

ANALISIS KEAKURATAN CENTROID MOMENT TENSOR (CMT) GEMPA BUMI SECARA REAL-TIME DAN OTOMATIS PADA SOFTWARE JOKO TINGKIR DENGAN GLOBAL CMT DI WILAYAH MALUKU MENGGUNAKAN METODE GISOLA

¹⁾Gika Sukma Nurdiana, ²⁾Madlazim, ³⁾Muhammad Nurul Fahmi

¹⁾ Program Studi Fisika, FMIPA, Universitas Negeri Surabaya, email: gika.19046@mhs.unesa.ac.id

²⁾ Program Studi Fisika, FMIPA, Universitas Negeri Surabaya, email: madlazim@unesa.ac.id

³⁾ Program Studi Fisika, FMIPA, Universitas Negeri Surabaya, email: muhammadnurulfahmi@unesa.ac.id

Abstrak

Centroid Moment Tensor (CMT) memiliki pemodelan momen tensor gempa dengan metode inversi *waveform* 3 komponen lebih baik jika menggunakan waktu tempuh, dikarenakan metode *origin time* berkesinambungan dengan kedalaman *centroid*. Penentuan CMT meliputi model kecepatan melalui gelombang seismik, stasiun seismik dan magnitudo. Nilai pada parameter CMT memiliki tujuan untuk mengetahui patahan dan karakteristik pada suatu gempa bumi. *Software* Joko Tingkir menampilkan parameter CMT secara lengkap. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui cara merevisi CMT pada gempa bumi yang memiliki nilai di bawah syarat dari standar yang telah ditentukan serta membandingkan nilai CMT gempa bumi *software* Joko Tingkir dengan Global CMT untuk dianalisis keakurasiannya. Hasil pada penelitian ini menunjukkan bahwa merevisi CMT gempa bumi dengan mengubah stasiun seismik, nilai frekuensi dan model kecepatan serta nilai keakurasiannya pada CMT Joko Tingkir dengan Global CMT dibuktikan pada nilai *r-squared* untuk masing-masing parameter gempa bumi nilai *strike* pada perbandingan GCMT dengan Joko Tingkir yaitu 0,998 dan nilai *rake* yaitu 0,9286. Nilai ini menunjukkan kecocokan antara parameter gempa bumi Joko Tingkir dengan parameter gempa bumi Global CMT sedangkan nilai *dip* yaitu 0,6754 yang dapat dianalisa bahwa nilai *dip* lebih rendah dapat dikarenakan metode antara Joko Tingkir dan GCMT berbeda yaitu GCMT menggunakan data teleseismik sedangkan Joko Tingkir menggunakan data regional.

Kata kunci : *Centroid Moment Tensor*, Joko Tingkir, Global CMT

Abstract

The Centroid Moment Tensor (CMT) involves modeling earthquake moment tensor using the three-component waveform inversion method, which is more effective when using travel times. This is because the origin time method is closely related to the centroid depth. CMT determination includes velocity model through seismic waves, seismic stations, and magnitude. CMT also displays fault types that can trigger earthquakes, namely Isometric (ISO), Double-Couple (DC), Compensated Linear Vector Dipole (CLVD), and Variance Reduction (VR). The values of CMT parameters aim to understand faults and characteristics of an earthquake. Joko Tingkir, presents CMT parameters comprehensively. This research aims to determine how to revise CMT for earthquakes that have values below the specified standard criteria and to compare the CMT values of earthquakes from the Joko Tingkir software with Global CMT for accuracy analysis. The Gisola method is employed in this study. The result of this study show that revising earthquake CMT by changing seismic stations, frequency values, and velocity models, and the accuracy values for Joko Tingkir CMT compared to Global CMT are confirmed in the *r-squared* values for each earthquake parameter. The comparison show that for strike, the *r-squared* value is 0.998, and for rake, it is 0.9286, indicating a high correlation between the earthquake parameters in Joko Tingkir

and Global CMT. However, the *r-squared* value for dip is 0.6754, suggesting a lower correlation, likely due to differences in the methods used by Joko Tingkir and GCMT, where GCMT uses teleseismic data while Joko Tingkir uses regional data.

Keywords Centroid Moment Tensor, Joko Tingkir, Global CMT

I. PENDAHULUAN

Gempa bumi yang terjadi di wilayah kepulauan Maluku diakibatkan karena posisi Maluku memiliki tatanan yang sangat kompleks dimana antara lempeng samudera Indo - Australia, lempeng laut Filipina, Lempeng pasifik, mikrokontinen dan busur kepulauan (Lingkungan & Bencana, 2022). Di wilayah Maluku memiliki nilai yang cukup signifikan akan terjadinya gempa, tercatat sebanyak 8834 kejadian gempa di wilayah Maluku kurun waktu 2009-2019 dengan catatan gempa terbanyak di Indonesia. Pada tahun 2016 BMKG, melaporkan terjadi gempa tektonik dengan magnitudo berkekuatan $M \leq 5,0$ mendominasi. Tingkat seismisitas tinggi ini dipicu oleh aktivitas tektonik pertemuan antara Lempeng Eurasia, Lempeng Pasifik, dan Lempeng Laut Filipina (Apriliani et al., 2021).

Secara geografis Provinsi Maluku berbatasan dengan Provinsi Maluku di bagian Maluku Utara, Provinsi Papua Barat di bagian Timur, Negara Timor Leste dan Negara Australia di bagian Selatan serta Sulawesi Tenggara dan Sulawesi Tengah di bagian barat. Provinsi Maluku merupakan pertemuan dari 3 wilayah lempengan yaitu lempengan Eurasia, Pasifik dan Australia. Pertemuan dari ketiga lempeng tersebut sangat mudah memicu terjadinya gempa (Kondo Lembang et al., 2021). Selain pertemuan 3 wilayah lempengan, daerah Maluku termasuk penutupan cekungan samudera antara busur samudera Halmahera dan Sangihe (Siwi et al., 2020). Palung yang berada dibagian laut Halmahera dan utara Pulau Buru dan Seram merupakan hasil aktivitas tektonik yang berlangsung, dimana wilayah tersebut sangat berpotensi terjadinya gempa.

Sesar di Provinsi Maluku terdiri atas sesar naik (*reverse fault*) didekat pulau Mayu dan rata-rata di wilayah Maluku memiliki bidang *strike slip fault* (Pratama & Santosa, 2018). Berdasarkan jenis sesar yang terjadi di Provinsi Maluku disebabkan oleh zona gempa yang berada di Maluku terletak diantara busur Sangihe dan Halmahera, keberadaan kedua zona ini saling berlawanan antara utara dan selatan (Relokasi et al., 2021).

Centroid Moment Tensor (CMT) memiliki pemodelan momen tensor gempa dengan metode inversi *waveform* 3 komponen lebih baik jika menggunakan waktu tempuh, dikarenakan metode *origin time* berkesinambungan dengan kedalaman *centroid* (Madlazim, 2011). Penentuan CMT meliputi model kecepatan melalui gelombang seismik, stasiun seismik dan magnitudo. CMT memiliki 9 komponen akan tetapi 3 diantaranya simetri sehingga tersisa 6 yaitu momen seismik skalar (M_0), magnitudo momen (M_w), *latitude centroid*, *longitude centroid* dan kedalaman, jenis bidang sesar yaitu *strike*, *dip* dan *rake*. CMT juga menampilkan jenis sesar yang dapat menyebabkan gempa yaitu *Isometric (ISO)*, *Double-Couple (DC)*, dan *Compensated Linear Vector Dipole (CLVD)* serta *Variance Reduction (VR)* (Fahmi & Madlazim, 2019).

Penelitian mengenai *software* joko tingkir ini telah dilakukan oleh peneliti lain salah satunya dari Madlazim *et al.* (2015) yang mengatakan *software* joko tingkir telah mengimpletasikan dengan menggunakan aliran data secara *real-time*. Selain itu pada penelitian ini menggunakan metode Gisola, penelitian menggunakan metode Gisola telah dilakukan, salah peneliti dari Triantafyllis *et al.* (2022) hasil dari peneliti menjelaskan bahwa Gisola mampu mencari jaringan MT *spatiotemporal* 4D yang dapat berinteraksi dengan sumber data Federasi Internasional Jaringan Seismograf *Digital Web Service*.

II. METODOLOGI PENELITIAN

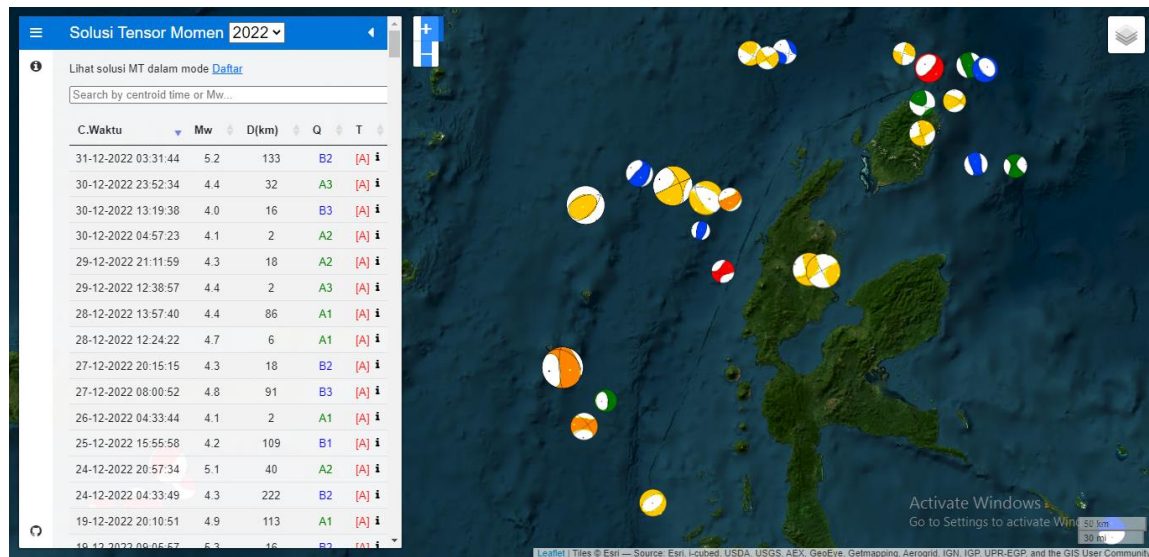
A. Rancangan Penelitian

Penelitian yang dilakukan memiliki jenis penelitian komputasi, cara untuk menyelesaikan masalah dari data input dengan menggunakan perhitungan suatu algoritme. Pada penelitian ini dilakukan secara tidak langsung atau menggunakan data sekunder. Penelitian ini diawali dengan menentukan wilayah penelitian dan dilanjutkan mengambil data event gempa melalui *software* Joko Tingkir dan Global CMT. Wilayah yang ditentukan pada penelitian ini, gempa yang terjadi di provinsi Maluku pada tahun 2018 – 2023. Data gempa yang diperoleh dari *software* Joko Tingkir diimplementasikan menggunakan metode Gisola. Hasil dari *software* Joko Tingkir yaitu parameter CMT gempa bumi, *beachball*, dan fokal mekanisme.

B. Variabel Operasional Penelitian

Dalam penelitian ini terdapat tiga variabel operasional yaitu terdiri dari variabel kontrol, variabel manipulasi dan variabel respon. Variabel kontrolnya adalah lokasi penelitian, *Longitude*, *Latitude*, Magnitudo dan taun penelitian. Sedangkan variabel manipulasinya yaitu stasiun seismik. Kemudian variable respon meliputi parameter CMT gempa bumi, *beachball* dan fokal mekanisme.

C. Teknik Pengolahan Data



Gambar 1 Tampilan software Jokotingkir dan persebaran *event* gempa bumi di wilayah Maluku

Data yang digunakan dalam penelitian ini ada dua data sekunder yang bersumber pada katalog gempa yang dapat diakses melalui <http://jokotingkir.unesa.ac.id/2019/>. Data *event* gempa tersebut yaitu pada tahun

2019-2021 dengan magnitude > 5,5 SR, data gempa yang bersumber dari *software* Joko Tingkir dan Global CMT dengan tidak harus direkam oleh empat stasiun seismik.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Tabel 1 Data *event* gempa bumi di Wilayah Maluku pada tahun 2021-2019 di *software* Joko Tingkir

NO	EVENT	ORIGIN TIME	QUALITY	MAGNITUDE (<i>M_w</i>)	LATITUDE	LONGITUDE	DEPTH
1	06/11/2021	14:37:39	B1	5.9	-0.0974	124.1456	65.0
2	14/10/2021	15:16:31	A2	5.6	1.2363	125.9801	51.6
3	11/10/2021	12:34:38	B2	5.6	0.8122	125.9634	38.4
4	10/07/2021	00:43:50	B1	6.1	3.2637	126.5303	54.4
5	06/09/2020	00:21:14	A1	5.9	1.7379	126.5457	46.2
6	04/06/2020	08:49:35	A1	6.5	2.925	128.347	142.2
7	15/11/2019	01:17:41	A3	5.9	1.5024	126.3728	34.0
8	14/09/2019	16:21:28	B2	5.8	-0.9870	128.5980	8.0
9	07/07/2019	15:08:46	A3	6.9	0.5426	126.0144	32.5
10	07/02/2019	04:15:30	A1	5.6	1.4237	126.3271	46.8

Tabel 2 Data Stasiun Seismik yang Merekam Event Gempa Bumi di Wilayah Maluku

NO	STASIUN SEISMIK	LATITUDE	LONGITUDE	CODE
1	LUWI	1.04° S,	122.77°E	GE.LUWI
2	SANI	2.05° S,	125.9°E	GE.SANI
3	TNTI	0.77° S,	127.37°E	GE.TNTI
4	TOLI2	1.11° S,	120.78°E	GE.TOLI2
5	BNDI	4.52° S,	129.9° E	GE.BNDI
6	BKB	1.11° S,	116.9°E	GE.BKB
7	FAKI	2.92° N,	132.25°E	GE.FAKI
8	MMRI	8.64° S,	122.24°E	GE.MMRI
9	SOEI	9.76° S,	124.27°E	GE.SOEI
10	PLAI	8.83° S,	117.78° E	GE.PLAI
11	SAUI	7.98° S,	131.3°E	GE.SAUI
12	JAGI	8.47° S,	114.15°E	GE.JAGI
13	GENI	2.59° N,	140.17°E	GE.GENI

Tabel 3 Data *Event* Gempa Bumi yang Memerlukan Perhitungan secara Manual (Merevisi)

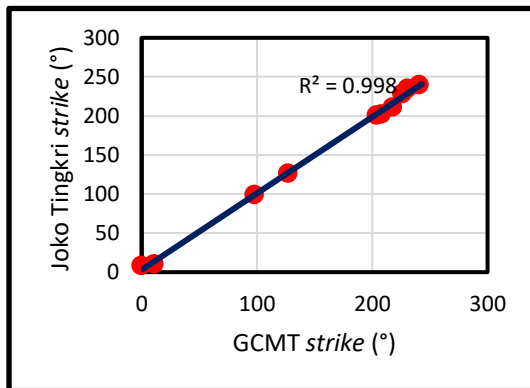
EVENT	ORIGIN TIME	QUALITY		VR		CLVD (%)		ISO (%)		DC (%)	
		QA	QB	A	B	A	B	A	B	A	B
06/11/2021	14:37:40	B1	A1	0.51	0.73	5.50	2.20	0.00	0.00	94.50	97.80
14/10/2021	15:16:31	A2	-	0.66	-	30.00	-	0.00	0.00	70.00	-
11/10/2021	12:34:30	B2	A1	0.57	0.61	27.30	1.20	0.00	0.00	72.70	98.80
10/07/2021	00:43:50	B1	A1	0.45	0.60	18.50	11.70	0.00	0.00	81.50	88.30
06/09/2020	00:21:14	A1	-	0.69	-	17.10	-	0.00	0.00	82.90	-
04/06/2020	08:49:35	A1	-	0.80	-	16.50	-	0.00	0.00	83.50	-
15/11/2019	01:17:41	A3	-	0.73	-	52.80	-	0.00	0.00	47.20	-
14/092019	16:21:20	B2	A2	0.56	0.68	34.10	37.70	0.00	0.00	65.90	62.30
07/07/2019	15:08:46	A3	-	0.71	-	55.6	-	0.00	0.00	44.4	-
07/02/2019	04:15:30	A1	-	0.79	-	15.8	-	0.00	0.00	84.2	-

Tabel 3 merupakan Gempa bumi yang terjadi di wilayah Maluku pada tanggal 06-11-2021 memiliki *quality* awal yaitu B1 setelah direvisi menjadi A1. Revisi dalam parameter gempa bumi ini agar menghasilkan CMT yang lebih akurat. Hasil dari revisi CMT pada gempa bumi menjelaskan bahwa nilai CLVD awal mula 5.50% turun menjadi 2.20% lalu nilai dari DC awal mula pada parameter gempa yaitu 94.50% lalu naik menjadi 97.80% hal ini menggambarkan bahwa gempa bumi yang terjadi pada tanggal 06 bulan November pada tahun 2021 merupakan aktivitas gempa bumi tektonik dengan tidak adanya aliran fluida karena nilai ISO pada parameter gempa bumi yaitu 0%. Nilai presentase VR pada gempa bumi awal mulai yaitu 0.51% lalu menjadi 0.73% yang menjelaskan bahwa hasil CMT setelah direvisi dapat menghasilkan *waveform* yang bagus.

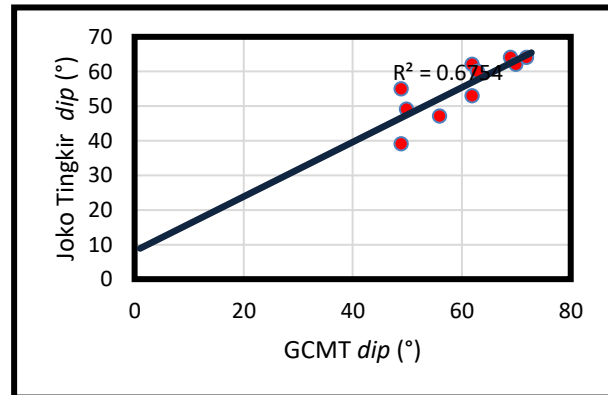
Tabel 4 Data perbandingan Global CMT dan Joko Tingkir

Event	JokoTingkir			GCMT		
	Strike(°)	Dip(°)	Rake(°)	Strike(°)	Dip(°)	Rake(°)
06/11/2021_14:37:40	11	62	67	10	62	59
14/10/2021_15:16:31	208	62	105	202	53	89
11/10/2021_12:34:30	204	49	111	201	39	109
10/07/2021_00:43:50	0	63	79	8	60	88
06/09/2020_00:21:14	231	69	92	235	64	64
04/06/2020_08:49:35	127	49	10	126	55	12
15/11/2019_01:17:41	241	70	164	240	62	137
14/09/2019_16:21:20	98	50	50	99	49	40
07/07/2019_15:08:46	226	72	137	228	64	135
07/02/2019_04:15:30	218	56	121	211	47	104

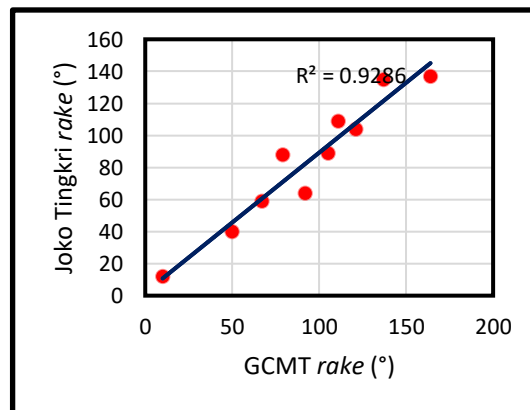
Solusi momen tensor menghasilkan hasil bidang patahan berupa *strike*, *dip*, *rake*. Pada kolom *strike* adalah sudut yang dapat digunakan untuk penentuan orientasi *fault* yang diukur searah jarum jam dari utara. Nilai sudut pada *strike* dapat diimplimentasikan pada bidang patahan horizontal dengan sudut 0° sampai dengan 360° pada bidang vertikal. Selanjutnya *dip* merupakan sudut yang menggambarkan kecuraman permukaan *fault* yang dibentuk karena adanya patahan dan bidang horizontal. Dan *rake* merupakan nilai sudut terhadap kondisi *strike* (Houston, 2003).



Grafik 1 Persebaran Plotting
Perbandingan Nilai *Strike* Joko Tingkir



Grafik 1 Persebaran Plotting
Perbandingan Nilai *Dip* Joko Tingkir



Grafik 2 Persebaran Plotting
Perbandingan Nilai *Rake* Joko Tingkir

IV. KESIMPULAN

Penelitian tugas akhir ini menganalisa keakurasian hasil *Centroid Moment Tensor* (CMT) pada *software* Joko Tingkir dengan Global CMT. Analisa keakurasian hasil CMT dilakukan untuk mengetahui tingkat keakuratan hasil CMT yang dilakukan pada *software* Joko Tingkir yang dipengaruhi oleh model kecepatan, stasiun seismik dan frekuensi. Nilai keakurasian CMT Joko Tingkir diperoleh melalui perbandingan antara CMT Joko Tingkir dengan Global CMT. Sehingga dapat disimpulkan cara merevisi hasil CMT gempa bumi *real-time* dan otomatis dengan melihat nilai VR pada suatu event gempa bumi. Karena nilai VR pada CMT gempa bumi mempresentasikan tingkat hasil akurasi pada hasil CMT event gempa bumi tersebut. Tiga penentuan cara merevisi nilai VR yaitu dengan menghilangkan stasiun seismik yang menghasilkan *waveform*

pada seismogram yang tidak memiliki hasil bagus, mengubah nilai frekuensi dan model kecepatan. Hasil keakuratan pada nilai CMT Joko Tingkir dengan Global CMT dibuktikan pada nilai *r-squared* untuk masing-masing parameter gempa bumi nilai *strike* pada perbandingan GCMT dengan Joko Tingkir yaitu 0.998 dan nilai *rake* yaitu 0.9286 Nilai ini menunjukkan kecocokan antara parameter gempa bumi Joko Tingkir dengan parameter gempa bumi Global CMT sedangkan nilai *dip* yaitu 0.674 yang dapat dianalisa bahwa nilai *dip* lebih rendah dapat dikarenakan metode antara Joko Tingkir dan GCMT berbeda yaitu GCMT menggunakan data teleseismik sedangkan Joko Tingkir menggunakan data regional.

DAFTAR PUSTAKA

- Apriliani, T., Prastowo, T., Fisika, P. S., Fisika, J., & Surabaya, U. N. (2021). Penentuan Parameter Seismik A - Value Dan B -Value Untuk. *10*, 11–20.
- Ekström, G., Nettles, M., & Dziewoński, A. M. (2012). The global CMT project 2004-2010: Centroid-moment tensors for 13,017 earthquakes. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 200–201, 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.pepi.2012.04.002>
- Fahmi, M. N., & Madlazim. (2019). Identifikasi Sesar-Palu Koro Dengan Centroid Moment Tensor (Cmt) Menggunakan Inversi Waveform Tiga Komponen. *Jurnal Inovasi Fisika (IFI)*, 08, 4–10.
- Gooding, R., Colomer, J., King, R., Angelicheva, D., Marns, L., Parman, Y., Chandler, D., Bertranpetit, J., & Kalaydjieva, L. (2005). A novel Gypsy founder mutation, p.Arg1109X in the CMT4C gene, causes variable peripheral neuropathy phenotypes. *Journal of Medical Genetics*, 42(12), 1–7. <https://doi.org/10.1136/jmg.2005.034132>
- Houston, H. (2003). An Introduction to Seismology, Earthquakes, and Earth Structure An Introduction to Seismology, Earthquakes, and Earth Structure, Seth Stein Michael Wyss Blackwell, Malden, Mass., 2003. \$34.95 paper (498 pp.). ISBN 0-86542-078-5. *Physics Today*, 56(10), 66–67. <https://doi.org/10.1063/1.1629009>
- Husein, S. (2016). *Bencana Gempabumi Bencana Gempabumi*. January. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.1112.6808>
- Kondo Lembang, F., Sinay, L. J., & Irfanullah, A. (2021). ARFIMA Modelling for Tectonic Earthquakes in The Maluku Region. *Indonesian Journal of Statistics and Its Applications*, 5(1), 39–49. <https://doi.org/10.29244/ijsa.v5i1p39-49>
- Lingkungan, J., & Bencana, D. A. N. (2022). *Gempa Bumi Merusak Maluku Tengah Tanggal 16 Juni 2021*.
- Madlazim, Prastowo, T., & Hardy, T. (2015). Validation of Joko Tingkir software using tsunami importance. *Science of Tsunami Hazards*, 34(3), 189–198.
- Ngadenin. (2016). Geological, radiometrical, and geochemical studies of Banggai Granites and Bobong Formation to determine potential uranium area in Taliabu Island, North Maluku. *Eksplorium*, 37(1), 13–26.
- Nurul, M., Meilianda, E., & Koesuma, S. (2023). *International Journal of Disaster Risk Reduction Real-Time Determination of Centroid Moment Tensors (CMT) for the Indonesia and surrounding areas*.
- Öztürk, S. (2018). Earthquake hazard potential in the Eastern Anatolian Region of Turkey: seismotectonic b and Dc-values and precursory quiescence Z-value. *Frontiers of Earth Science*, 12(1), 215–236. <https://doi.org/10.1007/s11707-017-0642-3>
- Pratama, H., & Santosa, B. J. (2018). Analisa Momen Tensor dan Mekanisme Pusat Gempa Bumi Wilayah Maluku Utara Sepanjang Tahun 2016 dengan Magnitude ≥ 5 Sr Memanfaatkan Program ISOLA-GUI. *Jurnal Sains Dan Seni ITS*, 7(1), 2016–2019. <https://doi.org/10.12962/j23373520.v7i1.29571>
- Relokasi, B., Dan, H., Fokus, M., Teknik, J., Fakultas, K., & Dan, S. (2021). *Analisis Gempa Tektonik Laut Maluku Program Studi Teknik Geofisika*.
- Siwi, P. W., Sriyanto, S. P. D., Rondonuwu, A. T., & Silangen, P. M. (2020). Perubahan Coulomb Stress Akibat Gempabumi Laut Maluku 7 Januari 2019. *Jurnal Geosaintek*, 6(3), 137. <https://doi.org/10.12962/j25023659.v6i3.7030>
- Triantafyllis, N., Venetis, I. E., Fountoulakis, I., Pikoulis, E. V., Sokos, E., & Evangelidis, C. P. (2022). Gisola: A High-Performance Computing Application for Real-Time Moment Tensor Inversion. *Seismological Research Letters*, 93(2A), 957–966. <https://doi.org/10.1785/0220210153>

- Utomo, D. P., & Purba, B. (2019). Penerapan Datamining pada Data Gempa Bumi Terhadap Potensi Tsunami di Indonesia. *Prosiding Seminar Nasional Riset Information Science (SENARIS)*, 1(September), 846. <https://doi.org/10.30645/senaris.v1i0.91>
- Vackáář, J., Burjáánek, J., Gallovič, F., Zahradník, J., & Clinton, J. (2017). Bayesian ISOLA: New tool for automated centroid moment tensor inversion. *Geophysical Journal International*, 210(2), 693–705. <https://doi.org/10.1093/gji/ggx158>
- Yusuf, R. B., & Santosa, B. J. (2016). Persebaran Hiposenter Maluku Selatan Menggunakan Metode Double Difference. *Jurnal Sains Dan Seni ITS*, 5(2), 2337–3520.