

## Penentuan Karakteristik Mekanisme Gempa Tahun 2018-2019 Di Nusa Tenggara Menggunakan Metode Inversi Momen Tensor

<sup>1</sup>Sri Rizki Eka Putri, <sup>2</sup>Hiden, <sup>3</sup>Suhayat Minardi

<sup>1,2,3</sup> Prodi Fisika, FMIPA, Universitas Mataram, Jl. Majapahit No. 62 Mataram, NTB, 83125

Email Korespondensi: [suhayat.minardi@unram.ac.id](mailto:suhayat.minardi@unram.ac.id)

Article Info	Abstract
<p><b>Article History</b>            Received: 15 April 2021            Revised: 11 Mei 2021            Published: 30 June 2021</p> <p><b>Keywords</b>            Focal-mechanism,            Oblique-fault,            Reverse-fault,            Tensor-moment</p>	<p><b>Determination Characteristics Of 2018-2019 Earthquake Mechanism In Nusa Tenggara Using Tensor Moment Inversion Method.</b> Nusa Tenggara is one of the areas with a high level of seismic activity in Indonesia because this area is located between the Indian Ocean plate, which moves northward and pushes the Eurasian plate. One method that is often used to determine an earthquake's epicentre is the Tensor Moment Inversion method. This study aims to determine the moment tensor magnitude of each earthquake event and determine earthquake characteristics based on the earthquake focus mechanism in Nusa Tenggara from 2018 to 2019. The earthquake with a magnitude of <math>\geq 5.7</math> SR and to find out the fault parameters, namely strike, dip, and rake using waveform data. One method that is often used to determine an earthquake's epicentre is the Tensor Moment Inversion method. The results showed that the fault planes formed were reverse faults and oblique faults. It has been calculated the moment tensor for each of the six components, namely <math>M_{xx}</math>, <math>M_{yy}</math>, <math>M_{zz}</math>, <math>M_{xy}</math>, <math>M_{yz}</math> and <math>M_{xz}</math>. From the results of the focal analysis of the 2018-2019 Nusa Tenggara earthquake mechanism, the values of the fault plane orientation parameters such as strike, dip and rake are obtained. For strikes in Nusa Tenggara on area 1, namely: <math>73^\circ</math> to <math>122^\circ</math>, Dip: <math>20^\circ</math> to <math>72^\circ</math> and Rake: <math>53^\circ</math> to <math>139^\circ</math>. While in field 2 for a strike, it is <math>232^\circ</math> to <math>280^\circ</math>, Dip <math>28^\circ</math> to <math>75^\circ</math>, Rake: <math>52^\circ</math> to <math>102^\circ</math>.</p>
Informasi Artikel	Abstrak
<p><b>Sejarah Artikel</b>            Diterima: 15 April 2021            Direvisi: 11 Mei 2021            Dipublikasi: 30 Juni 2021</p> <p><b>Kata kunci</b>            mekanisme focal, momen tensor, sesar kombinasi, sesar naik.</p>	<p>Nusa Tenggara merupakan salah satu kawasan dengan tingkat aktivitas kegempaan yang tinggi di Indonesia, karena wilayah ini terletak diantara lempeng samudra Hindia yang bergerak ke arah utara dan mendesak lempeng Eurasia. Salah satu metode yang sering digunakan untuk mengetahui mekanisme pusat gempa bumi adalah dengan metode Inversi Momen Tensor. Dalam penelitian ini bertujuan untuk menentukan besarnya momen tensor dari setiap <i>event</i> gempa dan menentukan karakteristik gempa berdasarkan mekanisme fokus gempa di Nusa Tenggara pada tahun 2018 sampai tahun 2019 dengan magnitude <math>\geq 5.7</math> SR dan mengetahui parameter sesar yaitu <i>strike</i>, <i>dip</i>, dan <i>rake</i> menggunakan data <i>waveform</i>. Salah satu metode yang sering digunakan untuk mengetahui mekanisme pusat gempa bumi adalah dengan metode Inversi Momen Tensor. Hasil penelitian menunjukkan bidang sesar yang terbentuk adalah sesar naik (<i>reverse fault</i>) dan sesar kombinasi (<i>oblique fault</i>). Telah dihitung, momen tensor masing-masing 6 komponen yaitu <math>M_{xx}</math>, <math>M_{yy}</math>, <math>M_{zz}</math>, <math>M_{xy}</math>, <math>M_{yz}</math> dan <math>M_{xz}</math>. Dari hasil analisis fokal mekanisme gempabumi Nusa Tenggara 2018-2019 diperoleh nilai parameter orientasi bidang sesar berupa <i>strike</i>, <i>dip</i> dan <i>rake</i>. Untuk <i>strike</i> di Nusa Tenggara pada bidang 1 yaitu : <math>73^\circ</math> hingga <math>122^\circ</math>, <i>Dip</i> : <math>20^\circ</math> hingga <math>72^\circ</math> dan <i>Rake</i> : <math>53^\circ</math> hingga <math>139^\circ</math>. Sedangkan pada bidang 2 untuk <i>Strike</i> yaitu : <math>232^\circ</math>. hingga <math>280^\circ</math>, <i>Dip</i> : <math>28^\circ</math>. hingga <math>75^\circ</math>, <i>Rake</i> : <math>52^\circ</math> hingga <math>102^\circ</math>.</p>
<p><b>Sitasi:</b> Putri, S.R.E., Hiden, H., &amp; Minardi, S., (2021), Penentuan Karakteristik Mekanisme Gempa Tahun 2018-2019 Di Nusa Tenggara Menggunakan Metode Inversi Momen Tensor, Kappa Journal, 5(1), 31-39</p>	

## PENDAHULUAN

Tektonik adalah ilmu yang mempelajari pergerakan dan deformasi lapisan luar bumi dalam skala besar. Dalam tektonik lempeng dijelaskan bahwa permukaan bumi dibagi ke dalam beberapa area yang luas, dimana lempeng yang tipis mengalami perubahan ukuran. Gerakan ini terjadi secara terus menerus sejak bumi tercipta hingga sekarang. Daerah sepanjang sesar umumnya merupakan daerah pusat gempa bumi karena selalu mengalami pergeseran batuan kerak bumi di sepanjang sesar [1].

Gempa bumi adalah peristiwa bergetarnya bumi akibat pelepasan energi di dalam bumi secara tiba-tiba yang ditandai dengan patahnya lapisan batuan pada kerak bumi. Akumulasi energi penyebab terjadinya gempa bumi dihasilkan dari pergerakan lempeng-lempeng tektonik. Terjadinya gempa bumi tektonik terasa pengaruhnya di permukaan bumi sampai pada radius tertentu. Luas daerah yang terkena pengaruh gempa bumi tektonik tersebut bergantung pada besarnya energi yang dilepaskan dan posisi sumber gempa bumi [2].

Gempa bumi tektonik disebabkan oleh pergeseran lempeng-lempeng tektonik. Menurut teori lempeng tektonik, kerak bumi akan terpecah-pecah menjadi bagian yang disebut lempeng bumi (*plate*). Lempeng-lempeng tersebut akan terus bergerak ke arah yang berbeda. Di dalam bumi yang masih dalam keadaan panas dan berpijar terjadi arus konveksi ke arah lapisan kulit bumi yang berada di atasnya, sehingga ketika arus konveksi yang membawa materi berupa lava sampai ke permukaan bumi di *mid oceanic ridge* (punggung tengah samudera), lava tersebut akan membeku membentuk lapisan kulit bumi yang baru menggeser dan menggantikan kulit bumi yang lebih tua. Konveksi terjadi apabila terjadi perbedaan suhu antar molekul dan pada material yang mempunyai koefisien muai panas yang cukup besar [3].

Tipe lempeng yang menjadi dasar daerah busur muka di lepas pantai Bali dan Lombok adalah lempeng benua yang telah mengalami rifting yang berubah menjadi tipe lempeng samudra di daerah Sumbawa sampai Laut Banda. Pulau Sumbawa memanjang dengan arah timur–barat dan tersayat oleh beberapa lembah yang berarah utama timur laut–barat daya dan barat laut–tenggara [4].

Geometri sesar dapat diketahui dengan menggunakan Mekanisme Fokus gempa atau Focal Mechanism. Mekanisme Fokus adalah istilah yang digunakan untuk menerangkan sifat penyaluran energi gempabumi yang berpusat pada hiposenter atau fokus gempa. Ketika gempabumi terjadi maka gelombang seismik akibat gempabumi akan terpancarkan ke segala arah berbentuk fase gelombang. Fase awal yang tercatat lebih dulu adalah gelombang-P karena memiliki kecepatan yang paling besar dibandingkan dengan gelombang lain. Arah gerakan gelombang-P pertama yang terekam oleh sesimogram inilah yang kemudian dimanfaatkan untuk mempelajari mekanisme fokus. Hal ini disebabkan karena gelombang-P yang paling jelas pembacaannya dan mudah untuk teramati. Solusi dari mekanisme fokus sumber gempa disediakan dalam penggambaran *beach ball*, dari sini kemudian diketahui karakteristik dari gempa yang terjadi berupa strike, dip dan rake, serta jenis sesar apa yang terjadi selama gempabumi dan arah gaya penyebab gempabumi. Penelitian tentang karakteristik sesar menggunakan momen tensor pernah dilakukan oleh [5, 6, 7, 8, 9]. Kenyataan sumber gempa berasal dari gerak sesar membuktikan bahwa fokus gempa bukan merupakan satu titik, melainkan satu daerah yang membentang beberapa kilometer [10].

Momen tensor digunakan untuk menggambarkan arah gaya penyebab gempa bumi, dimana model gerak sesar dan karakter sesar ini dapat diketahui dengan momen tensor [11]. Momen

tensor ini menggunakan persamaan fungsi green. Dimana komponen rekaman seismik dari sebuah titik sumber dapat diukur menggunakan persamaan sebagai berikut [12].

$$U_k(x, t) = \sum_{i=1}^6 G_{ki}(x, x_s, t) * f_i(t) \quad (1)$$

Dimana:

- $U_k$  : rekaman pergeseran pada komponen ke- $k$
- $x$  : posisi receiver/penerima (km)
- $x_s$  : posisi sumber gempa
- $G_{ki}$  : fungsi *green*, dan tanda (\*) menunjukkan konvolusi
- $f_i(t)$  : menyatakan 6 komponen momen tensor dasar independen

Dalam koordinat bola, keenam komponen momen tensor tersebut adalah [13].

$$f_1 = M_{rr}, f_2 = M_{\theta\theta}, f_3 = M_{\phi\phi}, f_4 = M_{r\theta}, f_5 = M_{r\phi}, f_6 = M_{\theta\phi} = M_{\phi\theta} \quad (2)$$

Momen tensor yang menggambarkan kekuatan dari kopel gaya dari gempa dapat ditulis sebagai berikut [11]:

$$M_{ij} = \begin{bmatrix} M_{11} & M_{12} & M_{13} \\ M_{21} & M_{22} & M_{32} \\ M_{31} & M_{23} & M_{33} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} M_{XX} & M_{YX} & M_{ZX} \\ M_{XY} & M_{YY} & M_{ZY} \\ M_{XZ} & M_{YZ} & M_{ZZ} \end{bmatrix} \quad (3)$$

Berikut persamaan yang menjelaskan hubungan momen tensor dan parameter *strike*, *dip*, dan *rake* [11]. :

$$M_{xx} = -M_o(\sin \delta \cos \lambda \sin 2\phi + \sin 2\delta \sin \lambda \sin^2 \phi) \quad (4)$$

$$M_{xy} = M_{yx} = M_o(\sin \delta \cos \lambda \sin 2\phi + \frac{1}{2} \sin 2\delta \sin \lambda \sin 2\phi) \quad (5)$$

$$M_{xz} = M_{zx} = -M_o(\cos \delta \cos \lambda \cos \phi + \cos 2\delta \sin \lambda \sin \phi) \quad (6)$$

$$M_{yy} = M_o(\sin \delta \cos \lambda \sin 2\phi - \sin 2\delta \sin \lambda \cos^2 \phi) \quad (7)$$

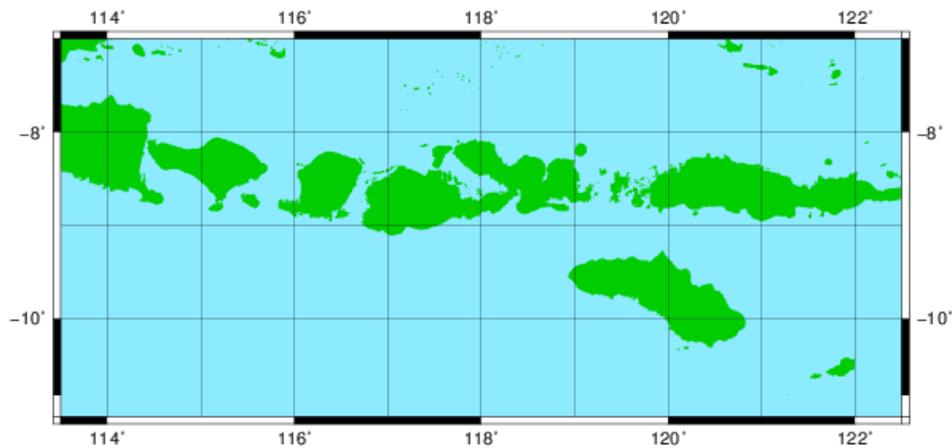
$$M_{yz} = M_{zy} = -M_o(\cos \delta \cos \lambda \sin \phi - \cos 2\delta \sin \lambda \cos \phi) \quad (8)$$

$$M_{zz} = M_o \sin 2\delta \sin \lambda \quad (9)$$

dimana  $\phi$  adalah *strike*,  $\delta$  adalah *dip*,  $\lambda$  adalah *slip*, dan ( x: utara, y: timur, z: arah ke bawah).

## METODE

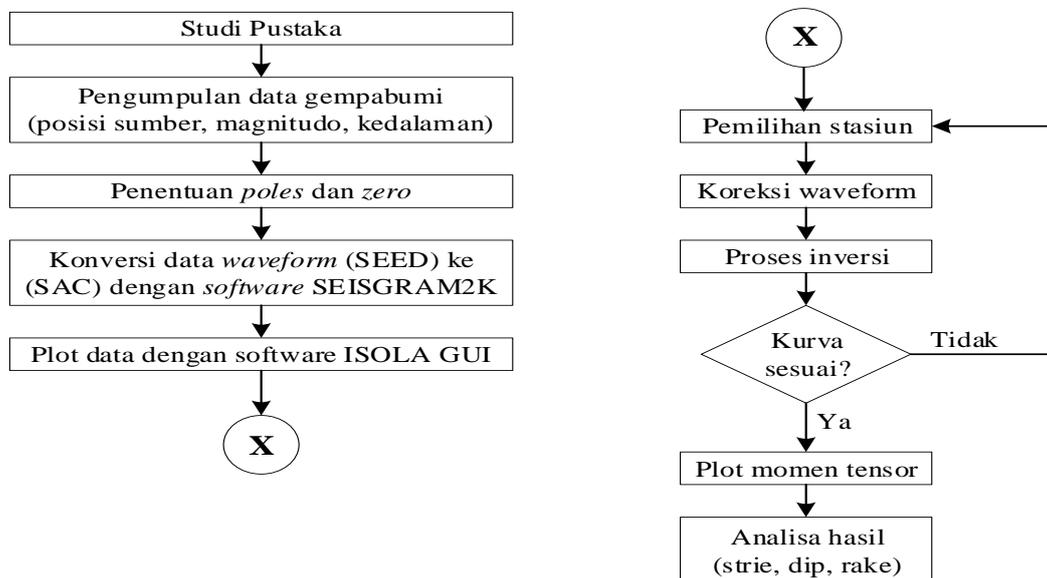
Daerah penelitian adalah Nusa Tenggara yang berada pada koordinat  $7^\circ - 14^\circ$  LS dan  $113,5^\circ - 122,5^\circ$  BT, sebagaimana diperlihatkan pada **Gambar 1**.



**Gambar 1.** Peta Lokasi Penelitian

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu satu set komputer dengan *software* yang digunakan yaitu *Software Microsoft Office Excel* untuk seleksi data, *Software Microsoft Office Word* untuk mengetik hasil, *Software GMT (Generic Mapping Tools)* untuk menampilkan peta *beach ball*, *Software ISOLA GUI* untuk mengetahui momen tensor, *Software MATLAB 2009a* untuk olah data, dan *Software Notepad* untuk input data.

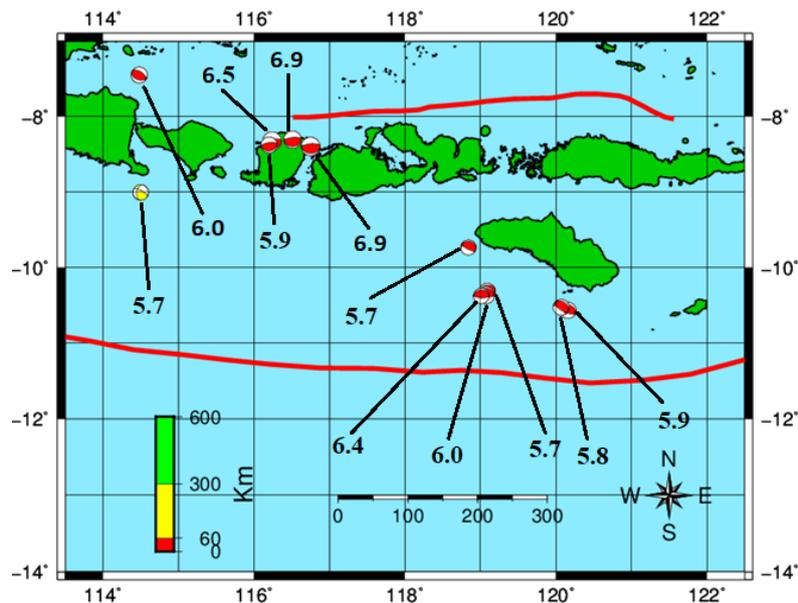
Tahapan penelitian yang dilakukan dengan mengikuti langkah sebagaimana ditampilkan pada **Gambar 2**.



**Gambar 2.** Tahapan penelitian

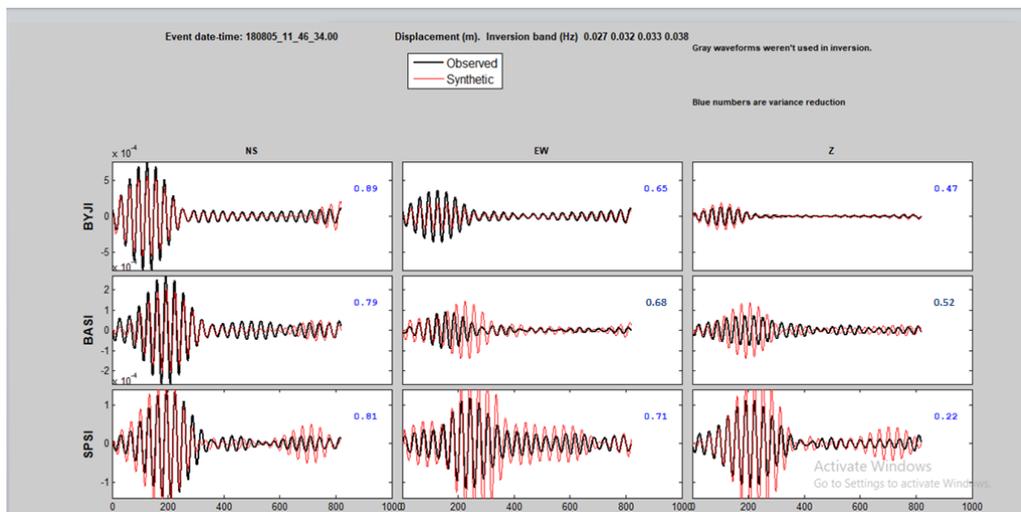
## HASIL DAN PEMBAHASAN

Distribusi gempabumi yang terjadi di Nusa Tenggara selama tahun 2018 - 2019 merupakan akibat aktivitas di zona subduksi Lempeng Indo-Australia yang menunjam di bawah Lempeng Eurasia. Di sebelah utara zona subduksi terlihat adanya cluster hiposenter dengan kedalaman dangkal. Distribusi pusat gempabumi tersebar di depan dan belakang zona penunjaman lempeng, sebagian besar terkonsentrasi di sebelah selatan, sebagaimana ditampilkan pada **Gambar 3**.



**Gambar 3.** Sebaran Bola Fokus Gempa Utama Nusa Tenggara Tahun 2018-2019

Pada hasil pengolahan data *event* gempa wilayah Nusa Tenggara menggunakan ISOLA\_GUI didapatkan hasil momen tensor dan besar dari karakteristik bidang sesar dengan hasil *fitting* kecocokan antara data observasi dengan data sintetik yang menggunakan fungsi *green* [14]. Adapun hasilnya dapat dilihat pada **gambar 4**.



**Gambar 4.** Hasil *fitting* Waveform pada *event* gempa 05/08/2018

Hasil pengolahan data yang terlihat pada gambar 4 terdapat perbandingan warna gelombang. Warna hitam adalah muka gelombang observasi (asli) dan warna merah adalah muka gelombang sintetik (data setelah diolah). Adapun warna lainnya yaitu warna biru untuk menggambarkan variasi reduksi yang berkisar dari nol sampai satu, dan warna abu-abu yang merupakan garis stasiun yang tidak digunakan dalam proses inversi. Hasil yang baik adalah ketika garis kurva observasi sama atau sejajar dengan kurva sintetiknya.

Nilai variasi reduksi bergantung terhadap filtering pada saat pemilihan frekuensi di menu inversi. jika nilai variasi reduksinya kurang dari 0.05 maka tingkat kecocokannya rendah atau kurang tepat. Hal itu terjadi karena adanya medium lapisan yang bersifat elastik atau heterogen pada saat dilewati gelombang seismik, dan juga bergantung pada model kecepatan bumi yang digunakan pada fungsi Green.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui momen tensor dari data gempa, menentukan jenis sesar serta parameter gempa yakni strike, dip dan rake. Konsep momen tensor dapat memberi deskripsi yang lengkap tentang gaya dari sumber titik seismik. Berdasarkan hal tersebut, studi ini dilakukan untuk menganalisa moment tensor gempa bumi dan pola bidang sesar wilayah Nusa Tenggara yang diperoleh dari hasil inversi moment tensor yang ditentukan oleh data seismogram. Adapun nilai solusi momen tensor pada gempa di Nusa Tenggara berdasarkan ISOLA GUI tahun 2018-2019 dirangkum dalam **Tabel 1**.

**Tabel 1** Nilai Momen Tensor

Kejadian Gempa	Mxx	Myy	Mzz	Mxy	Mxz	Myz
28/07/2018	4,098	-3,370	-0,727	-2,456	0,160	1,406
05/08/2018	1,178	-0,973	1,204	-0,849	0,013	0,348
09/08/2018	1,970	-2,569	0,599	-3,812	-0,351	-1,341
19/08/2018	1,594	-1,521	-0,073	-1,303	0,040	-0,386
19/08/2018	0,497	-1,043	0,641	-1,046	-0,403	-0,572
01/10/2018	0,468	-1,012	0,611	-1,084	-0,440	-0,563
02/10/2018	2,863	-3,451	0,587	-0,471	-2,405	-0,097
10/10/2018	0,498	-2,043	0,641	-1,046	-0,403	-0,582
21/01/2019	9,139	-8,594	-0,569	-8,215	0,772	3,542
22/01/2019	1,472	-1,551	0,079	-1,095	0,110	0,239
23/01/2019	7,128	5,818	1,310	5,748	0,547	0,448
16/07/2019	4,068	-1,340	-0,427	-2,676	0,471	1,239

Dari hasil pengolahan menggunakan program ISOLA-GUI diperoleh besar moment tensor untuk masing-masing kejadian gempabumi (tanda negatif menunjukkan arah yang berlawanan). Nilai tersebut dapat diartikan sebagai hasil dari aktivitas sesar antara dua lempeng yang saling bergerak. Data yang didapatkan mencerminkan besar dari karakteristik bidang sesar yang terdiri dari bidang lempeng dan bidang sesar. 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 sesimik yang disebabkan sesar.

Hasil momen tensor yang diperoleh pada penelitian ini diolah menggunakan fungsi *green* dan kemudian dilakukan inversi *waveform* tiga komponen (NS, EW, dan Z). Hasil momen tensor dianalisa untuk mengetahui arah gaya penyebab gempa bumi, sehingga diketahui jenis sesarnya, yang digambarkan pada bola *beachball* seperti **Table 2**.

**Tabel 2** Perbandingan Data ISOLA, Global CMT, dan GFZ

Tanggal kejadian	<i>Beach ball menurut Agency</i>			Jenis sesar
	GCMT	ISOLA	GFZ	
28/07/2018				Sesar naik ( <i>reverse fault</i> )
05/08/2018				Sesar naik ( <i>reverse fault</i> )
09/08/2018				Sesar naik ( <i>reverse fault</i> )

**Tabel 2. Lanjutan**

19/08/2018				Sesar naik ( <i>reverse fault</i> )
19/08/2018				Sesar naik ( <i>reverse fault</i> )
01/10/2018				Sesar kombinasi ( <i>Oblique fault</i> )
2/10/2018				Sesar kombinasi ( <i>Oblique fault</i> )
10/10/2018				Sesar naik ( <i>reverse fault</i> )
22/01/2019				Sesar naik ( <i>reverse fault</i> )
23/01/2019				Sesar naik ( <i>reverse fault</i> )
16/07/2019				Sesar kombinasi ( <i>Oblique fault</i> )

Berdasarkan hasil tabel 2 didapatkan hasil perbandingan antara data yang diolah pada program ISOLA-GUI dan hasil pengolahan, penggambaran *beach ball* pada program Global CMT, serta dari GFZ, didapatkan hasil jenis sesar yang terjadi pada event gempa lokal di daerah Nusa Tenggara adalah jenis sesar naik (*reverse fault*) dan sesar kombinasi (*oblique fault*). Kondisi tersebut dipengaruhi oleh kondisi regional geologi Nusa Tenggara. Hasil pengolahan menggunakan ISOLA-GUI dan hasil Global CMT, serta dari GFZ memiliki perbedaan yang tidak terlalu banyak, sehingga bisa dikatakan hasil pengolahan pada penelitian ini cukup akurat.

Adapun hasil yang didapatkan dari sesar di Nusa Tenggara dengan pengolahan data menggunakan ISOLA-GUI dapat diketahui bahwa jenis sesar yang terjadi pada *event* gempa, memiliki parameter *event* gempa sebagai berikut :

**Tabel 3.** Perbandingan Nilai Karakteristik Gempa di Nusa Tenggara pada ISOLA dan GFZ

<i>Event</i>	<i>Strike/dip/rake</i> (°) pada			
	ISOLA-GUI		GFZ	
	Bidang 1	Bidang 2	Bidang 1	Bidang 2
28/07/2018	055/032/069	260/060/103	091/014/099	262/076/088
05/08/2018	080/028/079	263/067/090	079/022/080	270/068/094
09/08/2018	046/020/053	265/074/102	081/020/092	259/070/089
19/08/2018	102/027/093	266/065/099	107/031/100	276/059/084
19/08/2018	109/024/139	237/074/071	093/023/094	269/067/088
01/10/2018	106/022/136	239/075/074	130/055/114	272/042/060
02/10/2018	115/048/135	239/058/052	144/065/112	281/033/052
10/10/2018	109/024/139	237/074/071	108/042/078	304/049/101

21/01/2019	122/026/109	280/066/081	090/069/096	253/022/074
------------	-------------	-------------	-------------	-------------

**Tabel 3. Lanjutan**

22/01/2019	073/028/074	270/063/098	084/067/091	263/023/088
23/01/2019	092/072/120	234/028/070	096/069/103	244/024/060
16/07/2019	155/035/128	280/055/057	165/038/134	294/064/062

Nilai *strike* adalah nilai sudut yang terbentuk antara bidang horizontal dengan bidang sesar, sudut *dip* adalah kemiringan yang terbentuk dari perpotongan bidang sesar dengan bidang datar yang arahnya tegak lurus dengan arah *strike*, dan *rake* adalah sudut pergerakan bidang yang mengacu pada *strike*. *Strike*, *dip* dan *rake* adalah gambaran dari arah pergerakan slip.

### KESIMPULAN (12pt)

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan nilai momen tensor masing-masing komponen yaitu  $M_{xx}$  sebesar (0.497 hingga 4.098),  $M_{yy}$  (-8.594 hingga 5.818),  $M_{zz}$  (-0.727 hingga 1.310),  $M_{xy}$  (-0.572 hingga 3.542),  $M_{xz}$  (-8.215 hingga 5.748),  $M_{yz}$  (-2.405 hingga 0.547). Sedangkan pola bidang sesar gempa yang terjadi di wilayah Nusa Tenggara adalah sesar naik (*Reverse fault*) dan sesar kombinasi (*Oblique Fault*).

### SARAN

Penelitian lebih lanjut adalah mengenai penentuan momen tensor dan pola bidang sesar dari mekanisme fokus terutama dalam hal proses perhitungan Fungsi *Green*, inversi dan proses *filtering*. Sehingga didapatkan hasil yang lebih bagus dalam *fitting* kurva *displacement* dan mendapatkan hasil solusi *variasi Reduction* lebih bagus.

### UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih diucapkan kepada Kepala Stasiun Geofisika Kelas III Mataram, Ardhianto Septiadhi, S.Si., yang telah memberikan kesempatan penulis untuk belajar tentang analisis mekanisme fokus gempa dan kepada Bapak Ricko Kardoso, S.Tr., atas segala bimbingan dan berbagi ilmunya selama penulis melaksanakan PKL. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada semua pihak yang membantu pelaksanaan penelitian ini.

### DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Sugeng. 2010. Ilmu Batu Geologi. <https://ilmubatugeologi.blogspot.com/2005/04/pengertian-dari-divergen-konvergen.html> (diakses pada bulan april, 2015).
- [2]. Sianturi, H. L. 2005. Bahan Ajar Seismologi. Kupang: Universitas Nusa Cendana.
- [3]. Widodo, Pawirodikromo. 2012. Seismologi Teknik & Rekayasa Kegempaan. Yogyakarta; Pustaka Pelajar.
- [4]. Demets, C.C., R.G., Argus, D.f., and Stein, S. 1994. Effect of recent revisions to the geomagnetic reversal time scale on estimate of current plate motions.
- [5]. Munir, Badrul. 2015. Penggunaan Data Gempa dan Data Geologi Untuk Menganalisa Pola-Pola Sesar di Daratan Pulau Sumatra. Skripsi. Jurusan Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam egeri Maulana Malik Ibrahim Malang
- [6]. Rusmilawati, Depi., dkk. 2019. Studi Mekanisme Sumber Gempabumi di Wilayah Kalimantan Berdasarkan Gerak Awal Gelombang P. Jurnal Geosains Kutai Basin. Program Studi Fisika, Fakultas MIPA, Universitas Mulawarman. Vol 2, No 2.

- [7]. Qadriyah, A.V.H. Simanjuntak. 2018. Analisis mechanism fokal menggunakan inversi waveform, studi kasus gempa bumi Pide jaya 7 Desember 2016. Program study Teknik Geofisika, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala. Vol 7 .No3
- [8]. Umar, Emi Prasetyawati., Hasbi Bakri, Muh. Karnaen. 2016. Mekanisme Sumber Gempabumi (Focal Mechanism) Manokwari. Jurnal Geomine. Jurusan Teknik Pertambangan Universitas Muslim Indonesia. Vol. 04.No. 1.
- [9]. Setyowidodo, I., dan Santosa. 2009. ITS Surabaya. Analisis Seismogram Tiga Komponen terhadap Momen Tensor Gempa Bumi di Manokwari, pp. 1-15.
- [10]. Abdullah, Chalid Idham. 2006. Geologi Fisik. ITB : Bandung
- [11]. Zahradnik, J., dan Sokos. 2008, ISOLA a Fortran Code and a Matlab GUI to Perform Multiple-Point Source Inversion of Seismic Data. Computers & Geosciences 34, 967–977.
- [12]. Djauhari, Noor. 2012. Pengantar Geologi. Bogor : Universitas Pakuan.
- [13]. Alamsyah, M, F. 2017. “Estimasi Momen Tensor dan Pola Bidang Sesar Amerika Serikat Pada Tahun 2016-2017 dengan Inversi Waveform Tiga Komponen dengan Program Isola”. Jurnal Fisika, Institut Teknologi 10 November.
- [14]. Pratama, Hardiansyah., dan Bagus Jaya Santosa. 2018. Analisa Momen Tensor dan Mekanisme Pusat Gempa Bumi Wilayah Maluku Utara Sepanjang Tahun 2016 dengan Magnitude  $\geq 5$  SR Memanfaatkan Program ISOLA-GUI. Jurnal Sains dan Seni ITS. Departement Fisika, Fakultas Ilmu Alam, Institut Teknologi Sepuluh November (ITS). Vol. 7.No. 1.