

Analisis Mekanisme Fokus Gempabumi Menggunakan Metode Inversi *Moment Tensor* (Studi Kasus: Zona Tumbukan Laut Maluku Pada Tahun 2010-2017)

Anggia Nur Abiyah^{1*}, Pepen Supendi², dan Andi Suhandi¹

¹Program Studi Fisika, Universitas Pendidikan Indonesia, Bandung, Jawa Barat, Indonesia

²Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika Bandung

*E-mail : anggianur0512@gmail.com

ABSTRAK

Zona Tumbukan Laut Maluku merupakan salah satu daerah di Indonesia dengan tingkat aktivitas seismisitas yang tinggi dan dikenal sebagai struktur tektonik yang paling rumit di Indonesia. Hal ini disebabkan oleh kondisi tektonik berupa zona tumbukan busur yang terletak di daerah pertemuan antara lempeng Eurasia, Pasifik dan Filipina. Untuk mengurangi dampak kerusakan akibat gempabumi yang terjadi, di daerah tersebut maka perlu diketahui karakteristik sumber gempabumi. Pada penelitian ini digunakan metode inversi *moment tensor* untuk menganalisis mekanisme fokus di Zona Tumbukan Laut Maluku yang bertujuan untuk menentukan pola bidang sesar dari gempabumi yang telah terjadi berupa nilai *strike*, *dip* dan *rake*. Data yang digunakan berupa *waveform* dari 14 *event* gempabumi pada tahun 2010-2017 dengan *magnitude* $M_w \geq 5,5$. Dalam penelitian ini digunakan program ISOLA-GUI untuk melakukan inversi *moment tensor*. Solusi dari mekanisme fokus sumber gempabumi ditampilkan dalam *beachball*. Hasilnya menunjukkan bahwa jenis sesar yang terjadi di Zona Tumbukan Laut Maluku pada umumnya merupakan *reverse fault* (sesar naik). Adapun jenis sesar lainnya yang mengakibatkan gempabumi di daerah tersebut yaitu *strike-slip fault*, *normal fault* dan *Oblique - slip fault*. Untuk jenis sesar *strike-slip fault* terjadi di kedalaman dangkal dan menengah, jenis sesar *normal fault* terjadi di kedalaman dalam, jenis sesar *Oblique - slip fault* terjadi di kedalaman menengah dan untuk jenis sesar *reverse fault* terjadi di kedalaman dangkal dan menengah.

Kata kunci: Mekanisme fokus, *moment tensor*, Zona Tumbukan Laut Maluku

1. Pendahuluan

Zona Tumbukan Laut Maluku merupakan salah satu daerah di Indonesia dengan tingkat aktifitas seismik yang besar dan dikenal dengan struktur geologinya yang paling rumit. Hal ini dikarenakan keadaan tektonik Zona Tumbukan Laut Maluku merupakan daerah tektonik yang kompleks dan wilayah ini merupakan zona tumbukan busur dengan busur yang terletak di daerah pertemuan antara lempeng Eurasia, Pasifik dan Filipina. Di sebelah timur busur gunung api aktif Halmahera, dan di sebelah barat dijumpai busur gunung api aktif Sangihe. Subduksi ini dapat menimbulkan gempabumi baik dangkal, menengah maupun dalam.

Untuk meminimalisasi kerusakan akibat gempabumi yang terjadi di Zona Tumbukan Laut Maluku maka perlu diketahui karakteristik

sumber gempabumi. Pemahaman terhadap karakteristik sesar yang mengakibatkan gempabumi juga diperlukan untuk memperkirakan atau mengetahui karakter dan akibat kegempaan. Karena itulah perlu dilakukan pemodelan *moment tensor* gempabumi [1]. *Moment tensor* merupakan penggambaran model sesar penyebab gempabumi yang digambarkan dengan *beachball*. Konsep *moment tensor* dapat memberi deskripsi yang lengkap tentang gaya dari sumber titik seismik. *Moment tensor* ini digunakan untuk menggambarkan arah gaya penyebab gempabumi. Pemodelan *moment tensor* ini dapat dilakukan dengan menggunakan metode inversi yang memanfaatkan *waveform* [2]. Pada analisis ini digunakan inversi *waveform* lokal tiga

komponen yaitu berupa komponen E, komponen N dan komponen Z. Proses inversi yang baik didasarkan hasil pencocokan data observasi dan data sintetik hasil inversi. Hasil yang baik terjadi saat data observasi dan data sintetik saling tumpang tindih atau berhimpitan.

Untuk mengetahui gerak sesar dan karakter sesar penyebab gempabumi dapat dianalisis berdasarkan *moment tensor* gempabumi yang dapat menggambarkan arah gaya penyebab gempabumi. *Moment tensor* menyatakan bagian dari perubahan Stress internal yang menyebabkan deformasi non-elastik pada sumber yaitu proses patahan [3].

Berikut merupakan hasil *moment tensor* sumber gempabumi:

$$M_{ij} = \begin{bmatrix} M_{11} & M_{12} & M_{13} \\ M_{21} & M_{22} & M_{23} \\ M_{31} & M_{32} & M_{33} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} M_{XX} & M_{XY} & M_{XZ} \\ M_{XY} & M_{YY} & M_{YZ} \\ M_{XZ} & M_{YZ} & M_{ZZ} \end{bmatrix} \quad (1)$$

Komponen M_{ij} dalam koordnat bola menjadi berikut:

$$\begin{bmatrix} M_{rr} = M_{zz} \\ M_{\theta\theta} = M_{xx} \\ M_{\phi\phi} = M_{yy} \\ M_{r\theta} = M_{zx} \\ M_{r\phi} = -M_{zy} \\ M_{\theta\phi} = -M_{xy} \end{bmatrix} \quad (2)$$

Gaya yang bekerja kearah i terhadap j disimbolkan dalam M_{ij} yang merupakan komponen *moment tensor*. Sifat *moment tensor* ini simetris, karena M_{ij} dan M_{ji} . Nilai komponen M_{ij} tersebut dapat digunakan untuk mengetahui parameter *strike* (ϕ), *dip* (δ), dan *rake* (λ) penyebab gempabumi dinyatakan dalam persamaan berikut:

$$M_{11} = M_{XX} = -M_o (\sin \delta \cos \lambda \sin 2\phi + \sin 2\delta \cos \lambda \sin 2\phi)$$

$$M_{12} = M_{XY} = M_o (\sin \delta \cos \lambda \sin 2\phi + 0.5 \sin 2\delta \cos \lambda \sin 2\phi) = M_{21} = M_{YX}$$

$$M_{13} = M_{XZ} = -M_o (\cos \delta \cos \lambda \cos \phi + \cos 2\delta \sin \lambda \sin \phi) = M_{31} = M_{ZX}$$

$$M_{22} = M_{YY} = M_o (\sin \delta \cos \lambda \sin 2\phi - \sin 2\delta \sin \lambda \cos 2\phi)$$

$$M_{23} = M_{YZ} = -M_o (\cos \delta \cos \lambda \sin \phi - \cos 2\delta \sin \lambda \cos \phi) = M_{32} = M_{ZY}$$

$$M_{33} = M_{ZZ} = -(M_{11} + M_{22}) = M_o (\sin 2\delta \sin \lambda)$$

Mekanisme fokus (*focal mechanism*) merupakan metode yang digunakan untuk

menentukan jenis sesar dengan cara menentukan parameter sesar yang terjadi berupa penentuan nilai *strike*, *dip*, dan *rake*. Arah gerakan gelombang-P pertama yang terekam oleh seismogram yang akan dimanfaatkan untuk mempelajari mekanisme fokus karena gelombang-P mudah teramati dan paling jelas pembacaannya. Solusi dari mekanisme fokus sumber gempa ditampilkan dalam penggambaran *beachball* kemudian dapat diketahui karakteristik atau jenis sesar apa yang terjadi selama gempabumi. Manfaat dari mengetahui mekanisme fokus sumber gempa ini adalah dapat mengetahui arah awal gerakan gelombang gempa dan mengetahui arah penyebab gempabumi yang terjadi pada wilayah tersebut. Hal ini penting karena untuk mengetahui pergerakan dari lempeng tektonik dan untuk mengestimasi gempabumi selanjutnya yang akan terjadi [4]. Dalam penelitian ini digunakan program ISOLA-GUI untuk melakukan inversi *moment tensor*. Program ISOLA-GUI ini digunakan untuk menjelaskan *focal mechanism* dari *moment tensor* gempa. Dari proses inversi maka dapat diketahui nilai *strike*, *dip*, dan *rake* (*slip*).

Data rekaman seismogram merupakan konvolusi dari fungsi waktu sumber (*Source time function*) dengan fungsi waktu struktur dan fungsi waktu dari *instrumental response* [9].

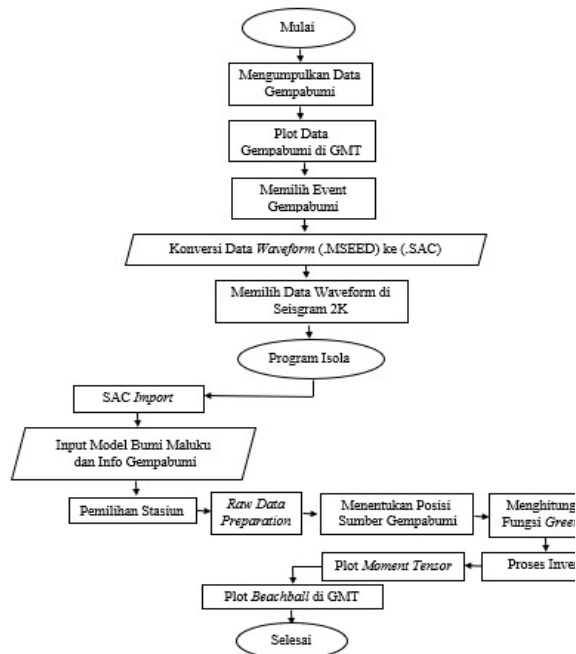
$$U(t) = x(t) * e(t) * q(t) * i(t) \quad (3)$$

2. Metode Penelitian

2.1 Pengambilan Data

Tahapan awal penelitian ini adalah mendownload data sekunder gempabumi di Zona Tumbukan Laut Maluku tahun 2010-2017 di katalog Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) Pusat Gempa dan Tsunami dengan *magnitude* $\geq 5,5$ SR. Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data gempabumi pada koordinat 123° - 130° BT dan 0° - 5° LU. Setelah data gempabumi sudah terkumpul maka tahap selanjutnya membuat peta seismisitas gempabumi di Zona Tumbukan Maluku tahun 2010-2017 yang bertujuan untuk melihat persebaran gempabumi di wilayah tersebut. Data gempabumi yang digunakan berupa tanggal dan waktu terjadinya gempabumi (*origin time*), letak koordinat (*latitude* dan *longitude*), besar *magnitude* dan kedalaman (*depth*).

2.2 Diagram Alur Penelitian



Gambar 1. Diagram Alur Penelitian

2.3 Pengolahan Data

Penentuan besarnya *moment tensor* dan mekanisme fokus dilakukan dengan menggunakan program ISOLA-GUI. Langkah pertama yang dilakukan adalah data yang diambil dari jaringan stasiun seismik Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) dalam format.MSEED dikonversi kedalam format SAC menggunakan program SEISAN dengan tujuan agar dapat dikenali oleh program ISOLA. Setelah di konversi maka langkah selanjutnya adalah pengolahan data menggunakan program ISOLA-GUI. Sebelum melakukan pengolahan data, dipersiapkan terlebih dahulu data stasiun *longitude*, *latitude*, dan *pzfiles* atau *pole zero file*. Berikut tampilan program ISOLA.

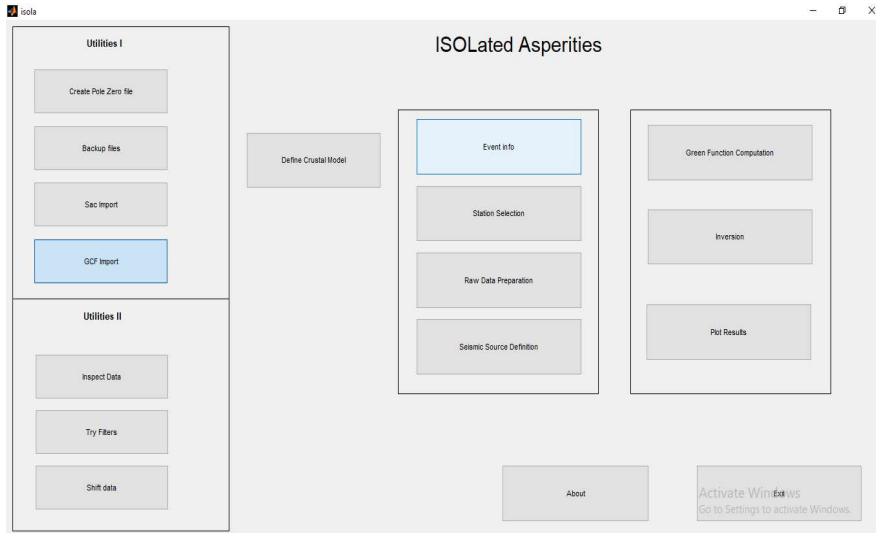
Pengolahan menggunakan ISOLA dimulai dari menginput data gempabumi yang sudah diubah kedalam format SAC untuk digunakan pada SAC import. Setelah itu menentukan model kecepatan bumi dimana model kecepatan bumi yang digunakan dalam penelitian ini merupakan model kecepatan referensi 1-D (ak135) sebagai model kecepatan gelombang seismik global [5]. Selanjutnya melakukan pendefinisian *event* gempabumi dengan cara memasukkan informasi kejadian gempabumi meliputi tanggal dan waktu terjadinya gempabumi (*origin time*), letak

koordinat (*latitude* dan *longitude*), besar *magnitude*, kedalaman (*depth*) dan lokasi argensi yang digunakan. Setelah itu pemilihan stasiun gempa yang akan digunakan untuk pengolahan *moment tensor*. Selanjutnya dilakukan proses *raw data* preparation. Pada proses ini melibatkan seismogram terdiri dari melakukan pengkoreksian instrumen, *origin time alignment*, melakukan filter dengan memilih frekuensi rendah dan tinggi untuk meminimalkan *noise* dan menyiapkan data untuk proses inversi. Tahap selanjutnya pendefinisian sumber seismik dilakukan dengan menentukan awal kedalaman, *range* kedalaman dan jumlah sumber seismik yang dibutuhkan untuk melakukan proses selanjutnya yaitu perhitungan Fungsi *Green*. Setelah semua persiapan data selesai, kemudian dilakukan perhitungan Fungsi *Green*. Fungsi *green* berfungsi untuk menghitung seismogram untuk mengestimasi parameter yang cocok dalam proses inversi dan selanjutnya proses inversi melibatkan tiga komponen seismogram dengan memilih *filter* yang tepat. Hal ini bertujuan untuk menghilangkan *noise* sebelum melakukan proses inversi. Langkah selanjutnya yaitu proses inversi data *waveform* tiga komponen. Untuk mendapatkan hasil yang bagus dalam *fitting* kurva maka dilakukan penentuan nilai filter terlebih dahulu. Melakukan filter dilakukan untuk meminimalkan *noise* dengan memilih frekuensi rendah dan tinggi. Hal ini bertujuan untuk menghilangkan *noise* sebelum dilakukan proses inversi. Tahapan terakhir dalam pengolahan data pada ISOLA-GUI adalah hasil pengolahan data. Dalam proses ini dapat diketahui solusi mekanisme fokus gempabumi yang ditunjukkan dengan *beach ball* sehingga dapat diketahui pola sesar yang mengakibatkan gempa bumi dan kurva *displacement waveform* dengan ditunjukkan dengan data observasi dan data sintetik saling tumpang tindih.

2.4 Perhitungan Panjang, Lebar, Luas dan Displacement pada sesar

Hubungan antara momen seismik dan deformasi dapat dilihat pada persamaan berikut [6]:

$$M_0 = \mu \cdot A \cdot D \quad (4)$$



Gambar 2. Program ISOLA-GUI

Keterangan:

M_0 = Momen seismik gempabumi (Nm)

μ = Rigiditas (tingkat kekakuan benda, semakin keras bendanya maka energi yang diperlukan untuk menggerakannya semakin besar, artinya momen seismiknya semakin besar (N/m²))

A = Luas bidang sesar (m²)

D = Deformasi atau dislokasi / *displacement* (m)

Secara empiris Panjang, lebar dan slip *fault* dapat ditentukan dengan melakukan interpolasi berdasarkan persamaan sebagai berikut [7]:

Sesar *strike-slip*

$$0,59 M_w - 2,30 \quad \text{Log } L = \quad (5)$$

$$0,23 M_w - 0,49 \quad \text{Log } W = \quad (6)$$

$$0,82 M_w - 2,79 \quad \text{Log } A = \quad (7)$$

Sesar *dip-slip*

$$0,55 M_w - 2,19 \quad \text{Log } L = \quad (8)$$

$$0,31 M_w - 0,63 \quad \text{Log } W = \quad (9)$$

$$0,86 M_w - 2,82 \quad \text{Log } A = \quad (10)$$

Keterangan:

L = Panjang (km)

W = Lebar (km)

A = Luas (km²)

2.5 Inversi *Moment Tensor*

Untuk memahami karakteristik gempabumi dilakukan dengan memodelkan *moment tensor* gempabumi. *Moment tensor* memiliki 6 komponen yang *independent* yang menggambarkan besar dan gaya yang menyebabkan gempabumi. Untuk inversi *moment tensor*, jenis inversi yang digunakan adalah inversi linier dengan permasalahannya bersifat *over-determined* dimana jumlah data jauh lebih banyak daripada jumlah parameter model. [8].

$$D = \underline{G} m \quad (11)$$

Dimana \underline{G} adalah matriks (N x M) yang sering disebut sebagai matriks kernel. Sehingga dalam matriks, hubungan antara data dengan parameter model tersebut dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\begin{bmatrix} d_1 \\ d_2 \\ \dots \\ d_N \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} G_{11} & G_{12} & \dots & G_{1M} \\ G_{21} & G_{22} & \dots & G_{2M} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ G_{N1} & G_{N2} & \dots & G_{NM} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} m_1 \\ m_2 \\ \dots \\ m_N \end{bmatrix} \quad (12)$$

Selanjutnya solusi inversi linier dari parameter model \mathbf{m} dapat dituliskan dalam persamaan berikut:

$$m = [G^T G]^{-1} G^T \quad (14)$$

Dimana $G^T G$ adalah matriks bujur sangkar berukuran $(N \times M)$ sesuai dengan jumlah parameter model yang dicari. Ekstensi solusi inversi linier di atas ditentukan oleh sejauh mana data dapat mendefinisikan atau mengkarakterisasi parameter model serta perbandingan jumlah data terhadap jumlah parameter model.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Hasil Pengolahan Data Mekanisme Fokus

Dari hasil pengolahan menggunakan program ISOLA-GUI diperoleh besar *moment tensor* untuk masing-masing kejadian gempabumi (tanda negatif menunjukkan arah yang berlawanan). Hasil *moment tensor* tersebut dapat dilihat pada tabel 3.1.

Arah gaya penyebab gempabumi ditentukan oleh komponen moment tensor. Moment tensor ini mempunyai 6 komponen untuk menentukan pola bidang sesar yaitu Mrr, Mtt, Mpp, Mrt, Mrp, Mtp. Nilai moment tensor tersebut mempunyai satuan Nm. Pada setiap event gempa yang terjadi, tercatat moment tensor yang nilainya berbeda-beda. Dimana besar nilai momen seismik tersebut merupakan hasil aktivasi dari area patahan atau pertengahan antara dua lempeng yang mengalami slip. Sehingga hal ini menunjukkan adanya gaya yang dibutuhkan untuk meneruskan gelombang seismik setelah terjadinya gempa. Dan secara tidak langsung, nilai tersebut berhubungan dengan besar total energi seismik yang disebabkan patahan. Besar nilai momen seismik tersebut merupakan penggambaran model sesar penyebab gempabumi tersebut.

3.1 Waveform Fitting

Moment tensor dan mekanisme fokus didapatkan dari hasil inversi moment tensor. Inversi ditentukan oleh data seismogram, Fungsi Green dan komponen moment tensor. Fungsi Green merupakan perhitungan estimasi dari fungsi waktu sumber sehingga dari estimasi ini dapat diketahui besar moment tensor hasil pemodelan. Fungsi Green menggambarkan sinyal yang akan terekam oleh seismogram sehingga dari fungsi green didapatkan sebuah model dari sinyal. Dari model ini diperbandingkan dengan hasil rekaman seismogram sebenarnya. Dari hasil memperbandingkan ini dapat diketahui ketidakcocokannya.

Pada gempa *event* ini mempunyai nilai variasi reduksi yaitu 0,6. Nilai frekuensi yang diloloskan yaitu frekuensi pada *Low Pass Filter* yaitu 0,042-0,043 (Hz) dan frekuensi pada *High Pass Filter* yaitu 0,047-0,048 (Hz). *Waveform fitting* pada *event* 12 dapat dilihat pada gambar 3. Stasiun seismik yang digunakan sebanyak 4 stasiun seismik terdekat yaitu GLM, TNT, MGA, TMS. Pada tahap inversi digunakan filter f1, f2, f3, dan f4 untuk mendapatkan hasil kurva perhitungan yang mendekati hasil observasi seismogram (*real data*). Filter inversi berupa nilai frekuensi yang dikorelasikan pada *magnitude event* gempa. *Event-event* gempabumi di atas memiliki nilai variasi reduksi yang berbeda-beda dikarenakan *waveform fitting* dari tiap gelombang pun berbeda-beda. Hal ini terjadi karena tiap *event* gempabumi mempunyai bentuk gelombang yang mempunyai karakteristik tersendiri sehingga untuk mencari frekuensi yang diloloskan pun berbeda pula. Kurva pada gambar diatas yang berwarna merah adalah kurva estimasi dari Fungsi *Green* (data sintesis) dan kurva berwarna hitam adalah kurva dari data seismogram (data observasi). Besar kecocokan kurva ditentukan oleh variasi reduksinya [2]. Varian reduksi ini ditentukan oleh besar *filtering* yang dilakukan dalam proses inversi.

3.2 Perbandingan *Beach Ball* Penelitian dengan Global CMT dan GFZ

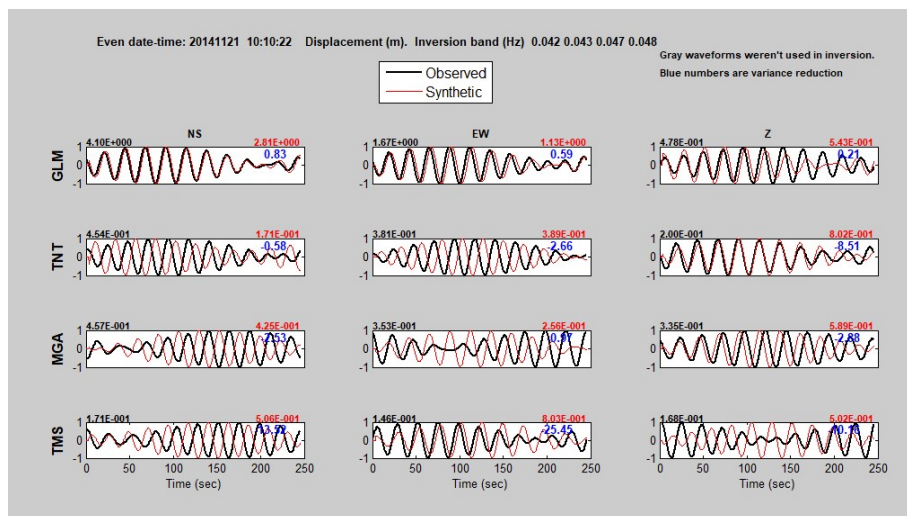
Untuk mengukur apakah hasil penelitian ini tepat atau tidak maka akan dibandingkan dengan beberapa bentuk *beach ball* dengan katalog lain, yaitu Global CMT dan GFZ. *Beach ball* hasil pengolahan data dengan *beachball* yang didapatkan dari Global CMT dan GFZ terdapat hasil yang berbeda, hasil yang berbeda tersebut pada *event* 14 pada tanggal 27-06-2013, berdasarkan hasil pengolahan data pola bidang sesar diketahui adalah *normal fault* namun *beach ball* yang didapatkan dari Global CMT dan GFZ menunjukkan bahwa pola bidang sesar adalah *strike – slip fault*, perbedaan ini diduga dikarenakan input data yang berbeda, walaupun tidak terlalu besar perbedaannya. Input data tersebut adalah input data mengenai kedalaman *centroid*, pada hasil pengolahan data yang didapat dari waveform di jaringan stasiun seismik Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG). Perbedaan pola bidang sesar hanya terdapat pada *event* 14, untuk *event* yang lainnya sama seperti hasil dari Global

CMT dan GFZ. Sehingga hasil yang didapatkan dari pengolahan data pada penelitian ini dapat dikatakan cukup akurat. Dari hasil inversi *moment tensor* pada gempabumi di Zona Tumbukan Laut Maluku, maka jenis sesar yang terjadi di Zona Tumbukan Laut Maluku adalah

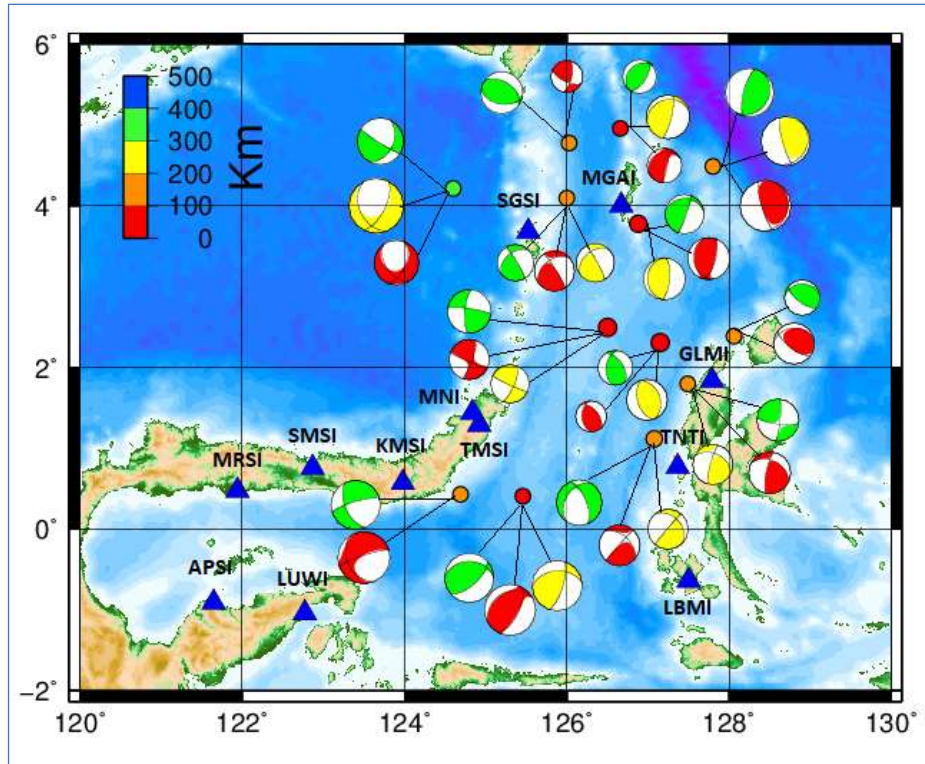
strike-slip fault, *dip-slip (normal fault dan reverse fault)* dan *Oblique-slip fault*. Sehingga pada penelitian ini di Zona Tumbukan Laut Maluku di dominasi oleh sesar naik (*reverse fault*).

Tabel 3.1 *Moment Tensor* gempabumi di Zona Tumbukan Laut Maluku Pada Tahun 2010-2017

Event	Mrr	Mtt	Mpp	Mrt	Mrp	Mtp	exp
1	7,552	-6,977	-0,575	0,464	1,479	3,081	19
2	1,180	-0,464	-0,716	0,304	0,642	-0,666	19
3	1,682	-0,196	-1,486	-0,429	-2,083	-0,710	20
4	1,630	-0,052	-1,577	0,331	-0,490	0,364	20
5	1,375	-1,441	0,066	1,084	-1,099	0,499	19
6	0,078	1,655	-1,733	1,609	1,896	6,974	19
7	1,058	-1,023	-0,035	1,187	3,857	-1,682	21
8	1,166	1,544	-2,710	-3,045	-1,188	9,281	21
9	0,379	1,327	-1,705	-1,069	1,433	-0,573	19
10	-0,803	2,296	-1,493	1,700	1,128	-2,172	22
11	-0,244	-0,951	1,195	-1,165	0,585	-0,635	20
12	1,271	0,136	-1,407	-0,555	0,101	0,397	22
13	2,201	-2,304	0,103	0,937	1,506	-1,039	20
14	-0,984	-0,326	1,309	0,644	-0,585	0,143	20



Gambar 3. Hasil *waveform fitting* dari salah satu *event* gempa yang terjadi pada 21/11/2014



Gambar 4. Perbandingan mekanisme fokus hasil penelitian dengan GCMT dan GFZ

Dalam pengolahan data dengan menggunakan ISOLA-GUI melibatkan 3 komponen seismogram sekaligus dari gelombang-P maupun gelombang-S. Metode inversi dengan menggunakan *waveform* tiga komponen memiliki keunggulan jika dibandingkan dengan menggunakan data waktu tempuh, karena dalam metode ini waktu *origin* dan kedalaman *centroid* terkait erat satu sama lain.

4. Simpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan dapat diambil kesimpulan yaitu sebagai berikut:

1. Terdapat 14 *event* gempabumi di Zona Tumbukan Laut Maluku menyatakan bahwa 1 kejadian gempabumi diakibatkan oleh adanya patahan diagonal (*Oblique - slip fault*), 1 kejadian gempabumi diakibatkan oleh adanya sesar turun (*normal fault*), 7 kejadian gempabumi diakibatkan oleh adanya sesar naik (*reverse fault*), dan 5 kejadian gempabumi diakibatkan oleh adanya sesar mendatar (*strike-slip fault*). Maka dapat disimpulkan bahwa jenis sesar yang mengakibatkan terjadinya

gempabumi di Zona Tumbukan Laut Maluku didominasi oleh sesar naik (*reverse fault*).

2. Nilai variasi reduksi bergantung pada *waveform fitting* gelombang gempabumi yang terjadi. Nilai variasi reduksi terbesar terdapat pada gempabumi dengan *event* 10 dan 12 yaitu 0,55 dan 0,6.

5. Referensi

- [1] Shearer, M. Peter. 2009. *Introduction to Seismology*. Cambridge: Cambridge University Press.
- [2] Sokos, E. & Zahradnik, J. (2008), *ISOLA a Fortran code and a Matlab GUI to perform multiple-point source inversion of seismic data*. *Computers & Geosciences* 34,967–977.
- [3] Backus, G, & Mulchy, M., 1976b. Moment tensors and other phenomenological descriptions of seismic sources-II. Discontinuous displacements, *Gheophys, J, R astr. Soc.*, 47, 301-329.
- [4] Santoso, D. 2002. *Pengantar Teknik Geofisika*, Bnadung. Penerbit ITB.

- [5] Kennet, B.L.N., Engdahl, E.R., and Buland, R., 1995. Constraint on Seismic Velocities in the Earth from Traveltimes. *Geophys. J. Int.*, Vol. 122, 108-124.
- [6] Hanks, Thomas C., Kanamori, H., "Moment magnitude scale", *Journal of Geophysical Research*, 84 (B5): 2348–2350, Retrieved 2007-10-06 (1979).
- [7] Papazachos, B.C., Scordilis, E. M., Panagiotopoulos, D. G., Papazachos, C.B., and Karakaisis, G. F., Global Relations between Seismic Fault Parameters and Moment Magnitude of Earthquakes, *Bull. Geol. Soc. Greece*, Vol. XXXVI. Proceedings of the 10 International Congress, Thessaloniki, April 2004Th, (2004).
- [8] Stein, S., Wysession, M., 2003. *An Introduction to Seismology, Earthquakes, and Earth Structure*. Oxford : Blackwell Publishing Ltd.
- [9] Masykur, M. Romli. 2011. *Analisis Inversi Waveform Tiga Komponen Untuk Menentukan Pola Bidang Sesar Gempa Bumi di Daerah Jawa Barat*. Surabaya. Tesis Jurusan Fisika FMIPA ITS Surabaya G. Battilana, V. Buscaglia, P. Nanni, and G. Aliprandi, "Effect of MgO and Fe₂O₃ on Thermal Stability of Al₂TiO₅," in *High Performance Materials in Engine Technology*, P. Vincenzini, Ed.: Techna Srl., 1995, pp. 147-154.