

PENGARUH KONFIGURASI STASIUN SEISMIK TERHADAP HASIL ESTIMASI PARAMETER SUMBER GEMPA BUMI MENGUNAKAN METODE INVERSI WAVEFORM TIGA KOMPONEN

Intan Puji Lestari¹⁾, Madlazim²⁾

¹⁾ Mahasiswa Prodi S1-Fisika, FMIPA, Universitas Negeri Surabaya, email: intanpuji16@gmail.com

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

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh konfigurasi stasiun terhadap hasil estimasi parameter sumber gempa bumi. Data yang digunakan adalah data *waveform* lokal tiga komponen yang terekam oleh delapan stasiun *broadband* GEOFON-IA milik WebDC 3 (BLSI, KASI, LHSI, LWLI, MDSI, PDSI, PPBI, dan RGRI) yaitu gempa bumi yang terjadi di Jambi, Sumatera Barat pada 01 Oktober 2010 pukul 01:52:29 GMT. Parameter sumber gempa bumi ditentukan menggunakan metode bilangan gelombang diskrit untuk menghitung fungsi *Green* dan metode iterasi dekonvolusi untuk menginversi momen tensor dengan *waveform* lokal tiga komponen. Metode ini diimplementasikan dalam *software* ISOLA. Data ini diinversi mulai 0.03 Hz sampai 0.07 Hz untuk memperoleh parameter sumber gempa bumi. Dari hasil pembahasan dinyatakan bahwa terdapat pengaruh konfigurasi stasiun terhadap hasil estimasi parameter sumber gempa bumi. Jika penyebaran stasiun seismik semakin mendekati *azimuth* 180° maka hasil estimasi parameter sumber gempa bumi semakin akurat dan semakin mendekati Global CMT.

Kata Kunci: konfigurasi stasiun seismik, parameter sumber gempa bumi, *waveform* lokal tiga komponen

Abstract

This study has been conducted to analyze the effect of seismic station configurations to the results of earthquake source parameters estimation. The data used to determine the source parameters of earthquake are three component local waveforms that are recorded by eight GEOFON-IA broadband stations which belong to WebDC 3 (BLSI, KASI, LHSI, LWLI, MDSI, PDSI, PPBI, and RGRI) that occurred in Jambi, West Sumatera on 01 October 2009 at 01:52:29 GMT. We report a source parameter of this event using discrete wave number method to calculate the *Green* function and deconvolution iteration method to invert the moment tensor from three component local waveforms. This method is implemented in ISOLA software. The data is inverted at 0.03 Hz until 0.07 Hz to obtain the earthquake source parameters. From the discussion show that there are toward to the station configuration on result of the earthquake source parameter estimation. If the spread of the azimuth seismic stations approximated to 180° is the result of the earthquake source parameter estimates is more accurately and agree with Global CMT catalogue, which is an institution that is used as a reference seismological research in the world.

Keywords: seismic station configurations, earthquake source parameters, three component local waveforms.

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 wilayah kepulauan Indonesia menjadi wilayah yang rawan gempa bumi tektonik dengan intensitas dan kekuatan gempa bumi mulai dari skala terkecil hingga skala terbesar. Salah satunya adalah gempa bumi di Jambi, Sumatera Barat.

Kondisi geografis di wilayah Sumatera Barat sangat rawan terjadi bencana. Karena wilayah ini berada di sekitar zona patahan Sumatera yang merupakan patahan yang sangat aktif. Sehingga masih sangat mungkin berpotensi berulangnya gempa bumi di masa depan. Untuk mengurangi kerusakan akibat gempa bumi perlu mengetahui karakteristik sumber gempa bumi (McCafferey, 2009). Pemahaman terhadap karakteristik patahan yang mengakibatkan gempa bumi diperlukan untuk memperkirakan dan mengetahui karakter dan akibat kegempaan. Sehingga dilakukan pemodelan momen tensor gempa bumi (Lay and Wallace, 1995; Kayal, 2008; Shearer, 2009). Pemodelan momen tensor ini dapat dilakukan menggunakan metode inversi yang memanfaatkan *waveform* ataupun waktu tiba gelombang *P* (Kayal, 2008; Sokos and Zahradnik, 2008). Metode

inversi dengan menggunakan *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 hasil pencocokan data observasi dan data sintetik hasil inversi. Hasil yang baik terjadi saat data observasi dan data sintetik saling tumpang tindih (Sokos and Zahradnik, 2008).

Dalam penelitian ini, maka melalui estimasi parameter sumber gempa bumi, salah satunya adalah *Centroid Moment Tensor* (CMT) yang mampu menghasilkan estimasi parameter sumber gempa bumi agar bisa mengetahui lokasi dan mekanisme sumber gempa bumi yang jauh lebih akurat. Karena gelombang seismik merambat dari sumber menuju stasiun observasi dalam ruang tiga dimensi, maka *Centroid Moment Tensor* (CMT) gempa bumi ditentukan menggunakan fungsi *Green* tiga komponen. Selain komponen Z, komponen X, dan komponen Y juga diakomodasi pada koordinat Kartesian. Parameter sumber gempa bumi utama diestimasi menggunakan gelombang permukaan (*waveform*) agar seluruh data seismogram dapat digunakan. Selanjutnya data seismogram dianalisis dengan membandingkan *waveform* yang teramati oleh stasiun dan *waveform* sintetik yang telah dihitung oleh fungsi *Green* pada ketiga 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 parameter-parameter sumber gempa bumi yang meliputi skala, kedalaman, dan energi gempa bumi, serta model patahan penyebab gempa bumi. Mengingat kurang akuratnya parameter sumber gempa bumi yang digunakan oleh Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG), karena BMKG lebih memilih hasil yang cepat serta BMKG juga belum mengumumkan *Centroid Moment Tensor* (CMT) sedangkan masyarakat harus mengetahui CMT tersebut untuk mengurangi kerusakan akibat gempa bumi. Sehingga dalam penelitian ini disajikan hasil estimasi parameter sumber gempa bumi menggunakan metode inversi *waveform* tiga komponen dengan konfigurasi stasiun yang berbeda. Pentingnya penelitian pengaruh konfigurasi stasiun terhadap estimasi parameter sumber gempa bumi ini yaitu untuk mengetahui pengaruh konfigurasi stasiun terhadap ketelitian hasil estimasi parameter sumber gempa bumi yang ditandai dengan nilai varian reduksi. Hal ini karena Indonesia memiliki konfigurasi stasiun yang tidak ideal, yaitu potensi gempa bumi terjadi di laut atau wilayah dekat laut namun stasiun gempa bumi terdapat di darat, sehingga sulit membentuk lingkaran 360°.

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/> dari kejadian gempa bumi tanggal 01 Oktober 2009, sedangkan wilayah dalam objek penelitian adalah Jambi dengan batas wilayah 2.5°LS dan 101.5°BT dengan magnitudo 6.5 SR.

Penelitian ini menggunakan analisis inversi *waveform* lokal tiga komponen. Parameter-parameter sumber gempa bumi diestimasi menggunakan model inversi menggunakan fungsi *Green*.

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 parameter-parameter sumber gempa bumi (Sokos dan Zahradnik, 2008). Parameter-parameter sumber gempa bumi ini tergambar menggunakan *Centroid Moment Tensor* (CMT) atau *beach ball*, parameter patahan penyebab gempa, dan kedalaman gempa bumi (Zahradnik, 2008).

Penentuan besarnya momen tensor dilakukan menggunakan *software* ISOLA. Pada langkah pertama, data dari IRIS Wilber 3 berupa data gempa dalam format .SEED diubah terlebih dahulu ke dalam format .SAC agar data dapat dikenali oleh ISOLA. Setelah itu ditentukan model *crustal*-nya.

Pengolahan menggunakan ISOLA dimulai dari pendefinisian *event* gempa yaitu memasukkan parameter-parameter gempa seperti *latitude*, *longitude*, dan kedalaman. Setelah itu pemilihan stasiun 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 rendah dan tinggi 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

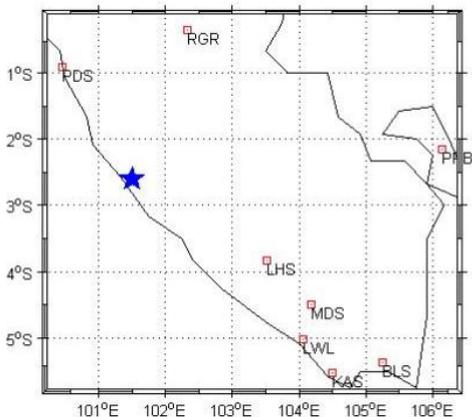
mengestimasi parameter yang cocok dalam proses inversi dan selanjutnya proses inversi melibatkan tiga komponen seismogram dengan memilih *filter* yang tepat. Hal ini bertujuan untuk mengilangkan *noise* sebelum melakukan proses inversi.

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

HASIL DAN PEMBAHASAN

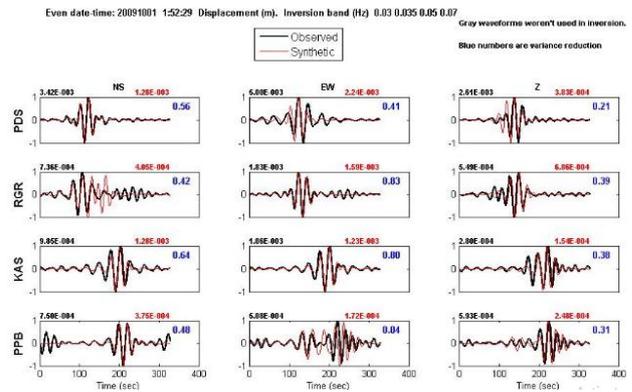
Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data seismik lokal yang diunduh melalui data gempa WebDC 3, yaitu gempa bumi yang terjadi di Jambi, Sumatera Barat pada 01 Oktober 2009 pukul 01:52:29 GMT dan mempunyai hiposenter pada *latitude* -2.5, *longitude* 101.5, dan kedalaman 16 km.

Stasiun yang dipilih adalah delapan stasiun terdekat, di antaranya yaitu BLSI, KASI, LHSI, LWLI, MDSI, PDSI, PPBI, dan RGRI. Dalam penelitian ini menggunakan lima konfigurasi stasiun yang masing-masing terdiri dari empat stasiun. Masing-masing konfigurasi stasiun tersebut, di antaranya yaitu konfigurasi stasiun ke satu yang terdiri dari stasiun KASI, LHSI, LWLI, dan MDSI, konfigurasi stasiun ke dua yang terdiri dari stasiun KASI, LWLI, MDSI, dan PPBI, konfigurasi stasiun ke tiga yang terdiri dari stasiun BLSI, KASI, LWLI, dan RGRI, konfigurasi stasiun ke empat yang terdiri dari stasiun BLSI, KASI, PDSI, dan RGRI, serta konfigurasi stasiun ke lima yang terdiri dari stasiun KASI, PDSI, PPBI, dan RGRI.



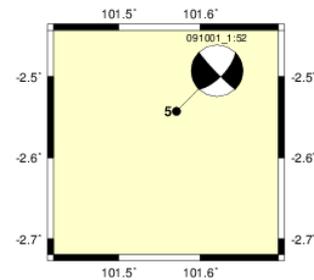
Gambar 1. Stasiun yang digunakan (ISOLA, 2017)

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



Gambar 2. Hasil inversi *waveform* antara data sintetis 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 *beach ball* 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 Jambi, Sumatera Barat pada 01 Oktober 2009 tersebut menunjukkan bahwa penyebab gempa bumi ini berupa patahan *strike slip*.

MOMENT TENSOR SOLUTION									
HYPOCENTER LOCATION (GEOFON)									
Origin time 20091001 1:52:29									
Lat -2.603 Lon 101.511 Depth 16									
CENTROID									
Trial source number : 3 (Multiple Source line or plane inver									
Centroid Lat -2.5428 Lon 101.5709									
Centroid Depth : 16									
Centroid time : +2 (sec) relative to origin time									

Moment (Nm) : 4.287e+018									
Mw : 6.6									
DC% : 80.3									
CLVD% : 19.7									
Var. red. (for stations used in inversion) : 0.45									
Var. red. (for all stations) : 0.45									

Strike	Dip	Rake	Station	NS	EW	Ver			
136	85	-159	PDS	+	+	+			
44	70	-6	RGR	+	+	+			
			KAS	+	+	+			
			PPB	+	+	+			

P-axis Azimuth Plunge									
2 18									
T-axis Azimuth Plunge									
269 10									

Mrr	Mt	Mpp							
0.078	-3.999	3.922							
Mt	Mrp	Mtp							
-1.479	0.699	0.085							
Exponent (Nm) : 18									

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

Hasil inversi berupa parameter gempa bumi di atas didapatkan bahwa magnitudo gempa sebesar 6.6 Mw dan varian reduksi sebesar 0.45 dengan DC 80.3%, dan CLVD 19.7%. Hasil data parameter sumber gempa tersebut jika dibandingkan dengan data Global CMT akan terlihat dalam tabel berikut:

Tabel 1. Data gempa bumi 01 Oktober 2009 01:52:29 GMT berdasarkan Global CMT.

<i>Lat; Lon</i>	<i>Depth (km)</i>	<i>Mag (Mw)</i>	<i>Beach Ball</i>
-2.45; 101.59	15.1	6.6	

Tabel 2. Data gempa bumi 01 Oktober 2009 01:52:29 GMT berdasarkan penulis.

Konf.	<i>Lat; Lon</i>	<i>Depth (km)</i>	<i>Mag (Mw)</i>	<i>Beach Ball</i>
I	-2.54; 101.57	16	6.4	
II	-2.59; 101.52	16	6.4	
III	-2.54; 101.57	16	6.3	
IV	-2.54; 101.57	16	6.6	
V	-2.54; 101.57	16	6.6	

Parameter-parameter sumber gempa bumi pada 01 Oktober 2009 telah dihasilkan dan dilaporkan oleh beberapa lembaga, salah satunya adalah Global CMT. Hasil pada penelitian ini dapat digunakan sebagai pembandingan. Penulis 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 dan *longitude* yang dihasilkan dari penelitian ini (Tabel 2) memiliki nilai yang mendekati dengan hasil dari Global CMT, yaitu pada konfigurasi stasiun I, III, IV, dan V. Kedalaman yang dihasilkan untuk semua konfigurasi stasiun bernilai sama, yaitu 1.1 km lebih

besar dibandingkan dengan kedalaman yang diperoleh Global CMT. Magnitudo yang dihasilkan oleh konfigurasi stasiun IV dan V memiliki nilai yang sama dengan magnitudo yang diperoleh Global CMT, yaitu sebesar 6.6 SR. Dan untuk kecocokan bentuk *beachball*, pada konfigurasi stasiun V memiliki bentuk *beachball* yang lebih mirip dengan bentuk *beachball* yang diberikan oleh Global CMT.

Dari hasil parameter-parameter sumber gempa bumi tersebut yang mendekati hasil Global CMT adalah konfigurasi stasiun seismik V. Hal ini disebabkan konfigurasi stasiun ini memiliki sudut yang terbesar di antara konfigurasi stasiun yang lain, yaitu sekitar 180°, serta konfigurasi stasiun ini terdiri dari stasiun yang letaknya tersebar mengelilingi episenter dengan *azimuth* yang lebih besar. Namun pada konfigurasi stasiun ini memiliki nilai varian reduksi yang rendah yang disebabkan semakin menyebarnya stasiun sehingga semakin mewakili karakteristik dari medium, karena medium yang dilewati semakin heterogen. Sehingga menyebabkan keterwakilan model kecepatan semakin kecil, yaitu dibutuhkan model kecepatan yang mewakili stasiun tersebut. Hal ini sesuai dengan penelitian sejenis yang dilakukan oleh (Irwan dan Fur'on, 2015).

Gempa bumi pada 01 Oktober 2009 ini terjadi di Segmen Dikit yang merupakan bagian dari *Sumatera Fault Zone* (SFZ) di wilayah Jambi. Berdasarkan penelitian ini, gempa bumi tersebut disebabkan oleh gempa bumi tektonik dengan tipe patahan *strike-slip*. Hal ini sesuai dengan penelitian sejenis yang dilakukan oleh (Madlazim, 2013) pada kasus gempa bumi yang sama.

PENUTUP

Simpulan

Berdasarkan hasil pembahasan dalam penelitian ini dapat disimpulkan bahwa terdapat pengaruh konfigurasi stasiun terhadap hasil estimasi parameter sumber gempa bumi. Jika penyebaran stasiun seismik semakin mendekati *azimuth* 180° maka hasil estimasi parameter sumber gempa bumi semakin akurat dan semakin mendekati Global CMT, yang merupakan lembaga seismologi yang digunakan sebagai acuan penelitian di dunia.

Saran

Dalam penelitian ini, kesulitan yang dihadapi peneliti terjadi saat penentuan data *event* gempa bumi, di mana harus memilih data yang dapat dijalankan oleh *software* ISOLA dengan *noise* yang kecil dan terekam oleh minimal delapan stasiun yang mengelilingi episenter dengan *azimuth* minimal 180°. Tidak terjadi kendala teknis terkait proses plot inversi *waveform* dan *beachball* menggunakan *software* ISOLA yang dijalankan pada program MATLAB. Saran konstruktif untuk peneliti

selanjutnya agar dapat memperoleh data yang lebih akurat maka menggunakan konfigurasi stasiun yang memiliki penyebaran 360° jika tersedia, agar hasilnya sesuai dengan teori. Jika tidak tersedia maka dipilih konfigurasi stasiun dengan penyebaran terbesar. Selain itu, harus memilih data yang mengandung 3 komponen (BHE, BHN, dan BHZ) dengan kualitas data yang baik yang merekam gelombang P, gelombang S, dan gelombang permukaan.

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

- 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.
- Lay, T. and Wallace, T. C. 1995. *Modern Global Seismology*. New York, USA: Academic Press.
- Madlazim. 2013. Determining the Source Parameters of the Jambi Earthquake (1 October 2009, Mw=6,4) Using Three-Component Local Waveforms. *Makara Journal of Science*. Vol.17, No.1, pp.17-22.
- McCafferey, R. 2009. The Tectonic Framework of the Sumatran Subduction Zone. *Annu. Rev. Earth Planet. Sci.* Vol.37, pp.345-366.
- 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.
- 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.
- Zahradnik, J., Galovic, F., Sokos, E., Serpetsidaki, A., and Tselentis, G. 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*. Vol.79, No.5, doi: 10.1785/gssrl.79.5.653, pp.653–662.

Zahradnik, J., Serpetsidaki, A., Sokos, E., and Tselentis, G. A. 2006. Iterative deconvolution of regional waveforms and a double-event interpretation of the 2003 Lefkada earthquake, Greece. *Bulletin of the Seismological Society of America*. Vol.95, No.1, doi: 10.1785/0120040035, pp.159–172.