

**INTERAKSI GEMPABUMI TEKTONIK DAN ERUPSI
GUNUNG SEMERU TAHUN 2021 BERDASARKAN
PERUBAHAN TEGANGAN STATIS**
*INTERACTION OF TECTONIC EARTHQUAKES AND
ERUPTION OF SEMERU VOLCANO IN 2021 BASED ON
STATIC STRESS INVESTIGATION*

Rifki Aji Saputra* dan Moh Iqbal Tawakal²

1) Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah, Jl.Ir.H.Juanda No.95 Ciputat,
Tangerang Selatan , 15412

2) Balai Besar Meteorologi Klimatologi dan Geofisika Wil II Tangerang Selatan,
Jl.Abdul Ghani no.5 Ciputat Timur, Tangerang Selatan, 15419

*Email: rifki.aji18@gmail.com

ABSTRAK

Gunung Semeru merupakan salah satu gunung aktif di Indonesia yang telah erupsi lebih dari 70 kali, sejak letusan pertama pada tahun 1818. Pada 4 Desember 2021 Semeru kembali erupsi. Sebelum erupsi, terjadi gempabumi tektonik dalam waktu berdekatan di Laut Selatan Jawa. Gempabumi tersebut terjadi pada 10 April 2021 berkekuatan 6 Mw, kemudian pada 21 Mei 2021 dengan kekuatan 5 Mw, dan terakhir pada 22 Oktober 2022 dengan kekuatan 5 Mw. Oleh karena itu perlu dilakukan kajian terkait pengaruh gempabumi tektonik yang terjadi di Laut Selatan Jawa Timur terhadap aktivitas Gunung Semeru. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui perubahan nilai tegangan statis di bawah Gunung Semeru. Perhitungan perubahan nilai tegangan statis dihitung menggunakan perangkat lunak Coulomb 3.3 yang dikembangkan oleh United States Geological Survey (USGS). Penelitian ini menggunakan data mekanisme sumber gempabumi seperti magnitudo, kedalaman dan mekanisme bidang sesar. Berdasarkan hasil analisis didapatkan bahwa perubahan tegangan statis akibat gempabumi tektonik di Laut selatan Jawa Timur berkisar -0,5 – 0,5 bar. Secara horizontal, sebaran nilai tegangan statis yang mencapai dapur magma Gunung Erupsi berkisar 0,4 – 1 mbar. Kejadian gempabumi di Laut Selatan Jawa Timur tidak secara signifikan memberikan pengaruh terhadap peningkatan aktivitas Gunung Semeru.

Kata kunci: Coulomb Stress, Erupsi, Gempabumi, Gunung Semeru

ABSTRACT

Semeru Volcano, an active volcano in Indonesia, has experienced over 70 eruptions since its first eruption in 1818. On December 4, 2021, Semeru volcano erupted once again. Preceding this eruption, there were tectonic earthquakes occurring in close succession in the South Java Sea. These earthquakes transpired on April 10, 2021, with a magnitude of 6 Mw, followed by another on May 21, 2021, with a magnitude of 5 Mw, and lastly on October 22, 2022, with a magnitude of 5 Mw. Consequently, it is imperative to conduct a study regarding the influence of tectonic earthquakes in the Eastern Java Sea on Mount Semeru's activity. This research aims to determine the changes in static stress values beneath Semeru Volcano. The calculation of static stress changes was performed using Coulomb 3.3 software developed by the United States Geological Survey (USGS). Based on the analysis results, it is determined that the static stress changes due to tectonic earthquakes in the South Java Sea range from -0.5 to 0.5 bar. Horizontally, the distribution of static stress values reaching the magma chamber of the erupting volcano ranges from 0.4 to 1 mbar. The earthquakes in the Eastern Java Sea do not significantly influence the escalation of Semeru Volcano.

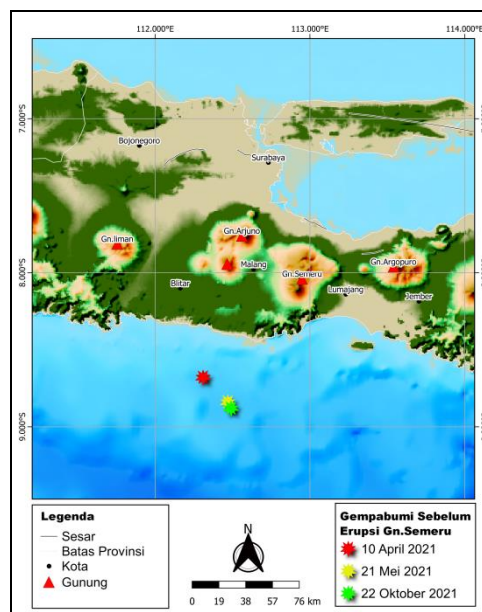
Keywords: Coulomb stress, Eruption, Earthquake, Semeru volcano

1. Pendahuluan

Pulau Jawa merupakan salah satu pulau padat penduduk dengan aktivitas tektonik yang sangat aktif. Hal ini disebabkan karena Pulau Jawa berada di zona konvergensi lempeng Indo-Australia dan lempeng Eurasia. Berdasarkan katalog gempa bumi merusak, dari tahun 1612 hingga 2014, Pulau Jawa telah mengalami 48 kali gempa bumi kuat. Gempa - gempa dengan kekuatan 7 Mw didominasi oleh adanya zona subduksi yang terletak di Laut Selatan Jawa [1].

Wilayah Jawa Timur memiliki tingkat kegempaan yang cukup tinggi. Selain itu, di Jawa Timur terdapat salah satu Gunung api aktif di Indonesia yaitu Gunung Semeru. Secara geografis Gunung Semeru terletak pada $08^{\circ}06'30''\text{LS}$ dan $112^{\circ}55'00''\text{BT}$. Gunung Semeru merupakan gunung api tipe *strato* dengan ketinggian 3.676 meter di atas permukaan laut. Lokasi Gunung api ini berdekatan dengan Kota Malang, Lumajang, Probolinggo dan Pasuruan. Erupsi Gunung Semeru tercatat sudah lebih dari 70 kali, sejak letusan pertama pada tahun 1818 [2].

Pada 4 Desember 2021, Gunung Semeru kembali erupsi. Sebelum erupsi, di Laut Selatan Jawa Timur terjadi tiga kali gempa bumi kuat dengan selang waktu yang berdekatan. Gempabumi pertama terjadi pada 10 April 2021 dengan kekuatan 6 Mw, kemudian pada 21 Mei 2021 dengan kekuatan 5,8 Mw dan terakhir pada 22 Oktober 2021 dengan kekuatan 5 Mw (Gambar 1). Berdasarkan mekanisme sumber, gempa bumi yang terjadi dipicu oleh adanya aktivitas subduksi antara lempeng Indo-Australia dan Lempeng Eurasia [3].



Gambar 1. Kejadian gempabumi tektonik sebelum erupsi Gunung Semeru 4 Desember 2021.

Untuk melihat adanya keterkaitan antara gempa bumi tektonik di Laut Selatan Jawa Timur dan erupsi Gunung Semeru, maka penelitian ini dilakukan analisis sebaran perubahan tegangan geser secara spasial.

Dalam penelitian ini perubahan tegangan geser dihitung menggunakan Perangkat lunak *Coulomb stress Failure*. Interaksi kegempaan yang terjadi di Laut Selatan Jawa Timur menjadi kajian utama untuk melihat hubungan pemicuan antara gempa bumi tektonik dan aktivitas vulkanik di sekitar Gunung Semeru.

2. Data dan Metode

Secara geografis daerah penelitian terletak pada $110.47^{\circ}\text{BT} - 114.47^{\circ}\text{BT}$ dan $10.84^{\circ}\text{LS} - 6.84^{\circ}\text{LS}$. Daerah ini meliputi lokasi episenter gempa bumi yang terjadi tahun 2021 dan lokasi Gunung Semeru berada.

Data didapatkan dari katalog gempa bumi Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) tahun 2021. Data diklasifikasi

berdasarkan waktu kejadian sebelum Gunung Semeru Erupsi. Data yang digunakan yaitu magnitudo dan parameter bidang sesar.

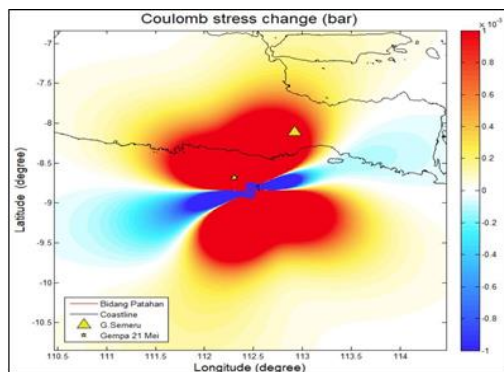
Penelitian ini menghitung perubahan tegangan geser akibat gempa bumi tektonik di Laut Selatan Jawa Timur. Tegangan geser didefinisikan sebagai tegangan yang berada sejajar atau menyinggung suatu permukaan, sedangkan kekuatan gesekan adalah batas kekuatan suatu permukaan untuk menahan gesekan sebelum pecah. secara matematis dirumuskan sebagai berikut:

$$\text{Coulomb Stress} = \tau - \tau f$$

dimana τ adalah tegangan geser (*Shear Stress*), τf adalah kekuatan gesekan (*frictional strength*).

3. Hasil dan Pembahasan

Hasil dari pemodelan *Coulomb stress* adalah distribusi perubahan tegangan geser secara spasial. Perubahan *Coulomb stress* ditinjau pada tiga gempa utama sebelum erupsi Gunung Semeru.

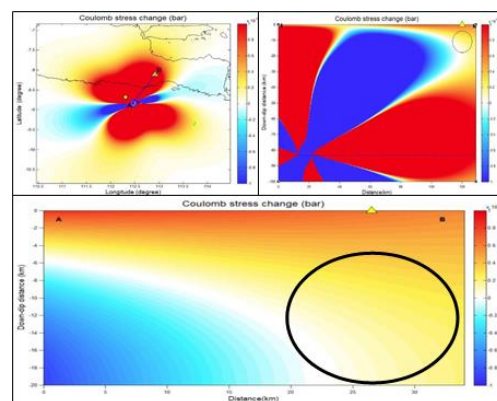


Gambar 2. Perubahan *Coulomb stress* Gempabumi 10 April 2021.

Pada gambar 2 diperlihatkan sebaran perubahan nilai *Coulomb stress* dari gempa bumi pada 10 April 2021. Gempabumi tersebut terjadi di Laut Selatan Jawa Timur yang terletak pada koordinat 112.47° BT dan 8.84° LS atau tepatnya berjarak sekitar 90 km Barat Daya Gunung Semeru.

Secara horizontal pola distribusi didominasi oleh peningkatan *Coulomb stress* yang ditandai dengan warna merah. Distribusi peningkatan *Coulomb stress* memiliki dua lokus dengan arah sebaran Utara dan Selatan. Arah perambatan lokus positif mengarah ke Utara, dimana Gunung Semeru berada. Penurunan *Coulomb stress* yang ditandai dengan warna biru, memiliki arah rambatan Barat Daya dan Timur Laut.

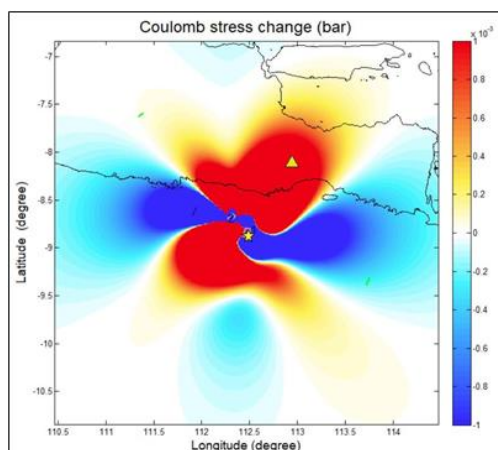
Kejadian gempa bumi ini memicu gempa bumi selanjutnya yang terjadi pada 21 Mei 2021. Hal ini diindikasikan dari episenter gempa bumi yang berada di lokus positif dari gempa bumi sebelumnya seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 2.



Gambar 3. (a) Irisan melintang episenter gempa bumi dan Gunung Semeru. (b) Cross section A-B perubahan *Coulomb stress* (c) Perubahan *Coulomb stress* kedalam 20 km.

Dari hasil *cross section* diperoleh distribusi perubahan *Coulomb stress* di bawah permukaan secara vertikal seperti yang diperlihatkan pada Gambar 3. Pada *cross section* A-B yang ditunjukkan pada Gambar 3b merupakan sebaran perubahan *Coulomb stress* secara vertikal, dengan jarak antara pusat gempa bumi dan lokasi Gunung Semeru sekitar 140 Km. Terdapat dua lokus merah dan dua lokus biru yang merambat secara tegak lurus bidang patahan.

Peningkatan *Coulomb stress* terjadi di bagian bawah Gunung Semeru yang ditandai dengan simbol segitiga kuning. Besarnya peningkatan *Coulomb stress* berkisar 0,8 mbar. Sebaran perubahan tegangan statis menyinggung lokasi dapur magma Gunung Semeru yang terletak di kedalaman 5 – 20 Km (Gambar 3c).



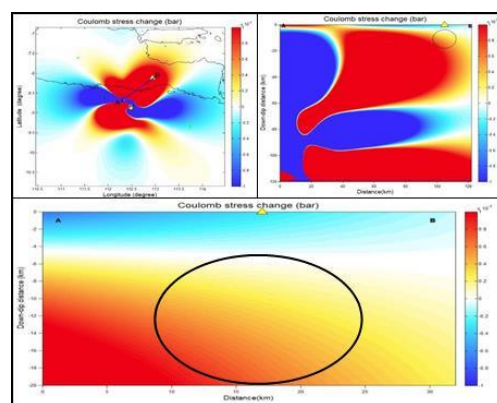
Gambar 4. Perubahan *Coulomb stress* gempabumi 21 Mei 2021.

Gambar 4 menunjukkan perubahan nilai *Coulomb stress* gempabumi 21 Mei 2021 berkekuatan 5,8 Mw dan gempabumi sebelumnya pada 10 April 2021 berkekuatan 6 Mw. Gempabumi 21 Mei 2021 terletak pada koordinat 112,31° BT dan 8,68° LS. Jarak Episenter gempabumi 21 Mei 2021 dengan Gunung Semeru sekitar 100 km.

Gempabumi tersebut memiliki sebaran nilai *Coulomb stress* berupa dua lokus positif dengan arah Utara dan Selatan. Distribusi tegangan statis didominasi oleh peningkatan *Coulomb stress* yang ditandai warna merah seperti yang ditunjukkan pada gambar 5. Peningkatan nilai *Coulomb stress* ini mengarah ke Gunung Semeru dengan kisaran 1 mbar. Kemudian dua lokus penurunan nilai *Coulomb stress* dengan arah Barat dan Timur yang ditandai dengan warna biru, tidak mengarah ke Gunung Semeru.

Sebaran *Coulomb stress* gempa 10 april dan 21 mei 2021 menunjukkan bahwa gempa masih saling berkaitan satu sama lain, seperti yang terlihat pada Gambar 4. Dimana arah sebaran perubahan nilai positif *Coulomb stress* masih berada antara gempabumi pertama dan kedua.

Kedua gempabumi ini memicu gempa berikutnya pada tanggal 22 Oktober 2021. Terlihat episenter gempabumi ini berada di lokus positif seperti yang ditunjukkan pada gambar 5a.

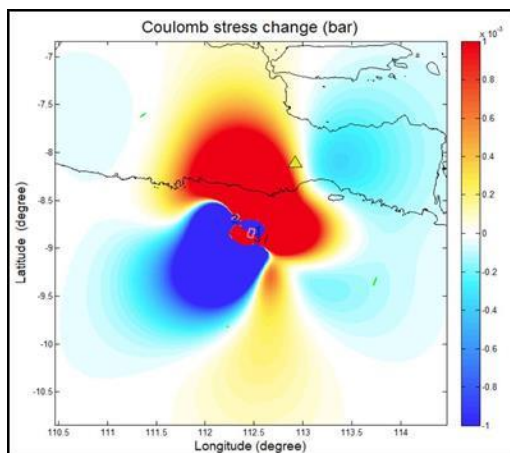


Gambar 5. (a) Irisan melintang episenter gempabumi dan Gunung Semeru. (b) Cross section A – B perubahan *Coulomb stress* dari pusat gempa (c) Perubahan *Coulomb stress* kedalaman 20 km.

Dari hasil *cross section* diperoleh distribusi perubahan *Coulomb stress* di bawah permukaan seperti yang diperlihatkan pada gambar 5. Peningkatan *Coulomb stress* mengarah ke dapur magma Gunung Semeru yang berada pada kedalaman 20 Km (Gambar 5b). Hiposenter Gempabumi berada pada kedalaman 119 Km. Jarak antara dapur magma dan hiposenter gempabumi sekitar 99 Km.

Sebaran *Coulomb stress* di sekitar dapur magma Gunung Semeru berkisar 0,8 mbar. Hal ini dapat dilihat pada gambar 5c bahwa lokus merah yang menandakan adanya peningkatan tegangan statis

bersinggungan dengan keberadaan dapur magma.



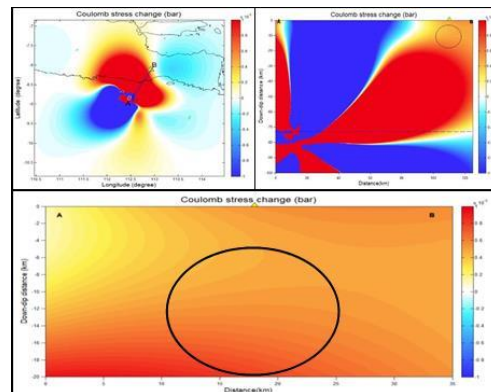
Gambar 6. Perubahan *Coulomb stress* gempa bumi 22 Oktober 2021.

Gambar 6 menunjukkan perubahan *Coulomb stress* gempa bumi 22 Oktober 2021 berkekuatan 5 Mw, 21 Mei 2021 berkekuatan 5,8 Mw, dan gempa bumi 10 April 2021 berkekuatan 6 Mw. Hasil perhitungan didapatkan peningkatan tegangan statis di sekitar Gunung Semeru berkisar 1 mbar.

Gempabumi 22 Oktober berada pada koordinat 112,49° BT dan 8,88° LS atau tepatnya 100 Km Barat Daya Gunung Semeru. Gempabumi tersebut menghasilkan perubahan *Coulomb stress* yang didominasi oleh lokus positif. Dimana perambatanya memiliki kecenderungan ke arah Gunung Semeru. Sedangkan lokus biru atau bernilai negatif mengarah sebaliknya.

Dari hasil *cross section* diperoleh distribusi perubahan nilai *Coulomb stress* di bawah permukaan seperti yang diperlihatkan pada Gambar 7. Pada *cross section* A-B yang ditunjukkan pada gambar 7b merupakan sebaran nilai *Coulomb stress* dari tiga gempa bumi utama sebelum terjadi erupsi Gunung Semeru. Peningkatan *Coulomb stress* berkisar 0,4 – 1 mbar di sekitar dapur magma. Hal ini mengindikasikan

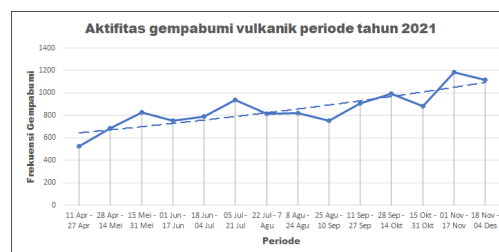
bahwa gempabumi yang terjadi di Laut Selatan Jawa Timur memberikan pengaruh terhadap peningkatan aktifitas Gunung Semeru, meskipun pengaruhnya relatif kecil.



Gambar 7. (a) Irisan melintang episenter gempa bumi dan Gunung Semeru. (b) *Cross section* A – B perubahan *Coulomb stress* dari pusat gempa (c) Perubahan *Coulomb stress* kedalaman 20 km.

3.1 Aktivitas Gempa Vulkanik Gunung Semeru Terhadap Gempabumi Tektonik

Berdasarkan catatan Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi (PVMBG) bahwa dari tanggal 11 April sampai dengan 04 Desember 2021 terjadi peningkatan aktivitas kegempaan di sekitar Gunung Semeru seperti yang dapat dilihat pada gambar 8. Tercatat sebanyak 1117 kali gempa tremor. Kejadian gempa tremor terus meningkat sampai Gunung Semeru erupsi.



Gambar 8. Grafik Aktivitas Vulkanologi Gunung Semeru Selama Gempabumi di Laut Selatan Jawa Timur tahun 2021.

Peningkatan gempa vulkanik bersamaan dengan kejadian gempabumi tektonik di Laut Selatan Jawa Timur yaitu pada rentang waktu April, Mei dan Oktober. Hal ini menjadi indikator adanya pengaruh kejadian gempabumi tektonik dengan gunung berapi. Walaupun gempabumi tektonik bukan menjadi pemicu utama erupsi gunung berapi.

3.2 Hubungan Perubahan Tegangan Geser Terhadap Erupsi Gunung Semeru.

Berdasarkan hasil perhitungan perubahan nilai *Coulomb stress* yang terjadi akibat gempabumi tektonik selama satu tahun 2021 menunjukkan bahwa terjadi perubahan nilai *Coulomb stress* berkisar -0,5 – 0,5 bar. Sedangkan sebaran peningkatan tegangan statis yang menyentuh dapur magma Gunung Semeru berkisar 0,4 – 1 mbar. Dimana dapur magma Gunung Semeru berada pada kedalaman 5 – 20 Km [4].

Suatu gempabumi dikatakan dapat menjadi pemicu utama peningkatan aktivitas vulkanik hingga terjadinya erupsi, jika memiliki tegangan statis lebih dari 10 kPa atau 0,1 bar [5]. Pada penelitian ini tegangan statis tidak mencapai nilai batas pemicu, sehingga gempabumi tektonik di Laut Selatan Jawa Timur tidak menjadi faktor utama terjadinya erupsi.

Letusan gunung api berkaitan dengan keadaan internal, terutama kondisi kantong magma [6]. Informasi tentang lokasi kantong magma Gunung Semeru diperlukan untuk melihat lebih jelas perubahan yang terjadi di area kantong magma. Pemicu utama Erupsi Gunung Semeru perlu dilakukan kajian lebih lanjut tentang faktor internal penyebab erupsi.

Meskipun, perubahan nilai *Coulomb stress* akibat gempabumi Laut Selatan Jawa Timur relatif kecil, akan tetapi terjadi peningkatan gempa

tremor di sekitar Gunung Semeru. Hal ini dapat dikarenakan adanya peningkatan nilai *Coulomb stress* di daerah dapur magma Gunung Semeru.

Kekuatan gempabumi yang kurang kuat menjadi penyebab mengapa pengaruh gempabumi tektonik relatif kecil. Diperlukan waktu delapan bulan dari April sampai dengan Desember untuk dapat mempengaruhi kantong magma Gunung Semeru.

Erupsi merupakan proses alami yang berkaitan dengan proses endogenik yang disebabkan ketidakstabilan kantong magma. Gunung Semeru erupsi dikarenakan adanya longsoran di area kantong magma [7]. Perubahan kondisi fisis magma dapat meningkatkan aktivitas vulkanik dan meningkatkan tekanan. Hal ini dikarenakan gelembung gas magma dan sistem magmatik memperlebar rekahan pada dinding dapur magma yang ditandai dengan adanya gempa vulkano-tektonik [8]. Longsoran yang terjadi di area kantong magma secara tidak langsung disebabkan oleh adanya peningkatan tegangan statis di bawah Gunung Semeru. Hal ini menyebabkan material dinding kantong magma runtuh dan membuat kantong magma tidak stabil.

4. Kesimpulan dan Saran

Distribusi *Coulomb stress* akibat Gempabumi tektonik di Laut Selatan Jawa Timur memberikan pengaruh relatif kecil terhadap aktivitas vulkanik dan erupsi Gunung semeru, yaitu berkisar 0,5 – 5 bar. Nilai perubahan *Coulomb stress* yang mencapai dapur magma berkisar 0,4 – 1 mbar.

Interaksi antara kejadian gempabumi sebelum erupsi Gunung Semeru perlu dikaji lebih kompleks. Pemicu utama erupsi akibat ketidakstabilan kantong magma gunung semeru harus menjadi perhatian khusus agar dapat

memberikan deteksi dini sebelum terjadi erupsi.

Daftar Pustaka

- [1] Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. (2020). (<https://vsi.esdm.go.id/index.php/Gunungapi/data-dasar-Gunungapi/533-g-semeru>), Diakses 25 April 2022.
- [2] I. Meilano, A. L. Tiaratama, D. D. Wijaya, P. Maulida, S. Susilo, and I. H. Fitri,. (2020). Analisis Potensi Gempa di Selatan Pulau Jawa Berdasarkan Pengamatan GPS, J. Lingkung. dan Bencana Geol., vol. 11, no. 3, pp. 151–159.
- [3] E. A. Silver and J. C. Moore. (1978). The Molucca Sea Collision Zone, Indonesia, J. Geophys. Res. Solid Earth, vol. 83, no. B4, pp. 1681–1691.
- [4] T. R. Walter, R. Wang, M. Zimmer, H. Grosser, B. Lühr, and A. Ratdomopurbo. (2007). Volcanic activity influenced by tectonic earthquakes: Static and dynamic stress triggering at Mt. Merapi, Geophys. Res. Lett., vol. 34, no. 5, Mar. 2007.
- [5] G. Seropian, B. M. Kennedy, T. R. Walter, M. Ichihara, and A. D. Jolly. (2021). A review framework of how earthquakes trigger volcanic eruptions, Nat. Commun., vol. 12, no. 1, pp. 1–13.
- [6] H. D. S. Goldberd. (2017). Analisis *Coulomb stress* Gempabumi Halmahera Barat MW=7,2 Terhadap Aktivitas Vulkanik Gunung Soputan dan Gunung Gamalama. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 56. Medan: Universitas Sumatera Utara
- [7] Mengapa Gunung Semeru Erupsi? Ini Penjelasan Para Pakar. (2022). (<https://news.detik.com/berita/d-5852454/mengapa-Gunung-semeru-erupsi-ini-penjelasan-para-pakar>), Diakses 8 September 2022.
- [8] Informasi Letusan, Magma Indonesia, (2021). (<https://magma.esdm.go.id/v1/Gunung-api/informasi-letusan/SMR>), Diakses 26 April 2021.