

Analisis Deformasi di sekitar Sesar Cimandiri Akibat Gempa Cianjur 2022 Menggunakan Data *Indonesia Continuously Operating Reference Station*

Fery Kurnia Sandi, Dwi Pujiastuti*, Marzuki, Vira Friska

Laboratorium Fisika Bumi, Departemen Fisika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Andalas
Kampus Unand, Limau Manis, Padang, 25163, Indonesia

Info Artikel

Histori Artikel:

Diajukan: 25 Oktober 2023
Direvisi: 07 Desember 2023
Diterima: 22 Mei 2024

Kata kunci:

Deformasi
GAMIT/GLOBK
Gempa Cianjur 2022
InaCORS
Sesar Cimandiri

Keywords:

Cianjur Earthquake 2022
Cimandiri Fault
Deformation
GAMIT/GLOBK
InaCORS

Penulis Korespondensi:

Dwi Puji Astuti
Email: dwipujiastuti@sci.unand.ac.id

ABSTRAK

Deformasi praseismik dan koseismik akibat Gempa Cianjur 21 November 2022 dengan kekuatan 5,6 M_w telah dianalisis. Penelitian ini menggunakan data *Global Navigation Satellite System* (GNSS) dan 13 data pergeseran harian stasiun *Indonesian Continuously Operating Reference Station* (InaCORS) untuk mengungkapkan sumber gempa Cianjur 21 November 2022. Stasiun InaCORS yang digunakan meliputi BAKO, CANG, CBTU, CJKT, CJUR, CLBG, CLDO, CPTN, CPWK, CROL, CSUM, CUMI. Penelitian ini menggunakan *software* GLOBK/GAMIT dan diinterpretasikan dalam peta deformasi. Dari hasil pengolahan data, pola deformasi pergeseran stasiun pada fase praseismik menunjukkan bahwa gempa Cianjur 21 November 2022 tidak disebabkan oleh pergerakan Sesar Cimandiri melainkan kemungkinan disebabkan oleh sesar baru. Hal tersebut ditunjukkan adanya perbedaan antara arah deformasi stasiun InaCORS di dekat episentrum gempa dengan arah pergeseran Sesar Cimandiri. Deformasi koseismik horizontal terbesar diperoleh sebesar 43,86 mm pada stasiun CJUR dengan deformasi mengarah tenggara. Deformasi koseismik vertikal (*uplift*) terbesar diperoleh 25,9 mm pada stasiun CLDO.

*The preseismic and coseismic deformation due to the 21st November Cianjur Earthquake with a magnitude of 5.6 M_w has been analyzed. This study uses Global Navigation Satellite Station (GNSS) data and 13 Indonesian Continuously Operating Reference Station (InaCORS) daily displacement data to reveal the source of the 21 November 2022 Cianjur earthquake. The InaCORS stations used include BAKO, CANG, CBTU, CJKT, CJUR, CLBG, CLDO, CPTN, CPWK, CROL, CSUM, and CUMI. This research uses GLOBK/GAMIT software and is interpreted in a deformation map. From the data processing results, the deformation pattern of station shifts in the pre-earthquake phase indicates that the movement of the Cimandiri Fault did not cause the 21 November 2022 Cianjur earthquake but was likely caused by a new fault. This is indicated by the difference between the deformation direction of the InaCORS station close to the epicenter and the direction of the Cimandiri Fault movement. The most significant horizontal coseismic deformation was obtained at 43.86 mm at CJUR station, with deformation towards the southeast. The most significant vertical coseismic deformation (*uplift*) was obtained at 25.9 mm at the CLDO station.*

Copyright © 2024 Author(s). All rights reserved

I. PENDAHULUAN

Pada tanggal 21 November 2022 terjadi gempa di Cianjur Jawa Barat berkekuatan 5,6 M_w dengan kedalaman mencapai 10 km. Gempa ini diikuti dengan 140 gempa susulan (*aftershock*) yang terjadi di sekitar episentrum gempa utama. Menurut informasi dari Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB) terdapat 268 korban jiwa dan lebih dari 2000 rumah mengalami kerusakan akibat gempa Cianjur ini yang disebabkan oleh sesar darat (Supendi dkk., 2022). Walaupun menurut Supendi dkk. (2022) gempa ini disebabkan oleh sesar darat di Jawa Barat, namun gempa ini sebenarnya belum dipahami dengan baik sumbernya sehingga terdapat beberapa perbedaan pendapat pakar terkait sumber gempa ini.

Daryono (2022) menyatakan bahwa gempa ini diperkirakan akibat aktivitas tektonik Sesar Cimandiri. Namun pendapat tersebut berbeda dari Natawidjaja (2022) yang menyebutkan bahwa gempa Cianjur 2022 disebabkan oleh sesar aktif di dekat Cianjur yang belum terpetakan sebelumnya. Kemudian, Supendi dkk. (2022) menyatakan bahwa aktivitas gempa Cianjur bersumber dari sesar yang sejajar dengan Sesar Cimandiri segmen Rajamandala. Mekanisme deformasi sesar ini adalah mengiri (*left-lateral strike slip*) pada arah Barat Daya-Timur Laut yang mirip dengan Sesar Cimandiri. Selanjutnya, BMKG menyatakan pada situsnya bahwa gempa ini disebabkan oleh sesar yang baru teridentifikasi yang posisinya sejajar dengan Sesar Cimandiri, dan sesar ini diberi nama Sesar Cugenang (BMKG, 2022). Namun penelitian terkait sesar baru ini masih terbatas.

Berdasarkan perbedaan pernyataan penyebab tentang gempa Cianjur 21 November 2022, maka diperlukan untuk mengungkap penyebab terjadinya gempa tersebut. Hal ini dapat dilakukan dengan memanfaatkan analisis deformasi permukaan. Analisis deformasi memberikan informasi tentang nilai pergeseran tanah, nilai kecepatan dan yang dapat menduga sumber penyebab terjadinya gempa pada daerah pengamatan (Han dkk., 2012). Pendekatan yang digunakan adalah analisis geometrik pergeseran dengan memanfaatkan data *Global Navigation Satellite System* (GNSS) dan *Continuously Operating Reference Station* (CORS) (Snay & Soler, 2008). Salah satu jenis *receiver* (penerima) CORS yang dapat dimanfaatkan di Indonesia adalah *Indonesia Continuously Operating Station* (InaCORS) yang dikelola oleh Badan Informasi Geospasial (BIG) (BIG, 2019).

Terdapat beberapa penelitian terkait analisis deformasi Gempa Cianjur 21 November 2022. Ramdani dkk. (2023) melakukan penelitian terkait gempa Cianjur 21 November 2022 menggunakan metode multisensor dan multitemporal, lalu menemukan bahwa deformasi akibat gempa tersebut sebesar 9,8 cm untuk pergeseran permukaan serta 11 cm masing-masing untuk pengangkatan dan penurunan tanah. Yun dkk. (2023) melakukan penelitian terkait gempa Cianjur 21 November 2022 dengan menggunakan metode GNSS kombinasi, dan mendapatkan hasil berupa peta koeseismik dan peta gangguan permukaan. Kedua penelitian tersebut belum mengidentifikasi penyebab sumber Gempa Cianjur 21 November 2022. Sementara itu, Hutabarat (2023) dengan kajian geologisnya sudah mengidentifikasi bahwa kerusakan akibat gempa Cianjur 21 November 2022 disebabkan oleh sesar baru yakni Sesar Cugenang. Sesar ini memiliki mekanisme sesar mengiri yang mengarah ke utara $347^\circ E$ dengan kemiringan $82,8^\circ$ ke arah timur laut di wilayah Cianjur. Namun, penelitian ini tidak melakukan analisis deformasi.

Penelitian tentang gempa Cianjur 21 November 2022 terkait deformasi belum pernah dilakukan. Oleh karena itu penelitian ini memanfaatkan stasiun InaCORS di sekitar Sesar Cimandiri untuk menganalisis deformasi permukaan. Penelitian ini diharapkan dapat mengungkap sumber Gempa Cianjur 21 November 2022.

II. METODE

2.1 Data Penelitian

Penelitian menggunakan data stasiun InaCORS pada DoY 250 sampai dengan 326 pada tahun 2022, yaitu dari tanggal 7 September 2022 sampai dengan 22 November 2022. Stasiun InaCORS yang digunakan berjumlah 13 stasiun yaitu: CJUR (Cianjur), CPWK (Purwakarta), CROL (Indramayu), CLDO (Sukabumi), CPTU (Sukabumi), CPTN (Sukabumi), BAKO (Bogor), CBTU (Bekasi), CUMI (Sukabumi), CJKT (Jakarta), CLBG (Bandung), CANG (Bandung), dan CSUM (Sumedang), BAK1 (Bogor). Data rinex IGS (*Receiver Independent Exchange Format International GNSS Service*), dan

pengolahan GLOBK. Kemudian data *q_file* memuat informasi *fract* (perbandingan) nilai besarnya perataan yang diberikan pada stasiun dengan nilai ketidakpastian pada pemberian bobot untuk perhitungan kuadrat terkecil. Data *summary file* memuat informasi ambiguitas fase yaitu dengan memperhatikan kualitas data seperti *postfit nrms*, *Wide Lane (WL)*, *Narrow Lane (NL)*. Nilai *postfit nrms* < 0,25, *Wide Lane (WL)* > 90%, dan *Narrow Lane (NL)* > 80% sebagai validasi bahwa hasil pengolahan data jauh dari pengaruh *noise*. *Noise* dapat disebabkan oleh beberapa faktor seperti faktor hewan yang beraktivitas di sekitar stasiun, adanya pohon atau sesuatu yang tinggi yang menghalangi stasiun dalam pengiriman sinyal, dan fenomena alam lainnya (King dkk., 2015).

2.2.2 Pengolahan Data Menggunakan *Software* GLOBK dan Penentuan Vektor Deformasi

Luaran dari software GAMIT digunakan untuk masukan bagi software GLOBK untuk mendapatkan analisis deformasi. Hasil pengolahan software GLOBK berupa koordinat pergerakan posisi untuk setiap waktu pengamatan. Berdasarkan koordinat pergerakan posisi setiap stasiun GPS dari data koordinat geosentrik dan lokal, vektor pergeseran deformasi pada setiap titik GPS dihitung berdasarkan persamaan 1 dan persamaan 2. Besar vektor deformasi dihitung dengan menggunakan persamaan 3 dan arah resultannya dihitung menggunakan persamaan 4.

$$DE_{12} = (E_2 - E_1) \times 111.320m \quad (1)$$

$$DN_{12} = (N_2 - N_1) \times 111.320m \quad (2)$$

$$D = \sqrt{(DN_{12})^2 + (DE_{12})^2 + 2DN_{12}DE_{12} \cos \alpha} \quad (3)$$

$$\alpha = \tan^{-1} \frac{DN_{12}}{DE_{12}} \quad (4)$$

Dimana D adalah besar deformasi, DN besar deformasi dalam sumbu utara (North), DE besar deformasi dalam arah timur (East), α arah pergeseran atau arah resultan dan 111.320 m merupakan nilai konversi dari satuan derajat ke meter (Herring dkk., 2018)

2.2.3 Pemetaan Menggunakan GMT (*Generic Mapping Tools*) 5.4.5

Pada penelitian ini pemetaan arah dan besar pergerakan stasiun InaCORS menggunakan *software Generic Mapping Tools* (GMT) 5.4.5. Keluaran *software* GLOBK berupa data perubahan posisi titik koordinat toposentrik harian setiap stasiun InaCORS yang digunakan, menjadi masukan untuk pemetaan.

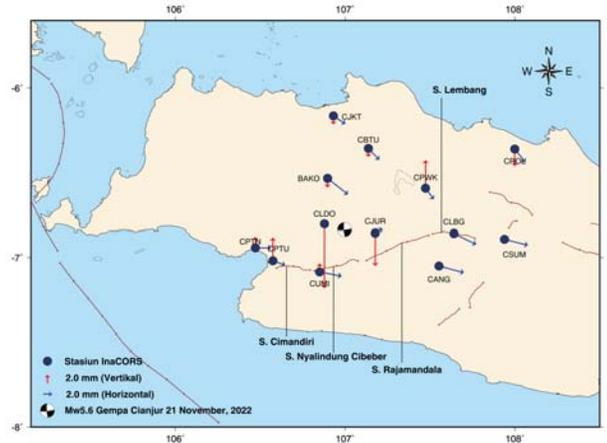
2.2.4 Analisis Data

Analisis dilakukan dengan mengamati besar, dan arah deformasi dari masing-masing stasiun InaCORS dari hasil pengolahan GLOBK. Analisis lebih rinci dilakukan dengan mengamati pola deformasi pergeseran dari masing-masing stasiun InaCORS pada tahap gempa praseismik, dan koseismik (Nurdin dkk., 2023). Tahapan praseismik berada pada rentang DoY ke 250 sampai DoY 323 tahun 2022, sedangkan tahapan koseismik berada pada rentang DoY ke 324 sampai DoY 326 tahun 2022. Vektor deformasi dari masing-masing stasiun memberikan informasi terkait penyebab dari gempa Cianjur 21 November 2022 dengan cara menganalisis besar serta arah pergeseran stasiun yang digunakan dan dibandingkan dengan tektonik Jawa Barat.

III. HASIL DAN DISKUSI

3.1 Deformasi Fase Praseismik

Gambar 3 menunjukkan vektor deformasi selama fase praseismik. Dari peta deformasi praseismik terlihat Gempa Cianjur 21 November 2022 tidak disebabkan oleh Sesar Cimandiri. Hal tersebut terlihat dari stasiun – stasiun yang berada di dekat episenterum gempa (CJUR dan CLDO) dan utara episentrum gempa (BAKO, CJKT, CBTU) yang arahnya berbeda dengan arah Sesar Cimandiri yakni sesar geser mengiri (Supendi dkk., 2022). Arah deformasi stasiun tersebut cenderung mengarah ke kanan seperti stasiun CJUR, BAKO, CBTU, dan CJKT, sementara stasiun CLDO memiliki deformasi horizontal yang kecil sehingga tidak terlihat pada peta defromasi fase praseismik.



Gambar 3 Peta Deformasi Praseismik Stasiun InaCORS Gempa Cianjur 21 November 2022

Deformasi horizontal ditunjukkan dengan panah berwarna biru, sedangkan deformasi pergeseran vertikal ditunjukkan dengan panah berwarna merah. Arah panah berwarna biru meliputi north, east, south, west sesuai dengan mata angin. Sedangkan arah panah berwarna merah meliputi *uplift* (ke-atas) dan *subsidence* (ke-bawah)

Hasil penelitian ini pada Gambar 3 mendukung penelitian sebelumnya yang telah dilakukan oleh Supendi dkk. (2022), yang menduga adanya sesar baru. Menurut Supendi dkk. (2022) posisi sesar baru tersebut sejajar dengan Segmen Rajamandala pada Sesar Cimandiri. Pada Gambar 3, stasiun yang sejajar dengan Segmen Rajamandala adalah stasiun CJUR yang memiliki arah deformasi berlawanan dengan arah Sesar Cimandiri. Penelitian ini juga sejalan dengan penelitian Hutabarat (2023) yang menyatakan, bahwa Gempa Cianjur 2022 tidak disebabkan oleh Sesar Cimandiri, melainkan oleh sesar baru yang diberi nama Sesar Cugenang.

Pada peta deformasi praseismik stasiun – stasiun di utara episentrum gempa seperti BAKO, CJKT, CBTU memiliki arah yang berlawanan dengan arah Sesar Cimandiri. Stasiun lainnya yang memiliki arah yang berlawanan dengan arah Sesar Cimandiri dapat dilihat pada stasiun CPWK, CROL, CLBG, CSUM, CANG, CPTN dan CPTU. Hal tersebut disebabkan stasiun CPWK, CROL, CLBG, CSUM jauh dari posisi episentrum gempa, dan kemungkinan disebabkan oleh aktivitas tektonik lain seperti Sesar Lembang. Sementara stasiun CPTN dan CPTU kemungkinan disebabkan oleh pengaruh aktivitas tektonik lain di Jawa Barat. Stasiun CUMI memiliki arah deformasi yang sama dengan arah Sesar Cimandiri. Stasiun – stasiun ini memiliki arah deformasi ke kanan. Nilai – nilai deformasi untuk setiap stasiun yang diamati pada rentang DoY 250 – DoY 330 dapat dilihat pada Tabel 1.

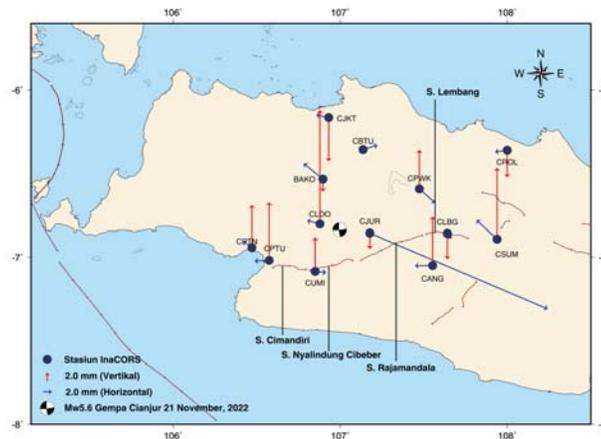
Tabel 1 Besar Pergeseran Stasiun InaCORS Fase Praseismik

Stasiun InaCORS	Besar Deformasi Horizontal (mm)	Besar Deformasi Vertikal (mm)	Arah Deformasi
BAKO	5,825	-2,058	South East-Subsidence
CANG	5,756	-0,459	South East-Subsidence
CBTU	3,542	-1,934	South East-Subsidence
CJKT	3,213	-1,927	South East-Subsidence
CJUR	1,889	-7,342	North east - Subsidence
CLBG	5,517	-0,175	South east - Subsidence
CROL	3,799	-3,847	South east - Subsidence
CLDO	14,359	-14,359	South west - Subsidence
CPTN	3,511	2,503	South east -Uplift
CPTU	2,932	5,204	South east -Uplift
CPWK	3,087	6,329	South east -Uplift
CSUM	5,400	0.065	South east -Uplift
CUMI	4,996	1.949	South east -Uplift

3.2 Deformasi Fase Koseismik

Pada fase koseismik semua stasiun mengalami pembalikan arah apabila dibandingkan dengan fase praseismik (Gambar 4). *Co-seismic jump* menyebabkan perubahan arah deformasi batuan menjadi tidak berada lagi pada posisi setimbang. Pada umumnya batuan yang tidak mengalami kejadian gempa akan terus bergerak secara setimbang sesuai arah pergerakannya, namun ketika kedua batuan bertumbukan dengan arah yang berbeda maka suatu saat energi tersebut akan dilepaskan dalam bentuk gempa bumi (Kusky, 2008).

Gambar 4 menunjukkan deformasi horizontal paling besar terjadi pada stasiun CJUR yang mengarah ke Tenggara. Besar deformasi horizontal stasiun CJUR adalah 43,86 mm atau 4,386 cm yang lebih besar dibandingkan dengan stasiun lainnya. Hal tersebut disebabkan stasiun tersebut dekat dengan episentrum gempa bumi. Deformasi vertikal terbesar yang teramati pada peta kosesimik adalah deformasi vertikal stasiun CLDO. Besar deformasi tersebut adalah 25,9 mm atau 2,59 cm. Arah deformasi vertikal stasiun CLDO mengarah ke atas (*uplift*), artinya ketika terjadi gempa batuan pada stasiun CLDO mengalami kenaikan posisi. Deformasi horizontal terkecil pada stasiun CANG dan deformasi vertikal terkecil teramat pada stasiun CBTU. Hal ini disebabkan karena posisi stasiun CANG yang jauh dari episentrum gempa dibandingkan dengan stasiun lainnya. Besar perubahan nilai deformasi pergeseran stasiun CANG, CLBG, CSUM dan stasiun InaCORS lainnya dapat dilihat pada Tabel 2.



Gambar 4 Peta Deformasi Koseismik Gempa Cianjur 2022

Nilai deformasi pada penelitian ini berbeda dengan penelitian Ramdani dkk. (2023) yang memperoleh. Nilai deformasi horizontal akibat Gempa Cianjur 2022 sebesar 9,8 cm dan deformasi vertikal sebesar 11 cm. Perbedaan ini terjadi karena keterbatasan penelitian ini yang hanya memanfaatkan satu jenis data saja yakni data stasiun InaCORS, sementara pada penelitian Ramdani dkk. (2023) memanfaatkan tiga pasang dataset Sentinel-1.

Tabel 2 Besar Pergeseran Stasiun InaCORS Fase Koseismik

Stasiun InaCORS	Besar Deformasi Horizontal (mm)	Besar Deformasi Vertikal (mm)	Arah Deformasi
BAKO	5,641	-2,84	North west - Subsidence
CANG	4,007	11,03	South west - Uplift
CBTU	3,415	-0,57	North east - Subsidence
CJKT	2,899	-9,97	North west - Subsidence
CJUR	43,861	-3,57	South east - Subsidence
CLBG	1,503	-5,83	South east - Subsidence
CROL	2,786	-6,18	South west - Subsidence
CLDO	3,005	25,9	North west - Uplift
CPTN	2,438	9,61	North west - Uplift
CPTU	3,309	13,12	South west - Uplift
CPWK	4,825	8,896	South east - Uplift
CSUM	6,320	16,14	North west - Uplift
CUMI	2,503	7,74	South east - Uplift

IV. KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa Gempa Cianjur 2022 tidak disebabkan oleh Sesar Cimandiri karena pergerakan stasiun – stasiun di sekitar episentrum Gempa Cianjur 2022 pada fase praseismik tidak memiliki arah yang sama dengan arah Sesar Cimandiri. Hal yang sama juga teramati pada fase koseismik dimana pembalikan arah pergerakan stasiun – stasiun InaCORS tidak sama dengan arah Sesar Cimandiri. Dari semua stasiun yang digunakan pada penelitian ini, hanya stasiun CJUR yang pergerakannya searah dengan Sesar Cimandiri. Penelitian ini mendukung penelitian Supendi dkk. (2022) yang menyatakan bahwa Gempa Cianjur 21 November 2022 diduga disebabkan oleh adanya sesar baru, dan penelitian Hutabarat (2023) yang menyebutkan bahwa gempa ini disebabkan oleh sesar lain yaitu Sesar Cugenang. Dengan demikian, hasil penelitian ini dapat memberikan informasi baru terkait penyebab Gempa Cianjur 21 November 2022.

DAFTAR PUSTAKA

- BIG, 2019, InaCORS BIG Satu Referensi Pemetaan Indonesia, *Badan Informasi Geospasial*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.28041.70248>
- BMKG, 2022, *Gempa Cianjur Disebabkan Sesar Cugenang, BMKG Dorong Pemkab Cianjur Relokasi 9 Desa*. <https://www.bmkg.go.id/berita/?p=gempa-cianjur-disebabkan-sesar-cugenang-bmkg-dorong-pemkab-cianjur-relokasi-9-desa&lang=ID>
- Daryono, 2022, *Mengenal Sesar Cimandiri yang Sebabkan Gempa Cianjur*. <https://grafis.tempo.co/read/3154/mengenal-sesar-cimandiri-yang-sebabkan-gempa-cianjur>
- Han, J.-Y., Wu, Y., dan Liu, R.-Y., 2012, Determining the optimal site location of GNSS base stations, *Boletim de Ciências Geodésicas*, Vol. 18, hal. 154–169.
- Herring, T. A., King, R. W., dan McClusky, S. C., 2018, *Introduction to GAMIT / GLOBK Basic framework : GAMIT Basic framework : GLOBK GAMIT Structure July 2018*, hal. 1–16. <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.534.6776&rep=rep1&type=pdf>
- Hutabarat, L. E., 2023, Tinjauan Geologis Gempa Cianjur November 2022, *Jurnal Rekayasa Teknik Sipil dan Lingkungan, Program Studi Sipil, Universitas Kristen Indonesia, Jakarta*, Vol. 4, No. 1, hal. 46–53.
- King, R., Herring, T. A., dan McClusky, S. C., 2015, *GAMIT Reference Manual, Release 10.6* Department of Earth, Atmospheric, and Planetary Sciences, Massachusetts
- Kusky, T. M., 2008, *Earthquakes: plate tectonics and earthquake hazards* Infobase Publishing.
- Natawidjaja, D. H., 2022, *Gempa Cianjur Bukan Disebabkan Sesar Cimandiri, Pakar: Ada Sesar Misterius yang Belum Terpetakan!* <https://www.suara.com/tekno/2022/11/22/153817/gempa-cianjur-bukan-disebabkan-sesar-cimandiri-pakar-ada-sesar-misterius-yang-belum-terpetakan>
- Nurdin, N., Pujiastuti, D., dan Marzuki, M., 2023, Analysis of vertical seismic deformation of the 2018 Palu earthquake using Global Navigation Satellite System (GNSS) data, *Journal of Physics: Conference Series*, Vol. 2596, No. 1, hal. 12037.
- Ramdani, F., Wibowo, A., Supriatna, S., dan Setiani, P., 2023, *A multitemporal and multisensor study of land displacement due to 5.6 M earthquake in Cianjur, West Java, Indonesia* Copernicus Meetings.
- Snay, R. A., dan Soler, T., 2008, Continuously operating reference station (CORS): history, applications, and future enhancements, *Journal of Surveying Engineering*, Vol. 134, No. 4, hal. 95–104.
- Supendi, P., Jatnika, J., Sianipar, D., dan Ali, Y. H., 2022, Analisis Gempa bumi Cianjur (Jawa Barat) Mw 5, 6 Tanggal 21 November 2022, *Kelompok Kerja Sesar Aktif Dan Katalog Gempabumi Badan Meteorologi, Klimatologi, Dan Geofisika (BMKG), November*, hal. 13–16.
- Yun, S., Salman, R., Gunawan, H., Widiwijayanti, C., Way, L., Hidayat, D., Lythgoe, K., Yukuan, C., Feng, L., dan Wei, S., 2023, *The damaging November 2022 Mw 5.6 earthquake in West Java, Indonesia*.