

PENGARUH JUMLAH STASIUN SEISMIK TERHADAP HASIL ESTIMASI CENTROID MOMENT TENSOR GEMPA BUMI

Cynthia Puteri Fahntalia¹⁾, Madlazim²⁾

1) Mahasiswa Prodi S1-Fisika, FMIPA, Universitas Negeri Surabaya, email: cynthiaputeri14@gmail.com

2) Dosen Fisika, FMIPA, Universitas Negeri Surabaya, email: madlazim@unesa.ac.id

Abstrak

Penelitian ini dilaksanakan dengan tujuan mendeskripsikan pengaruh jumlah stasiun seismik terhadap hasil estimasi *centroid moment tensor* gempa bumi yang terjadi di Mentawai pada 23 Agustus 2009 dengan Magnitudo sebesar 5.3 SR. Data yang digunakan untuk menentukan CMT gempa bumi adalah data *waveform* lokal tiga komponen yang terekam oleh stasiun *broadband* GEOFON-IA. Dalam mengestimasi *centroid moment tensor* maka menggunakan fungsi *Green* dan metode iterasi dekonvolusi untuk menginversi momen tensor *waveform* lokal tiga komponen. Program yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan *software* ISOLA-GUI. Data ini diinversi mulai 0.015 sampai 0.045 Hz untuk memperoleh CMT. CMT ini meliputi (*centroid time, centroid latitude, centroid longitude, centroid depth*, magnitudo momen, momen tensor dan bidang teraktifkan seperti (*strike, dip, dan rake*). Hasil pembahasan dari penelitian ini bahwa terdapat pengaruh jumlah stasiun seismik terhadap hasil estimasi *centroid moment tensor* gempa bumi yang terjadi di Mentawai pada 23 Agustus 2009. Hal ini dibuktikan dengan menggunakan stasiun sebanyak empat stasiun telah menunjukkan hasil yang mendekati sama dengan Global CMT, karena lintasan yang dilalui oleh gelombang seismik menyebar ke stasiun seismik sehingga hasil estimasi CMT mendekati sama dengan referensi yakni Global CMT.

Kata Kunci: Estimasi *centroid moment tensor* gempa bumi, jumlah stasiun seismik, fungsi *Green* dan *software* ISOLA

Abstract

This study has been conducted to describe the effect of seismic station numbers to the results of earthquake centroid moment tensors estimation. We report a centroid moment tensors of this event using the green function and three component local waveforms to determine the pattern of fault planes in Mentawai. Program that used in this study is ISOLA-GUI software. From the discussion show that there are toward to the seismic station numberon result of the earthquake centroid moment tensor estimation that occured in Mentawai on 23 August 2009. This is evidenced by the use of a seismic station numbering four, which results in similar results, since the path passed by the seismic waves spread to the seismic station, so that the CMT estimation results are close to the same as the Global CMT.

Keywords: earthquake centroid moment tensors estimation, seismic station numbers, the green function, and ISOLA software.

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan daerah tektonik aktif yang disebabkan oleh pertemuan tiga lempeng tektonik utama dunia yang senantiasa bergerak, yaitu Lempeng Eurasia yang bergerak ke arah tenggara, Lempeng Indo-Australia yang bergerak ke arah utara, dan Lempeng Pasifik yang bergerak ke arah barat. Selain itu masih ada Lempeng Mikro-Filipina yang bergerak ke arah selatan di sebelah utara Pulau Sulawesi. Oleh karena itu tidak mengherankan bila beberapa wilayah kepulauan

Indonesia menjadi wilayah yang berpotensi terjadi gempa bumi tektonik dengan intensitas dan kekuatan gempa mulai dari skala terkecil hingga skala terbesar, terutama di Sumatera, Irian Jaya, selatan Jawa, dan Sulawesi. Salah satunya adalah gempa bumi yang terjadi di Kepulauan Mentawai dan sekitarnya.

Tektonik aktif yang ada di Pulau Sumatera menunjukkan bahwa sumber utama gempa berada pada zona sesar Sumatera dan Zona Subduksi. Dengan alasan inilah Pulau Sumatera menarik untuk dijadikan penelitian sebab di daerah ini berpotensi terjadi gempa

karena posisinya yang terletak di sepanjang jalur tumbukan dua lempeng bumi yaitu lempeng (samudra) Hindia yang bergerak ke bawah lempeng (benua) Sumatera. Untuk memahami karakteristik gempa maka perlu dilakukan dengan memodelkan momen tensor gempa bumi. Pemodelan momen tensor ini dilakukan dengan menggunakan metode inversi *waveform*. Pada momen tensor terdapat enam komponen yang *independent* untuk menggambarkan arah terjadinya gempa (Madlazim, 2015). Untuk memahami struktur dan dinamika dalam bumi serta mekanisme gempa dapat dilakukan melalui estimasi *Centroid Momen Tensor* (CMT), sebab lembaga seismologi seperti BMKG belum mengumumkan CMT kepada masyarakat karena BMKG lebih memilih hasil yang cepat sehingga masyarakat perlu mengetahui CMT. *Centroid Momen Tensor* (CMT) merupakan solusi yang digunakan dalam menentukan lokasi pusat dan waktu untuk menghasilkan data yang akurat menggunakan inversi *waveform* lokal tiga komponen. Inversi *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 (Madlazim, 2011). Proses inversi yang baik didasarkan pada hasil pencocokan data observasi dan data sintetik saling tumpang tindih (Sokos and Zahradnik, 2008).

Dalam penelitian ini, maka melalui estimasi CMT yang mampu mengetahui lokasi dan mekanisme sumber gempa bumi yang jauh lebih akurat, karena gelombang seismik merambat dari sumber menuju stasiun observasi dalam ruang tiga dimensi, sehingga estimasi CMT gempa bumi ditentukan menggunakan fungsi *Green* tiga komponen. Selain komponen Z, komponen X, dan komponen Y juga diakomodasi pada koordinat kartesian. Selanjutnya data seismogram dianalisis dengan membandingkan *waveform* yang teramati oleh stasiun dan *waveform* sintetik yang telah dihitung oleh fungsi *Green* pada tiga komponen dalam seismogram.

Analisis data dalam penelitian ini menggunakan data seismik lokal yang diunduh melalui data gempa bumi WebDC 3 dan diolah menggunakan *software* ISOLA. Hasil analisis ini berupa CMT gempa bumi yang meliputi skala, kedalaman, dan energi gempa bumi, serta model patahan penyebab gempa bumi. Mengingat kurang akuratnya CMT maka digunakan data *focal mechanism* untuk menggambarkan besar penyebab terjadinya gempa. Sehingga dalam penelitian ini disajikan hasil estimasi CMT gempa bumi menggunakan metode inversi *waveform* tiga komponen dengan jumlah stasiun seismik yang berbeda. Pentingnya penelitian pengaruh jumlah stasiun seismik terhadap hasil estimasi *centroid moment tensor* gempa bumi ini yaitu untuk mengetahui pengaruh

jumlah stasiun terhadap hasil estimasi *centroid moment tensor* gempa bumi yang ditandai dengan nilai varian reduksi. Hal ini karena gempa sering terjadi dilaut sementara stasiun seismiknya berada di darat, sehingga tidak semua stasiun seismik merekam data dengan baik sehingga hanya sedikit data yang terekam gelombang seismiknya (Madlazim, 2015).

METODE

Jenis penelitian ini merupakan jenis penelitian eksperimen berbasis komputasi. Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data gempa bumi tektonik yang diunduh melalui WebDC 3, yang bisa diakses melalui alamat <http://202.90.198.100/webdc3/>, sedangkan wilayah dalam objek penelitian adalah gempa bumi yang terjadi di Mentawai pada 23 Agustus 2009 dengan magnitudo 5.3 SR.

Selanjutnya dilakukan proses inversi data *waveform* tiga komponen dengan menggunakan metode iterasi dekonvolusi (Zahradnik *et al.*, 2006). Metode ini diimplementasikan dalam *software* ISOLA yang dikembangkan untuk mendapatkan CMT (Sokos dan Zahradnik, 2008). CMT gempa bumi ini direpresentasikan kedalam bentuk *beachball*, yang menggambarkan patahan penyebab gempa, dan kedalaman gempa bumi (Zahradnik, 2008).

Penentuan besarnya momen tensor dilakukan menggunakan *software* ISOLA. Pada langkah pertama, data dari GEOFON berupa data gempa dalam format .SEED diubah terlebih dahulu ke dalam format .SAC agar data dapat dikenali oleh ISOLA. Pada saat mengestrak .SAC ini terdiri atas PLSTA.stn yang digunakan untuk memvariasi jumlah stasiun seismik dengan memasukkan nilai *latitude*, *longitude* dan kedalamannya. Sedangkan PZ file atau pole zero file merupakan file yang digunakan untuk mencocokkan stasiun seismik yang digunakan pada *software* ISOLA. Setelah itu ditentukan model *crustal*-nya.

Pengolahan menggunakan ISOLA dimulai dari pendefinisian *event* gempa yaitu memasukkan CMT seperti *latitude*, *longitude*, dan kedalaman. Setelah itu pemilihan stasiun seismik gempa yang akan digunakan untuk pengolahan momen tensor. Selanjutnya meng-*input* data gempa yang akan digunakan pada SAC *import*. Setelah semua data yang digunakan di-*input* kemudian melakukan persiapan pada data yang akan digunakan sebelum dilakukan pengolahan selanjutnya. Pengolahan yang melibatkan seismogram terdiri dari melakukan pengkoreksian instrumen, *origin time alignment* dan *resampling*, melakukan *filter* dengan memilih frekuensi antara 0.015 sampai 0.045 HZ 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 akan digunakan untuk proses inversi pada *seismic source definition*.

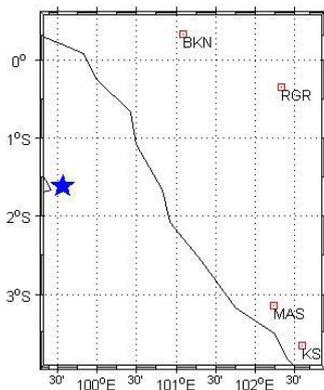
Setelah semua persiapan data tersebut selesai, maka dilakukan perhitungan fungsi *Green*. Fungsi *Green* berfungsi untuk menghitung seismogram sintetik yang akan dicocokkan dengan data seismogram untuk mengestimasi parameter yang cocok dalam proses inversi dan selanjutnya proses inversi melibatkan tiga komponen seismogram dengan memilih *filter* yang tepat. Hal ini bertujuan untuk mengilangkan *noise* sebelum melakukan proses inversi.

Dari pengolahan menggunakan ISOLA akan diperoleh solusi mekanisme fokal gempa yang direpresentasikan berupa *beachball* sehingga mampu mengetahui parameter sumber gempa bumi dan pola patahan yang mengakibatkan gempa bumi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

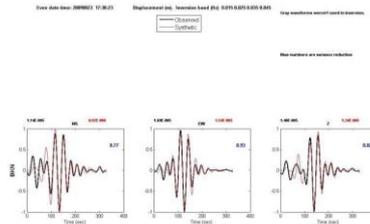
Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data seismik lokal yang diunduh melalui data gempa WebDC 3, yaitu gempa bumi yang terjadi di Mentawai, Sumatera Barat pada 23 Agustus 2009 pukul 17:38:23 GMT dan mempunyai hiposenter pada *latitude* -1.62° , *longitude* 101.5° , dan kedalaman 12 km.

Stasiun yang dipilih adalah empat stasiun terdekat, di antaranya yaitu BKN, MASI, KSI, dan RGRI.



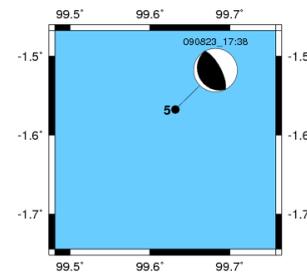
Gambar 1. Stasiun yang digunakan.

Proses inversi yang baik didasarkan pada hasil pencocokan data observasi dan data sintetik hasil inversi, hasil yang baik terjadi saat data observasi dan data sintetik saling tumpang tindih. Perbandingan hasil data observasi dan data sintetik seperti terlihat pada gambar 2 berikut:



Gambar 2. Hasil inversi *waveform* antara data sintetik dan data observasi (ISOLA, 2017)

Selanjutnya, interpretasi dilakukan pada *Centroid Moment Tensor* (CMT). Menurut Kayal (2008), CMT merupakan penggambaran model patahan penyebab gempa bumi. CMT yang digambarkan dengan *beachball* mempunyai arti fisis yakni, bagian yang cerah merupakan asal gaya yang menekan ke arah bagian yang gelap (Shearer, 2009).



Gambar 3. Hasil CMT berbentuk *beach ball* (ISOLA,2017)

Hasil CMT pengolahan data gempa bumi di Mentawai, Sumatera Barat pada 23 Agustus 2009 tersebut menunjukkan bahwa penyebab gempa bumi ini berupa patahan *trush/reverse*.

```

MOMENT TENSOR SOLUTION
HYPOCENTER LOCATION (GEOFON)
Origin time 20090823 17:38:23
Lat -1.628 Lon 99.572 Depth 10
CENTROID
Trial source number : 3 (Multiple Source line or plane inversion)
Centroid Lat -1.5678 Lon 99.6318
Centroid Depth : 10
Centroid time : +3.8 (sec) relative to origin time
Moment (Nm) : 1.939e+017
Mw : 5.5
DC% : 99.5
CLVD% : 0.5
Var. red. (for stations used in inversion) : 0.8
Var. red. (for all stations) : 0.8
Strike Dip Rake | Stations-Components Used
152 20 90 | Station NS EW Vez
Strike Dip Rake |
332 70 90 | RGR + + +
P-axis Azimuth Plunge |
62 25 | MAS + + +
T-axis Azimuth Plunge |
242 65 | KSI + + +
Mrr Mtt Mpp
1.246 -0.271 -0.975
Mrt Mrp Mtp
-0.700 1.308 0.519
Exponent (Nm) : 17
    
```

Gambar 4. Parameter sumber gempa bumi (ISOLA, 2017)

Hasil inversi berupa CMT di atas bahwa magnitudo gempa sebesar 5.5 Mw dan varian reduksi sebesar 0.8 dengan DC 99.5%, dan CLVD 0.5%. Hasil data parameter sumber gempa tersebut jika dibandingkan

dengan data Global CMT akan terlihat dalam tabel berikut:

Tabel 1. Data gempa bumi 23 Agustus 2009 17:38:23 GMT berdasarkan Global CMT.

<i>Lat; Lon</i>	<i>Depth (km)</i>	<i>Mag (M_w)</i>	<i>Beach Ball</i>
-1.62; 101.59	12	5.4	

Tabel 2. Data gempa bumi 23 Agustus 2009 17:38:23 GMT berdasarkan penulis.

Jumlah stasiun	<i>Lat; Lon</i>	<i>Depth (km)</i>	<i>Mag (M_w)</i>	<i>Beach Ball</i>
I	-1.61; 99.59	10	5.5	
II	-1.56; 99.63	10	5.5	
III	-1.61; 99.58	10	5.5	
IV	-1.56; 99.63	10	5.5	

Centroid moment tensor gempa bumi pada 23 Agustus 2009 telah dihasilkan dan dilaporkan oleh beberapa lembaga, salah satunya adalah Global CMT. Hasil pada penelitian ini dapat digunakan sebagai pembandingan. Peneliti menggunakan Global CMT sebagai pembandingan karena lembaga seismologi ini memiliki perbedaan metode dengan metode ISOLA, di antaranya adalah Global CMT menggunakan data teleseismik dan menggunakan model kecepatan global yang solusi persamaan gelombangnya menggunakan persamaan koordinat bola, sedangkan *software* ISOLA menggunakan data gempa bumi lokal dan menggunakan model kecepatan lokal yang solusi persamaannya menggunakan persamaan koordinat kartesian.

Latitude, longitude, kedalaman, dan magnitudo yang dihasilkan dari penelitian ini (Tabel 2) memiliki perbedaan dengan data Global CMT, akan tetapi secara keseluruhan tidak terdapat perbedaan yang signifikan. Selanjutnya hasil inversi pada stasiun seismik keempat diperoleh hasil yang mendekati sama dengan data Global CMT. Hal ini disebabkan oleh lintasan yang dilalui gelombang seismik menyebar ke stasiun seismik sehingga hasil yang diperoleh mendekati dengan Global CMT.

PENUTUP

Simpulan

Berdasarkan hasil pembahasan dalam penelitian ini dapat disimpulkan bahwa terdapat pengaruh jumlah stasiun seismik terhadap hasil estimasi *centroid moment tensor* gempa bumi yang terjadi di Mentawai pada 23 Agustus 2009. Hal ini dibuktikan dengan menggunakan stasiun seismik sebanyak empat telah diperoleh hasil yang mendekati sama dengan referensi yakni Global CMT yang merupakan lembaga seismologi yang digunakan sebagai acuan penelitian di dunia.

Saran

Dalam penelitian ini menggunakan data yang telah terekam oleh stasiun seismik dengan noise yang relatif kecil dan terdapat *waveform* lokal tiga komponen yakni (BHE, BHN dan BHZ) agar dapat dijalankan menggunakan *software* ISOLA. Menggunakan model crustal yang sesuai dengan daerah yang akan dijadikan sebagai tempat penelitian sebab model crustal ini berfungsi untuk mengestimasi CMT. Kepada lembaga seismologi seperti BMKG belum mengumumkan tentang CMT kepada masyarakat, sehingga penelitian tentang CMT ini dapat memberikan data yang akurat terkait dengan CMT yang perlu diketahui oleh masyarakat khususnya masyarakat yang berada dekat dengan sumber gempa bumi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada WebDC 3 (<http://202.90.198.100/webdc3/>) dan Global CMT (<http://www.globalcmt.org/CMTsearch.html>) sebagai sumber data dalam penelitian ini, juga kepada Sokos dan Zahradnik untuk *software* ISOLA beserta petunjuk dan tutorialnya yang telah melancarkan proses penelitian ini, dan pihak lain yang belum tersebut di sini.

DAFTAR PUSTAKA

- Aki, K. and P. G. Richards 1980. *Quantitative seismology: Theory and methods*, W.H. Freeman, San Francisco, CA.
- Bock, L. Y. & Prawirodirdjo, J. F. 2003. Crustal motion in Indonesia from Global Positioning System measurements. *Journal of Geophysical Research*, 108(8), 2367.
- Bouchon, M. 1981. A simple method to calculate Green's functions for elastic layered media, *Bulletin of the Seismological Society of America*, pp 71, 959-971.

- Hanks, T., and Kanamori, H. 1979. A Moment magnitude scale: *J. Geophys. Res.*, Vol. 84, no. B5, pp. 2348-2350.
- Hasan, M. M. dan Bagus J. S. 2014. Analisa Pola Bidang Sesar Pada Zona Subduksi di Wilayah Sumatera Barat dari Event Gempa Pada Tahun 2013. *Jurnal Sains Dan Seni Pomits*. Vol.3, No.1, pp.2337-3520.
- Kayal, J. R. 2008. Seismotectonics of Peninsular India and Sri Lanka. In *Microearthquake Seismology and Seismotectonics of South Asia*. doi: 10.1007/978-1-4020-8180-4_7, pp.348-449.
- Kikuchi, M. and H. Kanamori (1991). Inversion of complex body waves – III, *Bulletin of the Seismological Society of America*, pp 81, 2335-2350.
- Lasitha, S., Radhakrishna, M., and Sanu, T.D., 2006, Seismically Active deformation in the Sumatra-Java Trench-arc region: Geodynamic Implications, *Current Science*, Vol. 90 No. 5, 10 March 2006.
- Lay, T. and Wallace, T. C. 1995. *Modern Global Seismology*. New York, USA: Academic Press.
- Madlazim. 2011. Estimasi CMT, Bidang Sesar dan Durasi Rupture Gempa Bumi Di Sumatera Serta Kemungkinan Peringatan Dini Tsunami
- Madlazim. 2015. *Buku Fisika Bumi Seri Seismologi*. Surabaya: Unipress UNESA.
- McCafferey, R. 2009. The Tectonic Framework of the Sumatran Subduction Zone. *Annu. Rev. Earth Planet. Sci.* Vol.37, pp.345-366.
- Natawidjaja, D. H. 2002. Neotectonics of the Sumatera Fault and Paleogeodesy of the Sumatera Subduction Zone. *Thesis*. California Institute of Technology Pasadena
- Natawidjaja, D. H. 2007. Gempa bumi dan Tsunami di Sumatera dan Upaya Untuk Mengembangkan Lingkungan Hidup yang Aman Dari Bencana Alam. *Thesis*. Vol.136.
- Setyowidodo, I. dan Bagus, J. S. 2009. Analisis seismogram tiga komponen terhadap moment tensor gempa bumi di Manokwari Papua 03 Januari 2009. pp.1-16.
- Setyowidodo, I. dan Pamungkas, F. 2015. Inversi Waveform Tiga Komponen Gempa Bumi Pola Bidang Patahan yang Berkembang di Pulau Jawa Melalui Analisis Momen Tensor. *Nusantara of Research*. Vol.2, No.2, ISSN.2355-7249, pp.110-118.
- Shearer, P. M. 2009. *Earthquake and source theory. Introduction to seismology*. doi: 10.1017/CBO9780511841552.011, pp.288-290.
- Sieh, K. dan Natawidjaja, D. 2000. Neotectonics of the Sumatran Fault, Indonesia. *Journal of Geophysical Research*. Vol.105, No.B12, pp.28.295-28.326.
- Sokos, E. N. and Zahradnik, J. 2008. ISOLA a Fortran code and a Matlab GUI to perform multiple-point source inversion of seismic data. *Computers and Geosciences*. Vol.34, No.8, doi: 10.1016/j.cageo.2007.07.005, pp.967-977.
- Sokos, E. N., Zahrandik, J., 2009. *A Matlab GUI for use with ISOLA Fortran codes*. User's Guide.