

AKURASI PERBANDINGAN SOLUSI CENTROID MOMENT TENSOR (CMT) GEMPA BUMI SECARA REAL-TIME DAN OTOMATIS DI WILAYAH SUMATRA MENGGUNAKAN METODE GISOLA PADA SOFTWARE JOKOTINGKIR

¹⁾Elvira Silvia Tsani, ²⁾Madlazim, ³⁾Muhammad Nurul Fahmi

¹⁾Program Studi Fisika, FMIPA, Universitas Negeri Surabaya, email: elvira.19048@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: muhammadfahmi@unesa.ac.id

Abstrak

Gempa Bumi merupakan bencana kebumihan yang sering terjadi di wilayah Sumatra, Indonesia, sehingga memerlukan pemantauan dan analisis yang cepat dan akurat untuk mitigasi resiko bencana terutama dalam menentukan CMT gempa bumi. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui perbandingan dan cara merevisi hasil penentuan CMT secara *real-time* dan otomatis pada *event* gempa bumi di wilayah Sumatra menggunakan metode Gisola pada *software* JokoTingkir. Salah satu *software* geofisika yang dapat digunakan secara *real-time* otomatis dan manual adalah *software* Gisola yang juga di implementasikan pada *software* JokoTingkir. Penentuan CMT gempa bumi ini disesuaikan dengan kondisi geologi di Indonesia dan sekitarnya dengan cara menginput model kecepatan yang cocok di wilayah Indonesia dan memfilter frekuensi *waveform* guna mengurangi banyaknya *noise* dalam gelombang seismik. Selain itu menggunakan rekaman data seismogram dari stasiun seismik. *Software* JokoTingkir menghasilkan solusi CMT secara *real-time* dan otomatis, dimana data yang direkam merupakan data seismik atau data *waveform* dengan cakupan secara regional dengan magnitude mulai 5-8 yang terdeteksi oleh Federasi Internasional Layanan Web Jaringan Seismograf Digital (FDSNWS) dan waktu tempuh yang dibutuhkan untuk mengolah kurang lebih 15 menit pada jarak 500 km sampai dengan 1000 km. Kemudian parameter gempa tersebut secara otomatis dipublikasikan di web sesuai dengan kualitas gempa bumi. Hasil penelitian ini diperoleh R^2 untuk tiap parameter *strike*, *dip* dan *rake* Nilai parameter dari JokoTingkir itu hampir mendekati nilai dari GCMT. Sehingga nilai r^2 yang dihasilkan oleh parameter *strike*, *dip*, dan *rake* itu diatas 80% atau 0,8. Hal ini menyatakan bahwa penggunaan metode Gisola pada *software* JokoTingkir bisa dikatakan valid atau reliable.

Kata Kunci: *centroid moment tensor, real-time, Gisola, FDSNWS, JokoTingkir*

Abstract

Earthquakes are a natural disaster that often occurs in the Sumatra region, Indonesia, so they require fast and accurate monitoring and analysis to mitigate disaster risks, especially in determining the CMT of earthquakes. The purpose of this research is to find out the comparison and how to revise the results of determining CMT *real-time* and auto on event earthquakes in the Sumatra region using the Gisola method on *software* JokoTingkir. One of *software* usable geophysics *real-time* automatic and manual is *software* Gisola which is also implemented in *software* JokoTingkir. The CMT determination for this earthquake is adjusted to the geological conditions in Indonesia and its surroundings by inputting a suitable velocity model in the Indonesian region and filtering the frequency *waveform* to reduce the number noise in seismic waves. In addition, it uses recorded seismogram data from seismic stations. *Software* JokoTingkir produces CMT solutions for free *real-time* and automatic, where the recorded data is seismic data or data *waveform* with regional

coverage with magnitudes ranging from 5-8 detected by the International Federation of Digital Seismograph Network Web Services (FDSNWS) and the travel time required to process approximately 15 minutes at a distance of 500 km to 1000 km. Then the earthquake parameters are automatically published on the web according to the quality of the earthquake. The results of this study were obtained by R squared for each parameter strike, dip and rake. The parameter value from Joko Tingkir is almost close to the value from GCMT. So value r squared generated by the parameters strike, dip, and rake it is above 80% or 0.8. This states that the use of the Gisola method on software JokoTingkir can be said to be valid or reliable.

Keywords: centroid moment tensor, real-time, Gisola, FDSNWS, JokoTingkir

I. PENDAHULUAN

Letak geografis Indonesia ini berada di antara 6° LU dan 11°LS serta 95°BT - 141°BT (Ayundita et al., 2022). Indonesia merupakan negara dengan tingkat kerawanan gempa yang relatif cukup tinggi. Hal ini dikarenakan Indonesia terletak pada pertemuan tiga lempeng tektonik aktif dunia yaitu lempeng *Eurasia*, lempeng *Pasifik*, dan lempeng *Indo-Australia* yang tetap bergerak satu sama lainnya (Syafitri et al., 2020). Kondisi tersebut sering terjadi di sepanjang barat Sumatra Selatan, Jawa, Nusa Tenggara, dan berakhir pada bagian selatan patahan Palu-Koro di tenggara Pulau Sumba (McCaftrey, 2014).

Salah satu wilayah yang tergolong rawan gempa bumi adalah Pulau Sumatra, hal ini dikarenakan pulau Sumatra memiliki dua kondisi geologis yang dapat mempengaruhi aktivitas tektonik dan aktivitas seismik (Diana et al., 2021). Pulau Sumatra berada pada wilayah rawan gempa diantaranya yaitu Aceh, Bengkulu Jambi, Lampung, Sumatra Utara dan Sumatra Barat. Tingginya resiko gempa bumi di pulau Sumatra ini dipengaruhi oleh kondisi geografis wilayahnya, dimana sepanjang wilayah Sumatra dilalui oleh patahan aktif, jalur gunung berapi, dan zona subduksi (Metrikasari et al., 2021). Selain itu Sumatera memiliki zona patahan, salah satunya yakni patahan Semangko yang merupakan patahan terakhir di dunia, pergeseran patahan ini menghasilkan zona lemah yang memungkinkan menjadi jalan keluarnya magma pada aktivitas vulkanisme dan menghasilkan jajaran Pegunungan Barisan dan Pegunungan Mediterania (Darman et al., 2000). Hal ini semakin memperkuat bahwa wilayah Sumatra merupakan wilayah yang rawan terjadi gempa bumi, sehingga solusi yang tepat untuk meminimalisir dampak gempa bumi yaitu dengan mengetahui mekanisme sumber gempa bumi melalui moment tensor.

Penentuan jenis pola bidang patahan yang dapat ditentukan melalui fungsi green, karena dalam perambatan gelombang seismiknya merambat secara 3 dimensi yang terekam dalam stasiun pada komponen X, Y, dan Z. Parameter penyebab gempa bumi dapat diketahui dengan menggunakan metode *Centroid Moment Tensor* (CMT) yang di ekstrak melalui inverse waveform tiga komponen dengan memanfaatkan waktu tiba gelombang-P (Madlazim, 2017). CMT ini memberikan informasi berupa jenis pola bidang patahan dan penyebab gempa bumi melalui presentase *Isometric* (ISO), *Compansted Linier Vector Dipole* (CLVD), *Double Couple* (DC). Hasil dari solusi moment tensor akan dikatakan reliable jika memiliki nilai *Varian Reduction* (VR) lebih dari 50% (Madlazim dan Prastowo, 2018) dan memiliki stasiun seismik yang berada di sekitar gempa bumi yang memenuhi 4 kuadran. Berdasarkan perkembangan teknologi dan komputasi metode CMT dapat dilakukan secara *real-time* otomatis dan manual, akan tetapi untuk keakuratannya sampai sekarang masih menjadi perdebatan.

Salah satu *software* geofisika yang dapat digunakan secara *real-time* otomatis dan manual adalah Gisola (Triantafyllis et al., 2021). Gisola merupakan *High Performance Computation* (HPC) baru yang berorientasi alat dalam menghitung MT (momen tensor) regional otomatis menggunakan prinsip dasar perangkat lunak ISOLA dengan sistem notifikasi kejadian *real-time* dari *Federation of Digital Seismograph Networks Web Services* (FDSNWS). Gisola menggunakan beberapa sumber secara bersamaan dengan peningkatan algoritma sinyal dalam pengumpulan data. Selain itu juga implementasi multiprosesor pada CPU atau GPU memberikan cara komputasi untuk pencarian grid 4D Spatiotemporal dalam solusi momen tensor yang lebih akurat.

Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk membandingkan akurasi hasil komputasi CMT gempa bumi antara *real-time* otomatis dan manual di wilayah Sumatra menggunakan metode Gisola yang terintegrasi pada *software* JokoTingkir. Hasil penelitian ini nantinya diharapkan dapat memberikan informasi keakuratan hasil moment tensor secara *real-time* otomatis dan manual dalam memantau gempa bumi secara efektif di wilayah Sumatra.

II. METODOLOGI PENELITIAN

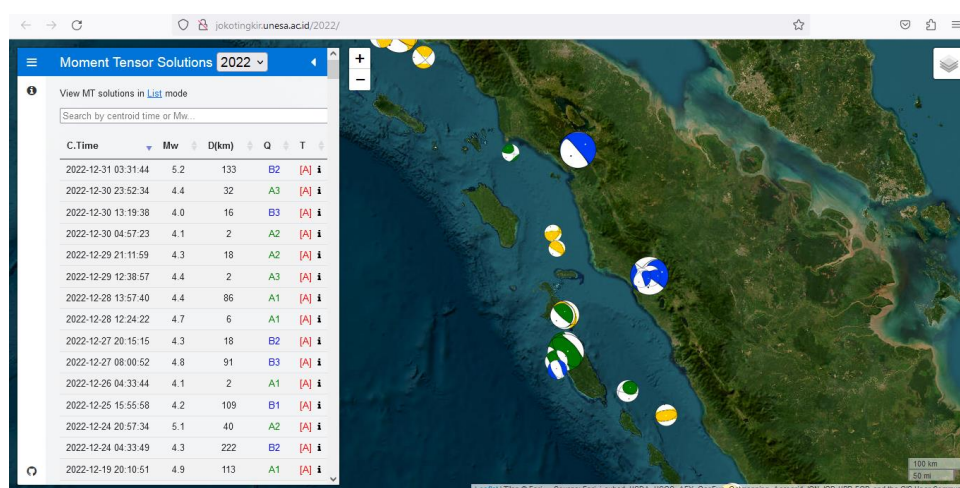
A. Rancangan Penelitian

Data yang digunakan merupakan data sekunder yang di dapat dari *website* JokoTingkir (<http://jokotingkir.unesa.ac.id/2022/>). Data input yang digunakan meliputi model kecepatan, *respon file* dari stasiun seismik, informasi kejadian gempa bumi seperti *latitude*, *longitude*, *epicenter*, dan *origin time*. Wilayah penelitian merupakan gempa bumi yang terjadi di Sumatra yang berada pada batasan koordinat yaitu 6,00 LU – 6,00 LS dan 95.00 BT – 105.00 BT dengan nilai magnitudo antara $5,5 \leq M_w \leq 7,9$, pada tahun 2019-2023. Pada proses pengolahan tersebut menggunakan metode Gisola ini menghasilkan *beachball* dan magnitudo gempa bumi yang terjadi.

B. Variabel Operasional Penelitian

Variabel manipulasi dalam penelitian ini adalah stasiun seismik yang terdapat data *responfile* dan medium yang dilewati gelombang seismik. Sedangkan variabel kontrolnya adalah lokasi penelitian, *magnitude*, *latitude*, *longitude*, dan tahun penelitian. Kemudian untuk variabel responnya adalah parameter CMT gempa bumi yang terukur.

C. Teknik Pengolahan Data



Gambar 1 Tampilan *website* JokoTingkir

Teknik pengolahan data pada penelitian ini menggunakan karakteristik dari gempa bumi yang dapat ditentukan dengan Centroid Moment Tensor dengan menentukan lokasi penelitian yang berlokasi di wilayah Sumatra. Data diperoleh dari *website* JokoTingkir (<http://jokotingkir.unesa.ac.id/2022/>) dengan batasan *magnitude*, rentang waktu, kedalaman hiposentrum dan lokasi episentrum. Pada penelitian ini penulis menggunakan data stasiun yang berbeda yakni Global CMT dan GEOFON-GE, agar mampu membandingkan hasil akurasi CMT menggunakan beberapa stasiun seismik tersebut. Pada langkah pertama, pengambilan *database* gempa bumi dari *website* FDSNWS. Kemudian membaca *event* gempa bumi dari *FDSNWS-event* dan dilanjutkan dalam pemilihan *channel* stasiun dari *FDSNWS-station*. Lalu pada penyaringan bentuk gelombang seismik yang dapat diperoleh dari *FDSNWS-dataset* dan di evaluasi bentuk gelombangnya dengan menyesuaikan frekuensi pada bentuk gelombang tersebut. Selanjutnya pada tahapan pemilihan stasiun berdasarkan cakupan azimut ini GISOLA akan mengurutkan daftar stasiun setiap sektor, setelah itu dilakukan perhitungan fungsi *Green*. Fungsi *Green* ini berfungsi untuk menghitung seismogram sintetik yang akan

dicocokkan dengan data seismogram untuk mengestimasi parameter yang cocok dalam proses inversi dan selanjutnya proses perhitungan inversi. Sehingga pada proses terakhir pengolahan menggunakan GISOLA ini akan diperoleh *plotting* hasil berupa peta CMT, parameter *moment tensor* dan GMT dalam bentuk *beachball* yang dapat digunakan untuk mengetahui tipe patahan yang menyebabkan gempa bumi.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Tabel 1 Data *event* yang terjadi di Sumatra pada JokoTingkir

No.	Tanggal Event	Jam	Q.A	Latitude	Longitude	Mag	depth
1	03-04-2023	14:59:45	A2	0.8173	98.9296	6.2	98.4
2	15-04-2023	15:07:07	A2	-4.9507	102.917	5.6	52.5
3	23-08-2022	14:31:41	A2	-5.2403	103.1645	6.2	47.3
4	23-09-2022	20:53:01	A2	3.6217	96.0775	6.2	55.3
5	06-01-2021	17:28:33	A1	-4.5274	102.5913	5.6	61.1
6	19-04-2021	23:58:19	A1	0.0214	96.5238	6.0	10.0
7	14-05-2021	06:33:11	A2	0.133	96.599	6.7	8.0
8	12-09-2021	09:02:19	B2	-0.5762	99.6963	5.5	73.2
9	18-08-2020	22:24:08	B2	-4.4048	101.3054	6.6	20.6
10	16-12-2019	14:49:15	A1	-3.1287	101.0707	5.6	40.8

Tabel 2 Nama stasiun yang digunakan dalam penelitian

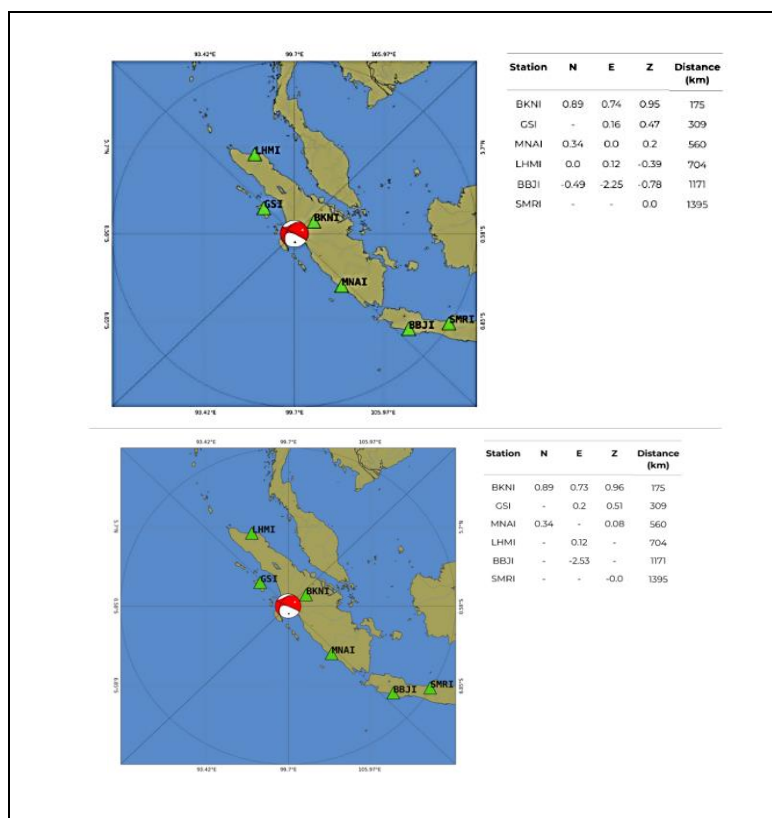
No	Nama	Latitude	Longitude
1	PMBI	2,9	104,70
2	BBJI	7,46	107,65
3	SMRI	7,05	110,44
4	GSI	1,3	97,58
5	LHMI	5,23	96,95
6	BKB	1,11	116,9
7	BKNI	0,33	101,04
8	MNAI	4,36	102,96
9	UGM	7,91	110,53

Pada tabel 1 diperoleh sepuluh data *event* gempa bumi yang terjadi di wilayah Sumatra pada *software* JokoTingkir menggunakan metode Gisola. *Software* JokoTingkir menghasilkan solusi CMT secara *real-time* dan otomatis, dimana data yang direkam merupakan data seismik atau data *waveform* dengan cakupan secara regional dengan waktu tempuh yang dibutuhkan untuk mengolah kurang lebih 15 menit pada jarak 500 km sampai dengan 1000 km. *Software* JokoTingkir ini memuat beberapa informasi parameter gempa bumi seperti, *origin time*, *latitude*, *longitude*, *magnitude*, kedalaman dan parameter CMT lainnya. Selain parameter CMT *software* JokoTingkir ini juga memuat beberapa informasi seperti *Variance Reduction* (dalam persen), kedalaman (dalam km) dan kualitas gempa bumi. Dalam hal kualitas gempa bumi dinyatakan dalam *symbol* A-D, ini dimana masing-masing komponen tersebut memiliki empat kriteria kualitas yang terdiri dari numerik (1-4) dengan solusi A1 merupakan kualitas yang paling baik dan D4 menghasilkan solusi yang tidak dapat diandalkan (Triantafyllis et al.,2021). Tabel 1 diatas dengan sepuluh data *event* gempa bumi tersebut merupakan data yang diambil dari tahun 2019-2023 dengan kualitas yang diperoleh meliputi A1 sebanyak 3 data *event*, kualitas A2 sebanyak 5 data, dan kualitas B2 sebanyak 2 data. Dimana gempa bumi di dominasi dengan kualitas A yang dicirikan sebagai solusi yang paling baik (Triantafyllis et al., 2021). Selain itu juga,

pada tabel 2 terdapat 9 stasiun sesimik yang merekam terjadinya gempa bumi pada penelitian ini. di wilayah Sumatra dan sekitarnya dengan posisi geografis yang jaraknya relative terhadap sumber gempa bumi. Dimana stasiun seismik yang digunakan terletak menyebar secara merata di Pulau Sumatra dan Pulau Jawa, hanya saja Pulau Sumatra pada bagian barat yang tidak lain adalah laut Samudera Hindia (Arimuko, 2022) ini tidak terdapat stasiun yang merekam. Oleh karena itu, sesuai asumsi penelitian ini tidak harus menggunakan empat kuadran.

Tabel 3 Data secara manual

<i>Event</i>	<i>Quality</i>		<i>VR</i>		<i>CLVD</i>		<i>DC</i>		<i>ISO</i>	
	<i>Q.A</i>	<i>Q.B</i>	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>A</i>	<i>B</i>
03-04-2023	A2	—	0.60	—	35.60	—	64.40	—	0.00	—
15-04-2023	A2	—	0.89	—	48.40	—	51.60	—	0.00	—
23-08-2022	A2	—	0.89	—	29.30	—	70.70	—	0.00	—
23-09-2022	A2	—	0.92	—	30.60	—	69.40	—	0.00	—
06-01-2021	A1	—	0.83	—	15.80	—	84.20	—	0.00	—
19-04-2021	A1	—	0.77	—	10.50	—	89.50	—	0.00	—
14-05-2021	A2	—	0.87	—	28.00	—	72.00	—	0.00	—
12-09-2021	B2	A2	0.53	0.60	23.00	34.10	77.00	65.90	0.00	0.00
18-08-2020	B2	A2	0.49	0.69	46.60	36.00	53.40	64.00	0.00	0.00
16-12-2019	A1	—	0.61	—	0.80	—	99.20	—	0.00	—

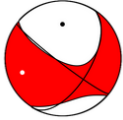
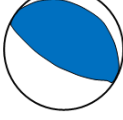
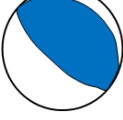
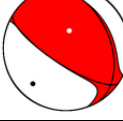
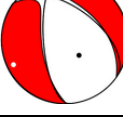
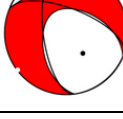
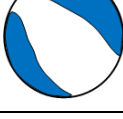
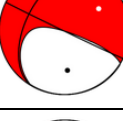
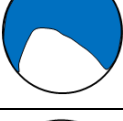
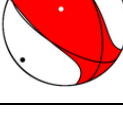


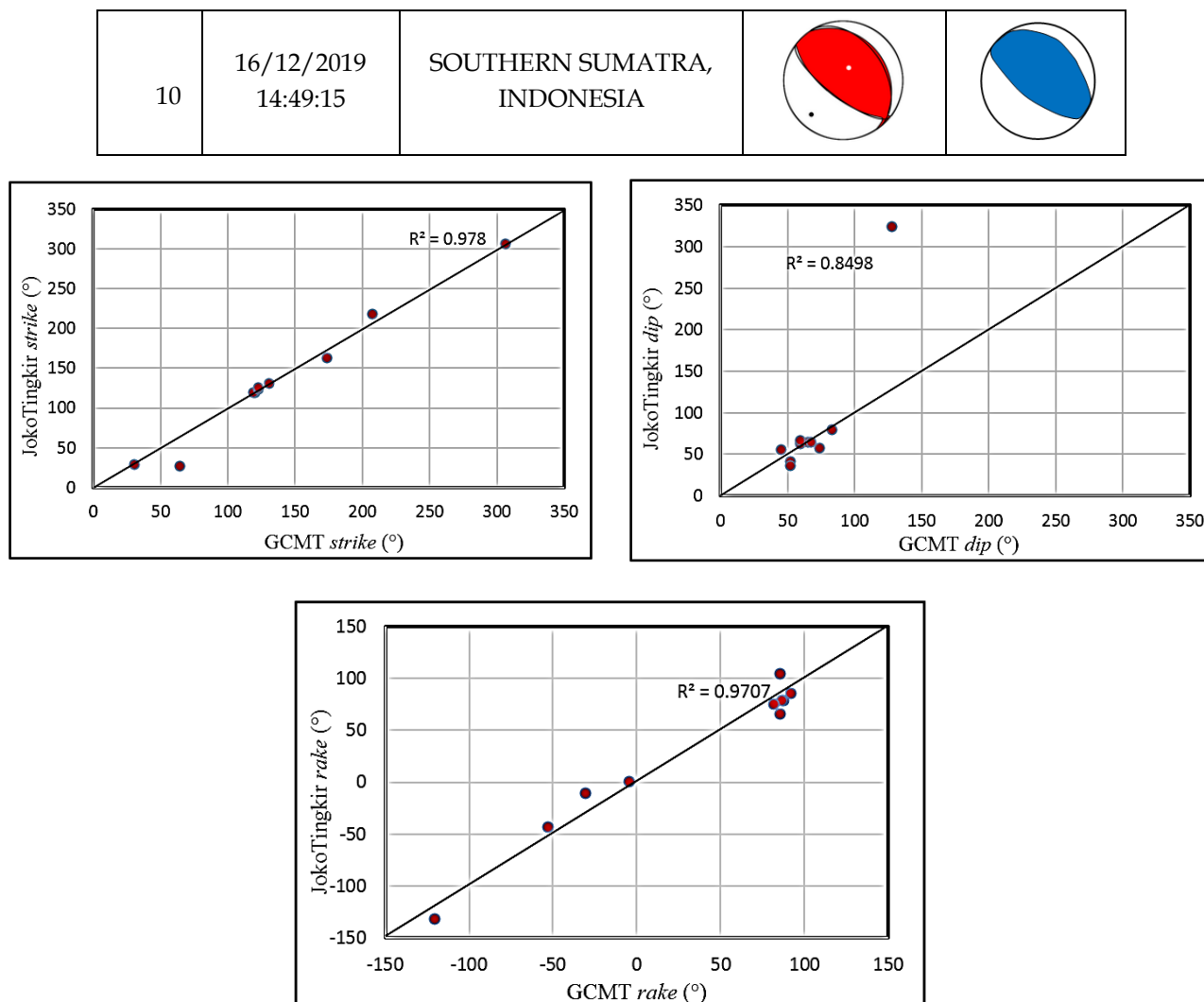
Gambar 2 Sebelum revisi (atas) dan setelah revisi (bawah)

Event gempa bumi yang terjadi di wilayah Sumatra ini dapat dilihat pada tabel 3 diatas penyebab gempa bumi tersebut disebabkan oleh adanya aktivitas tektonik, dapat dibuktikan dengan adanya nilai DC lebih dari 50% dengan minimum sebesar 51.60% yang terjadi pada tanggal 15-04-2023 dan maximum sebesar 99.20% yang terjadi pada 16-12-2019. Selain itu juga dibuktikan dengan nilai CLVD dibawah 50% yang menandakan

bahwa gempa tersebut valid tidak terjadi akibat aktivitas vulkanik (Madlazim, 2015). Kemudian terdapat 2 data berwarna hijau yang menandakan bahwa data tersebut berhasil dilakukan revisi yang dibuktikan dengan adanya kenaikan VR. Seperti pada gambar 2 telah dilakukan revisi dengan menghilangkan salah satu komponen yang bertanda negative pada stasiun LHMI dengan nilai $-0.39(Z)$ dan BBJI dengan nilai $-0.49(N)$; $-0.78(Z)$.

Table 4 Perbandingan *Beachball* JokoTingkir dan Global CMT

No.	Date and Time	Location	JokoTingkir	GCMT
1	3/4/2023 14:59:45	SOUTHERN SUMATRA, INDONESIA		
2	15/4/2023 15:07:07	SOUTHERN SUMATRA, INDONESIA		
3	23/8/2022 14:31:41	SOUTHERN SUMATRA, INDONESIA		
4	23/9/2022 20:53:01	NORTHERN SUMATRA, INDONESIA		
5	6/1/2021 17:28:33	SOUTHERN SUMATRA, INDONESIA		
6	19/4/2021 23:58:19	OFF W COAST OF NORTHERN		
7	14/5/2021 06:33:11	OFF W COAST OF NORTHERN		
8	12/9/2021 09:02:19	SOUTHERN SUMATRA, INDONESIA		
9	18/8/2020 22:24:08	SOUTHERN SUMATRA, INDONESIA		



Gambar 3 Grafik perbandingan antara *strike*, *dip*, dan *rake* JokoTingkir dengan Global CMT

Gambar 3 ini membandingkan parameter sumber gempa bumi antara JokoTingkir dengan GCMT untuk sepuluh gempa bumi terdapat kecocokan yang baik untuk parameter sumber gempa bumi. Hasil penelitian ini dibandingkan dengan Global CMT karena metode yang digunakan oleh *software* JokoTingkir adalah data gempa bumi secara regional sedangkan Global CMT menggunakan data teleseismik. Kesesuaian data penelitian ini dapat dibuktikan dengan adanya nilai *R squared* untuk tiap parameter *strike*, *dip*, dan *rake* tersebut diatas 80% atau 0,8 yang dapat dikatakan bahwa penggunaan metode Gisola pada *software* JokoTingkir bisa dikatakan valid atau reliable.

IV. KESIMPULAN

Dalam merevisi *event* gempa bumi dilakukan dengan cara mereduksi setiap stasiun seismik pada 3 komponen yakni, NEZ yang bertanda negatif. Nilai negatif ini disebabkan Adanya perbedaan kualitas pada tiap gempa bumi tersebut dikarenakan karena jarak antar stasiun dengan titik epicenter gempa bumi terlalu jauh, sehingga *noise* yang tergambar pada hasil gelombang warna hitam akan berpengaruh terhadap VR yang dimana akan merubah kualitas menjadi bagus atau malah sebaliknya. Selain itu juga terdapat adanya perbedaan kualitas pada tiap gempa bumi tersebut dikarenakan adanya distribusi stasiun (dimana distribusi yang baik adalah stasiun yang merekam berada di empat kuadran), frekuensi yang digunakan dalam proses inversi, dan model kecepatan yang digunakan (tergantung geologi daerah).

DAFTAR PUSTAKA

- Anti, Ayundita, A., Husna Lubis, L., & Wardono, W. 2022. Aktivitas Seismisitas Di Wilayah Sumatera Bagian Utara Menggunakan Arc-GIS Periode 2020-2021. *Jurnal Ilmiah Ilmu Terapan Universitas Jambi [JIITUJ]*, 6(2), 154-163.
- Alamsyah, M, F. 2017. Estimasi Momen Tensor Dan Pola Bidang Sesar Amerika Serikat Pada Tahun 2016-2017 Dengan Inversi Wafeform Tiga Komponen Dengan Program Isola. *Jurnal Fisika, Institut Teknologi Sepuluh November*.
- Arimuko, A. 2022. Seismotektonik Bagian Barat Sumatra ditinjau dari Nilai-b dan Nilai-a yang didapatkan melalui Inversi Matriks dan Regresi Linier. *DIFFRACTION: Journal for Physics Education and Applied Physics*, 4(2), 42-51.
- Awaliah, L. Z. 2020. Analisis momen tensor dan mekanisme fokus data gempa lokal pada Daerah Pulau Simeuleu menggunakan program Isola-Gui, 10-12.
- Diana, S. T., Nurhidayah, & Handayani, L. 2021. undefined. *Jurnal Sains dan Teknologi Mitigasi Bencana*, 16(1), 30-41.
- Dahm, T., & Kruger, F. 2014. Moment Tensor Inversion and Moment Tensor Interpretation. In Bormann, P.(ur.) ,pp 1-34.
- Hall, R., Clements, B., & Smyth, H, R. 2009. Sundaland: Basement Character, Structure and Plate Tectonic Development. *Proceedings Indonesian Petroleum Association, 33th Annual Convention and Exhibition*.
- Hamilton, W., 1979. Tectonics of the Indonesian region (No. PP - 1078). *United States Geological Survey*.
- Hamilton, W., 1974. Earthquake Map Of The Indonesian Region. *USGS Misc. Invest.Ser. Map*.
- Hanks, T. C., & Kanamori, H. 1979. A Moment Magnitude Scale. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 84(B5), 2348-2350.
- Ichinose, G. A., Anderson, J. G., Smith, K. D., & Zeng, Y. 2003. Source Parameters of Eastern California and Western Nevada Earthquakes from Regional Tensor Inversion. *Bulletin of Seismological Society of America*, 93(1), 61-84.
- Kanamori, H. 2003. Earthquake Classification, Location, and Error Analysis: A View from Statistics. In *International Handbook of Earthquake and Engineering Seismology* (pp. 899-916). Academic Press.
- Kikuchi, M. and Kanamori H., 1991. Inversion of Complex Body Waves – III, *Bulletin of the Bull. Seism. Soc. Am.*, 81: 2335-235.
- Madlazim. 2015. Buku Fisika Bumi Seri Seismologi. *Surabaya: Unipress UNESA*.
- Madlazim. 2016. Fisika Bumi Seri Seismologi. *Surabaya: Unesa University Press*, 1-143. ISBN: 978-979-028-083-1.
- Madlazim, Prastowo, T., Supardiyono, & Hardy, T. 2018. Determination of Source Parameters of the 2017 Mount Agung Volcanic Earthquake from Moment-Tensor Inversion Method Using Local Broadband Seismic Waveforms. *Journal of Physics: Conference Series*, 1-7.
- Madlazim, & Prastowo, T. 2018. Source Parametes Estimates of the 4 November 2016 Mb= 2.7 Earthquake Near Lawu Mountain In East Java, Indonesia. *Science of Tsunami Hazards*, 37, 222-231.
- Mccaffery, R. 2014. The Tectonic Framework of the Sumatran Subduction Zone. *ResearchGate* (May 2009).
- Metrikasari, R., & Choiruddin, A. 2021. Pemodelan Risiko Gempa Bumi Di pulau Sumatera Menggunakan model inhomogeneous Neyman-Scott cox process. *Jurnal Sains dan Seni ITS*, 9(2).
- Mustafa Kemal, B., & Putra, H. 2020. Exploring key issues related to tsunami shelter in padang city – Indonesia. *E3S Web of Conferences*, 156, 04002.
- Nurfritiana, I., Wibowo, A., & Rudianto, R. 2021. Relokasi gempa bumi swarm Di pesawaran-Lampung, januari 2021. *Jurnal Geoelebes*, 91-101.
- Pezeshk, S., Bonilla, L. F., & Benito, B. 2020. Effect of source depth on strong-motion duration: Insights from the 2017 Puebla-Morelos earthquake. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 139, 106363.
- Pratama, Dedy. 2021. Geologi, Studi Fasies, Lingkungan Pengendapan dan Karakteristik Batugamping serta Batuan Sedimen Penyerta Jalur Lintasan Way Penandingan, Linggapura, Lampung Tengah, Lampung.

Institut Teknologi Sumatera.

- Qadariyah, Simanjuntak, A. V., & Umar, M. 2018. Analisis Mekanisme Fokal Menggunakan Inversi Waveform; Studi Kasus Gempa Bumi Pidie Jaya 7 Desember 2016. *J. Aceh Phys. Soc*, 7(3), 127-132.
- Sari, D. A. V. 2018. Estimasi Centroid Moment Tensor (Cmt) Gempa Bumi Di Wilayah Sumatera Barat Menggunakan Inversi Waveform Tiga Komponen. *Inovasi Fisika Indonesia*, 7(2).
- Sokos, E. N., Zahrandik, J., 2008. A ISOLA a Fortran Code and a Matlab Gui to Perform Multiple-Point Source Inversion of Seismic. *Computers and Geoscience* 34. 987-977.
- Sokos, E. N., Zahrandik, J., 2009. A Matlab GUI for use with ISOLA Fortran codes. User's Guide.
- Stein, S., Wyssession, M. 2003. An Introduction to Seismology, Earthquakes, and Earth Structure. *Oxford: Blackwell Publishing Ltd.*
- Sunarjo, M.T Gunawan, & S. Pribadi. 2012. Gempabumi Edisi Populer. *Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika.*
- Suwandi, E. A., Sari, I. L., & Waslaluiddin, W. 2017. Analisis Percepatan Tanah Maksimum, Intensitas Maksimum Dan Periode Ulang Gempa Untuk Menentukan Tingkat Kerentanan Seismik Di Jawa Barat (Periode data Gempa Tahun 1974-2016). *Wahana Fisika*, 2(2), 12.
- Syafitri, Y., Bahtiar, B., & Didik, L. A. 2020. Analisis pergeseran lempeng bumi Yang meningkatkan potensi terjadinya gempa bumi Di pulau Lombok. *Konstan - Jurnal Fisika Dan Pendidikan Fisika*, 4(2), 139-146.
- Triantafyllis, N., Venetis, I. E., Fountoulakis, I., Pikoulis, E., Sokos, E., & Evangelidis, C. P. 2021. Gisola: A high-performance computing application for real-time moment tensor inversion. *Seismological Research Letters*, 93(2A), 957-966.
- Triantafyllis, N., Venetis, I., Fountoulakis, I., Pikoulis, E.-V., Sokos, E., & Evangelidis, C. 2021. Gisola: Real-Time Moment Tensor computation optimized for multicore and manycore architectures. *EGU General Assembly 2021*. online, 19-30 Apr 2021. EGU21-15888.
- Vackář, J., Burjáněk, 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.
- Wald, D. J., & Allen, T. I. 2007. Topographic slope as a proxy for seismic site conditions and amplification. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 97(5), 1379-1395.
- Zahradnik, Jiri. 2011. The Mw 7.1 Van, Eastern Turkey, Earthquake 2011-Two-Point Source Modeling by Iterative Deconvolution and Non-Negative Least Squares. *Geophysical Journal International*.