

Jurnal Inovasi Fisika Indonesia (IFI) Volume 13 Nomor 3 Tahun 2024, hal 50-59

ANALISIS CENTROID MOMENT TENSOR (CMT) MENGUNAKAN TIME DOMAIN MOMENT TENSOR (TDMT) UNTUK GEMPA BUMI DI WILAYAH BANTEN DAN SEKITARNYA

¹⁾Novia Pramesti,²⁾ Muhammad Nurul Fahmi, ³⁾ Madlazim

- ¹⁾ Program Studi Fisika, FMIPA, Universitas Negeri Surabaya, email: novia.20014@mhs.unesa.ac.id
²⁾ Program Studi Fisika, FMIPA, Universitas Negeri Surabaya, email: muhammadfahmi@unesa.ac.id
³⁾ Program Studi Fisika, FMIPA, Universitas Negeri Surabaya, email: madlazim@unesa.ac.id

Abstrak

Wilayah Banten di Indonesia termasuk salah satu wilayah yang memiliki kerentanan seismik yang tinggi. Hal tersebut terjadi karena adanya berbagai sesar aktif dan subduksi lempeng Indo-Australia terhadap lempeng Eurasia, yang dikenal sebagai *Sunda megathrust*, yang memiliki potensi menghasilkan gempa bumi disertai tsunami. Oleh karena itu, pemahaman tentang aktivitas gempa bumi untuk mitigasi sangat penting, salah satunya menggunakan metode *Centroid Moment Tensor* (CMT) yang memanfaatkan inversi *waveform* yang difilter dengan rentang frekuensi 0.02 sampai 0.03 untuk menentukan permodelan dari suatu peristiwa gempa bumi menggunakan domain waktu atau *Time Domain Moment Tensor* (TDMT). TDMT dipilih karena prosesnya yang lebih cepat dibanding domain frekuensi dimana dengan waktu yang mendekati *realtime*. Kemudian dikembangkan menggunakan bahasa Python dan pengambilan data otomatis menggunakan Obspy pada perangkat MTtime. Dari proses tersebut hasil analisis peristiwa gempa bumi untuk *strong earthquake* pada tanggal 14 Januari 2022 dengan Mw 6.6 yang merupakan gempa dan 25 Februari 2024 dengan Mw 5.6 merupakan *moderate earthquake*, dihasilkan persentase DC lebih dominan dari CLVD, yang menunjukkan kedua gempa bumi tersebut disebabkan aktivitas tektonik. Kemudian nilai VR masing-masing sebesar 85.64% dan 72.05%, yang dapat dikatakan *reliable* karena di atas 50%, dan juga peta stasiun seismik terdekat yang merekam peristiwa gempa bumi. Selain itu didapatkan pula nilai mekanisme fokus (*strike, dip, rake*) direpresentasikan dengan gambar *beachball* yang menghasilkan jenis patahan naik (*reverse fault*), sesuai dengan tipe patahan di sekitar wilayah Banten. Hasil yang didapat kemudian dijustifikasi kebenarannya secara kuantitatif dengan data teleseismik Global CMT, selisih perbedaan keduanya dihitung menggunakan sudut Kagan sebesar 5.65° dan 7.99° yang dapat dikatakan akurat karena kurang dari 60°.

Kata Kunci: *Centroid Moment Tensor* (CMT), *Time Domain Moment Tensor* (TDMT), Gelombang Seismik

Abstract

The Banten region in Indonesia is one of the areas with high seismic vulnerability. This occurs due to the presence of various active faults and subduction of the Indo-Australian plate to the Eurasian plate, known as the Sunda megathrust, which has the potential to produce earthquakes accompanied by tsunamis. Therefore, understanding earthquake activity for mitigation is very important, one of which is using the *Centroid Moment Tensor* (CMT) method by utilizing filtered waveform inversion with a frequency range of 0.02 to 0.03 to determine the modeling of an earthquake event using the time domain or *Time Domain Moment Tensor* (TDMT). TDMT was chosen because the process is faster than the frequency domain which is close to *realtime*. Then developed using Python language and automatic data retrieval using Obspy on MTtime device. From this process, the results of the analysis of earthquake events for strong earthquakes on January 14, 2022 with Mw 6.6 which is an earthquake and February 25, 2024 with Mw 5.6 is a moderate earthquake,

resulting in a percentage of DC more dominant than CLVD, which indicates both earthquakes are caused by tectonic activity. Then the VR value is 85.64% and 72.05%, respectively, which can be said to be reliable because it is above 50%, and also a map of the nearest seismic station that records earthquake events. In addition, the value of the focal mechanism (strike, dip, rake) is represented by a beachball image which produces a type of reverse fault, in accordance with the type of fault around the Banten area. The results obtained are then quantitatively justified with Global CMT teleseismic data, the difference between the two is calculated using Kagan angles of 5.65° and 7.99° which can be said to be accurate because it is less than 60° .

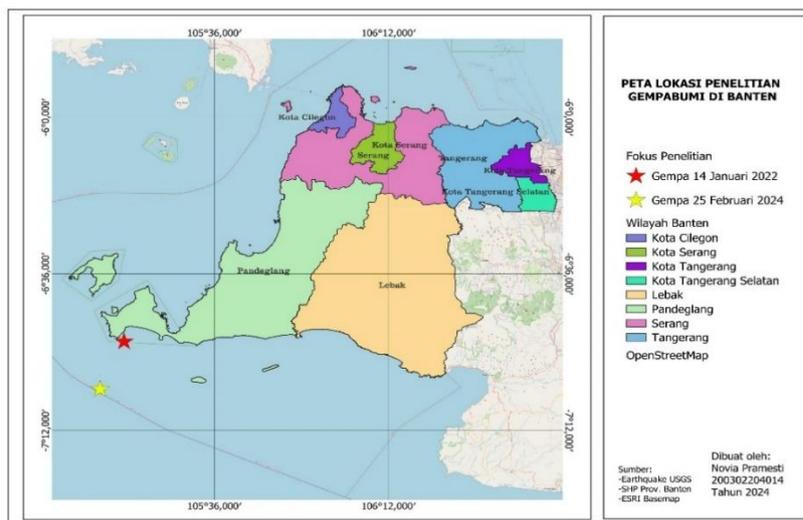
Keywords: Centroid Moment Tensor (CMT), Time Domain Moment Tensor (TDMT), Waveform

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Tidak bisa dipungkiri bahwa Indonesia memiliki risiko gempa bumi yang tinggi, terlepas dari kondisi tektonik kawasan Indonesia yang berada pada zona subduksi atau pertemuan tiga lempeng dunia (*Triple Junction Plate*) (Wiratama *et al.*, 2019; Hutchings & Mooney, 2021; Ramadhanti *et al.*, 2021; Angraeni *et al.*, 2023). Salah satu daerah di Indonesia yang dekat dengan Selat Sunda adalah Provinsi Banten yang memiliki potensi terjadinya gempa bumi karena dilewati beberapa patahan aktif dan bersinggungan dengan *Sunda megathrust* yang masih sering menjadi episenter gempa bumi dangkal serta merusak. Ditinjau dari sejarah kebencanaan yang disebabkan oleh patahan *Sunda Megathrust* yang pernah terjadi di Selat Sunda, menurut Go dan Soloviev (1984) pada tahun 1757 terjadi gempa bumi hingga menyebabkan tsunami berkisar hingga 1 meter dengan M_w 7,5 dan menyebabkan kerusakan.

Saat ini, gempa bumi dangkal yang merusak masih sering terjadi di wilayah tersebut. Salah satu yang paling mematikan terjadi pada 14 Januari 2022 pukul 16:05:41 WIB. dengan M_w 6,6, pusat Lokasi gempa bumi adalah 105.29°BT dan -6.86°LS , dan gempa bumi tersebut merupakan *strong earthquake* yang tidak menimbulkan potensi terjadinya tsunami. Laporan kerusakan dari BNPB (2022) mencatat sebanyak 3.078 rumah rusak, selain itu, 2 warga mengalami luka berat dan 8 warga hanya mengalami luka ringan, serta tidak ada korban jiwa.



Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian dengan gempa bumi 14 Januari 2022 (bintang merah) dan gempa bumi 14 Januari 2022 (bintang kuning). (sumber: usgs.gov/ dimodifikasi lebih lanjut).

Untuk gempa bumi kedua termasuk *moderate earthquake* yakni tanggal 25 Februari 2024 terjadi pukul 20:07:04 WIB dengan M_w 5,6 dan terletak pada koordinat pusat gempa bumi di 105.94°BT dan -7.34°LS yang menyebabkan tiga rumah bahkan satu diantaranya tergolong rusak berat lantaran dinding rumah ambruk. Upaya mitigasi perlu dilakukan melalui pemahaman akan suatu peristiwa gempa bumi, dengan mempelajari karakteristik dari gempa bumi yang pernah terjadi didaerah tersebut menggunakan metode *Centroid Moment Tensor* (CMT) (Shearer, 2009). Penentuan CMT Ini dapat dicapai secara khusus melalui penggunaan teknik inversi yang memanfaatkan waktu tiba gelombang-P dan *waveform* (Kayal, 2008; Zahradnik *et al.*, 2008).

Penggunaan inversi atau teknik pembalik yang digunakan karena keterbatasan alat untuk menjangkau puluhan kilometer dibawah permukaan tanah, sehingga dilakukan dengan memanfaatkan sinyal *waveform* 3

komponen (Torsten & Frank, 2014). Kemudian menggunakan domain frekuensi maupun domain waktu untuk merubah data dibawah permukaan tanah yang direkam stasiun pengamatan menjadi permodelan estimasi *Centroid Moment Tensor* (CMT) (Cesca *et al.*, 2006; Herrmann *et al.*, 2011; Santosa, 2008; Vavryčuk dan Kühn, 2012; Chiang *et al.*, 2016).

Perbedaan metode domain frekuensi dan domain waktu terletak pada proses waktu pengerjaannya dimana domain waktu dipilih karena kecepatan lebih cepat dengan tidak merubah kedalam domain frekuensi dan parameter tidak kompleks alias sederhana, sehingga kecepatan pemrosesannya cocok digunakan untuk menganalisis kejadian gempa bumi secara lebih *realtime* (Vavryčuk dan Kühn, 2012; Chiang *et al.*, 2016). Dapat dilihat dari kesuksesan penelitian sebelumnya (Dreger, 2003; Roumelioti *et al.*, 2011; Chiang *et al.*, 2016; Bai *et al.*, 2020) yang berhasil menggunakan inversi domain waktu, dengan bahasa fortrant dan hanya dapat di gunakan pada perangkat Linux. Kemudian oleh (Chiang *et al.*, 2021) dimodifikasi lebih lanjut dengan menggunakan bahasa Phyton yakni pada perangkat Mtime yang dapat berjalan di Windows maupun Linux.

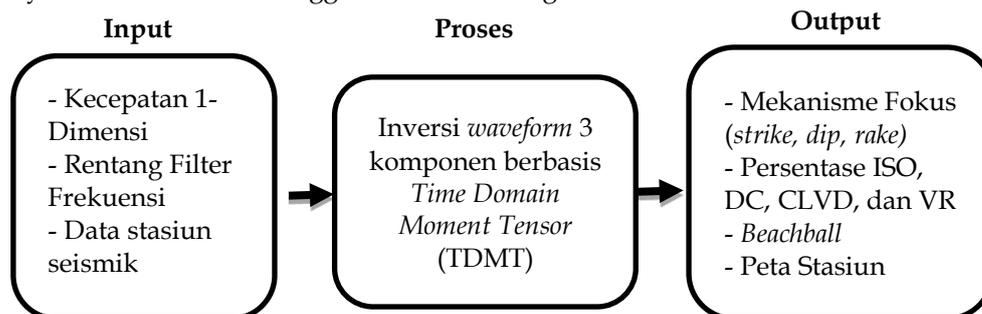
Dengan memanfaatkan perangkat Obspy yang terdapat pada perangkat Mtime untuk pengambilan data secara otomatis, dimana hasil yang didapatkan berupa sinyal seismik dikatakan akurat apabila sinyal observasi dari Mtime dan sinyal sintetik dari stasiun seismik saling bertumpang tindih (Sokos dan Zahradnik, 2008). Sehingga nantinya dapat dilihat solusi CMT yang akan dijustifikasi kebenarannya secara kuantitatif dengan data teleseismik dari Global CMT. Perbedaan antara hasil mekanisme fokus CMT tersebut dapat dilihat selisihnya menggunakan suatu sudut Kagan untuk mengetahui kekuatan hasil yang didapat secara kuantitatif (Kagan, 1991).

Dengan demikian, topik penelitian Skripsi ini penting digunakan untuk pemahaman mengenai hasil CMT berupa mekanisme fokus dan tipe patahan yang dihasilkan suatu gempa bumi. Hal tersebut berguna untuk bagian dari upaya pemahaman karakteristik gempa bumi pada daerah tersebut, sehingga dapat dipergunakan untuk mengantisipasi korban jiwa serta kerugian dalam materi maupun segi lainnya karena wilayah tersebut yang masih memiliki potensi gempa bumi dimasa yang akan mendatang. Selain itu penggunaan domain waktu untuk menganalisis kegempaan yang juga belum banyak digunakan, sehingga dapat menjadi referensi studi literatur untuk penelitian lebih lanjut di kemudian hari.

II. METODE

A. Rancangan Penelitian

Penelitian ini berada dalam kategori penelitian berbasis komputasi. Dengan memanfaatkan program Obspy pada perangkat Mtime untuk mengotomatisasi proses pengambilan data sekunder dari pusat data Sage Wilber 3 (<https://ds.iris.edu/wilber3/findevent>). Data yang di input meliputi parameter gempa bumi dan perolehan hasil berupa *Minimal Standard for the Exchange of Earthquake Data (Mini-Seed)* yang nantinya dirubah menjadi *Seismic Analysis Code* (SAC). Selanjutnya menghitung fungsi Green dengan model kecepatan yang dipilih sesuai geologi setempat serta dilakukan pemfilteran gelombang. Dari data tersebut akan dibandingkan dengan data seismogram penelitian yang kecocokannya dinyatakan dalam nilai *varian reduce* (VR) (Pratama dan Santosa, 2018). Dari data tersebut diperoleh nilai estimasi *Centroid Moment Tensor* (CMT) berupa persentase ISO, DC, dan CLVD, parameter mekanisme fokus (*strike, dip, rake*) yang direpresentasikan menggunakan *beachball* untuk melihat tipe suatu patahan penyebab gempa bumi. Hasil mekanisme fokus CMT tersebut akan dijustifikasikan dengan data teleseismik Global CMT untuk mengetahui sesuai tidak hasil yang telah diperoleh. Selisih perbedaan kedua mekanisme fokus hasil penelitian dan Global CMT dihitung kekuatannya secara kualitatif menggunakan sudut Kagan.



Gambar 3.1. Rancangan penelitian.

B. Teknik Pengumpulan Data

Dua data sekunder yang dipilih karena merekam dengan baik akan digunakan. oleh stasiun dan didapatkan secara otomatis melalui *data center iris* dengan *network GE*: Germany menggunakan Obspy yang berada pada perangkat MTtime (Beyreuther *et al.*, 2010). Dua set data tersebut kemudian dianalisis dalam bentuk gelombang seismik dan merambat dalam ruang tiga dimensi yang menghubungkan stasiun pengamatan ke sumber gempa bumi (Torsten dan Frank, 2014). Data tersebut yaitu gempa bumi dengan M_w 6,6 pada tanggal 14 Januari 2022 yang berada di kedalaman 33.0 km dan gempa bumi kedua terjadi pada tanggal 25 Februari 2024 dengan kedalaman 32.6 km. Kedua data tersebut berupa *Mini-Seed* yang terdiri dari data seismogram dan stasiun yang merekam gempa bumi.

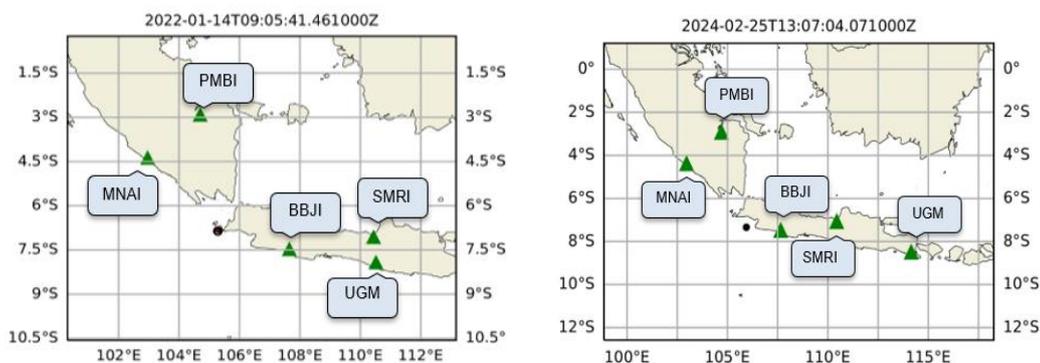
C. Teknik Pengolahan Data

Data *Mini-Seed* yang telah diperoleh kemudian dirubah menjadi data SAC. Setelah itu, data tersebut difilter untuk mendapatkan interval sampling yang diinginkan. Kemudian menghitung Fungsi Green dengan model kecepatan yang telah ditentukan yang digunakan untuk membandingkan data sintesis dan penelitiannya. Dari hasil tersebut dilakukan proses inversi momen tensor dengan hasil berupa *mtinv.in* dan melanjutkan prosesnya menggunakan alat yang berada dalam perangkat MTtime, untuk mendapatkan solusi terbaik yang menggambarkan hasil CMT suatu gempa bumi. Hasil inversi dievaluasi untuk mendapatkan solusi terbaik, jika hasil tidak memuaskan, maka rentang frekuensi dan model kecepatan diubah untuk memperbaiki hasil inversi. Evaluasi ini termasuk melihat kecocokan antara seismogram asli dan seismogram sintesis dengan nilai VR yang lebih dari 50%. Didapatkan juga hasil berupa persentase ISO, DC, CLVD, peta stasiun, solusi CMT (*strike, dip, rake*) yang direpresentasikan dengan *beachball*. Hasil tersebut kemudian di justifikasi kebenarannya dengan data teleseismik Global CMT, dan selisihnya dapat di hitung menggunakan sudut kagan

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Perekaman Data *Wavform*

Setelah proses pengunduhan data yang telah dilakukan secara otomatis dari *data center* melalui <https://ds.iris.edu/wilber3/findevent> menggunakan perangkat lunak Obspy dengan menginput beberapa parameter gempa bumi (Beyreuther *et al.*, 2010). Kemudian menentukan radius gempa bumi dan *network* yang akan dipilih yakni *network Geofon (GE)*, dimana data hasil perekaman menunjukkan cangkupan stasiun yang merekam *waveform* dari peristiwa gempa bumi dengan menampilkan peta stasiun perekaman radius paling dekat sumber gempa bumi. Dimana hasil yang didapat berupa jarak episenter gempa bumi dengan stasiun, latitude dan longitude stasiun yang merekam.



Gambar 5. Peta stasiun yang merekam peristiwa gempa bumi (segitiga hijau) serta lokasi episenter gempa bumi (bulat merah) pada tanggal 14 Januari 2022 (kiri) dan tanggal 25 Februari 2024 (kanan).

Sinyal seismik terekam pada seismogram tiap stasiun yang kemudian di filter dengan merevisi frekuensi dipilih sesuai dengan nilai terbaik pada penelitian ini yaitu rentang 0.02 sampai 0.03 Hz, pemilihan frekuensi tersebut sudah sesuai dengan yang umum digunakan pada inversi *waveform* (Virieux dan Operto, 2009). Selain itu pada penelitian ini komponen model kecepatan digunakan untuk menginversi gelombang seismik, yaitu dengan menggunakan model kecepatan *gil7* (Baise, 2003; Brocher, 2005). Pemilihan model kecepatan dalam

pengolahan data harus tepat, karena akan mengevaluasi hasil pengolahan data pada fungsi hijau yang akan digunakan dalam proses inversi.

Tabel 4.2. Hasil rekaman stasiun.

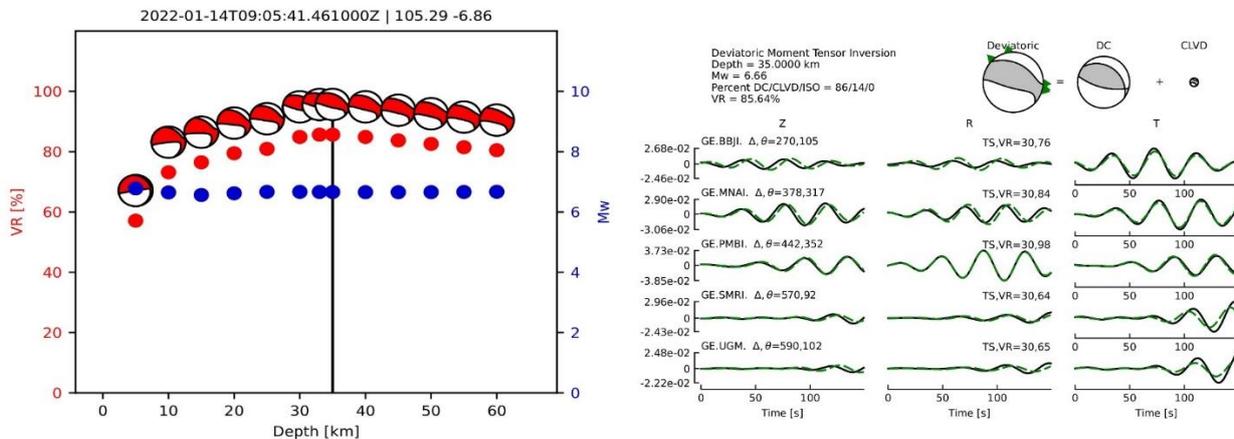
Stasiun Seismik	Jarak Episenter (km)	Latitude	Longitude
BBJI	269.58	-7.46	107.65
MNAI	377.99	-4.36	102.96
PMBI	442.18	-2.90	104.70
SMRI	570.04	-7.05	110.44
UGM	589.85	-7.91	110.52

B. Perolehan Centroid Moment Tensor (CMT)

Data hasil CMT didapat dengan menggunakan seismogram sintetik dan pengamatan untuk meniru kejadian di dalam bumi. Dalam proses inversi *waveform* gempa bumi di penelitian ini dilakukan dengan menggunakan inversi *Deviatorik Moment Tensor*. Pada proses ini menghasilkan nilai *Variance Reduction* (VR) dari suatu data gempa bumi, serta komponen DC, CLVD tanpa adanya suatu komponen *Isotropic* (ISO) (Vavryčuk, 2001; Suparman *et al.*, 2011). Selain itu metode ini memberikan hasil berupa nilai *strike*, *dip*, *rake* dari batasan kedalaman yang telah ditetapkan sebelumnya, yaitu antara 5 dan 60 km dengan interval tiap 5 km yang akan dipilih satu solusi terbaik dengan nilai VR tertinggi untuk suatu kedalaman.

1) Gempa bumi 14 Januari 2022

Hasil CMT gempa bumi 14 Januari 2022 menghasilkan gambar nilai korelasi kedalaman dan VR, serta hasil deviatoric moment tensor pada kedalaman dengan nilai VR tertinggi (lihat Gambar ..)

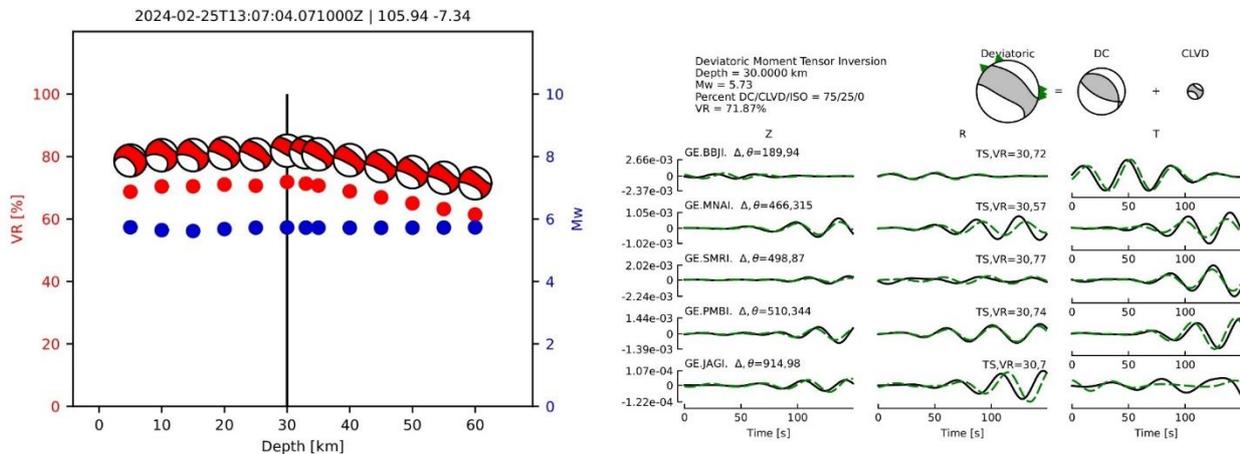


Gambar 4.5. a) Grafik korelasi antara VR (titik merah), Kedalaman (garis hitam), dan Magnitude (M_w) (titik biru). b) Hasil Ploting inversi *Deviatorik Moment Tensor* pada kedalaman dengan VR tertinggi untuk gempa bumi tanggal 14 Januari 2022

Dari gambar sebelah kiri tersebut menunjukkan garis hitam untuk kedalaman paling optimal, karena tingkat kecocokan paling baik (VR tertinggi) diantara lainnya yaitu pada kedalaman 35 km dan magnitudo berkisar sekitar M_w 6.5 hingga M_w 8.5. Dengan nilai VR berada di sekitar 80% hingga 90%, dengan tipe patahan yang direpresentasikan dalam *beachball*. Dari nilai tersebut kemudian memunculkan solusi CMT sesuai dengan hasil kedalaman yang dipilih (lihat Gambar 4.6). Kemudian pada kedalaman tersebut di tampilkan hasil plotting *Deviatorik Moment Tensor* (Gambar .. sebelah kanan) dengan didominasi oleh komponen *double-couple* (DC) sebesar 86%, *compensated linear vector dipole* (CLVD) dengan nilai 14%, tanpa adanya nilai isotropik (ISO) yang berarti gempa bumi tersebut diakibatkan aktivitas tektonik. Selain itu tingkat kecocokan model inversi dengan data seismik yang diamati cukup tinggi, dengan *variance reduction* (VR) sebesar 85.64% dan direpresentasikan tipe patahan dalam bentuk *beachball*. Kemudian ditampilkan data seismik dari lima stasiun (GE.BBJI, GE.MNAI, GE.PMBI, GE.SMRI, GE.UGM) berupa seismogram data gempa bumi. Ditunjukkan bahwa fitting gelombang data pengamatan (garis hijau) yang saling bertumpang tindih dan hampir sesuai dengan stasiun data teramati (garis hitam), untuk komponen gelombang *vertikal* (Z), *radial* (R), dan *transversal* (T).

2) Gempa bumi 25 Februari 2024

Hasil CMT gempa bumi 14 Januari 2022 menghasilkan gambar nilai korelasi kedalaman dan VR, serta hasil *deviatoric moment tensor* pada kedalaman dengan nilai VR tertinggi (lihat Gambar ..) yaitu pada kedalaman 30 km dan magnitudo berkisar sekitar Mw 4.0 hingga Mw 6.0. Dengan nilai VR berada di sekitar 80% hingga 90%, dengan tipe patahan yang direpresentasikan dalam *beachball*. Dari nilai tersebut kemudian memunculkan solusi CMT sesuai dengan hasil kedalaman yang dipilih (lihat Gambar 4.6).



Gambar 4.5. a) Grafik korelasi antara VR (titik merah), Kedalaman (garis hitam), dan Magnitude (M_w) (titik biru). b) Hasil Ploting inversi *Deviatorik Moment Tensor* pada kedalaman dengan VR tertinggi untuk gempa bumi tanggal 25 Februari 2024.

Dari kedalaman yang sesuai hasil sebelumnya yakni pada kedalaman 30 km dan M_w 5,6 bisa dilihat pada Gambar 4.6. Mekanisme gempa bumi didominasi oleh komponen DC sebesar 75%, CLVD dengan nilai 25%, dan nilai isotropik (ISO) sebesar 0. Tingkat kecocokan model inversi dengan data seismik yang diamati cukup tinggi yaitu diatas 50%, dengan VR sebesar 71.87%. Selanjutnya merepresentasikan pada gambar *beachball*, dan ditampilkan data seismik dari lima stasiun (GE.BBJI, GE.MNAI, GE.PMBI, GE.SMRI, GE.UGM) berupa seismogram data gempa bumi dengan *fitting* gelombang antara data pengamatan (garis hijau) saling bertumpang tindih dan hampir sesuai dengan stasiun data teramati (garis hitam) untuk komponen gelombang vertikal (Z), radial (R), dan transversal (T).

C. Analisis Hasil Centroid Moment Tensor (CMT)

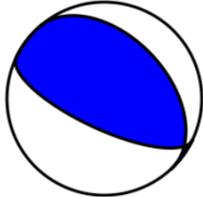
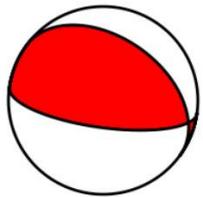
Dari bahasan sebelumnya mengenai hasil *momen tensor* gempa bumi yang telah didapat pada penelitian ini, didapat pula hasil lainnya yakni nilai *strike*, *dip*, dan *rake* yang menunjukkan arah bidang patahan gempa bumi digambarkan pada *beachball* sebelumnya (Basid dan Munir, 2021). Kecocokan hasil dari perangkat MTtime akan dijustifikasi dengan data teleseismik dari Global CMT, dan selisihnya di bandingkan secara kualitatif dengan menghitung nilai sudut kagannya (lihat Tabel 3 dan Tabel 4).

Tabel 4.4. Kecocokan solusi hasil antara *software* MTtime, dan Global CMT pada peristiwa gempa bumi tanggal 14 Januari 2022.

Parameter	MTtime	GLOBAL CMT
Beach Ball		
Origin Time	09:05:41	09:05:48
Latitude	-6.85	-7.10
Longitude	105.28	105.21
M_w (SR)	6.66	6.6
Kedalaman (km)	35.0	40.2

Nodal Plane 1	<i>Strike</i>	306	306
	<i>Dip</i>	25	29
	<i>Rake</i>	111	115
Nodal Plane 2	<i>Strike</i>	104	98
	<i>Dip</i>	67	67
	<i>Rake</i>	81	77
Tipe Sesar		<i>Reverse fault</i>	<i>Reverse fault</i>
Sudut Kagan		5.65°	

Tabel 4.5. Kecocokan solusi hasil antara perangkat lunak MTtime dan Global CMT pada peristiwa gempa bumi tanggal tanggal 25 Februari 2024.

Mekanisme Fokal	MTTime	GLOBAL CMT	
<i>Beach Ball</i>			
Origin Time	13:07:04	13:07:08	
Latitude	-7.33	-7.72	
Longitude	105.93	105.83	
M_w (SR)	5.73	5.77	
Kedalaman (km)	30.0	35.6	
Nodal Plane 1	<i>Strike</i>	317	310
	<i>Dip</i>	30	24
	<i>Rake</i>	109	107
Nodal Plane 2	<i>Strike</i>	116	112
	<i>Dip</i>	62	67
	<i>Rake</i>	80	83
Tipe Sesar		<i>Reverse Fault</i>	<i>Reverse Fault</i>
Sudut Kagan		7.99°	

Dalam tabel tersebut, terlihat bahwa perbedaan waktu origin sangat kecil yang menunjukkan konsistensi yang baik dalam penentuan waktu kejadian gempa bumi. Koordinat gempa bumi yang diperoleh dari kedua metode ini hampir sama, mengindikasikan bahwa lokasi episentrum yang ditentukan dengan tepat. Besaran magnitudo gempa bumi yang dihitung oleh kedua metode ini hampir identik, hanya memiliki perbedaan yang sangat kecil. Perbedaan lain yang ditemukan adalah pada kedalaman gempa bumi, namun keduanya masih berada dalam batas yang wajar untuk gempa bumi tektonik.

Selain itu, nilai *strike*, *dip*, dan *rake* dari perangkat lunak MTtime dan Global CMT juga sangat mirip, dengan selisih perbedaan dihitung menggunakan sudut Kagan yaitu 5.65° dan 7,99° yang dikatakan akurat karena tidak lebih dari 60°. Kedua metode tersebut mengidentifikasi tipe patahan yang dominan yaitu sebagai patahan naik (*reverse fault*), seperti yang ditunjukkan pada diagram *beachball*.

Dari kedua hasil yang telah dievaluasi dengan Global CMT untuk meningkatkan solusi CMT yang berasal dari perangkat lunak MTtime, terdapat beberapa perbedaan kecil. Di mana data gempa bumi diolah oleh Global CMT menggunakan data teleseismik dan model kecepatan global dengan persamaan gelombang bola. Perangkat lunak yang digunakan untuk mengolah data ini adalah MTtime. Perangkat tersebut mengolah data gempa bumi lokal menggunakan metode inversi waveform, model kecepatan lokal 1-D, dan persamaan koordinat kartesian.

solusi yang dihasilkan dari analisis MTtime, dan Global CMT, baik peristiwa gempa *strong earthquake* ataupun *moderate earthquake* dengan memiliki kecocokan bentuk *beachball* satu sama lain dan menghasilkan tipe sesar yang sama yaitu tipe sesar naik atau *reverse fault*. Dengan hasil akurat karena selisih sudut Kagan yang kurang dari 60°. Hasil tersebut sesuai dengan penelitian terdahulu yaitu pada lajur sesar Cimandiri, tempat gempa bumi Gandasoli Sukabumi (1982) dan Cibadak Sukabumi (2000) terjadi, dan gempa bumi

Majalengka (1990) terjadi pada lajur sesar Baribis, yang juga terjadi karena mekanisme sesar naik (Soehaimi, 2008; Mokodenseho *et al.*, 2023)

Kemudian untuk kedua peristiwa gempa bumi di wilayah penelitian menunjukkan dominasi mekanisme *double-couple* (DC), yang membuktikan bahwa gempa bumi aktivitas tektonik menyebabkannya terjadi. Nilai persentase DC lebih besar dari persentase CLVD, dan nilai VR keduanya lebih dari 50%. Oleh karena itu, hasil dapat dikategorikan sebagai reliable karena memenuhi syarat tersebut.

III. KESIMPULAN

Pada penelitian ini stasiun perekaman sinyal disajikan dalam bentuk peta sebaran stasiun yang merekam, sebanyak 5 stasiun yang sama untuk kedua gempa bumi tersebut dengan stasiun yang dipilih terdekat dengan episenter gempa bumi. Kemudian sinyal tersebut diproses dengan merubah dari *Mini-Seed* ke SAC dan melakukan pemfilteran menggunakan frekuensi sebesar 0.02-0.03 Hz untuk menghasilkan data *waveform* 3 komponen yang lebih baik.

Dari data tersebut kemudian dibandingkan dengan Global CMT, yang merupakan solusi CMT yang dibuat oleh perangkat lunak Mtime. Ada beberapa perbedaan, tetapi Global CMT menggunakan data teleseismik dan model kecepatan global untuk mengolah data gempa bumi., sedangkan perangkat lunak Mtime tersebut mengolah data gempa bumi dengan data lokal menggunakan metode inversi *waveform* dan model kecepatan lokal 1-D dan persamaan koordinat kartesian.

Hasil dari solusi CMT untuk gempa tersebut yang dikategorikan masing-masing sebagai *strong earthquake* ataupun *moderate earthquake* yang menunjukkan nilai DC lebih dominan dibandingkan dengan CLVD dan menyatakan bahwa kedua *event* gempa tersebut diakibatkan oleh suatu aktivitas tektonik. Kedalaman *centroid* untuk gempa bumi tersebut yaitu pada kedalaman 35 km dan 30 km dimana gempa bumi tersebut dipilih yang dangkal agar gelombang seismik terbaca dengan baik oleh stasiun yang merekam gempa bumi, sehingga menghasilkan data seismik dan observasi yang saling bertumpang tindih. Kesesuaian data tersebut ditunjukkan dengan nilai *Variance Reduction* (VR) masing-masing yaitu 85.64% dan 72.05%, yang didapat berarti reliable karena diatas 50%. Kemudian dari analisis CMT tersebut juga bisa diketahui mekanisme fokus berupa nilai *strike*, *dip*, *rake* yang di justifikasikan dengan hasil yang didapat pada Global CMT. Selisih perbedaan dua mekanisme fokus tersebut bisa dilihat keakuratannya dengan nilai sudut Kagan yang masih berada dibawah 60° yaitu 5.6563° dan 7.9994°, yang di representasikan dengan *beachball* dan membentuk tipe naik atau sesar *reverse fault*. Sehingga penyebab terjadinya kedua gempa bumi ini disebabkan oleh pergerakan sesar di wilayah Banten yang mempunyai tipe sesar naik.

UCAPAN TERIMAKASIH

Tim penulis mengucapkan terima kasih kepada para penilai yang telah memberikan komentar yang berharga yang telah membantu menyempurnakan artikel IFI ini. Mereka juga mengucapkan terima kasih kepada pengelola situs IRIS Wilber 3 (http://ds.iris.edu/wilber3/find_event) yang menyediakan data dari gempa Banten 2022 dan 2024, direkam oleh jaringan stasiun seismik Germany (*network GE*), yang diunduh sebagai data tambahan untuk studi ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Angraeni, A., Husna Lubis, L., & Hestina Ginting, M. (2023). Analisis Kerentanan Seismik Gempa Bumi Berdasarkan Nilai PGA Menggunakan Metode Esteva Pada Wilayah Kepulauan Nias. *Geo Image*, 12(2), 142-147.
- Bai, Q., Ni, S., Chu, R., & Jia, Z. (2020). GCAPjoint, a software package for full moment tensor inversion of moderately strong earthquakes with local and teleseismic waveforms. *Seismological Research Letters*, 91(6), 3550-3562. <https://doi.org/10.1785/0220200031>
- Baise, L. G. (2003). The Effect of Shallow San Francisco Bay Sediments on Waveforms Recorded during the MW 4.6 Bolinas, California, Earthquake. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 93(1), 465-479. <https://doi.org/10.1785/0120010213>
- Basid, A., & Munir, B. (2021). Analysis of fault patters based on erarthquake data on the land of Sumatera island. *Journal of Physics: Conference Series*, 2126(1), 012003. [!\[\]\(4decd7f4d36b8b21e9f05326cc7983ef_img.jpg\) p-ISSN 2302-4216, e-ISSN 2830-1765 © Prodi Fisika Jurusan Fisika 2023](https://doi.org/10.1088/1742-</p></div><div data-bbox=)

6596/2126/1/012003

- Beyreuther, M., Barsch, R., Krischer, L., Megies, T., Behr, Y., & Wassermann, J. (2010). ObsPy: A Python Toolbox for Seismology. *Seismological Research Letters*, 81(3), 530–533. <https://doi.org/10.1785/gssrl.81.3.530>
- BNBP. (2022). [Update]: Gempabumi M 6,6 Banten Sebabkan 3.078 Rumah Rusak. *Bnpb.Go.Id*. <https://bnpb.go.id/berita/-update-gempabumi-m-6-6-banten-sebabkan-3-078-rumah-rusak>
- Brocher, T. M. (2005). Empirical Relations between Elastic Wavespeeds and Density in the Earth's Crust. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 95(6), 2081–2092. <https://doi.org/10.1785/0120050077>
- Cesca, S., Buforn, E., & Dahm, T. (2006). Amplitude spectra moment tensor inversion of shallow earthquakes in Spain. *Geophysical Journal International*, 166(2), 839–854. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.2006.03073.x>
- Chiang, A., Dreger, D. S., Ford, S. R., Walter, W. R., & Yoo, S. (2016). Moment Tensor Analysis of Very Shallow Sources. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 106(6), 2436–2449. <https://doi.org/10.1785/0120150233>
- Chiang, A., Gök, R., Tarabulsi, Y. M., El-Hadidy, S. Y., Raddadi, W. W., & Mousa, A. D. (2021). Seismic source characterization of the Arabian Peninsula and Zagros Mountains from regional moment tensor and coda envelopes. *Arabian Journal of Geosciences*, 14(1). <https://doi.org/10.1007/s12517-020-06266-x>
- Dreger, D. S. (2003). 85.11 TDMT_INV: Time domain seismic moment tensor INVersion. *International Geophysics*, 81(PART B), 1627. [https://doi.org/10.1016/S0074-6142\(03\)80290-5](https://doi.org/10.1016/S0074-6142(03)80290-5)
- Go, C. N., & Soloviev, S. L. (1984). *Catalogue Of Tsunamis On The Western Shore Of The Pacific Ocean*. Nauka Publishing House.
- Herrmann, R. B., Malagnini, L., & Munafo, I. (2011). Regional Moment Tensors of the 2009 L'Aquila Earthquake Sequence. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 101(3), 975–993. <https://doi.org/10.1785/0120100184>
- Hutchings, S. J., & Mooney, W. D. (2021). The Seismicity of Indonesia and Tectonic Implications. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 22(9), 1–42. <https://doi.org/10.1029/2021GC009812>
- Kagan, Y. Y. (1991). 3-D rotation of double-couple earthquake sources. *Geophysical Journal International*, 106(3), 709–716. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.1991.tb06343.x>
- Kayal, J. R. (2008). *Microearthquake Seismology and Seismotectonics of South Asia*. Springer.
- Mokodenseho, S., Husain, N., Mamonto, H., Yusuf, W. M., & Golonggom, Y. (2023). Investigasi Gempa Berulang di Sumur Banten: Identifikasi Sumber Gempa, Karakteristik Seismik, dan Implikasi pada Pengelolaan Bencana. *Jurnal Geosains West Science*, 1(02), 105–111.
- 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>
- Ramadhanti, F., Adeswastoto, H., & Setiawan, B. (2021). Analisis Kerentanan Bangunan Gedung Terhadap Gempa Bumi Dengan Rapid Visual Screening. *Jurnal ArTSip*, 3(2), 25–26.
- Roumelioti, Z., Kiratzi, A., & Benetatos, C. (2011). Time-Domain Moment Tensors for shallow ($h \leq 40$ km) earthquakes in the broader Aegean Sea for the years 2006 and 2007: The database of the Aristotle University of Thessaloniki. *Journal of Geodynamics*, 51(2–3), 179–189. <https://doi.org/10.1016/j.jog.2010.01.011>
- Santosa, B. J. (2008). Struktur Kecepatan Gelombang S Di Bawah Indonesia Melalui Analisis Seismogram Gempa-Gempa Bumi di Sekitar Indonesia pada Stasiun Observasi UGM. *Makara Sains*, 12(2), 134–145.
- Shearer, P. M. (2009). *Introduction to Seismology: Vol. Second Edition*. Cambridge University Press.
- Soehaimi, A. (2008). Seismotektonik dan potensi kegempaan wilayah Jawa. *Indonesian Journal on Geoscience*, 3(4), 227–240.

- Suparman, Y., Kriswati, E., & Pamitro, Y. E. (2011). Mechanism of High Frequency Shallow Earthquake Source in Mount Soputan, North Sulawesi. *Indonesian Journal on Geoscience*, 6(3), 135–144.
- Torsten, D., & Frank, K. (2014). *Moment tensor inversion and moment tensor interpretation* (IS 3.9). <https://doi.org/10.2312/GFZ.NMSOP-2>
- Vavryčuk, V. (2001). Inversion for parameters of tensile earthquakes. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 106(B8), 16339–16355. <https://doi.org/10.1029/2001JB000372>
- Vavryčuk, V., & Kühn, D. (2012). Moment tensor inversion of waveforms: A two-step time-frequency approach. *Geophysical Journal International*, 190(3), 1761–1776. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.2012.05592.x>
- Virieux, J., & Operto, S. (2009). An overview of full-waveform inversion in exploration geophysics. *GEOPHYSICS*, 74(6), WCC1–WCC26. <https://doi.org/10.1190/1.3238367>
- Wiratama, A. S., Rakhmawati, I., Muaffi, N., Estiya Pujiningtiyas, S., Eka Kurnia, S., & Budi Wibowo, N. (2019). Kajian Indeks Bahaya Seismik Regional Rata-Rata Pulau Jawa Tahun 1903-2006 Dengan Menggunakan Software QUANTUM GIS (QGIS). *Prosiding Seminar Nasional Fisika Festival*, 40–46.
- Zahradnik, J., Gallovic, F., Sokos, E., Serpetsidaki, A., & 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. <https://doi.org/10.1785/gssrl.79.5.653>