

ANALISIS MEKANISME FOKUS GEMPA BUMI KABUPATEN MOJOKERTO JAWA TIMUR MENGGUNAKAN ISO-GUI (STUDI KASUS GEMPA BUMI MOJOKERTO, 19 JUNI 2023)

Sayyidatul Khoiridah¹, Sri Roekminiati², Pamudi³, Sapto Pramono², Sanhari Prawiradiredja⁴

¹Teknik Geomatika, Fakultas Teknik, Universitas Dr. Soetomo Surabaya

²Ilmu Administrasi Negara, Fakultas Ilmu Administrasi, Universitas Dr. Soetomo Surabaya

³Teknik Informatika, Fakultas Teknik, Universitas Dr. Soetomo Surabaya

⁴Ilmu Komunikasi, Fakultas Ilmu Komunikasi, Universitas Dr. Soetomo Surabaya

e-mail : sayyidatul.khoiridah@unitomo.ac.id

Abstrak. Jawa Timur termasuk wilayah rawan terjadi gempa bumi. Salah satu gempa di Jawa Timur yaitu gempa bumi Mojokerto, 19 Juni 2023 yang berpusat pada koordinat 7,50 LS dan 112,50 BT dengan kedalaman 9 km dan magnitudo M4,2. Gempa Mojokerto ini diakibatkan oleh aktivitas sesar aktif yang belum terpetakan. Daerah-daerah yang ikut merasakan guncangan gempa Mojokerto yaitu Mojokerto dengan skala III – IV MMI; Pasuruan, Surabaya, Lamongan, dan Gresik dengan skala III MMI; Sidoarjo dengan skala II – III MMI; dan Malang dengan skala II MMI. Gempa bumi Mojokerto tersebut menyebabkan kerusakan ringan pada rumah warga di Desa Penanggungan, Kecamatan Ngoro, Kabupaten Mojokerto. Oleh karena itu, sebagai upaya mengurangi dampak bencana gempa bumi, maka dilakukan penelitian ini untuk menentukan karakteristik gempa bumi yang terjadi di Mojokerto melalui pemodelan mekanisme fokus. Penelitian ini menggunakan data *waveform* tiga komponen. Hasil dari pemodelan mekanisme fokus menunjukkan bahwa bidang patahannya yaitu berupa patahan *strike slip* dengan nilai *nodal plane I* yaitu *strike* = 179°, *dip* = 76°, *rake* = 178° dan nilai *nodal plane II* yaitu *strike* = 269°, *dip* = 88°, *rake* = 14°. Nilai *variance reduction* dari hasil penelitian ini yaitu sebesar 0,82.

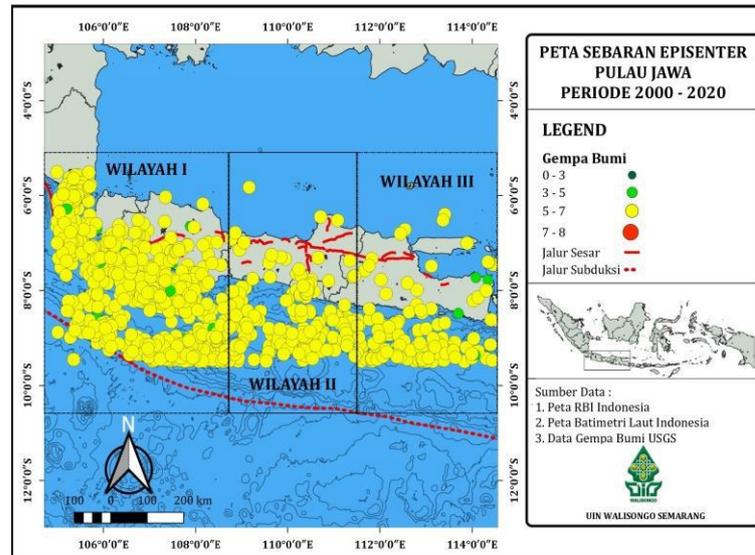
Kata Kunci: Mekanisme Fokus; Mojokerto; Momen Tensor

Abstract. East Java is an area prone to earthquakes. One of the earthquakes in East Java is the Mojokerto earthquake, June 19, 2023 which is located on coordinates 7.50 LS and 112.50 BT with a depth of 9 km and magnitude M4.2. The Mojokerto earthquake was caused by uncharted active fault activity. The areas that participated in the shock of the Mojokerto earthquake were Mojokerto with a scale of III – IV MMI; Pasuruan, Surabaya, Lamongan, and Gresik with scale III MMI; Sidoarjo with scale II – III MMI; and Malang with scale II MMI. The Mojokerto earthquake caused minor damage to residents' homes in Penanggungan Village, Ngoro District, Mojokerto Regency. Therefore, as an effort to reduce the impact of earthquake, this research was conducted to determine the characteristics of earthquakes that occurred in Mojokerto through modeling the focus mechanism. This study used three-component waveform data. The results of focusing mechanism modeling show that the fault plane is in the form of strike slip faults with nodal plane I values namely *strike* = 179°, *dip* = 76°, *rake* = 178° and nodal plane II values namely *strike* = 269°, *dip* = 88°, *rake* = 14°. The variance reduction value of the results of this study is 0,82.

Keywords: Focus Mechanism; Mojokerto; Moment Tensor

PENDAHULUAN

Pulau Jawa memiliki tingkat aktivitas gempa yang tinggi (Septianingrum, 2021). Hal ini dikarenakan oleh lempeng Indo-Australia dan lempeng Eurasia yang saling bertumbukan membentuk zona subduksi di bagian selatan Jawa. Selain itu, Faktor lain yang memengaruhi yaitu karena di pulau Jawa terdapat sesar-sesar lokal yang aktif seperti sesar Cimandiri, sesar Lembang, dan sesar Baribis – Citanduy yang didominasi sesar geser dan sebagian kecil berupa sesar turun. Sedangkan sesar Semarang dan sesar Kendeng didominasi oleh sesar naik. Sementara sesar Probolinggo, sesar Pasuruan, dan sesar Baluran didominasi oleh sesar turun (Hadimoeljono dkk, 2017).

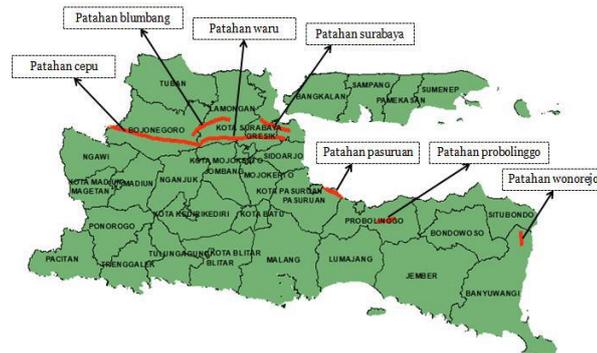


Gambar 1. Peta episenter gempa di Pulau Jawa tahun 2000 – 2020 (Septianingrum, 2021)

Di Pulau Jawa, gempa bumi tidak hanya terjadi di laut Jawa. Namun, gempa bumi juga dapat terjadi di daratan dan dapat menimbulkan dampak yang merusak. Salah satu gempa bumi yang terjadi di daratan pulau Jawa yaitu gempa bumi Mojokerto di Jawa Timur. Gempa Mojokerto tersebut terjadi pada 19 Juni 2023 yang berpusat pada koordinat 7,50 LS dan 112,50 BT dengan kedalaman 9 km dan magnitudo M4,2 (USGS, 2023). Gempa bumi Mojokerto tersebut berada di darat dengan jarak 11,8 km Timur Laut Kabupaten Mojokerto dan 32,62 km Barat Daya kota Surabaya (Kementerian ESDM RI, 2023).

Beberapa daerah yang ikut merasakan guncangan gempa Mojokerto yaitu Mojokerto dengan skala III – IV MMI; Pasuruan, Surabaya, Lamongan, dan Gresik dengan skala III MMI; Sidoarjo dengan skala II – III MMI; dan Malang dengan skala II MMI. Akibat dari gempa bumi Mojokerto tersebut yaitu ada rumah warga di Desa Penanggung yang terletak di Kecamatan Ngoro, Kabupaten Mojokerto mengalami kerusakan ringan (Kementerian ESDM RI, 2023).

Gempa bumi Mojokerto ini diakibatkan oleh aktivitas sesar aktif yang belum terpetakan karena di peta geologi Jawa Timur belum ada jalur sesar pembangkit gempa Mojokerto ini (Kementerian ESDM RI, 2023). Adapun lokasi sesar aktif di Jawa Timur sebagian besar terletak di wilayah bagian utara mulai dari ujung timur hingga barat Jawa Timur (Gambar 2). Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian untuk mengetahui karakteristik gempa bumi melalui pemodelan mekanisme fokus sehingga dapat bermanfaat sebagai referensi untuk upaya memberikan pelayanan pada masyarakat Mojokerto dan wilayah sekitarnya dalam melindungi mereka dari bencana gempa bumi.



Gambar 1. Lokasi patahan aktif Jawa Timur (Salsabil dkk, 2018)

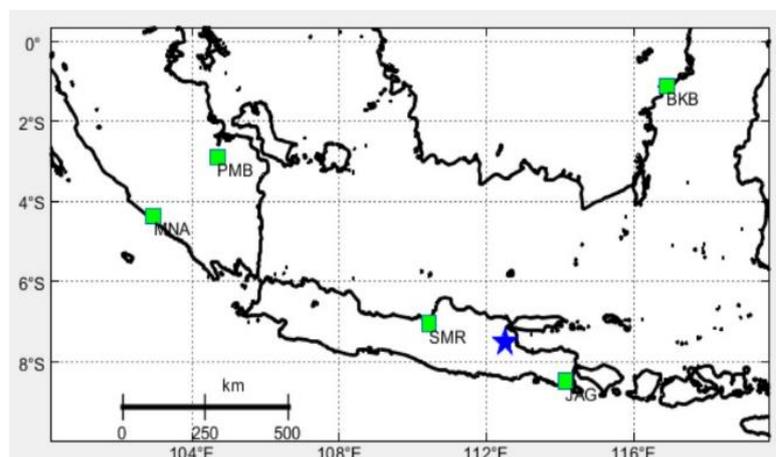
Gempa bumi disebabkan oleh pergerakan sesar yang memiliki karakteristik gerak tertentu. Karakteristik gerak sesar dibagi dua, yaitu sesar mendatar (*strike slip fault*) dan sesar tidak mendatar (*dip slip*) (Pratama dkk, 2018). Model gerak sesar dan karakter sesar penyebab gempa dapat diketahui melalui momen tensor. Momen tensor juga dapat digunakan untuk memberi deskripsi terkait gaya dari sumber titik seismik (Sokos and Zahrandik, 2008). Berdasarkan hal tersebut, maka dilakukan penelitian ini untuk menganalisis momen tensor dan pola bidang patahan melalui pemodelan mekanisme fokus dengan menggunakan program ISOLA-GUI.

METODOLOGI

Penelitian ini menggunakan data *event* gempa Mojokerto yang terjadi pada 19 Juni 2023 yang berpusat pada koordinat 7,50 LS dan 112,50 BT dengan kedalaman 9 km dan magnitudo M4,2. Adapun *origine timanya* yaitu 13:43:59 WIB (USGS, 2023). Gempa bumi Mojokerto ini berada di darat dengan jarak 11,8 km Timur Laut Kabupaten Mojokerto dan 32,62 km Barat Daya kota Surabaya (Kementerian ESDM RI, 2023).

Pada penelitian ini, digunakan data gelombang seismik yang terekam di stasiun yang menggunakan seismometer 3 komponen yaitu seismometer yang mempunyai 3 sensor (Alamsyah, 2017). Gelombang seismik direkam oleh sensor pertama pada komponen vertikal (*up down*, UD). Sedangkan komponen utara-selatan (*north-south*, NS) dan timur-barat (*east-west*, EW) dari gelombang seismik direkam oleh sensor kedua dan ketiga. *Seed channel* yang digunakan pada penelitian ini adalah *broadband high gain* (BH) dengan 3 komponen seismometer.

Data gelombang seismik yang digunakan terekam di 5 stasiun perekam gempa sebagaimana yang ditunjukkan pada Gambar 3 dan tabel 1. Stasiun-stasiun tersebut dipilih karena mempunyai *waveform* tiga komponen yang lengkap (gelombang seismik terdiri atas BHE, BHN, dan BHZ). Selain itu, letak stasiun tersebar mengelilingi episenter gempa.



Gambar 3. Peta lokasi gempa dan 5 stasiun pencatat gempa (BKB, PMB, MNA, SMR, dan JAG)

Tabel 1. Stasiun-stasiun penelitian

No.	Stasiun Code	Latitude	Longitude
1	BKB	-1.11	116.90
2	JAG	-8.47	114.15
3	MNA	-4.36	102.96
4	PMB	-2.90	104.70
5	SMR	-7.05	110.44

Tabel 2. Model kecepatan bumi Haslinger-Santosa di Jawa (Novianti dkk., 2016)

Kedalaman (km)	Vp (km/s)	Vs (km/s)	Massa jenis (g/cm ³)	Qp	Qs
0	2,31	1,30	2,5	300	150
1	4,27	2,40	2,9	300	150
2	5,52	3,10	3	300	150
5	6,23	3,50	3,3	300	150
16	6,41	3,60	3,4	300	150
33	6,70	4,70	3,4	300	150
40	8,00	4,76	3,5	600	500
100	8,00	4,57	3,3	600	300
225	8,40	4,80	3,4	600	300
325	8,60	4,91	3,5	600	300
425	9,30	5,31	3,7	1000	500

Data pada penelitian ini diunduh dari *webdc.eu* berupa format *.SEED*. Sebelum diproses menggunakan *ISOLA-GUE*, data dengan format *.SEED* dikonversi ke format *.SAC* supaya *waveform* gempa dapat terbaca dalam 3 komponen, yaitu komponen horizontal (N dan E) dan komponen vertikal (Z). Setelah dikonversi, tahap selanjutnya yaitu data diolah menggunakan *ISOLA-GUI* yang dibantu dengan program *MATLAB* untuk menjalankannya. Supaya hasilnya sesuai dengan kondisi sebenarnya, maka digunakan model kecepatan bumi wilayah Jawa yang merupakan kombinasi antara model bumi Haslinger dan Santosa sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 2. Hasil pemrosesan data dengan fungsi *Green* yang digunakan dalam proses inversi tergantung pada model bumi yang digunakan. Oleh karena itu, menggunakan model bumi yang tepat sangat penting pada penelitian ini.

Tahap selanjutnya yaitu menginput informasi terkait *event* gempa ke dalam *event info* yang ada di program *ISOLA*. Informasi tersebut terdiri atas *origin time* (tanggal dan waktu kejadian gempa), *latitude*, *longitude* dan *magnitudo*. Kemudian dilakukan pemilihan stasiun perekam gempa. Langkah selanjutnya yaitu data dalam bentuk *SAC* dilakukan *import data* sehingga data tersimpan dalam bentuk *ASCII*. Data *waveform* berbentuk *ASCII* yang sudah diimport data dilakukan koreksi instrumen supaya sinyal yang diterima adalah sinyal yang sebenarnya dari sumber gempa.

Pada penelitian ini digunakan metode inversi *waveform* tiga komponen yang didasarkan pada prinsip iterasi dekonvolusi. Metode inversi dijalankan melalui *ISOLA-GUI* yang tujuannya untuk memperoleh mekanisme fokus yang digambarkan melalui *beachball* untuk menunjukkan arah sesar dan jenis patahan (Sokos, E and Zahradnik, 2008). Selain itu, inversi juga digunakan untuk mengetahui hasil kurva *displacement* data *waveform* dengan data sintetik sehingga nantinya akan diperoleh nilai momen tensor. Jika sinyal sintetik

dan sinyal observasi saling bertumpukan, maka hasilnya lebih akurat (Sokos & Zahradnik, 2008). Sedangkan perhitungan fungsi Green pada ISOLA-GUI dihitung berdasarkan metode *discrete wave number* (Bouchon, 1981). Perhitungan fungsi Green digunakan untuk menghasilkan sinyal sintetik yang didasarkan pada model kecepatan bumi yang digunakan sebagai *input* pada program ISOLA-GUI. Selain itu, dilakukan perhitungan fungsi green supaya dapat lanjut ke tahap inversi (Sokos, E and Zahradnik, 2008).

Hasil *fitting* kurva *displacement* dari data seismogram hasil observasi lapangan dengan data hasil estimasi diperoleh melalui perhitungan fungsi Green dan inversi *waveform* menggunakan ISOLA-GUI. Varian reduksi menentukan besar kecocokan kurva. Sifat elastis dan tidak elastis suatu medium yang dilalui oleh gelombang sumber gempa dapat memengaruhi ketidakcocokan kurva (Stein & Wysession, 2002). Jika nilai varian reduksi kurang dari 0,5 maka proses filter ulang perlu dilakukan dengan cara mengganti nilai filter sehingga nilai varian reduksi minimal 0,5. Jika nilai variasi reduksinya mendekati 1, maka menunjukkan hasil proses pengolahan data mendekati tingkat keakuratan (Zahradnik dkk, 2008). Filter yang digunakan pada program ISOLA yaitu *band-pass filter* antara 0,015 – 0,050 Hz. Pemilihan filter dengan frekuensi rendah cocok dengan karakteristik gelombang gempa dan dapat membantu mencocokkan seismogram sintetik dengan hasil observasi seismogram sebenarnya secara optimal (Bormann dkk., 2002).

Setelah diperoleh solusi momen tensor, digunakan metode H-C plot untuk menggambarkan bidang patahan dan *nodal plane* dari mekanisme fokus gempa. Nilai *input* yang digunakan pada metode H-C plot yaitu posisi hiposenter, posisi *centroid*, dan dua *nodal plane* yang terdiri atas 2 *strike*, 2 *dip*, dan 2 *rake* yang mana salah satunya adalah *fault plane* dan yang lain adalah *auxiliary plane*. Metode HC plot digunakan untuk mengestimasi lokasi centroid terhadap jarak hiposenter (Zahradnik dkk., 2008).

HASIL DAN PEMBAHASAN

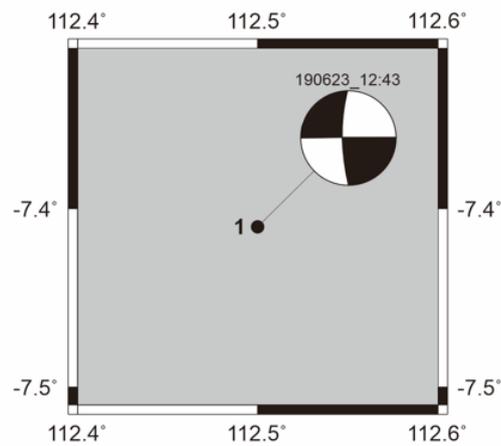
Hasil dari pengolahan data berupa momen tensor dan *focal mechanism*. Nilai momen tensor (Tabel 3) digunakan untuk mengetahui arah dan besar gaya yang menyebabkan gempa sehingga dapat digunakan untuk menentukan mekanisme fokus.

Tabel 3. Momen tensor gempa Mojokerto, 19 Juni 2023

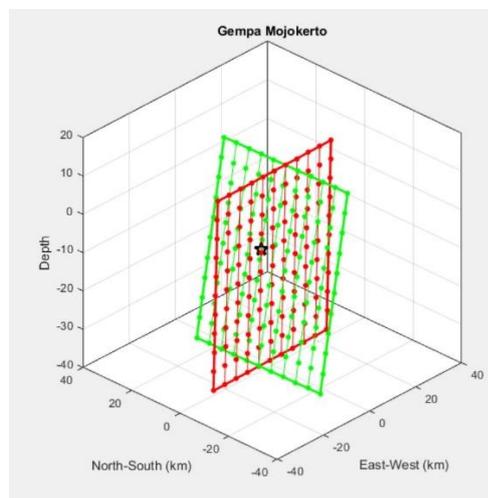
Mrr	Mtt	Mpp	Mrt	Mrp	Mtp	Exp (Nm)
-1.018	3.494	6.593	-4.337	-7.816	1.801	17

Dari hasil penelitian ini diketahui bahwa gempa bumi Mojokerto yang terjadi pada 19 Juni 2023 dengan *origine time* 13:43:59 WIB mempunyai pola bidang patahan berupa *strike slip fault* (Gambar 4) dengan karakteristik untuk *nodal plane I* (warna hijau) besar *strike* = 179°, *dip* = 76°, dan *rake* 178°. Sedangkan *nodal plane II* (warna merah) besar *strike* = 269°, *dip* = 88°, dan *rake* = 14°.

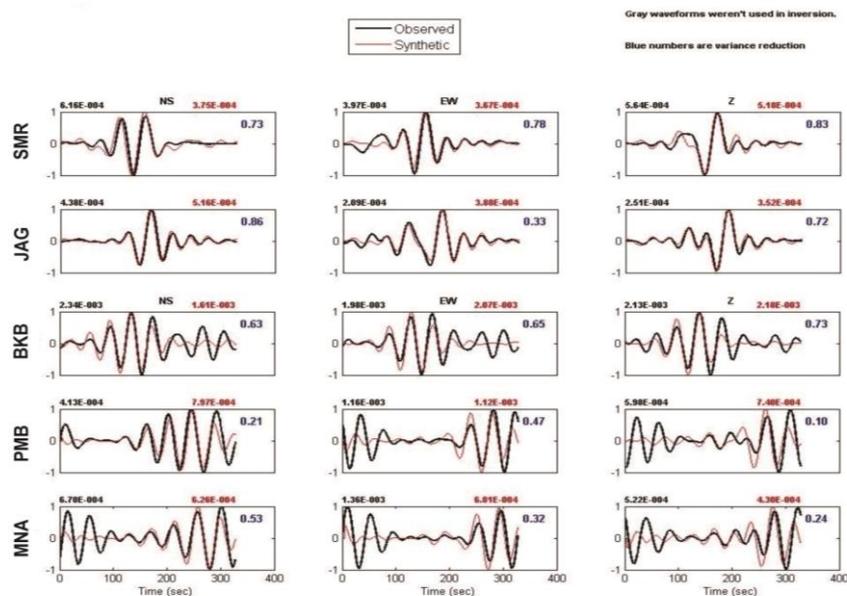
Hasil analisa HC-Plot diketahui bahwa jarak hiposenter gempa dengan *nodal plane I* yaitu 4,50 km dan jarak dengan *nodal plane II* yaitu 1,52 km. Dengan demikian, warna hijau menunjukkan bidang patahannya dan warna merah menunjukkan *auxiliary planenya*. Sedangkan selisih kedalaman hiposenter dan centroidnya yaitu 6,18 km (Gambar 5).



Gambar 4. Beachball bidang gesar gempa bumi Mojokerto, 19 Juni 2023



Gambar 5. Orientasi bidang patahan gempa bumi Mojokerto, 19 Juni 2023 dengan menggunakan HC-Plot



Gambar 6. Fitting kurva displacement gempa bumi Mojokerto, 19 Juni 2023

Gambar 6 menunjukkan hasil perhitungan fungsi green dan inversi *waveform* menggunakan ISOLA-GUI, yang mana berupa *fitting* kurva *displacement* dari data seismogram hasil observasi dengan data hasil estimasi.

Kurva warna hitam menunjukkan gelombang observasi dan kurva warna merah menunjukkan gelombang sintetik. Nilai *variance reduction* menentukan kecocokan kurva. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa kecocokan data observasi dan sintetik sudah akurat yaitu dengan nilai *variance reduction* 0,82 atau 82%. Di mana jika nilai *variance reduction* mendekati 1, maka hasil *fitting* mendekati presisi (Pratama dkk, 2018).

PENUTUP

Simpulan

1. Hasil pemodelan mekanisme fokus gempa bumi Mojokerto, 19 Juni 2023 menunjukkan bawah pola bidang patahannya berupa *strike slip fault* dengan nilai karakteristik untuk *nodal plane I* yaitu *strike* = 179°, *dip* = 76°, dan *rake* 178°. Sedangkan *nodal plane II* (warna merah) besar *strike* = 269°, *dip* = 88°, dan *rake* = 14°.
2. Hasil momen tensor yang diperoleh pada *event* gempa Mojokerto, 19 Juni 2023 yaitu $M_{rr} = -1.018 \exp 17$, $M_{tt} = 3.494 \exp 17$, $M_{pp} = 6.593 \exp 17$, $M_{rt} = -4.337 \exp 17$, $M_{rp} = -7.816 \exp 17$, $M_{tp} = 1.801 \exp 17$.

Saran

Setelah dilakukan penelitian ini diharapkan ada upaya yang dilakukan untuk peningkatan mitigasi bencana gempa bumi di Kabupaten Mojokerto. Misalnya, mengadakan program desa tangguh bencana (DESTANA), menyusun *policy brief* untuk membuat rekomendasi kebijakan pemerintah setempat dalam upaya mitigasi bencana khususnya gempa bumi, serta membuat rencana tata ruang dan wilayah yang sesuai studi bahaya gempa bumi. Selain itu, perlu dilakukan penelitian lanjutan terkait sesar aktif yang belum teridentifikasi di Kabupaten Mojokerto.

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih ditujukan pada lembaga penelitian (lemlit) Universitas Dr. Soetomo Surabaya atas perizinan dan pendanaan yang diberikan sehingga penelitian dapat diselesaikan dengan baik dan publikasi jurnal ilmiah ini dapat dipublikasikan. Semoga jurnal ilmiah ini dapat membantu pengambilan kebijakan pemerintah setempat dan menjadi referensi penelitian selanjutnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Alamsyah, F. (2017). Estimasi Momen Tensor dan Pola Bidang Sesar Amerika Serikat pada Tahun 2016-2017 dengan Inversi Waveform Tiga Komponen dengan Program ISOLA. *Skripsi*. Departemen Fisika, Fakultas Ilmu Alam, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
- Bormann, P., Baumbach, M., Bock, G., Grosser, H., Choy, G. L., & Boatwright, J. (2002). Seismic sources and source parameters. IASPEI New Manual of Seismological Observatory Practice, 1, 1–94.
- Bouchon, M. (1981). A simple method to calculate Green's functions for elastic layered media. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 71(4), 959–971.
- Kementerian ESDM RI. (2023). Ini Analisis Badan Geologi pada Gempa Mojokerto. Diambil 28 Januari 2024, dari <https://www.esdm.go.id/id/media-center/arsip-berita/ini-analisis-badan-geologi-pada-gempa-mojokerto>.
- Hadimoeljono, M. B., Sumadilga, D. H., Sabaruddin, A., & Irsyam, M. (2017). Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia Tahun 2017. In M. Irsyam, S. Widiyantoro, D. H. Natawidjaja, & I. Meilano (Eds.), *Journal of Chemical Information and Modeling* (Pertama, Vol. 53, Issue 9). 2017.
- Novianti, C. dan Bagus Jaya Santosa. (2016). Penentuan Hiposenter Gempabumi dan Model Kecepatan Lokal Di Wilayah Jawa Timur Menggunakan Metode *Double Difference*. *Jurnal Sains dan Seni ITS*. 5 (2): B59 - B64.
- Pratama, H. dan Bagus Jaya Santosa. (2018). Analisa Momen Tensor dan Mekanisme Pusat Gempa Bumi Wilayah Maluku Utara Sepanjang Tahun 2016 dengan Magnitudo ≥ 5 SR Memanfaatkan Program ISOLA-GUI. *Jurnal Sains dan Seni ITS*. 7 (1): B18-B21.

- Salsabil, A. R., Anik Hilyah, Singgih Purwanto, dan M. Haris Miftakhul Fajar. (2018). Zonasi Bahaya Kegempaan Akibat Patahan Aktif Di Wilayah Jawa Timur dengan Pendekatan Deterministik Menggunakan Perhitungan Atenuasi Chiou-Young 2014 NGA. *Jurnal Geosaintek*. 4 (8): 103 - 112.
- Septianingrum, E. (2021). Analisis Tingkat Seismisitas Berdasarkan Data Gempa Bumi Di Pulau Jawa Periode 2000 - 2020 Menggunakan Metode Gutenberg-Richter dan Entropi Tsallis. *Skripsi*. Program Studi Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Walisongo. Semarang.
- Sokos, E. N., & Zahradnik, J. (2008). ISOLA a Fortran Code and a Matlab GUI to Perform Multiplepoint Source Inversion of Seismic Data. *Computers & Geosciences*, 34(8), 967977.
- Stein, S., Wysession, M., 2002. An Introduction to Seismology, Earthquakes and Earth Structure. Wiley-Blackwell Publishing., UK.
- USGS. (2023). M 4,2 - 8 km ESE of Mojokerto, Indonesia. Diambil 28 Januari 2024, dari <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/us6000knft/executive>.
- Zahradnik, J., Gallovic, F., Sokos, E., Serpetsidaki, A., dan Tselentis, A., (2008). Quick fault-plane identification by a geometrical method: Application to the Mw 6.2 Leonidio earthquake, 6 January 2008, Greece. *Seismological Research Letters*, 79(5), 653–662.
-
