

ANALISIS CENTROID MOMENT TENSOR (CMT) GEMPA BUMI DI SELAT SUNDA PADA 22 DESEMBER 2018 SEBELUM TSUNAMI BANTEN

¹⁾Adinda Nur Syafitri, ²⁾Supardiyono

¹⁾Program Studi Fisika, FMIPA, Universitas Negeri Surabaya, email: adindasyafitri16030224016@mhs.unesa.ac.id

²⁾Program Studi Fisika, FMIPA, Universitas Negeri Surabaya, email: supardiyono@unesa.ac.id

ABSTRAK

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk menganalisis penyebab gempa di wilayah Selat Sunda dan menganalisis hasil estimasi *Centroid Moment tensor* (CMT) dengan menggunakan metode inversi *waveform* tiga komponen yang di implementasikan kedalam *software* MTINV. Wilayah penelitian yang digunakan adalah wilayah Selat Sunda, hal ini karena wilayah Selat Sunda memiliki tingkat seismik yang tinggi. Data yang digunakan pada penelitian ini yaitu dua data sekunder pada tanggal 22 Desember 2018 dan pada tanggal 13 Februari 2019 yang memiliki magnitudo sama yaitu 5.1 SR, data penelitian diunduh pada laman WEBDC3 at BMKG. Estimasi CMT menghasilkan momen seismik (M_0), magnitudo momen (M_w), *latitude*, *longitude*, kedalaman *centroid*, dan orientasi bidang sesar yang meliputi *strike*, *dip*, dan *rake*. Estimasi CMT juga memberikan informasi mengenai penyebab terjadinya gempa dengan mengetahui persentase DC, CLVD, dan ISO. Hasil dari kedua data tersebut masing-masing memiliki nilai DC yang lebih dominan daripada nilai CLVD, hal ini menunjukkan bahwa *event* gempa bumi di wilayah Selat Sunda tersebut dikarenakan oleh aktivitas tektonik.

Kata Kunci : *Centroid Moment Tensor*, inversi *waveform* tiga komponen, *software* MTINV

ABSTRACT

The purpose of this study is to analyze the causes of earthquakes in the Sunda Strait region and analyze the results of the Centroid Moment Tensor (CMT) estimation by using the three component waveform inversion method which was implemented into MTINV software. The study area used is the Sunda Strait region, because the Sunda Strait region has a high seismic level. The data used in this study are two secondary data on 22 Desember 2018 and 13 Februari 2019 which have the same magnitude of 5.1 SR, the research data is downloaded on the WEBDC3 at BMKG website. CMT estimation produces seismic moments (M_0), moment magnitude (M_w), *latitude*, *longitude*, *centroid* depth, and fault plane orientation which includes *strike*, *dip*, *rake*. CMT estimates also provide information about the causes of earthquakes by knowing the percentage of DC, CLVD, and ISO. The result of the two data each have a DC value that is more dominant than the CLVD value, this shows that the earthquake event in the Sunda Strait region is caused by tectonic activity.

Keywords: Centroid Moment Tensor, three component waveform inversion, software MTINV

PENDAHULUAN

Indonesia berada pada pertemuan tiga lempeng yakni lempeng Pasifik, lempeng Eurasia, dan lempeng Indo-Australia yang membentuk jalur gempa dan jalur vulkanisme yang memberikan dampak yang sangat besar pada penyebaran gempa bumi di Indonesia (Hidayat & Santoso, 1997). Wilayah yang sangat aktif dalam hal kegempaan dan vulkanisme salah satunya pada wilayah Selat Sunda (Huchon & Pichon, 1884). Pada wilayah Selat Sunda membentuk busur kepulauan yang mempunyai karakteristik diantaranya adanya palung samudra, busur non gunung api, dan cekungan busur belakang. Hal tersebut dikarenakan wilayah Selat Sunda berada pertemuan lempeng Eurasia dengan lempeng Indo-Australia (Halminton, 1979).

Selat Sunda berada diantara Pulau Jawa dan Pulau Sumatra. Akibat adanya perubahan arah dan kecepatan subduksi lempeng Indo-Australia dengan lempeng Eurasia, maka Selat Sunda disebut sebagai suatu zona transisi. Pola tumbukan yang terjadi yaitu pola tumbukan normal terhadap Jawa membentuk Trech Jawa dan pola tumbukan oblique terhadap Sumatra yang membentuk Trech Sumatra. Akibat pola tumbukan ini terjadi fenomena geologi salah satunya berkembangnya sistem sesar Semangko dan sesar Mentawai (Hamilton, 1979). Sehingga membuat wilayah Selat Sunda menjadi wilayah dengan keaktifan tingkat kegempaan yang tinggi.

Pada penelitian ini menggunakan solusi *Centroid Moment Tensor* (CMT) dimana solusi ini bertujuan untuk pengestimasi parameter sumber gempa yang menggunakan metode inversi *waveform* tiga komponen, hal ini dikarenakan gelombang sesismik dapat

menjalar pada ruang tiga dimensi atau dapat menjalar dari sumber ke stasiun pengamatan (Dahm and Kruger, 2014). Solusi CMT ini meliputi 9 komponen momen tensor (hanya 6 komponen momen tensor yang ditampilkan karena tiga komponen momen tensor diantaranya simetri). Komponen-komponen momen tensor tersebut adalah momen seismik scalar (M_0), magnitude momen (M_w), *latitude*, *longitude*, kedalaman *centroid*, dan orientasi nodal sesar (Nodal Plane/NP). Nodal Plane (NP) meliputi sudut *strike*, *dip*, dan *rake* (Madlazim & Prastowo, 2018). Pada solusi CMT juga terdapat Isometric (ISO), Double-Couple (DC), Compensated Linear Vector Dipole (CLVD), Variance Reduction (VR) yang memberikan informasi tentang penyebab terjadinya gempa bumi.

Penggunaan solusi CMT sebagai monitor aktivitas gempa tektonik ini masih jarang digunakan termasuk di Indonesia. Sehingga masih banyak keraguan dalam menginformasikan apakah gempa yang terjadi disebabkan oleh aktivitas vulkanik atau aktivitas tektonik kepada masyarakat. Sebagai contoh gempa bumi yang solusi CMT-nya belum ditentukan oleh global CMT adalah gempa bumi di Selat Sunda. Centroid Moment Tensor (CMT) merupakan upaya estimasi yang digunakan untuk memahami struktur dan dinamika dalam bumi serta mekanisme gempa. Penelitian tentang estimasi *Centroid Moment Tensor* (CMT) ini perlu dilakukan karena pihak BMKG belum menginformasikan kepada masyarakat dan tingkat ketelitian penentuan gempa bumi bergantung pada karakteristik model struktur kecepatan gelombang yang digunakan (Madlazim, 2016), belum ada instrument yang mampu mendeteksi secara langsung parameter-parameter sumber gempa, dan lembaga-lembaga seismologi seperti GFZ dan Global CMT memang sudah mempunyai CMT gempa-gempa yang magnitudonya 5 keatas, tetapi tidak semua parameter gempa tersebut diumumkan seperti presentase DC, ISO, CLVD. Solusi Centroid Moment Tensor (CMT) ini juga mampu mengidentifikasi penyebab terjadinya gempa apakah diakibatkan oleh aktivitas tektonik, aktivitas vulkanik, longsoran, atau buatan seperti ledakan nuklir.

Oleh karena itu pada penelitian ini menggunakan solusi CMT untuk mengetahui penyebab gempa yang terjadi di Selat Sunda dengan menggunakan *software* MTINV. Hasil yang akan diperoleh diharapkan dapat memberikan informasi yang akurat tentang penyebab gempa di Selat Sunda.

METODE

Penelitian yang dilakukan adalah penelitian berbasis komputasi. Penelitian ini menggunakan dua data sekunder dari BMKG yang dapat diakses melalui laman

BMKG yaitu <http://202.90.198.100/webdc3/3> secara gratis. Dua data sekunder yang digunakan data *event* gempa dengan magnitudo 5 SR yang terjadi pada tanggal 22 Desember 2018 pukul 20:55:48 GMT dengan magnitudo 5.1 SR, *latitude* -6.15, *longitude* 105.44, kedalaman 10 km, gempa ini terjadi sebelum adanya tsunami Banten. Tsunami banten terjadi pada pukul 21:03:00 GMT. Selanjutnya data *event* gempa dengan magnitudo 5 SR yang terjadi pada tanggal 13 Februari 2019 pukul 06:41:54 GMT dengan magnitudo 5.1 SR, *latitude* -6.75, *longitude* 105.78, kedalaman 10 km.

Penelitian ini menggunakan dua data stasiun yang berbeda untuk dapat membandingkan hasil CMT dari masing-masing stasiun. Agar mengetahui karakteristik gempa bumi yang dapat ditentukan dengan menggunakan solusi *Centroid Moment Tensor* (CMT). Solusi CMT didapat dari analisis data gempa bumi yang berupa gelombang seismik dengan menggunakan *waveform* tiga komponen yang terekam oleh jaringan IA. Data gelombang seismik diolah menggunakan *software* MTINV. Kemudian menginput stasiun seismik dan model kecepatan yang telah di download pada katalog WEBDC3 at BMKG kedalam MKGLIB. Selanjutnya proses inversi dengan menggunakan perhitungan fungsi *Green* yang bertujuan untuk menghitung *waveform* sintetik dan *waveform* yang sudah diukur oleh stasiun. Tahap selanjutnya yaitu memasukkan output dari MKGLIB kedalam proses GLIB2INV, proses ini merupakan tahapan selanjutnya dari proses perhitungan dengan fungsi *Green*. Output dari GLIB2INV yaitu *ginv*. Proses yang ketiga yaitu SACDATA2INV dilakukan dengan pembacaan data SAC yang di ekstrak dari file SEED dan SAC pole-zero response file. Setelah melewati ketiga proses tersebut maka akan didapatkan *mtinv.par* dan dilanjutkan ke proses MTINV dan menghasilkan output berupa hasil teks, file dan GMT dalam bentuk *beachball* yang digunakan untuk mengetahui tipe sesar yang menyebabkan gempa bumi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

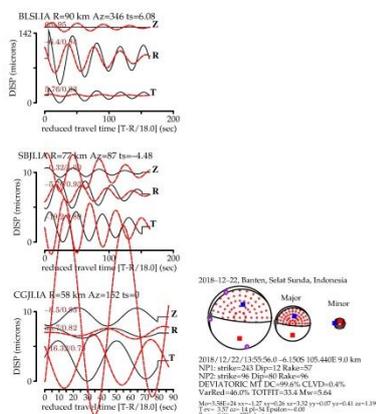
Gempa tanggal 22 Desember 2018



Gambar 1. Gambar plot stasiun melalui WEB3DC at BMKG gempa pada tanggal 22 Desember 2018.

**Analisis Centroid Moment Tensor (CMT) Gempa Bumi Yang Terjadi
Pada 22 Desember 2018 Sebelum Tsunami Banten**

Gempa pada tanggal 22 Desember 2018 dengan magnitudo sebesar 5.1 SR direkam oleh beberapa stasiun seismik posisi sumber gempa mendekati 4 kuadran, tetapi pada *event* gempa stasiun yang terbaca hanya 3 stasiun saja dan mendekati 3 kuadran. Stasiun yang digunakan sebagai data *event* yaitu BLSI, SBJI, CGJI. Hal ini dikarenakan sedikitnya stasiun pada event gempa tersebut dan banyak stasiun yang tidak dapat merekam event gempa sehingga hasil yang dii dapatkan tidak sesuai dengan teori yang ada.

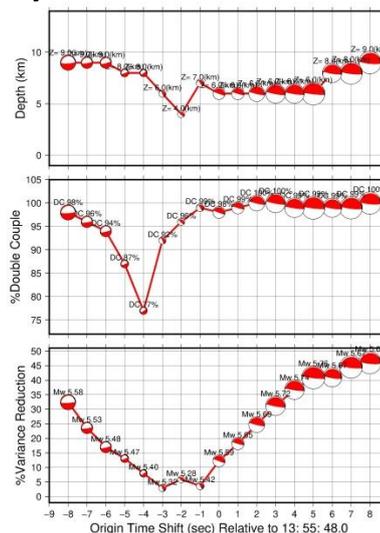


Gambar 2. Grafik hasil inversi *fitting waveform* tiga komponen.

Gambar 2 merupakan hasil gambaran dari *fitting gelombang* antara *waveform* sintetik dengan *waveform* yang sudah terukur oleh stasiun. Setiap stasiun seismik memiliki tiga komponen lokal yang teramati. Komponen-komponen lokal tersebut yaitu komponen T (komponen tangensial), komponen R (komponen radial), dan komponen Z (komponen vertikal). Gelombang yang berwarna hitam merupakan hasil gelombang yang diperoleh dari proses pengamatan, sedangkan gelombang yang berwarna merah merupakan hasil gelombang yang diperoleh dari proses perhitungan. Pada penelitian ini menggunakan input kedalaman 1 km sampai 10 km dengan kenaikan sebesar 1 km. Pada gambar 2 menyatakan nilai *Variance Reduction* (VR) didapatkan hasil sebesar 46% dengan magnitudo sebesar 5.6 Mw dengan hasil komponen DC sebesar 99.6% sedangkan komponen CLVD sebesar 0.4% dan kedalaman *centroid* sebesar 9 km. Pada gambar 2 diperoleh grafik yang tidak relevan antara *waveform* sintetik dengan *waveform* yang sudah diukur oleh stasiun. Hasil tersebut dikarenakan terbatasnya stasiun yang terdapat di wilayah *event* gempa dan beberapa stasiun tidak dapat merekam *event* gempasehingga diperoleh hasil yang tidak relevan.

Gambar 3 merupakan grafik *cross correlation* hasil yang diperoleh dari perbandingan antara nilai VR dan nilai DC. Dari gambar 3 didapatkan hasil perbandingan nilai VR sebesar 46% dan nilai DC sebesar 99.6% dengan kedalaman *centroid* sebesar 9 km. Gambar 4 merupakan peta *beachball* pada *software* MTINV. Pada gambar tersebut distribusi stasiun seismik kurang dari 4 kuadran, hal ini dapat terjadi karena stasiun yang berada

di event gempa kebanyakan menghasilkan bentuk gelombang yang tidak baik sehingga diperoleh nilai VR yang rendah yaitu <50%.



Gambar 3. Grafik persentase *cross correlation* antara VR, DC, dan kedalaman pada gempa tanggal 22 Desember 2018..



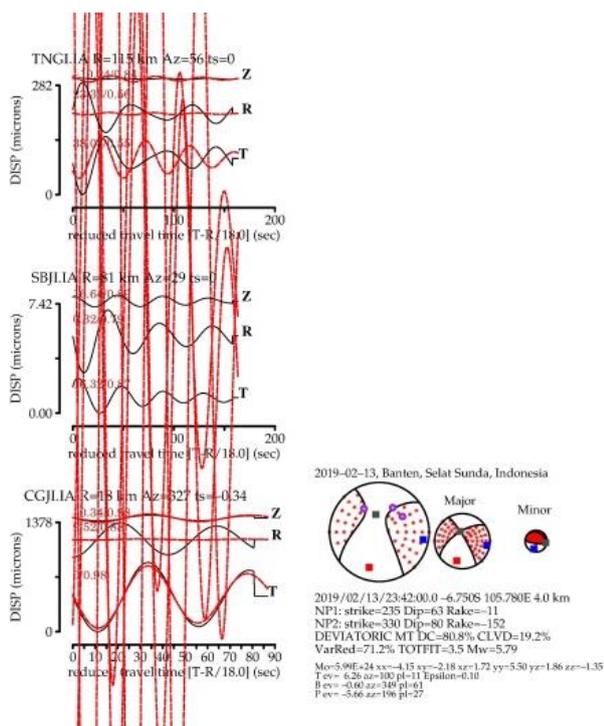
Gambar 4. Peta *beachball* solusi MTINV pada gempa tanggal 22 Desember 2018.

Gempa tanggal 13 Februari 2019



Gambar 5. Gambar plot stasiun melalui WEB3DC at BMKG gempa pada tanggal 13 Februari 2019.

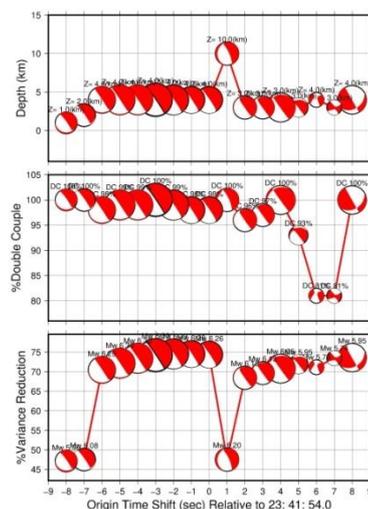
Gempa pada tanggal 13 Februari 2019 dengan magnitudo sebesar 5.1 SR direkam oleh beberapa stasiun seismik posisi sumber gempa mendekati 4 kuadran, tetapi pada *event* gempa stasiun yang terbaca hanya 3 stasiun saja dan mendekati 3 kuadran. Stasiun yang digunakan sebagai data *event* yaitu TNGI, SBJI, CGJI.



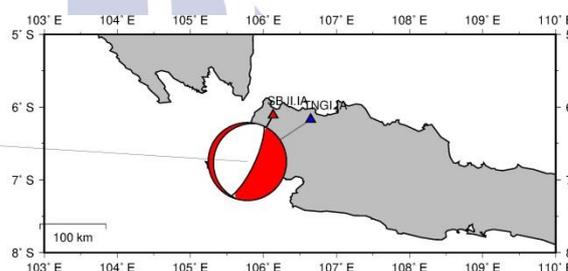
Gambar 6. Grafik hasil inversi *fitting waveform* tiga komponen.

Pada penelitian yang kedua ini juga menggunakan input kedalaman 1 km sampai 10 km dengan kenaikan sebesar 1 km. Pada gambar 6 menyatakan nilai *Variance Reduction* (VR) didapatkan hasil sebesar 71.2% dengan magnitudo sebesar 5.7 Mw dengan hasil komponen DC sebesar 80.8 % sedangkan komponen CLVD sebesar 19.2 % dan kedalaman *centroid* sebesar 4 km. Pada gambar 6 diperoleh grafik yang tidak relevan antara *waveform* sintetik dengan *waveform* yang sudah diukur oleh stasiun. Hasil tersebut dikarenakan terbatasnya stasiun yang terdapat di wilayah *event* gempa dan beberapa stasiun tidak dapat merekam *event* gempa sehingga diperoleh hasil yang tidak relevan.

Gambar 7 merupakan grafik *cross correlation* hasil yang diperoleh dari perbandingan antara nilai VR dan nilai DC. Dari gambar 7 didapatkan hasil perbandingan nilai VR sebesar 71.2% dan nilai DC sebesar 80.8% dengan kedalaman *centroid* sebesar 4 km. Gambar 8 merupakan peta *beachball* pada *software* MTINV. Pada gambar tersebut distribusi stasiun seismik juga kurang dari 4 kuadran tapi memiliki nilai VR yang tinggi, hal ini dikarenakan pada pemilihan stasiun menghasilkan data yang baik dan akurat sehingga menghasilkan nilai VR yang tinggi.



Gambar 7. Grafik persentase *cross correlation* antara *Variance Reduction*, *Doublee Couple*, dan kedalaman pada gempa tanggal 13 Februari 2019.



Gambar 8. Peta *beachball* dari *software* MTINV pada gempa tanggal 22 Desember 2018..

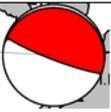
Pembahasan

Penelitian ini fokus membahas tentang estimasi *Centroid Moment Tensor* (CMT) di Selat Sunda menggunakan *software* MTINV. Metode yang digunakan adalah metode inversi *waveform* pada fungsi *Green* yang dihitung menggunakan integrasi frekuensi gelombang untuk model kecepatan 1D agar diperoleh *fitting* gelombang yang baik. Hasil CMT digambarkan dalam bentuk *beachball* yang merupakan patahan akibat gempa (Zahradnik et al., 2008). Solusi CMT dari hasil *software* MTINV berupa MT deviatorik, dimana hanya menampilkan komponen DC dan CLVD saja tanpa menampilkan komponen ISO. Solusi CMT juga dipilih nilai yang mempunyai *Variance Reduction* (VR) lebih dari 50%, dimana nilai VR lebih dari 50% maka *waveform* sintetik dengan *waveform* yang terukur menghasilkan gelombang yang tumpang tindih.

Pada penelitian ini dilakukan perbandingan antara hasil dari *software* MTINV dengan hasil Global CMT untuk memperkuat solusi CMT yang dihasilkan oleh *software* MTINV. Hasil dari Global CMT diperoleh dengan mengolah data menggunakan data teleseismik dan dengan model kecepatan global. Sedangkan hasil *software* MTINV diperoleh dari data gempa bumi lokal yang diolah menggunakan metode inversi *waveform* dan model kecepatan 1D.

**Analisis Centroid Moment Tensor (CMT) Gempa Bumi Yang Terjadi
Pada 22 Desember 2018 Sebelum Tsunami Banten**

Tabel 1. Data gempa bumi 22 Desember 2018 berdasarkan *software* MTINV.

| Lintang | Bujur | Kedalaman (Km) | Magnitudo (Mw) | Beachball |
|---------|------------|----------------|----------------|---|
| -6.15 | 105.44 | 9 | 5.6 |  |
| NP1 | Strike 243 | Dip 12 | Rake 57 | |
| NP2 | Strike 96 | Dip 80 | Rake 96 | |

Tabel 2. Data gempa bumi 22 Desember 2018 berdasarkan Global CMT.

| Lintang | Bujur | Kedalaman (Km) | Magnitudo (Mw) | Beachball |
|---------|------------|----------------|----------------|---|
| -6.43 | 104.84 | 10 | 5.5 |  |
| NP1 | Strike 259 | Dip 3 | Rake 35 | |
| NP2 | Strike 133 | Dip 88 | Rake 93 | |

Pada tabel 1 dan tabel 2 dihasilkan nilai origine time dan kedalaman yang berbeda. Perbedaan tersebut dikarenakan dalam pengolahan data. Hasil dari Global CMT dari data teleseismik dan model kecepatan global. Sedangkan hasil *software* MTINV dari perhitungan metode inversi *waveform* dan kecepatan 1D. Pada kedua tabel diatas hasil gambar *beachball* mendekati sama antara hasil dari *software* MTINV dengan Global CMT yaitu tipe *reverse*.

Tabel 3. Data gempa bumi 13 Februari 2019 berdasarkan *software* MTINV.

| Lintang | Bujur | Kedalaman (Km) | Magnitudo (Mw) | Beachball |
|---------|------------|----------------|----------------|---|
| -6.75 | 105.78 | 4 | 5.7 |  |
| NP1 | Strike 235 | Dip 63 | Rake -11 | |
| NP2 | Strike 330 | Dip 80 | Rake -152 | |

Tabel 4. Data gempa bumi 13 Februari 2019 berdasarkan Global CMT.

| Lintang | Bujur | Kedalaman (Km) | Magnitudo (Mw) | Beachball |
|---------|------------|----------------|----------------|---|
| -7.03 | 105.82 | 10 | 4.9 |  |
| NP1 | Strike 268 | Dip 47 | Rake -27 | |
| NP2 | Strike 16 | Dip 71 | Rake -134 | |

Pada tabel 3 dan tabel 4 dihasilkan pula nilai origine time dan kedalaman yang berbeda. Perbedaan tersebut juga dikarenakan dalam pengolahan data. Pada kedua tabel diatas hasil gambar *beachball* mendekati sama antara hasil dari *software* MTINV dengan Global CMT yaitu tipe sesar *oblique reverse*.

PENUTUP

Simpulan

Setelah dilakukan proses analisa data, maka berdasarkan rumusan masalah pada penelitian ini dapat disimpulkan bahwa:

- 1) Gempa pada tanggal 22 Desember 2018 didapatkan hasil tipe sesar *reverse* sedangkan gempa pada tanggal

13 Februari 2019 didapatkan hasil tipe sesar *oblique reverse*.

- 2) Gempa pada tanggal 22 Desember 2018 didapatkan hasil nilai DC sebesar 99.6% dan nilai CLVD sebesar 0.4%. Gempa pada tanggal 13 Februari 2019 didapatkan hasil nilai DC sebesar 80.8% dan nilai CLVD sebesar 19.2%. Maka kedua gempa tersebut terjadi dikarenakan aktifitas tektonik.
- 3) Hasil yang diperoleh tidak sesuai dengan teori yang ada. Hal ini di karena pada data tersebut tidak memenuhi syarat agar bisa di masukkan ke dalam *software* MTINV, salah satunya yaitu pada gambar 1 posisi gempa dikelilingi oleh 4 stasiun kuadran namun posisi stasiun terlalu jauh sehingga banyak stasiun yang tidak dapat merekam data pada event gempa tersebut. Sedangkan pada gambar 5 event gempa berada tidak pada 4 stasiun kuadran sehingga hasil yang di peroleh tidak sesuai dengan teori yang ada.

Saran

Pada penelitian ini memiliki banyak kendala yaitu pada *event* gempa terdapat stasiun yang sedikit untuk merekam kejadian gempa sehingga hasil data tidak sesuai dengan apa yang diharapkan, distribusi stasiun tidak merata atau tidak mendekati 4 kuadran. Dan terbatasnya pengambilan data melalui WEBDC3 at BMKG karena sudah tidak bisa diakses secara gratis. Saran untuk penelitian selanjutnya agar diperoleh hasil yang sesuai yaitu dengan memilih event gempa yang dikelilingi stasiun yang mencakup 4 kuadran.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Allah SWT yang sudah memberikan nikmat dan serta kesehatan sehingga penulis dapat menyelesaikan artikel ilmiah ini.
2. Drs. Supardiyono, M.Si selaku dosen pembimbing yang sudah sabar dalam membimbing penulis sehingga dapat menyelesaikan artikel ilmiah ini.
3. Prof. Dr. Madlazim, M.Si selaku penguji 1 dan selaku Dekan FMIPA yang telah banyak memberikan masukan dan saran.
4. Prof. Dr. Munasir, M.Si selaku penguji 2 dan selaku Kajar Fisika yang juga sudah banyak memberikan masukan dan saran.
5. Orang tua, keluarga, dan saudara-saudara yang sudah memberikan semangat sehingga penulis dapat menyelesaikan artikel ilmiah.
6. Teman-teman yang sudah banyak membantu dalam proses penyusunan artikel ilmiah.

DAFTAR PUSTAKA

- Dahm, T. and Kruger, F. 2014. *Moment Tensor Inversion and Moment Tensor Interpretation*. In Bormann, P. (ur.) ,pp. 1-34. doi:10.2312/GFZ.NMSOP-2.
- Halminton , W. B. (1979). *Tectonic of the Indonesian Region* . *Untited State Geologycaly Survey* .
- Hidayat, N., & Santoso, E.W. (1997). Gempa Bumi dan Mekanismenya. *Jurnal Alami*, 2(3), 50-52.
- Huchon, P., Pichon, X. Le. (1984). Sunda Strait and Central Sumatra Fault. *Junal Geology*.
- Madlazim. (2016). *Buku Fisika Seri Seismologi*. Surabaya:Unipress UNESA.
- Madlazim , Prastowo , T., Supardiyono , & Hardy , T. (2018). *Determinantio of source parameters of the 2017 Mount Agung Volcanic earthquake from moment-tensor inversion method using local broadband seismic waveforms* . *Journal of Physics : Conference Series* , 997(1) <http://doi.org/10.1088/1742-6596/997/1/012001> .
- WebDc3. (n. d). No Title. Retrieved from <http://202.90.198.100/webdc3/>
- 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 Reserarch Letters*, 79(5), 653-662 . <https://doi.org/10.1785/gssrl.79.5.653>

