

PENENTUAN PARAMETER SUMBER GEMPA DI SEKITAR GUNUNG DUKONO HALMAHERA DENGAN MENGGUNAKAN *CENTROID MOMENT TENSOR* (CMT)

Trias Herni Zuni Astuti¹⁾, Madlazim²⁾

¹⁾Mahasiswa Prodi S1-Fisika, FMIPA, Universitas Negeri Surabaya, email: triasastuti@mhs.unesa.ac.id

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

Abstrak

Penelitian ini dilaksanakan dengan tujuan menghasilkan informasi parameter sumber gempa yang terjadi di Halmahera pada 23 Februari 2012. Data yang digunakan merupakan data *waveform* lokal yang diunduh melalui web <http://202.90.198.100/webdc3/>. Data tersebut diinversi mulai 0.070 hingga 0.095 Hz untuk memperoleh CMT (*centroid time, centroid latitude, centroid longitude, centroid depth*, magnitudo moment, moment tensor, dan bidang teraktifan seperti *strike, dip*, dan *rake*). Hasil inversi dari tipe full MT diperoleh persentase varian reduksi 66,4% dengan persentase ISO, CLVD, DC berturut-turut sebesar 62,9%, 3,8%, dan 33,3% dengan magnitudo 4.40 pada kedalaman 20 km. Pada tipe inversi deviatorik MT menghasilkan nilai persentase DC sebesar 81,3% dan CLVD sebesar 18,7% serta VR sebesar 63,2% dengan kedalaman 16 km. Kedua tipe inversi tersebut menghasilkan persentase DC yang lebih besar dibandingkan CLVD. Dengan demikian, maka hasil dari solusi *centroid moment tensor* kedua tipe inversi menunjukkan gempa disebabkan adanya aktivitas tektonik.

Kata Kunci : *centroid moment tensor* (CMT), mtinv, gempabumi

Abstract

The purpose of this research was to create information about the parameter of earthquake source that occurred in Halmahera on February 23, 2012. The data used is local wave data downloaded through the web <http://202.90.198.100/webdc3/>. The data is inverted from 0.070 to 0.095 Hz for CMT (*centroid time, centroid latitude, centroid longitude, centroid depth*, moment magnitude, tensor moments, and active fields such as *strike, dip* and *rake*). The inversion results from complete MT type percentage of reduction variance 66.4% with the percentage of ISO, CLVD, DC respectively 62.9%, 3.8%, and 33.3% with magnitude 4.40 at a depth of 20 km, 3% and CLVD of 18.7% with a VR of 63.2% at a depth of 16 km. These two types resulted in a larger percentage of DC compared to CLVD, thus the result of the centroid moment tensor solution of the inverse type exhibited tectonic property rights.

Key Words: *centroid moment tensor* (CMT), mtinv, earthquake.

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan salah satu negara yang dilalui oleh Cincin Api Pasifik. Hariyono Eko, 2016 menyatakan bahwa Cincin Api Pasifik tersebut membentuk tapal kuda sepanjang kurang lebih 40.000 km dimulai dari Amerika Selatan hingga Amerika Utara melalui selat Bearing, Jepang, sampai New Zealand serta terdapat 452 gunungapi dengan 75% berstatus aktif. Berdasarkan letak geografisnya, Indonesia terletak pada tiga lempeng besar diantaranya, lempeng Pasifik, lempeng Indo - Australia, serta lempeng Eurasia yang berpotensi bencana geotektonik besar. Salah satunya ialah letusan gunung berapi. Dalam mengidentifikasi gempa yang disebabkan oleh aktivitas vulkanik, terdapat

dua tipe CLVD (*compensated linear vector dipole*) yaitu CLVD vertikal-T dan CLVD vertikal - P. CLVD vertika ini yaitu hubungan keaktifan vulkanik dan gempa non DC (*non double couple*) dengan tekanan vertikal yang dominan

Gunung Dukono adalah salah satu dari rangkaian cincin api Indonesia serta termasuk jajaran barisan gunungapi pasifik. Adanya gunung tersebut tidak lepas dari adanya geotektonik antara Minahasa, Filipina, dan Halmahera. Pergerakan lempeng Laut Filipina mensubduksi bagian lempeng Eurasia yaitu busur-busur kepulauan Filipina dan Talaud. Pergerakan dari lempeng Pasifik dan lempeng Australia mengakibatkan adanya pergerakan palung busur

Penentuan Parameter Sumber Gempa di Sekitar Gunung Dukono Halmahera dengan Menggunakan Centroid Moment Tensor (CMT)

Halmahera dan menabrak palung busur Minahasa serta berakibat terbentuk Talaud-Mayu Ridge. Oleh sebab itu wilayah pada Halmahera rawan terjadinya gempa.

Momen tensor yaitu suatu gambaran sistem gaya yang bekerja pada sumber gempa atau dapat dikatakan yang menyebabkan gempa. Momen tensor ini dapat digunakan sebagai suatu pemahaman terhadap karakteristik atau jenis sesar yang menyebabkan gempabumi. Momen tensor memiliki 6 komponen yang menggambarkan besar dan gaya penyebab gempabumi (Madlazim, 2015). Memodelkan momen tensor dilakukan dengan metode inversi yang memanfaatkan *waveform* atau waktu tiba dari gelombang P (Sokos dan Zahradnik, 2008). Untuk menentukan parameter sumber gempa dapat menggunakan *Centroid Moment Tensor* (CMT), karena belum semua lembaga seismologi Indonesia seperti BMKG memberikan informasi tentang CMT kepada masyarakat dan belum adanya instrumen yang digunakan untuk mendeteksi parameter sumber gempa pada kedalaman puluhan sampai ratusan kilometer secara langsung. CMT adalah solusi dalam penentuan lokasi pusat dan waktu untuk menghasilkan data yang akurat menggunakan inversi *waveform*. Proses inversi yang baik berdasarkan hasil pencocokan data teramati dan data sintetik yang saling tumpang tindih (Sokos dan Zahradnik, 2008).

Analisis data pada penelitian ini menggunakan data seismik lokal yang diunduh melalui <http://202.90.198.100/webdc3/> dan diolah menggunakan program MTINV. Hasil analisis berupa CMT gempabumi meliputi persentase varian reduksi, ISO, DC, CLVD, kedalaman sentroid, serta model patahan penyebab gempa. Apabila nilai persentase DC lebih besar dibandingkan CLVD, maka gempa tersebut termasuk gempa akibat adanya aktivitas tektonik. Sebaliknya, apabila nilai persentase CLVD lebih tinggi dibandingkan DC, maka gempa tersebut disebabkan adanya aktivitas vulkanik. Karena lokasi penelitian berada di sekitar gunung, maka perlu mengetahui apakah gempa tersebut termasuk gempa tektonik, vulkanik, atau reruntuhan dengan menentukan parameter sumber gempa menggunakan *Centroid Moment Tensor* (CMT).

METODE

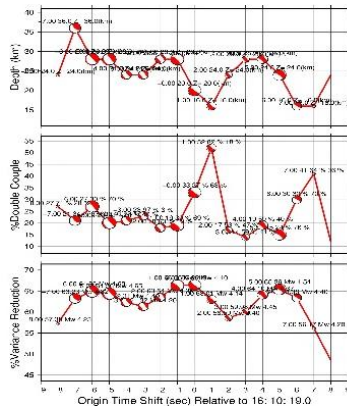
Penelitian ini merupakan jenis penelitian penerapan berbasis komputasi. Data penelitian diperoleh dengan klasifikasi kedalaman < 70 km (gempa dangkal) dengan batasan 3°00 – 6°00 LS dan 125°00 – 131°00 BT, serta magnitudo <5.0 SR. Data tersebut merupakan data *waveform* tiga komponen yang terekami oleh 5 stasiun seismik jaringan IA yang dioperasikan BMKG yaitu stasiun seismik SGSI, TNTI, BNDI, MWPI, dan FAKI yang dapat diunduh melalui WebDC3 BMKG. Pada penelitian ini menggunakan dua tipe inversi, yaitu tipe inversi full MT dan deviatorik MT. Data yang digunakan adalah data gempabumi lokal tanggal 23 Februari 2012 di wilayah Halmahera yang diunduh melalui alamat web <http://202.90.198.100/webdc3/>. Selanjutnya dilakukan proses inversi data *waveform* tiga komponen menggunakan fungsi Green. Metode penelitian ini diimplementasikan pada program MTINV yang dikembangkan oleh Ichinose untuk mendapatkan *centroid moment tensor* (CMT).

Pengolahan data diawali dengan mengubah format data .SEED ke dalam format data .SAC. Kemudian memasukan data kejadian gempa diantaranya *origin time*, *longitude*, *latitude*, struktur model kecepatan, stasiun seismik, serta memilih frekuensi antara 0,070 hingga 0,095 Hz untuk meminimalkan *noise*. Selanjutnya dilakukan perhitungan fungsi Green untuk menghitung seismogram sintetik guna menentukan parameter yang cocok dalam proses inversi. Dari proses inversi tersebut dihasilkan data berupa grafik *cross-correlation* antara varian reduksi, kedalaman, dan DC. Selain itu, dihasilkan pula hasil solusi CMT berupa ISO, CLVD, DC, bidang teraktifkan (*strike*, *dip*, dan *rake*), kedalaman sentroid, moment tensor, magnitudo momen, dan bentuk *beachball* penyebab gempa.

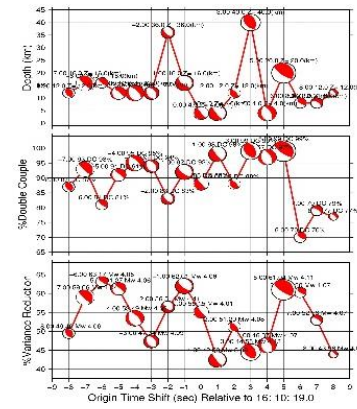
HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dari penelitian ini berupa grafik *cross-correlation* antara kedalaman centroid, *double couple*, varian reduksi, serta *beachball* penyebab adanya gempa.

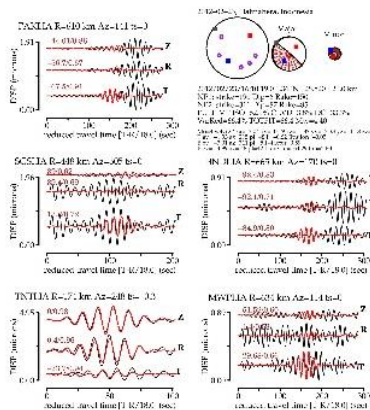
Penentuan Parameter Sumber Gempa di Sekitar Gunung Dukono Halmahera dengan Menggunakan Centroid Moment Tensor (CMT)



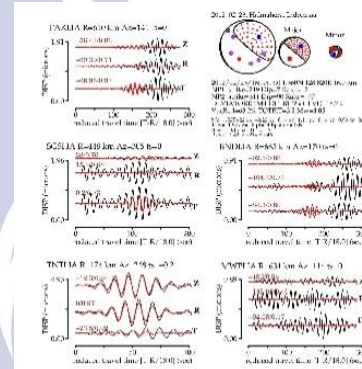
Gambar 1. Hasil inversi berupa cross-corelation antara kedalaman centroid, double couple, dan varian reduksi pada tipe inversi full MT.



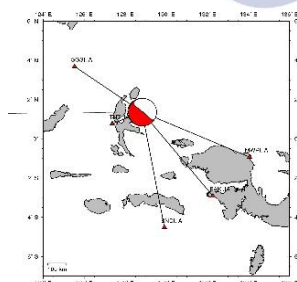
Gambar 4. Hasil inversi berupa cross-corelation antara kedalaman centroid, double couple, dan varian reduksi pada tipe inversi deviatorik MT.



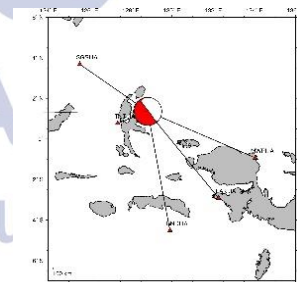
Gambar 2. Hasil inversi waveform berupa solusi CMT secara lengkap antara data sintetis (merah) dan data teramati (hitam), persentase DC dan CLVD, Mw, kedalaman bidang sesar dengan strike, dip, dan rake, moment seismik (Mo), dll pada tipe inversi full MT.



Gambar 5. Hasil inversi waveform berupa solusi CMT secara lengkap antara data sintetis (merah) dan data teramati (hitam), persentase DC dan CLVD, Mw, kedalaman bidang sesar dengan strike, dip, dan rake, moment seismik (Mo), dll pada tipe inversi deviatorik MT.



Gambar 3. Beachball gempa dengan distribusi 5 stasiun seismik pada inversi full MT



Gambar 6. Beachball gempa dengan distribusi 5 stasiun seismik pada inversi deviatorik MT.

Berdasarkan gambar 1 dapat diketahui nilai persentase varian reduksi (VR) sebesar 66,4% dengan persentase ISO sebesar 62,9%, CLVD sebesar 3,8%, dan DC sebesar 33,3% dengan magnitudo 4.40 pada kedalaman 20 km. Karena persentase DC lebih besar dibandingkan CLVD, maka dapat dinyatakan bahwa gempa

Penentuan Parameter Sumber Gempa di Sekitar Gunung Dukono Halmahera dengan Menggunakan Centroid Moment Tensor (CMT)

pada tanggal 23 Februari 2012 di Halmahera merupakan gempa tektonik yang disebabkan adanya *strike slip* selatan Halmahera. Pada hasil ini juga diperoleh nilai *strike*, *dip*, dan *rake* berturut-turut pada NP1 ialah 190, 6, dan 150, sedangkan pada NP2 yaitu 311, 87, dan 85 seperti terlihat pada gambar 4.3. Berbeda dengan gempa di gunung Agung Bali pada tanggal 28 September 2017 yang merupakan gempa CLVD vertikal-T (Madlazim dkk., 2017) dimana gempa vulkanik dengan diikuti erupsi. Meskipun Halmahera terdapat gunung aktif, namun pada penelitian ini tidak ditemukan adanya aktivitas vulkanik dari gunung Dukono. Hal tersebut disebabkan kondisi lokasi gempa yang lebih dekat dengan lempeng besar yang aktif yaitu lempeng Pasifik dan lempeng-lempeng kecil serta *strike slip* mengiri bagian Halmahera selatan. Seperti yang dikatakan oleh Condie (2016); Lourenco et al (2016); Nakagawa dan Spiegelman (2017), menyatakan bahwa dari pertemuan beberapa lempeng mengakibatkan lempeng - lempeng saling dorong dan menimbulkan adanya gempa.

Hasil penelitian pada tipe inversi deviatorik MT ini menguatkan bahwa gempa tanggal 23 Februari 2012 tergolong gempa akibat aktivitas tektonik. Hal tersebut dibuktikan dengan hasil inversi seperti pada gambar 4.61 dimana tertuliskan nilai persentase DC sebesar 81,3% lebih besar dibandingkan CLVD yang hanya 18,7% saja dengan VR sebesar 63,2% pada kedalaman 16 km. Pada tipe inversi deviatorik MT besar nilai *strike*, *dip*, dan *rake* berturut-turut diantaranya pada NP1 adalah 219, 90, dan -2, sedangkan pada NP2 yaitu 311, 90, dan -97.

Pada hasil tipe inversi full MT persentase ISO menyatakan seolah-olah gempa tersebut disebabkan oleh adanya ledakan dengan nilai persentase ISO > 50%, namun ketika inversi dengan tipe deviatorik MT dihasilkan gempa tersebut memiliki nilai persentase DC yang lebih tinggi dengan nilai persentase 81,3%. Berdasarkan uraian tersebut, maka hasil solusi *centroid moment tensor* menggunakan tipe inversi full MT dan deviatorik MT menyatakan bahwa gempa pada tanggal 23 Februari 2012 tergolong gempa yang disebabkan aktivitas tektonik.

Gempa tektonik dan gunungapi memiliki hubungan yang erat dalam proses yang terjadi dalam suatu lempeng tektonik serta

keduanya memiliki interaksi dalam jangka yang panjang (Bolt, 2006). Sehingga letak gunungapi yang dekat dengan lempeng Pasifik dan lempeng - lempeng kecil antara lain lempeng Maluku, lempeng Sangihe, dan lempeng Halmahera, serta sesar *strike slip* pada bagian Halmahera selatan dapat meningkatkan kemungkinan memicu adanya aktivitas vulkanik (Sieh, 2000). Dengan demikian tidak dipungkiri bahwa gempa tektonik dapat memicu adanya gempa vulkanik.

PENUTUP

Simpulan

Berdasarkan hasil proses inversi dengan menggunakan tipe inversi full MT dihasilkan persentase varian reduksi (VR) sebesar 66,4% dengan persentase ISO sebesar 62,9%, CLVD sebesar 3,8%, dan DC sebesar 33,3% dengan magnitudo 4.40 pada kedalaman 20 km. Penelitian ini juga ditunjukkan nilai *strike*, *dip*, dan *rake* berturut - turut pada NP1 adalah 190, 6, dan 150, sedangkan pada NP2 yaitu 311, 87, dan 85. Pada proses inversi dengan tipe inversi deviatorik MT dihasilkan nilai persentase DC sebesar 81,3 %, CLVD sebesar 18,7%, dan VR sebesar 63,2% pada kedalaman 16 km dengan nilai *strike*, *dip*, dan *rake* berturut-turut antara lain pada NP1 adalah 219, 90, dan -2, sedangkan pada NP2 yaitu 311, 90, dan -97. Kedua tipe inversi tersebut menghasilkan nilai persentase DC yang lebih besar dibandingkan CLVD. Oleh karena itu, maka hasil dari solusi *centroid moment tensor* kedua tipe inversi menunjukkan gempa disebabkan oleh adanya aktivitas tektonik.

Saran

Supaya prediksi gempa lebih akurat, maka lembaga seismologi diharapkan menerapkan solusi CMT untuk mengidentifikasi gempa tersebut merupakan gempa tektonik, vulkanik, atau runtuhan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada web <http://202.90.198.100/webdc3/> sebagai sumber data dan Dr. Ichinose yang memberikan ijin menggunakan program MTINV guna implementasi metode inversi data seismik dalam penelitian ini.

Penentuan Parameter Sumber Gempa di Sekitar Gunung Dukono Halmahera dengan Menggunakan Centroid Moment Tensor (CMT)

DAFTAR PUSTAKA

- Aki, K. And P. G. Richard. 1980. *Quantitative Seismology: Theory and Methods*, W.H Freeman, San Francisco, CA.
- Bolt., Bruce, A. 2006. *Earthquake*. W.H. Freeman and Company, New York.
- Cessna, A. 2009. *Subduction Zone*. Diakses dari www.universitytoday.com.
- Hariyono Eko. 2016. *Pengantar Geosains Fokus Kajian Gunungapi*. Unesa University Press: Surabaya.
- Ichinose, G. A., Anderson, J. G., Smith, K. D., and Zeng, Y. 2003. Source parameters of eastern California and western Nevada earthquake from regional moment tensor inversion. *Bulletin of the Seismological Society of America*. Vol.93, No.1, pp. 61-84.
- Madlazim. 2016. *Buku Fisika Bumi Seri Seismologi*. Surabaya: Unipress UNESA.
- Madlazim., Prastowo, T., Supardiyono. and Hardy, T. 2017. *Determination of source parameters of the 2017 Mount Agung volcanic earthquake from moment-tensor inversion method using local broadband seismic waveform*. Seminar Nasional Fisika (SNF) 2017, tanggal 25 November 2017 di Jurusan Fisika FMIPA Universitas Negeri Surabaya.
- Puteri, C. F., Madlazim. 2017. Pengaruh Jumlah Stasiun Seismik terhadap Hasil Estimasi Centroid Moment Tensor Gempa Bumi. *Jurnal Inovasi Fisika Indonesia (IFI)*, Vol.6, No.3, 2017, pp. 1-5.
- Refrizon., Suwarsono. 2006. Hubungan Aktivitas Gempa Tektonik Daerah Subduction Indo-Australia Eurasia Segmen Enggano Tahun 2000 dengan Aktivitas Gempa Vulkanik Gunungapi Kaba dan Dempo. *Jurnal Gradien*, Vol.2, No.2, Juli 2006, pp.167-171.
- Ruben, Y. R., Salomo, D. J. S. 2017. *Pemodelan Mekanisme Sumber Gempa Bumi Ransiki 2012 Berkekuatan MW 6,7*. Vol.6, No.1, April 2017.
- Setyowidodo, I., Pamungkas, F. 2015. Inversi waveform tiga komponen gempa bumi tanggal 10 Januari 2010 dan 18 Mei 2010 untuk menentukan pola bidang patahan yang berkembang di pulau Jawa melalui analisis momen tensor. *Nusantara of Research*. Vol.2, No.2, Oktober 2015.
- Shuler, A., Ekstrom, G., Nettles, M. 2013. Global observation of vertical-CLVD earthquakes at active volcanoes. *Journal Of Geophysical Research: Solid Earth*. Vol.118, 1569-1586, doi: 10.1002/jgrb.50131, 2013.
- Sieh, K., Natawidjaja, D. 2000. Neotectonics of Sumatra Fault, Indonesia, *Journal of Geophysical Research*, Vol. 105, 28,295-28,326.
- Soetoto. 2013. *Geologi Dasar*. Yogyakarta: Ombak.
- Thorne, L. And Terry C, W. 1995. *Modern Global Seismology*, Academic Press, New York.
- 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 Research Letters*, 79(5), pp.653-662.