyanto, A. T. Rondonuwu, & P. M. Silangen, "Perubahan coulomb stress akibat gempa bumi laut maluku 7 Januari 2019", *Jurnal Geosaintek*, vol. 6, no. 3, pp. 137–142, 2020).
<https://doi.org/10.12962/j25023659.v6i3.7030>
- [5] I. M. K. A. Astra, "Coulomb static stress change dalam interaksi gempa bumi doublets 5.8 Mw dan 5.9 Mw 22 Januari 2007 dan gempa bumi 7.0 Mw 16 Juni 2010 di wilayah Papua", *Jurnal Meteorologi Dan Geofisika*, vol. 12, no. 1, pp. 103–111, 2011).
<https://doi.org/10.31172/jmg.v12i1.83>
- [6] R. Safitri, & Fattah. "Analisa Relokasi Hiposenter Gempa Tarutung Sumatera Utara 2008 menggunakan Metode Coupled Velocity-Hypocenter", *Repo.Itera.Ac.Id.*, 2008.
http://repo.itera.ac.id/assets/file_upload/SB2009140100/12116107_20_124203.pdf
- [7] N. K. Praja, & A. Omang, "Gempa bumi merusak Jawa Timur selatan", *Jurnal Geominerba*, vol 6, no. 2, pp. 136–149, 2021.
- [8] N. N. S. K. Wardani, K. N. Suarbawa, & R. Kusnandar, "Penentuan jenis sesar pada gempa bumi Lombok tanggal 1 Juli sampai 31 Desember 2018 menggunakan metode mekanisme fokus determination of fault type of Lombok earthquakes from July 1 to using focal mechanism method", *Buletin Fisika*, vol. 22, no. 2, pp. 91–96, 2021.
- [9] W. Rahmawati, & M. Madlazim, "Analisis distribusi tegangan normal gempa bumi di wilayah sesar Sumatera menggunakan metode inversi tegangan", *Inovasi Fisika Indonesia*, vol. 10, no. 2, pp. 73–80, 2021.
<https://doi.org/10.26740/ifi.v10n2.p73-80>
- [10] Global CMT. (2023). Global CMT Catalog [Online]. <https://www.globalcmt.org/cgi-bin/globalcmt/cgi-bin/CMT5/form?itype=ydm&yr=2022&mo=9&day=30&otype=ydm&oyr=2022&omo=10&oday=30&jyr=1976&jday=1&ojyr=1976&ojday=1&nday=1&lmw=0&umw=10&lms=0&ums=10&lmb=0&umb=10&llat=01.57&ulat=4&llon=98.5&ulon=110&lhd=0&uhd=10>
- [11] BMKG, (2023). "Skala intensitas gempa bumi (SIG) BMKG", www.bmkg.go.id.
<https://bmkg.go.id/gempabumi/skala-intensitas-gempabumi.bmkg>
- [12] H. U. Mala, & J. N. Mohamad, "Arah Penyebaran Stress Coulomb pada Batuan akibat Gempabumi Kairatu 26 September 2019", *Jurnal Wahana Fisika*, vol. 5, no. 1, pp. 62–70, 2020.
<https://doi.org/10.17509/wafi.v5i1.24500>
- [13] T. A. P. Setiadi, Y. H. Perdana, & S. Rohadi, "Analisis coulomb stress gempa bumi Deli Serdang 16 Januari 2017", *Prosiding Seminar Nasional Fisika (E-*

- JOURNAL) SNF2017*, 56–64, 2017.
<https://doi.org/10.21009/03.SNF2017.02.EPA.09>
- [14] T. A. P. Setiadi, M. A. Rahman, Y. H. Perdana, A. A. Martha, N. Heryandoko, & S. Rohadi, "Analisis Sumber Gempa Bumi Lebak 23 Januari 2018", *Jurnal Lingkungan Dan Bencana Geologi*, vol. 10, no. 3, pp. 149–158, 2019).
<https://doi.org/10.34126/jlbg.v10i3.254>
- [15] P. Supendi, P. Priyobudi, R. T. Imananta, J. Jatnika, D. Sianipar, Y.H. Ali, N. Heryandoko, D. Daryono, S. P. Adi, D. Karnawati, S. D. Anugerah, I.Fatchurochman, A. Sudrajat, "Analisis gempa bumi Tarutung (Sumatera Utara) Mw 5.8 tanggal 1 Oktober 2022", Badan Meterorologi, Klimatologi, Dan Geofisika (BMKG).
<https://www.bmkg.go.id/artikel/?p=analisis-gempabumi-tarutung-sumatera-utara-mw-5-8-tanggal-1-oktober-2022&lang=ID>, 2022.
- [16] Badan Meterorologi, Klimatologi, Dan Geofisika (BMKG).
<https://www.bmkg.go.id/artikel/?p=analisis-gempabumi-tarutung-sumatera-utara-mw-5-8-tanggal-1-oktober-2022&lang=ID>