

ANALISIS CENTROID MOMENT TENSOR (CMT) GEMPA BUMI KEPULAUAN MENTAWAI MENGGUNAKAN METODE TIME DOMAIN MOMENT TENSOR (TDMT)

¹⁾Yogi Dwi Ferdian Mosse, ²⁾Madlazim, ³⁾Muhammad Nurul Fahmi

¹⁾ Program Studi Fisika, FMIPA, Universitas Negeri Surabaya, email: yogi.20032@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

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk menganalisis *Centroid Moment Tensor* (CMT) gempa di sekitar Kepulauan Mentawai menggunakan metode *Time Domain Moment Tensor* (TDMT) dengan *software* MTTime. Dalam penelitian ini digunakan data sekunder gempa bumi 13 Maret 2022 dengan M_w 6,7 dan 10 September 2022 dengan M_w 6,2. Data yang didownload secara otomatis menggunakan menggunakan *Obspy* dari data *center* IRIS dengan jaringan GEOFON milik lembaga seismologi Jerman. Analisis CMT dengan metode TDMT menghasilkan parameter CMT yang meliputi *strike*, *dip*, *rake*, *origin time*, *latitude*, *longitude*, kedalaman *centroid*, diagram *beachball*, dan peta solusi CMT. Hasil analisis CMT juga diperoleh nilai komponen *Double-Couple* (DC), *Compensated Linear Vector Dipole* (CLVD) dan *Isotropik* (ISO) dimana dari komponen tersebut dapat diketahui sumber penyebab gempa bumi. Hasil dari penelitian untuk kedua *event* gempa bumi dihasilkan persentase DC yang lebih dominan dari komponen CLVD dan ISO. Hal tersebut menunjukkan bahwa sumber penyebab dari gempa bumi pada tanggal 13 Maret 2022 dan 10 September 2022 adalah aktivitas tektonik, serta persentase *Variance Reduction* (VR) dari setiap *event* diperoleh nilai lebih dari 50% sehingga hasil inversi *waveform* dari kedua *event* tersebut dikatakan *reliable*. Mekanisme sumber penyebab gempa bumi pada tanggal 13 Maret 2022 dan 10 September 2022 diakibatkan pergerakan patahan dengan tipe *reverse*, sehingga dapat diketahui bahwa pergerakan patahan di sekitar Kepulauan Mentawai memiliki mekanisme *reverse*. Hasil solusi CMT dari *software* MTTime cukup akurat ketika dibandingkan dengan Global CMT sehingga dapat dikembangkan untuk penentuan CMT secara *real-time*.

Kata Kunci: *Centroid Moment Tensor, Software MTTime, Kepulauan Mentawai, Inversi Waveform*

Abstract

This research aims to analyze the *Centroid Moment Tensor* (CMT) of earthquakes around the Mentawai Islands using the *Time Domain Moment Tensor* (TDMT) method with MTTime software. The study utilizes secondary data from the 13 March 2022 earthquake with a magnitude of 6.7 and the 10 September 2022 earthquake with a magnitude of 6.2. Data were automatically downloaded using *Obspy* from the IRIS data center with the GEOFON network owned by the German seismological institute. CMT analysis with the TDMT method produces CMT parameters, including *strike*, *dip*, *rake*, *origin time*, *latitude*, *longitude*, *centroid depth*, *beachball* diagram, and CMT solution map. The results of the CMT analysis also obtained the values of the *Double-Couple* (DC), *Compensated Linear Vector Dipole* (CLVD), and *Isotropic* (ISO) components, which help determine the earthquake source. The analysis of both earthquake events revealed a higher percentage of DC compared to the CLVD and ISO components. This indicates that the sources of the earthquakes on 13 March 2022 and 10 September 2022 were tectonic activity. The *Variance Reduction* (VR) percentage for each event was over 50%, indicating that the waveform inversion results for both events are reliable. The source mechanism of the earthquakes on 13 March 2022 and 10 September 2022 is attributed to reverse fault movements, indicating that the fault movements around the Mentawai Islands have a reverse

mechanism. The CMT solution results from the MTTime software are quite accurate when compared with the Global CMT, suggesting its potential for real-time CMT determination.

Keywords: Centroid Moment Tensor, MTTime Software, Mentawai Islands, Waveform Inversion

I. PENDAHULUAN

Negara Indonesia merupakan negara dengan kondisi tektonik kompleks serta seismisitas yang tinggi sehingga rentan terjadi bencana geologi seperti Gempa Bumi (Cummins, 2017). Gempa bumi merupakan bencana kebumihian akibat pelepasan energi dari patahan batuan di kerak bumi, menyebabkan guncangan oleh gelombang seismik. Ini terjadi karena Indonesia berada dipersimpangan tiga lempeng besar yaitu Lempeng Eurasia di barat laut relatif stabil, sementara Lempeng Indo-Australia di selatan bergerak ke arah timur laut dengan kecepatan 7 mm/tahun, dan Lempeng Pasifik bergerak ke arah utara-barat dengan kecepatan 11 mm/tahun (Sarsito et al., 2019; Hutchings & Mooney, 2021). Ketiga lempeng tersebut mengakibatkan adanya zona tumbukan tepi barat Pulau Sumatra (Lange et al., 2018), selatan Pulau Jawa (Widiyantoro et al., 2020) sampai Laut Banda (Irsyam et al., 2017).. Pergerakan lempeng-lempeng ini adalah sumber pemicu gempa bumi di Indonesia (Angraeni et al., 2023).

Pulau Sumatera memiliki seismisitas yang tinggi, terutama di sepanjang zona subduksi Sumatera, terutama di titik pertemuan antara Lempeng Indo-Australia dan Lempeng Eurasia, dengan pergerakan relatif satu sama lain dengan kecepatan sekitar 50-70 mm per tahun (Bock et al., 2003; McCaffrey, 2009), yang sering disebut dengan *Sumatran Fault Zon*. Zona subduksi yang membentang di sepanjang Pulau Sumatera dibagi menjadi beberapa segmen, antara lain segmen Aceh, segmen Simeulue, segmen Mentawai, segmen Nias, dan segmen Bengkulu. Arah tumbukan relatif miring sekitar 12° terhadap Pulau Sumatera menyebabkan adanya jalur sesar Mentawai yang membentang dari utara hingga selatan pulau Sumatera (Oktama, 2022). Berdasarkan hasil catatan seismisitas di wilayah ini cukup tinggi dengan kekuatan gempa bumi yang cukup besar yang terjadi disekitar Kepulauan Mentawai dan Kepulauan Batu dengan kekuatan M_w 8,3 pada tahun 1797, pada tahun 1833 dengan magnitudo M_w 9, dan pada tahun 1935 dengan kekuatan M_w 7,7 (Natawidjaja, 2007).

Daerah Kepulauan Mentawai merupakan salah satu daerah yang sering dilanda gempa bumi di Indonesia, hal tersebut diakibatkan oleh adanya sesar Mentawai yang membentang dari ujung Pulau Pagai sampai Selatan Pulau Nias. Ada dua segmen kecil yang membagi sesar yang berada di Pulau Mentawai yakni segmen Sipora-Pagai dan segmen Siberut (Andini & Pujiastuti, 2019). Meskipun Sesar Mentawai dianggap sebagai sesar mendatar (*strike-slip*). Namun, menurut penelitian Nakano et al., (2010), Gempa bumi yang berada di Kepulauan Mentawai disebabkan pergerakan sesar Mentawai dengan mekanisme gempa yang dominan *reverse-slip*, gempa bumi besar dan dangkal dapat mengakibatkan kerusakan yang sangat besar di sekitar wilayah yang terdampak gempa bumi serta dapat mengakibatkan gelombang tsunami.

Centroid Moment Tensor (CMT) adalah representasi matematis dari pergerakan patahan selama gempa bumi, dan ukuran, atau magnitudo, dari kejadian tersebut. *Moment tensor* ini sering digambarkan melalui *beachball*, sebuah simbol grafis yang mengindikasikan orientasi patahan dan jenis slip yang terjadi selama gempa bumi (Harris et al., 2022). Solusi ini memiliki 9 komponen, namun karena 3 komponen simetris hanya digunakan 6 komponen, parameter-parameter sesar yang meliputi *strike*, *dip*, dan *rake* ditentukan oleh komponen tersebut. Keenam komponen tersebut meliputi moment seismik skalar (M_0), magnitudo moment (M_w), *latitude*, *longitude*, kedalaman *centroid*, serta arah bidang patahan. Hasil dari estimasi *Centroid Moment Tensor* (CMT) dapat digunakan untuk memberikan informasi terkait mekanisme gempa bumi dan karakteristik sesar yang menjadi sumber gempa bumi.

Metode yang digunakan untuk menentukan *Centroid Moment Tensor* (CMT) adalah metode *Time Domain Moment Tensor Inversion* (TDMT) dengan *software* MTTime, metode ini lebih mudah untuk diaplikasikan karena menggunakan bahasa pemrograman python pada *software* MTTime yang dikembangkan oleh Chiang (2020), dibandingkan dengan penelitian yang dilakukan oleh Dreger, (2003), dengan menggunakan bahasa pemrograman Fortran. Metode TDMT ini memiliki keunggulan perhitungan parameter CMT yang lebih cepat, sehingga sangat berguna untuk diaplikasikan pada sistem peringatan dini gempa bumi. Pada penelitian ini hasil dari solusi CMT akan dijustifikasi dengan hasil Global CMT untuk mengetahui tingkat akurasi dari metode TDMT menggunakan *software* MTTime.

II. METODE

A. Rancangan Penelitian

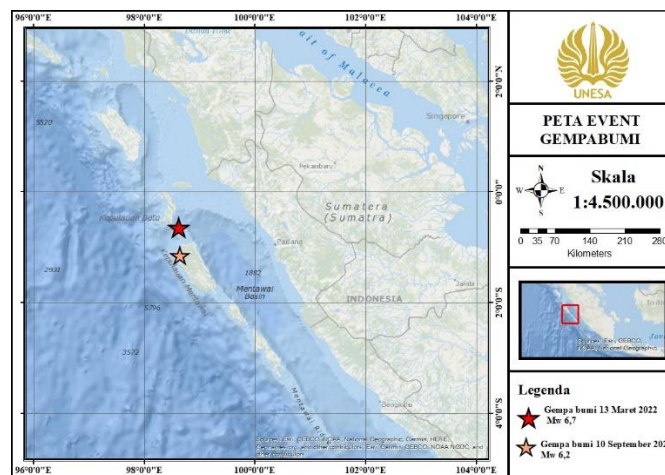
Penelitian penentuan *moment tensor* merupakan studi berbasis komputasi dengan metode inversi *moment tensor* berbasis *time domain*. Data sekunder dalam penelitian ini menggunakan data gempa bumi yang didapat dari IRIS Wilber. Penelitian ini menggunakan metode *Time Domain Moment Tensor inversion* (TDMT) untuk menentukan solusi *moment tensor* dengan menggunakan *software* MTTime. Data *waveform* yang digunakan dalam studi ini didapatkan dari data *center* SAGE WILBER3 yang didownload secara otomatis menggunakan Obspy website https://ds.iris.edu/wilber3/find_event. Fungsi *Green* diaplikasikan pada *software* MTTime pada proses inversi *time domain* untuk penentuan estimasi CMT. Hasil dari penentuan CMT berupa *beachball*, yang digunakan untuk menentukan mekanisme gempa bumi

B. Variabel Operasional Penelitian

Penelitian ini menggunakan beberapa variabel meliputi variabel manipulasi, variabel kontrol, serta, variabel respon. Variabel manipulasi yang digunakan antara lain stasiun seismik, model kecepatan, rentang filter inversi fungsi *Green*, kemudian untuk variabel kontrol meliputi *software* MTTime, lokasi penelitian, dan *event* gempa bumi, sedangkan untuk variabel yang diperoleh meliputi *Focal Mechanism (strike, dip, rake,)*, *beachball* dan peta solusi CMT.

C. Teknik Pengumpulan Data

Dua data sekunder yang digunakan dalam penelitian ini bersumber dari *IRIS data center*. Data tersebut didownload secara otomatis menggunakan *tools Obspy* dengan cara memasukkan *start time* dan *end time*, serta *latitude* dan *longitude* dari kedua *event* gempa bumi. Kedua data tersebut yakni dua kejadian gempa bumi yang memiliki magnitude $>M_w$ 5 yaitu gempa bumi pada tanggal 13 Maret 2022 yang berlokasi pada titik 0,63 LS dan 98,63 BT dengan kedalaman 28 Km, serta gempa bumi pada tanggal 10 September 2022 yang berlokasi titik koordinat 1,14 LS dan 98,65 BT dengan magnitudo M_w 6,2.

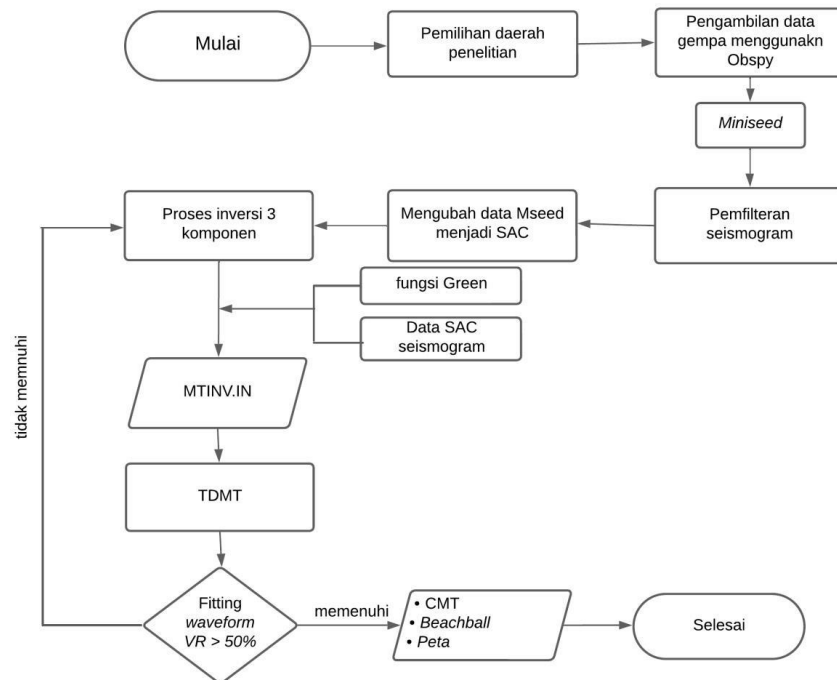


Gambar 1. Event Gempa Bumi

D. Teknik Pengolahan Data

Estimasi penentuan CMT pada penelitian ini menggunakan *software* MTTime dengan bahasa pemrograman python yang dikembangkan oleh (Chiang, 2020). Untuk mengetahui karakteristik mekanisme gempa bumi dilakukan dengan Analisis CMT dengan metode *time domain inversion*. Data *waveform* yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data yang terekam oleh stasiun jaringan GE: GEOFON Program, GFZ Potsdam, Germany yang merekam sinyal gelombang gempa bumi. Data yang diperoleh kemudian diolah menggunakan *software* MTTIME. Langkah awal yang dilakukan adalah memilih *event* gempa bumi, kemudian mendownload data dari *IRIS data center* secara otomatis menggunakan Obspy dengan memasukkan *latitude*, *longitude*, dan waktu kejadian *event* gempa bumi. Tahap selanjutnya adalah melakukan pemfilteran seismogram dan menghilangkan instrumen respon untuk menghilangkan *noise*. Pada tahap berikutnya adalah mengkonversi data Miniseed menjadi data SAC, setelah proses konversi data tersebut kemudian dilakukan proses inversi seismogram 3 komponen. Fungsi *Green* digunakan untuk

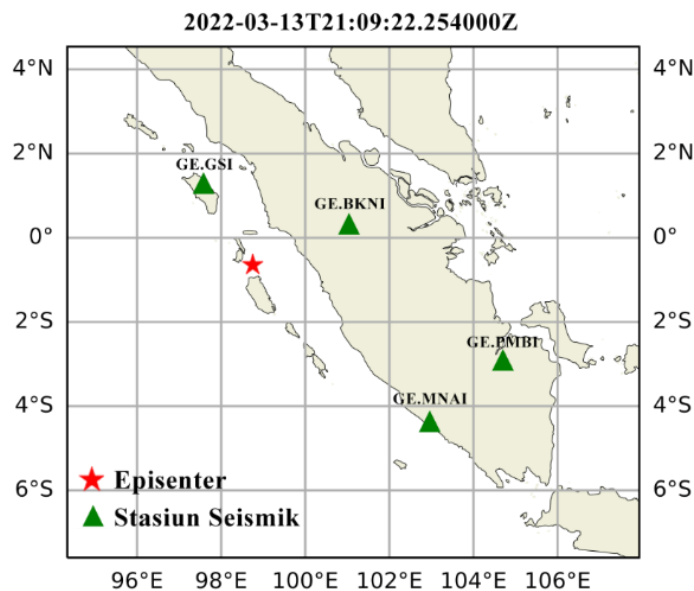
perhitungan *waveform* sintetik, dari proses inversi ini dihasilkan output MTINV.IN. Hasil tersebut kemudian dimasukkan kedalam proses TDMT yang menghasilkan output berupa CMT, *beachball*, dan peta solusi CMT. Berikut merupakan diagram alir proses pengolahan data menggunakan *software* TDMT:



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Gempa 13 Maret 2022



Gambar 3. Sebaran Stasiun Seismik yang Merekam Gempa Bumi 13 Maret 2022

Pada Gambar 3 dapat dilihat sebaran stasiun seismik yang merekam kejadian gempa bumi yang terjadi pada tanggal 13 Maret 2022 serta *epicenter* gempa bumi dengan magnitudo M_w 6,88. Stasiun seismik yang digunakan merupakan stasiun seismik dengan jarak terdekat, dimana posisinya hampir mencakup 4 kuadran dari *epicenter* gempa bumi. Stasiun yang digunakan sebagai sumber data pada penelitian ini

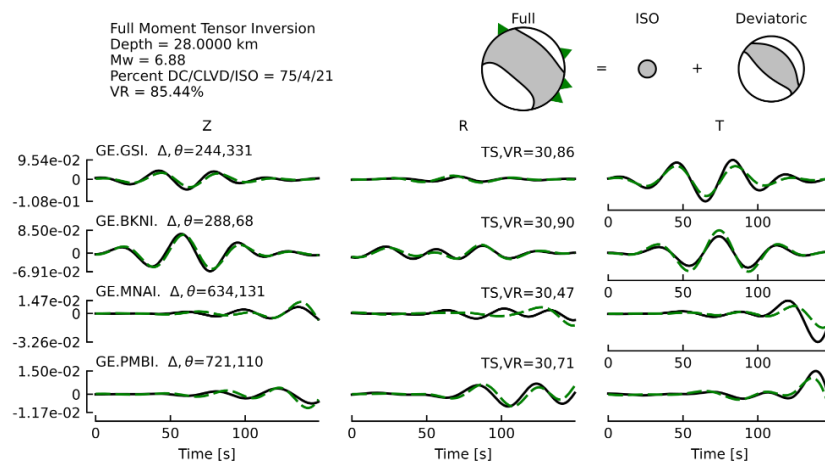
merupakan stasiun dari jaringan GEOFON milik lembaga seismologi Jerman. Terkait detail informasi dari keempat stasiun yang digunakan dalam penelitian ini, ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Stasiun Seismik yang Digunakan Dalam Penelitian

Stasiun	Longitude	Latitude	Jarak (Km)
GE.GSI	97,58	1,30	243,90
GE.BKNI	101,04	0,33	288,38
GE.MNAI	102,96	-4,36	633,71
GE.PMBI	104,70	-2,90	720,57

Event gempa bumi tanggal 13 Maret 2022 menggunakan rentang filter frekuensi dalam proses inversi *waveform*. Frekuensi yang digunakan berada pada rentang 0,015 hingga 0,030 Hz. Menurut penelitian Franco et al., (2020), rentang frekuensi tersebut cocok digunakan untuk inversi *waveform* pada gempa dengan magnitudo lebih dari 6. Model kecepatan dengan topografi daerah terjadinya gempa bumi yang dikategorikan sebagai gempa bumi dangkal, sesuai dengan penelitian dari (Tajima et al., 2002). Penelitian tersebut menggunakan model kecepatan 1D GIL7, dimana model tersebut cocok digunakan untuk gempa bumi dangkal, serta kedalaman yang digunakan dalam proses inversi berada pada 10 Km hingga 70 Km dengan kenaikan jarak 5 Km.

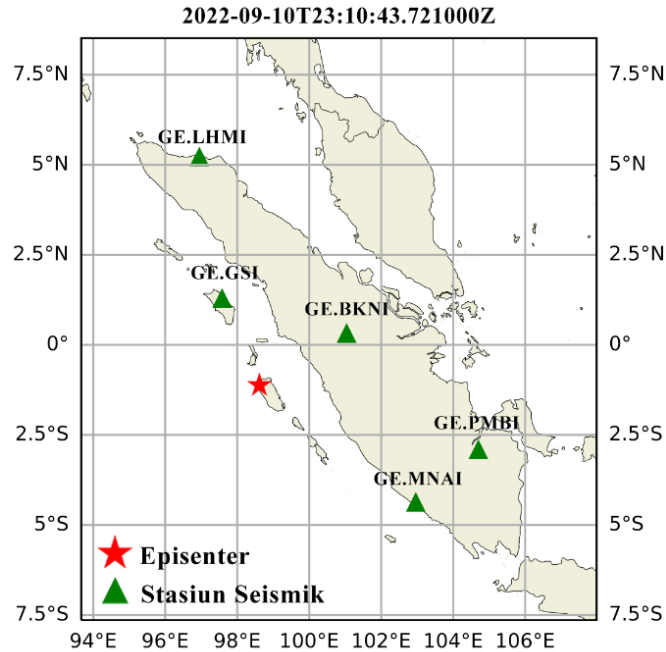
Dalam penelitian ini menggunakan analisis *full moment tensor* sehingga menghasilkan nilai persentase *Double-Couple* (DC) yang lebih dominan yakni sebesar 75% dibandingkan komponen *Compensated Linear Vector Dipole* (CLVD) dan Isotropik (ISO) dengan nilai masing-masing memiliki nilai 4% dan 21%. Berdasarkan hal tersebut, maka dapat diketahui bahwa gempa bumi yang terjadi pada tanggal 13 Maret 2022 disebabkan karena aktivitas tektonik.



Gambar 4. Hasil Inversi Gempa Bumi 13 Maret 2022

Pada Gambar 4 menunjukkan hasil inversi gempa bumi pada tanggal 13 Maret 2022 menggunakan analisis *full moment tensor* dan menunjukkan hasil *fitting waveform* dari 4 stasiun yang merekam gempa bumi dimana setiap stasiun memiliki 3 komponen yang disimbolkan dengan Z yang merupakan komponen vertikal, R komponen radial, dan T merupakan komponen Tangensial. Gelombang sintetik (berwarna hijau) yang diperoleh melalui proses perhitungan menggunakan fungsi *green* dan gelombang hasil observasi (berwarna hitam). Dapat dilihat antara gelombang sintetik dan gelombang observasi saling berhimpit hal ini direpresentasikan hasil nilai *Variance Reduction* (VR) yang tinggi yaitu sebesar 85,44%. Menurut Vackář et al. (2017), jika nilai persentase dari *Variance Reduction* lebih dari 50% maka hasil tersebut menunjukkan hasil yang sesuai dengan gelombang observasi.

B. Hasil Gempa 10 September 2022



Gambar 5. Sebaran Stasiun Seismik yang Digunakan Dalam Penelitian

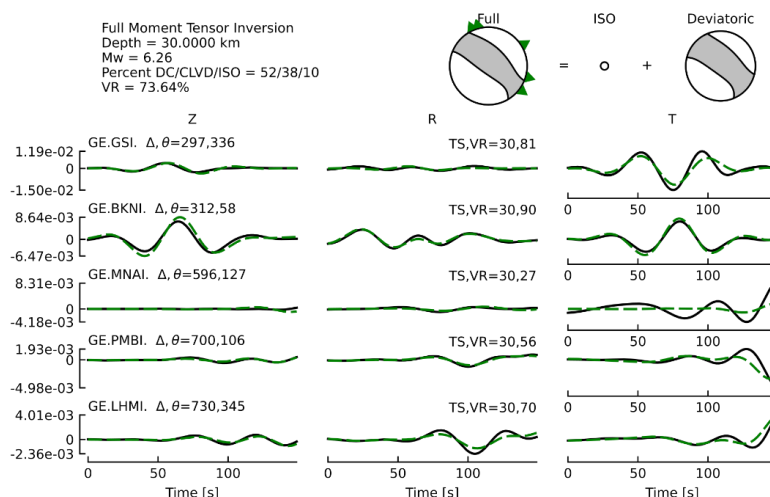
Gambar 5 menunjukkan sebaran stasiun yang merekam kejadian *event* gempa bumi pada tanggal 10 September 2022 serta episenternya dengan magnitudo sebesar M_w 6,26. Data yang digunakan bersumber dari stasiun seismik jaringan GEOFON milik lembaga seismologi Jerman, dengan jarak terdekat dan posisinya hampir mencakup 4 kuadran dari *epicenter* gempa bumi. Untuk lebih detailnya nama-nama kelima dari stasiun dalam penelitian ini dideskripsikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Stasiun Seismik

Stasiun	Longitude	Latitude	Jarak (Km)
GE.GSI	97,58	1,30	296,61
GE.BKNI	101,04	0,33	311,65
GE.MNAI	102,96	-4,36	595,68
GE.PMBI	104,7	-2,90	699,91
GE.LHMI	96,95	5,23	730,33

Pada *event* gempa bumi yang terjadi pada tanggal 10 September 2022 rentang filter frekuensi yang digunakan dalam proses inversi *waveform* menggunakan frekuensi 0,010 sampai dengan 0,025 Hz, dimana menurut (Franco et al., 2020) pada rentang frekuensi tersebut sesuai untuk inversi *waveform* gempa bumi dengan magnitudo lebih dari 6. Dalam proses inversi *waveform* digunakan model kecepatan 1D GIL7. Model kecepatan tersebut cocok untuk digunakan untuk gempa bumi dangkal (Tajima et al., 2002). Hal ini sesuai dengan topografi daerah terjadinya gempa bumi yang dikategorikan sebagai gempa bumi dangkal. Serta kedalaman yang digunakan dalam proses inversi berada pada kedalaman 10 Km sampai dengan 70 Km dengan kenaikan 5 Km.

Analisis estimasi *centroid moment tensor* yang digunakan pada kejadian gempa bumi 10 September 2022 yaitu menggunakan analisis *full moment tensor*. Pada analisis ini hasil solusi *moment tensor* diperoleh persentase nilai *Double-Couple* yang lebih dominan sebesar 52% daripada komponen *Compensated Linear Vector Dipole* (CLVD) dan *Isotropik* (ISO) yang masing-masing memiliki persentase sebesar 38% dan 10%. Berdasarkan hal tersebut maka dapat diketahui bahwa gempa bumi 10 September 2022 diakibatkan oleh aktivitas tektonik.



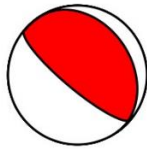
Gambar 6. Hasil Inversi Gempa Bumi 10 September 2022

Pada Gambar 4.5 menunjukkan hasil inversi gempa bumi pada tanggal 10 September 2022. Pada gambar tersebut merupakan hasil *fitting waveform* dari 5 stasiun seismik. Gelombang berwarna hijau merupakan gelombang sintetik yang diperoleh dari proses perhitungan menggunakan fungsi green dan gelombang berwarna hitam merupakan gelombang hasil observasi dari stasiun seismik. Dapat dilihat bahwa gelombang sintetik dan gelombang hasil observasi posisinya saling berhimpit. Hal ini direpresentasikan dengan persentase nilai *variance reduction* (VR) yang tinggi sebesar 73,64%. Menurut Vackář et al. (2017), jika nilai persentase *Variance Reduction* (VR) lebih dari 50% maka menunjukkan hasil yang sesuai dengan gelombang observasi.

C. Pembahasan

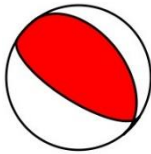
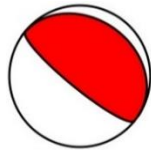
Hasil dari penelitian analisis *Centroid Moment Tensor* (CMT) di sekitar Kepulauan Mentawai dilakukan dengan menggunakan *software* MTTime dengan menggunakan analisis *full moment tensor*. Hasil analisis *full moment tensor* menunjukkan bahwa yang menjadi sumber penyebab kedua gempa bumi adalah aktivitas tektonik yang ditunjukkan oleh nilai persentase *Double-Couple* (DC) yang lebih tinggi lebih dari 50% daripada komponen lainnya. Pada hasil inversi *waveform* juga diperoleh nilai VR lebih dari 50% sehingga dapat dikategorikan *reliable* antara gelombang sintetik dan hasil observasi. Untuk memvalidasi hasil analisis CMT dari *software* MTTime pada gempa bumi 13 Maret 2022 dan 10 September 2022 digunakan data dari Global CMT.

Tabel 3. Perbandingan Hasil Software MTTime dengan Global CMT Gempa Bumi 13 Maret 2022

Focal Mechanism		MTtime	Global CMT
Origin time		21:09:22	21:09:28
Kedalaman (Km)		28	24
Magnitudo (M_w)		6,88	6,70
Fault plane 1	Strike	130	130
	Dip	63	72
	Rake	88	85
Fault Plane 2	Strike	314	322
	Dip	27	19
	Rake	93	104
Beachball			
Tipe Patahan		reverse	reverse

Focal Mechanism	MTtime	Global CMT
Nilai Sudut Kagan	15,8°	

Tabel 4. Hasil perbandingan Software MTTime Dengan Global CMT Gempa Bumi 10 September 2022

Focal Mechanism		MTtime	Global CMT
Origin time		23:10:43	23:10:47
Kedalaman (Km)		30	21,50
Magnitudo (M_w)		6,26	6,20
Fault plane 1	Strike	123	129
	Dip	60	75
	Rake	80	91
Fault Plane 2	Strike	322	304
	Dip	31	15
	Rake	107	85
Beachball			
Tipe patahan		reverse	reverse
Nilai Sudut Kagan		18,1°	

Perbandingan hasil solusi CMT untuk kedua *event* gempa bumi yang diperoleh dari *software* MTTime hampir mendekati sama dari hasil solusi CMT yang diperoleh dari Global CMT pada Tabel 4.5 dan Tabel 4.6, hal ini ditunjukkan dari nilai sudut Kagan yang memiliki nilai kurang dari 60°. Menurut (Pondrelli et al., 2006) jika nilai sudut kurang dari 60° maka menunjukkan solusi yang identik, namun jika nilai yang dihasilkan lebih dari 60° maka menunjukkan ketidakcocokan. Adanya sedikit perbedaan dari hasil analisis menggunakan *software* MTTime dengan hasil Global CMT karena perbedaan metode yang digunakan dalam proses pengolahan data, pada *software* MTTime dilakukan dengan inversi *waveform* dengan menggunakan model kecepatan 1D dan pada *software* MTTime juga menggunakan metode dengan yang berbasis *time domain*, sedangkan untuk Global CMT proses pengolahan data menggunakan data gelombang teleseismik serta model kecepatan global, serta metode yang digunakan pada Global CMT berbasis *frekuensi domain*. Hasil solusi CMT dari perbandingan *software* MTTime dan Global CMT memiliki kesamaan pada bentuk *beachball* pada kedua *event* gempa Bumi yakni menghasilkan tipe sesar *reverse*. Hasil dari solusi CMT dari *software* MTTime ini cukup akurat ketika dibandingkan dengan GCMT sehingga dapat dikembangkan untuk penentuan CMT secara *real-time*.

Gempa bumi yang melanda Pulau Sumatera sering terjadi di sekitar zona tumbukan antara Lempeng Eurasia dan Lempeng Indo-Australia dengan pergerakan 50-70 mm/tahun (Bock et al., 2003; McCaffrey, 2009). Batas antara lempeng yang konvergen, seperti yang terjadi antara Lempeng Eurasia dan Lempeng Indo-Australia yang menghasilkan pola bidang yang terbentuk oleh pola vertikal (*dip-slip*) di sepanjang zona subduksi Sumatera (*megathrust*). Pola bidang sesar yang terbentuk pada kedua kejadian gempa bumi di sekitar Kepulauan Mentawai bertipe *reverse*. Hal tersebut sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh (Nakano et al., 2010) mengatakan bahwa gempa bumi yang berada di sekitar Kepulauan Mentawai memiliki mekanisme yang dominan *reverse slip*. Menurut Sieh & Natawidjaja (2000), gerakan sesar yang berada di Sesar Mentawai mempunyai pola bidang yang bermacam-macam antara lain adalah *normal fault*, *strike slip*, dan *reverse fault*.

IV. PENUTUP

A. Simpulan

Penelitian analisis *centroid moment tensor* di sekitar Kepulauan Mentawai dapat menggunakan metode *Time Domain Moment Tensor* (TDMT) yang diaplikasikan pada *software* MTTime. Dari rumusan masalah dan tujuan dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa:

1. Hasil solusi *Centroid moment tensor* (CMT) menggunakan metode *Time Domain Moment Tensor* (TDMT) pada gempa bumi tanggal 13 Maret 2022 diperoleh persentase nilai *Double-Couple* (DC) lebih besar yakni 75% sehingga dapat diketahui bahwa sumber penyebab dari gempa bumi adalah aktivitas tektonik. Pada gempa bumi tanggal 10 September 2022 juga dihasilkan nilai persentase *Double-Couple* (DC) yang lebih besar yaitu 52% sehingga dapat diketahui bahwa sumber penyebab dari gempa bumi adalah aktivitas tektonik. Dengan nilai *Variance Reduction* (VR) dari tiap *event* adalah 85,44% serta 73,64%.
2. Tipe patahan yang dihasilkan pada nilai *fault plane* 1 pada *event* gempa bumi tanggal 13 Maret 2022 yaitu *strike* 130°, *dip* 63°, *rake* 88°, sedangkan untuk gempa bumi tanggal 10 September 2022 yaitu *strike* 123°, *dip* 60°, *rake* 80°. Kedua *event* gempa bumi tersebut menghasilkan gambar *beachball* dengan tipe patahan *reverse*.

B. Saran

Pada penelitian ini mengalami kendala dalam proses pengolahan data, salah satunya tidak semua model kecepatan dapat digunakan dalam proses inversi, sehingga diperlukan pemilihan model kecepatan yang cocok dengan topografi daerah kejadian gempa bumi, serta dalam *software* MTTIME tidak semua kejadian gempa bumi dapat digunakan karena sebaran stasiun yang kurang dari 4 kuadran sehingga menghasilkan VR rendah. Disarankan kedepannya untuk memilih gempa bumi yang dikelilingi stasiun seismik melingkupi 4 kuadran sehingga dihasilkan nilai VR yang lebih tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

- Andini, M. P., & Pujiastuti, D. (2019). Estimasi Periode Ulang Gempa Pulau Mentawai Menggunakan Distribusi Weibull dan Gumbel. *Jurnal Fisika Unand*, 8(4), 373–379.
- Angraeni, A., Lubis, L. H., Sugeng, S., & Ginting, M. H. (2023). Analisis Kerentanan Seismik Gempa Bumi berdasarkan Nilai PGA Menggunakan Metode Esteva pada Wilayah Kepulauan Nias. *Geo-Image Journal*, 12(2), 141–147.
- Artale Harris, P., Scognamiglio, L., Magnoni, F., Casarotti, E., & Tinti, E. (2022). Centroid Moment Tensor Catalog With 3D Lithospheric Wave Speed Model: The 2016–2017 Central Apennines Sequence. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 127(4), e2021JB023068.
- Bock, Y., Prawirodirdjo, L., Genrich, J. F., Stevens, C. W., McCaffrey, R., Subarya, C., Puntodewo, S. S. O., & Calais, E. (2003). Crustal Motion In Indonesia From Global Positioning System Measurements. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 108(B8).
- Chiang, A. (2020). *Time Domain Moment Tensor Inversion in Python*. Lawrence Livermore National Laboratory (LLNL), Livermore, CA (United States).
- Cummins, P. R. (2017). Geohazards in Indonesia: Earth Science for Disaster Risk Reduction-Introduction. In *Geological Society, London, Special Publications* (Vol. 441, Issue 1, pp. 1–7). The Geological Society of London London.
- Dreger, D. S. (2003). 85.11 TDMT_INV: Time Domain Seismic Moment Tensor Inversion. *International Geophysics*, 1627.
- Franco, S. I., Iglesias, A., & Fukuyama, E. (2020). Moment Tensor Catalog for Mexican Earthquakes: Almost Two Decades of Seismicity. *Geofisica Internacional*, 59(2), 54–80.
- Hutchings, S. J., & Mooney, W. D. (2021). The Seismicity of Indonesia and Tectonic Implications. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 22(9). <https://doi.org/10.1029/2021GC009812>
- Irsyam, M., Widiyantoro, S., Natawidjaja, D. H., Meilano, I., Rudyanto, A., Hidayati, S., Triyoso, W., Hanifa, N. R., Djarwadi, D., & Sunarjito. (2017). *Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia Tahun 2017*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Perumahan dan Pemukiman Badan Penelitian dan Pengembangan Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.
- Lange, D., Tilmann, F., Henstock, T., Rietbrock, A., Natawidjaja, D., & Kopp, H. (2018). Structure of the central Sumatran subduction zone revealed by local earthquake travel-time tomography using an amphibious network. *Solid Earth*, 9(4), 1035–1049.
- McCaffrey, R. (2009). The Tectonic Framework of The Sumatran Subduction Zone. In *Annual Review of Earth and Planetary Sciences* (Vol. 37, pp. 345–366). <https://doi.org/10.1146/annurev.earth.031208.100212>
- Nakano, M., Yamashina, T., Kumagai, H., & Inoue, H. (2010). Centroid Moment Tensor Catalogue for Indonesia. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 183(3–4), 456–467.

- Natawidjaja, D. H. (2007). Gempabumi dan Tsunami di Sumatra dan Upaya Untuk Mengembangkan Lingkungan Hidup Yang Aman Dari Bencana Alam.
- Oktama, D. (2022). Analisis Seismisitas dan Periode Ulang Gempa Bumi di Kepulauan Mentawai Menggunakan Metode Gutenberg-Richter. Universitas Negeri Padang.
- Pondrelli, S., Salimbeni, S., Ekström, G., Morelli, A., Gasperini, P., & Vannucci, G. (2006). The Italian CMT Dataset from 1977 to the present. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 159(3–4), 286–303.
- Sarsito, D. A., Susilo, S., Pradipta, D., & Andreas, H. (2019). Kontribusi Pengamatan Geodesi Modern Dalam Memahami Dinamika Tektonik di Indonesia: Estimasi Kutub Euler Lempeng Minor Sunda. *Bulletin of Geology*, 3(1), 320–327.
- Sieh, K., & Natawidjaja, D. (2000). Neotectonics of the Sumatran fault, Indonesia. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 105(B12), 28295–28326.
- Tajima, F., Mégnin, C., Dreger, D. S., & Romanowicz, B. (2002). Feasibility of real-time broadband waveform inversion for simultaneous moment tensor and centroid location determination. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 92(2), 739–750.
- Vackář, J., Burjánek, 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.
- Widiyantoro, S., Gunawan, E., Muhari, A., Rawlinson, N., Mori, J., Hanifa, N. R., Susilo, S., Supendi, P., Shiddiqi, H. A., Nugraha, A. D., & Putra, H. E. (2020). Implications for megathrust earthquakes and tsunamis from seismic gaps south of Java Indonesia. *Scientific Reports*, 10(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-020-72142-z>