

ESTIMASI *CENTROID MOMENT TENSOR* GEMPA DI SEKITAR SESAR KENDENG MENGGUNAKAN *SOFTWARE* MTINV

Dinanti Pratiwi Putri, Madlazim

Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Surabaya

Email: dinantiputri@mhs.unesa.ac.id

Abstrak

Penelitian ini dilaksanakan dengan tujuan menganalisis hasil estimasi *Centroid Moment Tensor* (CMT) gempa di sekitar Sesar Kendeng menggunakan *software* MTINV. Sumber data yang digunakan pada penelitian ini merupakan data sekunder *waveform* tiga komponen di sekitar Sesar Kendeng pada tanggal 25 Juni 2015 dan 13 Maret 2014 yang diunduh dari WebDC3 BMKG. Dalam mengestimasi CMT sebagai parameter gempa digunakan metode inversi *waveform* dan fungsi *Green* tiga komponen yang telah diaplikasikan ke dalam sebuah *software* MTINV. Hasil dari estimasi CMT antara lain momen seismik (M_0), magnitudo momen (M_w), *latitude*, *longitude*, kedalaman sumber, serta orientasi bidang sesar (*nodal plane*/NP) yang meliputi sudut *strike*, *dip*, dan *slip*. Selain itu juga dapat memberikan informasi mengenai penyebab terjadinya gempa yang meliputi persentase ISO, DC, dan CLVD. Hasil dari kedua *event* menunjukkan bahwa gempa terjadi akibat aktivitas tektonik yang dibuktikan dengan nilai persentase DC lebih dominan daripada CLVD dengan nilai VR lebih dari 50%. Berdasarkan nilai VR, maka hasil yang diperoleh dalam penelitian ini dapat dikatakan valid karena telah memenuhi syarat. *Event* gempa pada 25 Juni 2015 disebabkan oleh sesar *right lateral strike-slip*. Sedangkan *event* gempa pada 13 Maret 2014 disebabkan oleh aktivitas subduksi. Sehingga dapat disimpulkan bahwa penyebab terjadinya kedua *event* gempa ini bukan disebabkan oleh Sesar Kendeng yang naik melainkan akibat dari aktivitas subduksi dan sesar lokal dengan tipe sesar *right lateral strike-slip*.

Kata Kunci: *Centroid Moment Tensor*, Sesar Kendeng, inversi *waveform*, fungsi *Green*, dan *software* MTINV

Abstract

The purpose of this study is to analyze the earthquake Centroid Moment Tensor (CMT) estimation result around the Kendeng fault using MTINV software. The data source used in this study is secondary waveform data of three components around the Kendeng fault on 25 June 2015 and 13 March 2014 collected from WebDC3 BMKG. Waveform inversion methods and Green functions of three components that have been applied in a software MTINV was used to estimate the CMT as an earthquake parameter. The result of the CMT estimation includes seismic moment (M_0), moment magnitude (M_w), latitude, longitude, depth source and the fault field orientation (*nodal plane*/NP) include strike, dip, and slip. It also provides information about the cause of an earthquake that include the percentage ISO, DC, and CLVD. The result of both events showed that the earthquake occurred due to tectonic activity as evidenced by the percentage value of DC is more dominant than CLVD with a VR value more than 50%. By VR value, in short the result obtained in this study is valid because it has qualified. The earthquake event on 25 June 2015 caused by right lateral strike-slip fault. While the earthquake on 13 March 2014 caused by subduction activity. So it can be concluded that the cause of the occurrence of these two earthquake events is not caused by the increment of the Kendeng fault meanwhile the subduction activities and the local fault with right lateral strike-slip type fault.

Keywords: Centroid Moment Tensor, Kendeng Fault, waveform inversion, Green function, and software MTINV

PENDAHULUAN

Gempabumi merupakan kejadian alam yang masih sulit diprediksi secara akurat kapan terjadinya. Getaran permukaan tanah yang kuat ketika gempabumi terjadi menyebabkan keruntuhan rumah dan struktur bangunan, kebakaran, atau tanah longsor bahkan nyawa hilang dalam jumlah besar. Manusia tidak bisa mengetahui kapan terjadi gempabumi, tetapi bisa memperkirakan daerah mana yang rawan terjadi gempa.

Indonesia merupakan wilayah yang sangat rawan dengan bencana gempabumi baik dalam

skala kecil maupun besar, karena wilayah Indonesia menempati zona tektonik yang dikelilingi oleh tiga lempeng tektonik besar yang aktif yaitu lempeng Eurasia, lempeng Indo-Australia dan lempeng Pasifik. Akibat pergerakan dari ketiga lempeng tektonik menyebabkan adanya akumulasi energi di sekitar perbatasan lempeng, sehingga apabila lapisan batuan tidak mampu menahan tumpukan energi maka energi akan terlepas dan mengakibatkan adanya patahan atau deformasi pada lapisan kerak bumi sehingga terjadilah gempa tektonik (Madlazim, 2015). Keberadaan interaksi antar lempeng yang saling bertemu menyebabkan

Estimasi Centroid Moment Tensor Gempa di Sekitar Sesar Kendeng Menggunakan Software MTINV

Indonesia menjadi wilayah yang sangat rawan terjadi gempa. Salah satu daerah yang rawan mengalami kejadian gempabumi di Indonesia adalah daerah Jawa.

Pulau Jawa diapit oleh dua lempeng tektonik yaitu lempeng Indo-Australia di sisi selatan dan lempeng Eurasia di sisi utara. Arah dan pergerakan dari lempeng tersebut berbeda-beda. Lempeng Eurasia relatif diam, sedangkan lempeng Indo-Australia bergerak relatif dari arah Selatan menuju ke arah Utara menekan lempeng Eurasia sehingga menyusup ke bawah lempeng Eurasia (Irsyam, *et al.*, 2017). Hal ini menyebabkan pulau Jawa memiliki beberapa sesar, salah satunya yaitu Sesar Kendeng. Berdasarkan penelitian Irsyam, *et al* (2017) mengatakan bahwa Sesar Kendeng menjadi sumber gempa di wilayah Jawa Timur dengan pergerakan aktif sebesar 5 mm pertahun. Pergerakan relatif dari lempeng menyebabkan terjadinya sesar-sesar yang selanjutnya dapat berkembang menjadi daerah pusat sumber gempabumi (Garini, dkk., 2014). Sehingga diperlukan pemahaman terhadap karakteristik sesar yang menjadi penyebab gempa. Menurut Zahradnik, *et al* (2008), dalam menentukan karakteristik penyebab gempa diperlukan pemodelan momen tensor gempa menggunakan metode inversi dengan memanfaatkan *waveform* (waktu tiba gelombang P). Metode ini memiliki keunggulan jika dibandingkan dengan menggunakan metode inversi *travel time* (waktu tempuh) karena dalam metode ini, antara waktu *origin* dan kedalaman *centroid* terkait erat satu sama lain (Fahntalia & Madlazim, 2017).

CMT merupakan solusi dari estimasi parameter sumber (*centroid*) yang digunakan dalam menentukan lokasi dan mekanisme sumber gempa yang akurat dengan menggunakan inversi *waveform* tiga komponen gerakan tanah yaitu X, Y, dan Z yang tercatat di stasiun perekam. Pentingnya estimasi CMT yaitu memberikan informasi tambahan kepada lembaga seismologi seperti BMKG mengenai *Centroid Moment Tensor* sebagai parameter sumber gempa. Selain itu, masih banyak gempa yang belum diketahui penyebab terjadinya terutama gempa dalam skala kecil dengan magnitudo di bawah 5 serta belum ada instrumen yang mampu secara langsung dapat mengukur parameter sumber gempa tersebut. Metode inversi dengan memanfaatkan *waveform* telah diimplementasikan ke dalam seperangkat *software* dengan nama MTINV. Keunggulan dari *software* MTINV yaitu proses yang dilakukan tidak rumit (tanpa menggunakan MATLAB) apabila dibandingkan dengan *software* lain, sehingga dapat mempersingkat proses perhitungan estimasi CMT. Selain itu *software* ini dapat diakses secara gratis melalui

<http://crack.seismo.unr.edu/htdocs/students/Ichinos> *et al.* Oleh sebab itu, peneliti tertarik untuk melakukan

penelitian tentang estimasi *centroid momen tensor* gempa di sekitar Sesar Kendeng menggunakan *software* MTINV.

METODE

Penelitian ini tergolong penelitian penerapan berbasis komputasi karena melibatkan seperangkat *software* dengan menerapkan rumusan fungsi *Green* tiga komponen dalam penyelesaiannya. Data penelitian di sekitar Sesar Kendeng tepatnya di wilayah Jawa Timur adalah data sekunder yang diperoleh dari WebDC3 BMKG di <http://202.90.198.100/webdc3/> dengan data masukan $3 \leq M \leq 5$. Gempa yang digunakan yaitu sebanyak 2 *event* gempa dengan magnitudo kurang dari 5 SR. Data tersebut merupakan data *waveform* tiga komponen (BHN, BHE, dan BHZ) yang direkam oleh stasiun seismik milik jaringan IA yang mencakup wilayah 4 kuadran penuh terhadap sumber.

Penentuan karakteristik sesar gempa bumi menggunakan metode inversi *waveform* atau fungsi *Green* tiga komponen yang telah diimplementasikan pada *software* MTINV terdiri dari beberapa tahapan, yaitu tahap pembuatan *par.file* berupa input data stasiun perekam gempa dan model kecepatan 1 dimensi yang akan di masukkan kedalam *MKGLIB*. *MKGLIB* berfungsi untuk menghasilkan fungsi *Green*. Kemudian tahap kedua yaitu membuat *mtinv.par file* dengan memasukkan data informasi *event* kejadian gempa dengan stasiun. Keluaran dari *MKGLIB* dimasukkan kedalam *Glib2Inv* untuk difilter dan menyesuaikan data yang teramati oleh stasiun dengan data sintetik yang telah dihitung dan menghasilkan output dalam bentuk file biner untuk mendapatkan *waveform* tiga komponen yang tepat. Hal ini bertujuan untuk menghilangkan *noise* sebelum melakukan proses inversi. Pada tahap ketiga yaitu *SAC Binary Files*, pada tahap ini proses pengubahan file biner (yang diekstrak dari *SEED*) menggunakan *RSEED* dan *SAC pole-zero response file*. Kemudian data tersebut dimasukkan ke dalam *SACData2Inv* dan menghasilkan output *file biner*. Setelah itu hasil output file biner dari *Glib2inv*, *SACData2Inv*, dan *mtinv.par* dimasukkan kedalam *software* MTINV. Program mulai melakukan inversi dengan menggunakan fungsi *Green* yang dihitung dengan metode konvolusi. Hasil berupa parameter gempa CMT yang digambarkan dengan *beachball*.

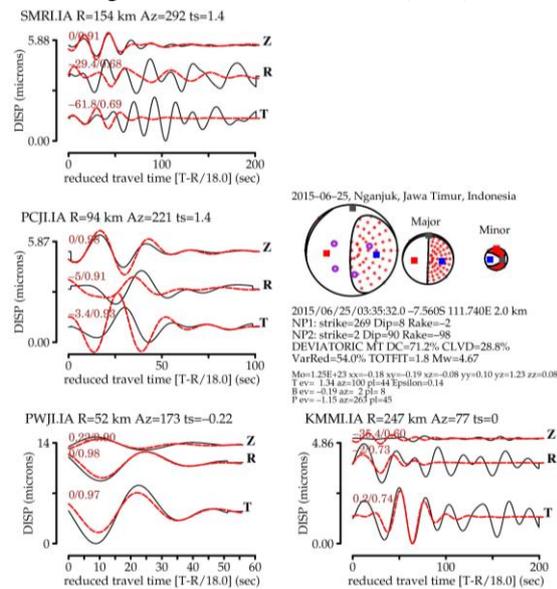
HASIL DAN PEMBAHASAN

Gempa di Nganjuk tanggal 25 Juni 2015

Lokasi episenter *event* gempa ini berada pada 7,56 LS-111,74 BT dengan magnitudo 4,3 SR dan kedalaman 5,9 km pukul 03:35:27 UTC (*Universal Time Coordinate*). Data direkam oleh stasiun SMRI, PCJI, PWJI, dan KMMI yang dipilih

Estimasi Centroid Moment Tensor Gempa di Sekitar Sesar Kendeng Menggunakan Software MTINV

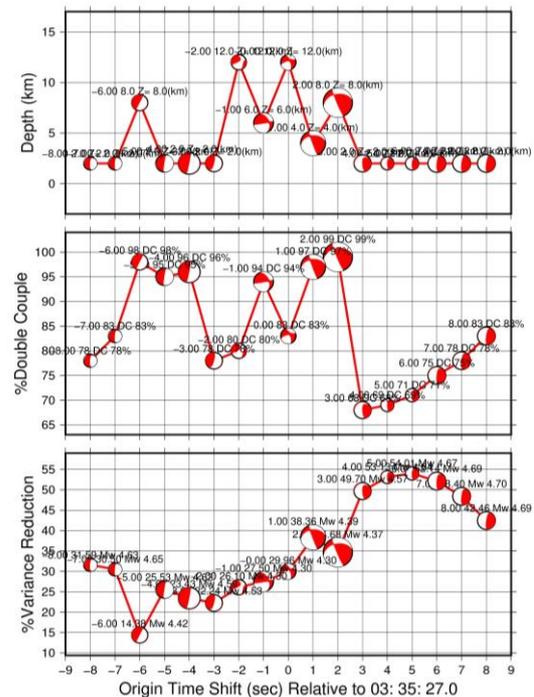
dekat dengan sumber gempa dan posisi mencakup wilayah 4 kuadran penuh terhadap sumber. Dalam memfilter sinyal *broadband* yang terekam di seismogram dilakukan dalam rentang frekuensi antara 0.020 – 0.045 Hz menggunakan *software* MTINV. Selain itu, data yang diunduh dari WebDC BMKG seperti *latitude*, *longitude*, dan kedalaman dimasukkan ke dalam *software* MTINV untuk dilakukan proses inversi. Untuk *input* kedalaman dilakukan pada rentang antara 2 sampai 12 km dengan kenaikan sebesar 2 km. Model kecepatan gelombang seismik yang digunakan dalam menginversi *waveform* yaitu dengan menerapkan model kecepatan lokal satu dimensi yang telah dikembangkan oleh Madlazim, dkk., (2017).



Gambar 1. Hasil inversi *fitting waveform* 3 komponen.

Hasil dari data *fitting waveform* pada gambar 1 menghasilkan bentuk gelombang yang teramati oleh stasiun (warna hitam) dengan bentuk gelombang yang telah dihitung menggunakan fungsi *Green* (warna merah) hampir identik dengan nilai *Variance Reduction* (VR) 54% yang sesuai dengan magnitudo momen (M_w) sebesar 4,67. Sedangkan untuk komponen DC diperoleh sebesar 71,2%, CLVD sebesar 28,8%, dan titik kedalaman *centroid* 2 km.

Pada gambar 2 menunjukkan grafik yang saling berhubungan atau *cross corelation* antara *Double Couple* (dalam persen), *Variance Reduction* (dalam persen), dan kedalaman (dalam km). Hasil dari grafik *cross corelation* diatas menunjukkan bahwa nilai *Variance Reduction* maksimal diperoleh 54% yang berkorelasi dengan DC sebesar 71,2%, serta kedalaman *centroid* 2 km. *Origin Time Shift* merupakan hasil perhitungan menggunakan *software* MTINV yang menunjukkan bahwa waktu terjadinya gempa pada *event* ini 5 detik lebih cepat dari hasil pengamatan WebDC3 BMKG.

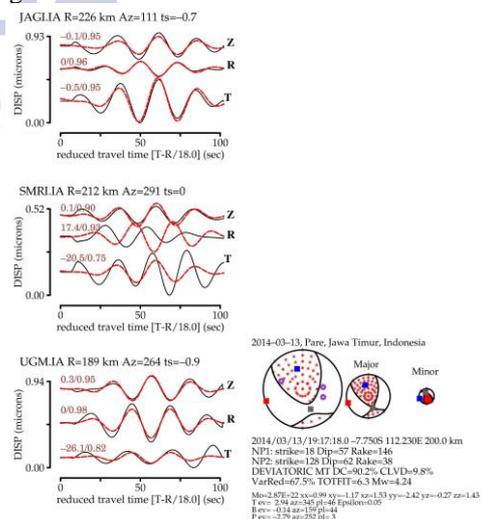


Gambar 2. Hasil *cross corelation* antara *Double Couple*, *Variance Reduction*, dan kedalaman untuk *event* 25 Juni 2015.

Gempa di Pare tanggal 13 Maret 2014

Lokasi episenter *event* gempa ini berada pada 7,75 LS-112,23 BT dengan magnitudo 4,5 SR dan kedalaman 186,3 km pukul 19:17:24 UTC. Data tersebut merupakan data *waveform* tiga komponen (BHE, BHN, dan BHZ) yang direkam oleh 3 stasiun seismik milik jaringan IA yaitu JAGI, SMRI, dan UGM.

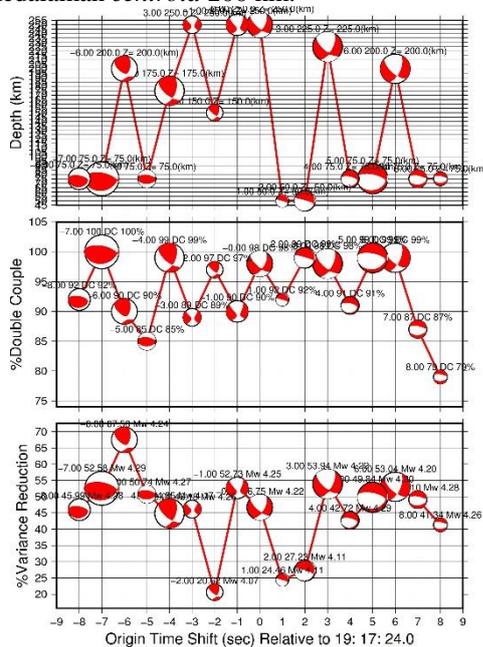
Dalam memfilter sinyal *broadband* yang terekam di seismogram dilakukan dalam rentang frekuensi antara 0.030 – 0.050 Hz menggunakan *software* MTINV. Selain itu, *input* kedalaman dilakukan pada rentang antara 25 sampai 250 km dengan kenaikan sebesar 25 km.



Gambar 3. Hasil inversi *fitting waveform* 3 komponen.

Estimasi Centroid Moment Tensor Gempa di Sekitar Sesar Kendeng Menggunakan Software MTINV

Gambar 3 memberikan hasil estimasi CMT dengan nilai *Variance Reduction* (VR) 67,5% yang sesuai dengan magnitudo momen (M_w) sebesar 4,24. Sedangkan untuk komponen DC diperoleh sebesar 90,2%, CLVD sebesar 9,8%, dan titik kedalaman *centroid* 200 km.



Gambar 4. Hasil *cross correlation* antara *Double Couple*, *Variance Reduction*, dan kedalaman untuk *event* 13 Maret 2014.

Hasil dari grafik *cross correlation* di atas menunjukkan bahwa nilai *Variance Reduction* maksimal diperoleh 54% yang berkorelasi dengan DC yaitu 90,2%, serta kedalaman *centroid* 200 km. *Origin Time Shift* merupakan hasil dari perhitungan menggunakan software MTINV yang menunjukkan bahwa waktu terjadinya gempa pada *event* ini 6 detik lebih lambat dari waktu terjadinya hasil pengamatan WebDC3 BMKG.

Pembahasan

Menurut Ichinose, *et al.*, (2008), momen tensor gempa menggambarkan arah gaya penyebab gempabumi dalam bentuk *beachball* yang didekomposisi menjadi komponen isotropik (ISO) dan deviatorik yang meliputi *Double Couple* (DC), dan *Vertical Compensated Linear Dipole* (CLVD). Kecocokan hasil estimasi dengan hasil data pengamatan dapat diketahui berdasarkan besar selisih dari keduanya yang ditunjukkan dengan besar varian reduksinya (VR). VR biasanya dinyatakan dalam rentang 0 sampai dengan 100%. Nilai VR lebih dari 50% menunjukkan bahwa hasil bentuk gelombang yang terhitung berimpit dengan hasil bentuk gelombang yang teramati, sedangkan nilai VR kurang dari 50%, maka ketidakcocokan bentuk gelombang semakin besar. Jika diperoleh solusi CMT dengan presentase ISO > 50%, maka

penyebab gempa disebabkan karena ledakan. Jika diperoleh solusi CMT dengan presentase DC > 50%, maka penyebab gempa adalah akibat aktivitas tektonik. Sedangkan apabila presentase CLVD > 50%, maka gempa disebabkan karena aktivitas vulkanik.

Tabel 1. Hasil solusi CMT untuk masing-masing

<i>Event</i>	<i>Lat</i>	<i>Centroid Long</i>	<i>Depth</i>	M_w	DC (%)	CLVD (%)	Var. Red (%)
25-06-2015	-7.56	111.74	2	4.67	71.2	28.8	54
13-03-2014	-7.75	112.23	200	4.24	90.2	9.8	67.5

event gempa di Jawa Timur.

Tabel 1 menunjukkan hasil dari solusi CMT untuk semua *event* gempa. Berdasarkan tabel diatas, gempa tidak didasarkan pada komponen isotropik melainkan komponen deviatorik. Pada sistem momen tensor deviatorik merupakan penjumlahan dari persentase DC dan CLVD. Dari 2 *event* gempa menunjukkan bahwa gempa terjadi akibat dari aktivitas tektonik yang dibuktikan dengan nilai persentase DC lebih dominan daripada CLVD dengan nilai VR lebih dari 50%. Berdasarkan nilai VR, maka hasil yang diperoleh dalam penelitian ini dapat dikatakan valid karena telah memenuhi syarat.

Kedua *event* gempa memiliki tipe sesar yang sama yaitu *right lateral strike-slip*. Hal ini sesuai dengan analisa dari Cronin, (2004) yang mempresentasikan jenis-jenis sesar untuk kejadian gempabumi berdasarkan nilai dari sudut *slip*. Berikut merupakan tabel tipe sesar berdasarkan nilai dari sudut *slip*.

Tabel 2. Jenis-jenis sesar berdasarkan nilai dari sudut *slip*.

Jenis Sesar	<i>Rake of slip</i>
<i>Pure strike-slip</i>	0° atau 180°
<i>Pure dip-slip reverse</i>	90°
<i>Pure dip-slip normal</i>	-90°
<i>Left lateral strike-slip</i>	-20° sampai 20°
<i>Reverse oblique left-lateral</i>	20° sampai 70°
<i>Reverse oblique right-lateral</i>	70° sampai 110°
<i>Reverse oblique right-lateral</i>	110° sampai 160°
<i>Right-lateral strike-slip</i>	-160° sampai 160°
<i>Normal oblique right-lateral</i>	-110° sampai -160°
<i>Normal oblique left-lateral</i>	-70° sampai -110°
<i>Normal oblique left-lateral</i>	-20° sampai -70°

Jika ditinjau dari kedalamannya, gempa pada tanggal 25 Juni 2015 disebabkan oleh sesar, sedangkan untuk *event* gempa pada tanggal 13

Maret 2014 disebabkan oleh aktivitas subduksi atau penunjaman lempeng.

Berdasarkan penelitian Irsyam *et al.*, (2017) mengatakan bahwa Sesar Kendeng termasuk tipe sesar *reverse* atau naik yang terletak di pertengahan Jawa Tengah hingga Jawa Timur. Sedangkan pada penelitian ini, kedua *event* gempa menunjukkan tipe sesar *right lateral strike-slip*. *Event* gempa pada 25 Juni 2015 disebabkan oleh sesar *right lateral strike-slip*. Tipe sesar *right lateral strike-slip* ini merupakan salah satu jenis sesar lokal yang menjadi pemicu gempa di Jawa Timur. Sedangkan *event* gempa pada 13 Maret 2014 disebabkan oleh aktivitas subduksi. Sehingga dapat disimpulkan bahwa penyebab terjadinya kedua *event* gempa ini bukan disebabkan oleh Sesar Kendeng yang naik melainkan aktivitas subduksi dan sesar lokal sekitarnya.

Hasil solusi CMT memberikan solusi yang lebih baik dalam menentukan titik kedalaman *centroid* dibandingkan dengan metode estimasi parameter gempa yang lain. Tidak semua lembaga seismologi, seperti Global CMT yang secara pasti dapat mengeluarkan solusi CMT untuk mengetahui penyebab terjadinya gempa dalam bentuk persentase DC, CLVD, dan ISO terutama pada magnitudo < 5 SR. Pada penelitian ini, dapat dibuktikan bahwa pada *event* gempa 25 Juni 2015 dengan magnitudo 4,3 SR dan 13 Maret 2015 dengan magnitudo 4,2 SR dapat diketahui penyebab terjadinya gempa melalui solusi CMT dengan menggunakan *software* MTINV. Sedangkan lembaga seismologi seperti Global CMT tidak menyediakan solusi CMT untuk gempa dengan magnitudo < 5 SR.

PENUTUP

Simpulan

Penelitian ini fokus pada estimasi *Centroid Moment Tensor* gempa menggunakan *software* MTINV pada tanggal 25 Juni 2015 dan 13 Maret 2014 di sekitar Sesar Kendeng. Hasil dari solusi CMT untuk kedua *event* gempa menunjukkan bahwa gempa terjadi akibat aktivitas tektonik yang dibuktikan dengan nilai persentase DC lebih dominan dibandingkan dengan CLVD dengan nilai VR lebih dari 50%. Berdasarkan nilai VR, maka hasil yang diperoleh dalam penelitian ini dapat dikatakan valid karena telah memenuhi syarat. Selain itu, *event* gempa pada 25 Juni 2015 disebabkan oleh sesar *right lateral strike-slip*. Sedangkan pada *event* gempa 13 Maret 2014 disebabkan oleh aktivitas subduksi. Sehingga dapat disimpulkan bahwa penyebab terjadinya kedua *event* gempa ini bukan disebabkan oleh Sesar Kendeng yang naik melainkan akibat dari aktivitas subduksi dan sesar lokal yang tipe sesarnya *right lateral strike-slip*.

Saran

Penentuan data *event* gempabumi belum tentu dapat dijalankan oleh *software* MTINV. Oleh karena itu, peneliti lain perlu memilih data yang dapat dijalankan pada *software* yang terekam minimal 4 stasiun seismik dengan posisi mencakup wilayah 4 kuadran penuh terhadap sumber. Selain itu data harus mengandung 3 komponen (BHE, BHN, dan BHZ) dengan kualitas data yang baik yang merekam gelombang P, gelombang S, dan gelombang permukaan, agar diperoleh hasil yang sesuai dengan teori.

DAFTAR PUSTAKA

- Cronin, V. (2004). "A Draft Primer on Focal Mechanism Solutions for Geologists", pp.1–14.
- Dahm, T. & Kruger, F. (2014). "Moment Tensor Inversion and Moment Tensor Interpretation". in *Bormann, P.(ur.)*, pp.1–34. <https://doi.org/10.2312/GFZ.NMSOP-2>.
- Elnashai, A. S., & Sarno, L. Di. (1997). "Fundamentals of Earthquake Engineering". *Earthquake Spectra*, Vol. 13. <https://doi.org/10.1193/1.1585966>.
- Fahntalia, C. P. & Madlazim. (2017). "Pengaruh Jumlah Stasiun Seismik Terhadap Hasil Estimasi Centroid Moment Tensor Gempa Bumi". *Jurnal Inovasi Fisika Indonesia*, Vol. 06(03), pp.1–5.
- Garini, S. A., Shohaya, J. N. & Salsabella, Y. (2014). "Studi Kegempaan di Wilayah Sumatra Bagian Utara Berdasarkan Relokasi Hiposenter Menggunakan Metode Inversi", (April), pp.318–321.
- Ichinose, G. A., Anderson, J. G., Smith, K. D., & Zeng, Y. (2003). Source parameters of eastern California and western Nevada earthquakes from regional moment tensor inversion. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 93(1), 61–84. <https://doi.org/10.1785/0120020063>.
- Ichinose, G. A., Anderson, J. K., Smith K. D., Yuehua, Z. (2003). "Source parameters of eastern California and western Nevada earthquakes from regional moment tensor inversion". *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 93(1), pp.61–84. <https://doi.org/10.1785/0120020063>.
- Irsyam, M., Hendriyawan, Asrurifak, M., Mikail, R., Sabaruddin, A., Faizal, L., Meilano, I., Widiyantoro, S., Natawidjaja, D.H., Triyoso, W., Hidayati, S., Rudiyanto, A., Imran, I., &

Estimasi Centroid Moment Tensor Gempa di Sekitar Sesar Kendeng Menggunakan Software MTINV

Sakti, L.M. (2017). *Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia Tahun 2017*. Jakarta, pp.1-377.

Madlazim. (2015). *Fisika Seismologi*. Surabaya, pp.1-143.

Madlazim & Prastowo, T. (2016). "Source Parameter Estimates Of The 4 November 2016 Event With $M_b=4.7$ From Kendeng Fault Zone In East Java, Indonesia". Submit to *Science of Tsunami Hazard*.

Stein, S., & Wysession, M. (2003). "An Introduction to Seismology, Earthquakes, and Earth Structure". *Seismological Research Letters*, Vol. (74). <https://doi.org/10.1785/gssrl.74.6.824>

Setyowidodo, I. & Pamungkas, F. 2015. "Inversi Waveform Tiga Komponen Gempa Bumi Pola Bidang Patahan yang Berkembang di Pulau Jawa Melalui Analisis". *Nusantara Of Research*, Vol. 2(2), pp.110–118.

