

ESTIMASI KARAKTERISTIK SESAR YANG MENYEBABKAN GEMPA DI WILAYAH BANJARNEGARA MENGGUNAKAN SOFTWARE MTINV

Muhammad Syahrul Dwi Handika, Madlazim

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

Email : muhammadsyahruldwihandika@gmail.com

Abstrak

Penelitian ini dilaksanakan dengan tujuan untuk menganalisis karakteristik sesar yang menyebabkan gempa dangkal yang terjadi di Banjarnegara dengan menggunakan *software Moment Tensor Inversion* (MTINV). Data yang digunakan pada penelitian ini adalah data sekunder berupa *waveform* tiga komponen pada tanggal 18 April 2018 yang diunduh dari WebDC3 BMKG. Untuk estimasi *Centroid Moment Tensor* (CMT) sebagai parameter gempa digunakan metode inversi seismik dan fungsi *Green* tiga komponen yang diaplikasikan ke dalam *software Moment Tensor Inversion* (MTINV). Hasil estimasi *Centroid Moment Tensor* (CMT) adalah momen seismik (M_0), magnitudo momen (M_w), *latitude*, *longitude*, kedalaman sumber, dan orientasi bidang sesar (*nodal plane/NP*) yang meliputi sudut *strike*, *dip*, dan *rake*. Selain itu, solusi *Centroid Moment Tensor* (CMT) juga memberikan informasi penyebab terjadinya gempa yang meliputi komponen *Isotropik* (ISO), *Double Couple* (DC), dan *Compensated Vertical Linear Dipole* (CLVD) dalam persen. Hasil perhitungan inversi seismik menunjukkan bahwa gempa terjadi akibat aktivitas tektonik yang dibuktikan dengan persentase *Double Couple* (DC) lebih dominan daripada *Double Couple* (DC) dengan *Variation Reduction* (VR) 57.6%. Berdasarkan *Variation Reduction* (VR), maka hasil yang diperoleh dalam penelitian ini dapat dikatakan valid karena telah memenuhi syarat. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa karakteristik sesar yang menyebabkan gempa dangkal yang terjadi di Banjarnegara 18 April 2018 bertipe naik (*reverse*).

Kata Kunci: *Centroid Moment Tensor* (CMT), Banjarnegara, inversi seismik, dan *Moment Tensor Inversion* (MTINV)

Abstract

This research was carried out with the aim of analyzing the characteristics of the sesar that caused the shallow earthquake that occurred in Banjarnegara using *Moment Tensor Inversion* (MTINV) software. The data used in this study is secondary data in the form of a three-component waveform on April 18, 2018 downloaded from WebDC3 BMKG. For centroid moment tensor (CMT) estimation as earthquake parameters used seismic inversion method and green function three components applied into *Moment Tensor Inversion* (MTINV) software. Centroid Moment Tensor (CMT) estimation results are seismic moment (M_0), moment magnitude (M_w), latitude, longitude, source depth, and nodal plane (NP) orientation that includes strike, dip, and rake angles. In addition, Centroid Moment Tensor (CMT) solutions also provide information on the causes of earthquakes including *Isotropic* (ISO), *Double Couple* (DC), and *Compensated Vertical Linear Dipole* (CLVD) components in percent. The results of seismic inversion calculations show that earthquakes occur as a result of tectonic activity as evidenced by the percentage of *Double Couple* (DC) more dominant than *Double Couple* (DC) with *Variation Reduction* (VR) of 57.6%. Based on *Variation Reduction* (VR), the results obtained in this study can be said to be valid because they are qualified. Thus it can be concluded that the characteristics of the sesar that caused the shallow earthquake that occurred in Banjarnegara On April 18, 2018 are up (*reverse*).

Keywords: Centroid Moment Tensor (CMT), Banjarnegara, seismic inversion, and Moment Tensor Inversion (MTINV)

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan salah satu daerah tektonik aktif yang diakibatkan oleh pertemuan tiga lempeng tektonik utama yang senantiasa bergerak, yaitu Lempeng Eurasia, Lempeng Indo-Australia dan Lempeng Pasifik. Oleh karena itu, tidak mengherankan apabila wilayah kepulauan di Indonesia berpotensi terjadi gempa dengan intensitas dan kekuatan gempa yang mulai dari skala terkecil hingga skala terbesar.

Secara tektonik Pulau Jawa berada di antara zona tumbukan antara Lempeng Indo-Australia dengan Lempeng Eurasia di Bagian selatan (zona subduksi). Zona subduksi terjadi akibat dari aktivitas Lempeng Indo-Australia yang mendekati Lempeng Eurasia dengan kecepatan ± 7 cm/tahun. Hal ini menyebabkan pulau Jawa terbukti memiliki beberapa sesar yang berpotensi sebagai sumber gempa. Sesar (*fault*) adalah suatu bentuk patahan pada lapisan batuan kerak bumi yang menyebabkan suatu blok batuan bergerak relatif terhadap blok batuan lain. Pergerakan dapat relatif turun, naik, atau mendatar terhadap blok yang lain (Mustofa & Sehad, 2016).

Kabupaten Banjarnegara, Provinsi Jawa Tengah merupakan daerah yang termasuk kategori tektonik aktif. Daerah ini dipengaruhi oleh keberadaan struktur geologi regional yang membelah Pulau Jawa. Dua struktur patahan membentang dengan arah barat laut – tenggara dan timur laut – barat daya yang bertemu pada suatu titik di sekitar selatan Kabupaten Kebumen. Sesar dengan arah barat laut – tenggara sampai saat ini masih aktif, sehingga akan sangat berpengaruh terhadap keaktifan sesar-sesar lokal yang salah satunya diperkirakan melewati daerah Banjarnegara (Satyana, 2009). Bahaya yang timbul akibat aktivitas sesar ini sangat tinggi, mengingat daerah Banjarnegara terdiri dari Pegunungan Serayu Utara yang merupakan daerah-daerah yang labil dengan topografi bergelombang, mudah longsor, curam, dan mempunyai berbagai jenis batuan serta struktur geologi yang kompleks (Kinasti, 2014). Pada dasarnya sesar bergerak dapat relatif turun, naik, atau mendatar terhadap blok yang lain. Pergerakan tiba-tiba suatu sesar dapat

mengakibatkan gempa bumi (Mustofa & Sehad, 2016). Disisi lain gempa di Kabupaten Banjarnegara memiliki kedalaman 4 km, dan digolongkan sebagai gempa dangkal. Kondisi tersebut disebabkan gempa dangkal terjadi ketika hiposenter berada pada kedalaman kurang dari 70 km. Karena letak hiposenter lebih dekat dengan permukaan, maka efek yang ditimbulkan jauh lebih besar dibanding gempa dalam (Madlazim, 2018).

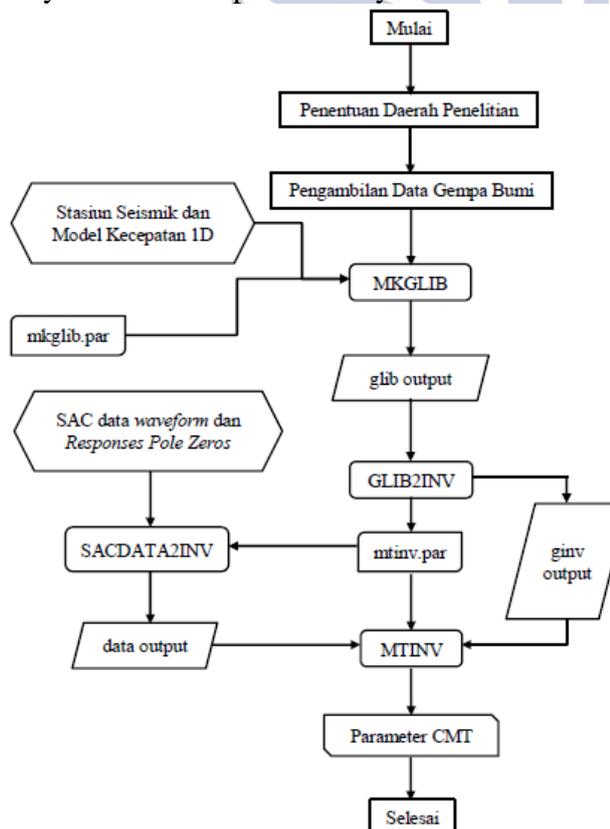
Untuk memahami penyebab gempa di Kabupaten Banjarnegara, maka diperlukan penelitian terhadap karakteristik sesar. Menurut Zahradnik, *et al* (2008), dalam menentukan karakteristik penyebab gempa diperlukan pemodelan momen tensor gempa menggunakan metode inversi dengan memanfaatkan *waveform* (waktu tiba 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).

Estimasi CMT digunakan untuk memberikan informasi tambahan kepada lembaga seismologi seperti BMKG, dikarenakan lembaga BMKG belum mengumumkan *Centroid Moment Tensor* (CMT) gempa dan banyak gempa yang belum diketahui penyebab terjadinya terutama gempa yang magnitudonya di bawah 5 serta belum adanya instrumen yang dapat mengukur secara langsung suatu gempa tersebut. MTINV merupakan salah satu *software* dengan metode inversi yang memanfaatkan *waveform* dan bisa digunakan sebagai instrumen untuk mempersingkat proses perhitungan estimasi CMT. Keunggulan dari *software* MTINV yaitu proses yang dilakukan tidak rumit apabila dibandingkan dengan *software* lain yang menggunakan *software* tambahan (seperti MATLAB), sehingga dapat mempersingkat proses perhitungan estimasi CMT. Selain itu, *software* ini dapat diakses secara gratis melalui <http://crack.seismo.unr.edu/htdocs/students/Ichinose/>. Berdasarkan hal tersebut, peneliti tertarik melakukan penelitian tentang estimasi parameter sumber gempa melalui karakteristik sesar di wilayah Banjarnegara, Jawa Tengah menggunakan *software* MTINV. Penelitian yang

dilakukan diharapkan memberikan informasi tentang tipe sesar sebagai penyebab gempa bumi yang meliputi *Isotropik (ISO)*, *Double Couple (DC)*, *Compensated Vertical Linear Dipole (CLVD)*, serta *Varian Reduksi (VR)*. Sehingga dari hasil penelitian diharapkan dapat digunakan sebagai upaya mitigasi sebelum bahaya gempa bumi di wilayah Banjarnegara, Jawa Tengah.

METODE

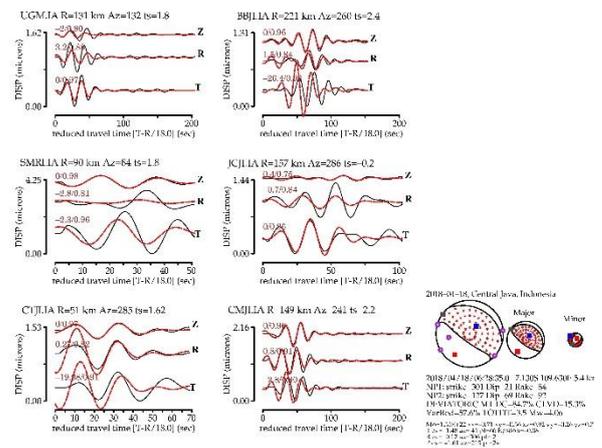
Penelitian ini termasuk jenis penelitian yang berbasis komputasi karena melibatkan seperangkat *software* dengan menerapkan rumus fungsi *Green* tiga komponen dalam penyelesaiannya. Data yang digunakan merupakan data sekunder yang diperoleh dari WebDC3 BMKG di <http://202.90.198.100/webdc3/> yaitu di wilayah Banjarnegara Provinsi Jawa Tengah dengan data masukan $3 \leq M \leq 5$. Data tersebut merupakan data *waveform* tiga komponen yang direkam oleh stasiun seismic milik jaringan IA yang mencakup wilayah 4 kuadran penuh wilayah tersebut.



Gambar 3.3 Langkah-langkah penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

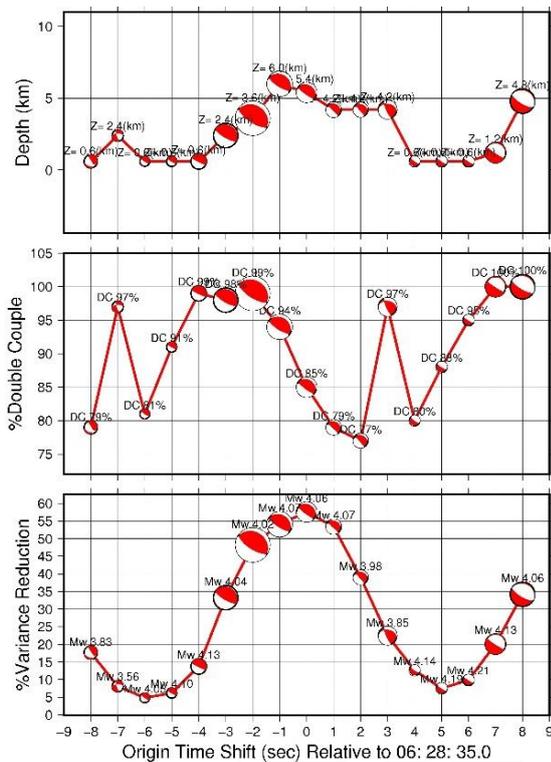
Lokasi episenter *event* gempa berada pada 7,21 LS-109,65 BT dengan magnitudo 4,4 SR dan pada kedalaman 4 km pukul 06:28:35 UTC (*Universal Time Coordinate*). Data direkam oleh stasiun UGM, BBJI, SMRI, JCJI, CTJI, dan CMJI yang dipilih karena dekat dengan sumber gempa dan posisi stasiun tersebut mencakup 4 wilayah kuadran penuh terhadap sumber. Untuk menyaring sinyal *broadband* yang terekam di seismogram dilakukan dengan rentang frekuensi antara 0.031 – 0.056 Hz menggunakan *software* MTINV. lalu data yang diunduh dari WebDC3 BMKG seperti *latitude*, *longitude*, dan kedalaman dimasukkan kedalam *software* MTINV untuk dilakukan proses inversi. Untuk input kedalaman dilakukan dalam rentang 0,9-9,9 km dengan kenaikan sebesar 0,9 km. Untuk model kecepatan gelombang seismik yang digunakan dalam menginversi *waveform* yaitu dengan model kecepatan lokal satu dimensi yang telah dikembangkan oleh Madlazim, dkk., (2017).



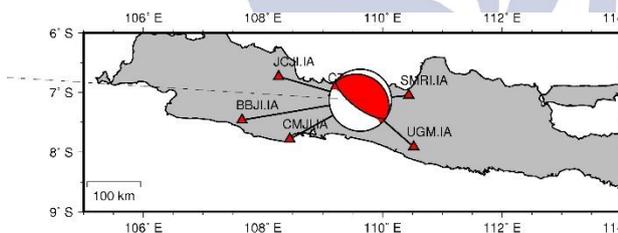
Gambar 1. Hasil inversi *fitting waveform* tiga komponen.

Hasil dari data *fitting waveform* pada gambar 1 menghasilkan bentuk gelombang yang teramati oleh stasiun (hitam) dengan bentuk gelombang yang telah dihitung dengan menggunakan fungsi *Green* (merah) hampir identik dengan nilai *Variance Reduction (VR)* 57.6% yang sesuai dengan magnitudo momen (M_w) sebesar 5.4 Sedangkan komponen DC diperoleh sebesar 84.7%, CLVD sebesar 15.3%, dan titik kedalaman *centroid* 3.6 km.

Estimasi Karakteristik Sesar Yang Menyebabkan Gempa Di Wilayah Banjarnegara Menggunakan Software MTINV



Gambar 2. Hasil *cross correlation* antara *Double Couple*, *Variance Reduction*, dan kedalaman pada event 18 April 2018



Gambar 3. Peta *beachball* hasil solusi CMT

Pada gambar 2 menunjukkan grafik yang saling berhubungan atau *cross correlation* antara *Double Couple* (persen), *Variance Reduction* (persen), dan kedalaman (km). Hasil dari grafik *cross correlation* diatas menunjukkan bahwa nilai *Variance Reduction* maksimal diperoleh 57.6% yang berkorelasi dengan DC sebesar 84.7% serta kedalaman *centroid* 5.4 km. *Origin Time Shift* merupakan hasil perhitungan dengan menggunakan software MTINV yang menunjukkan bahwa waktu terjadinya gempa pada event ini sama dengan hasil pengamatan WebDC3 BMKG. Hasil tersebut didukung juga dengan peta *beachball* hasil solusi dari CMT seperti pada gambar 3. Pada gambar tersebut terlihat bahwa bentuk *beachball*

mengambarkan bahwa warna putih yang berarti gaya menekan daerah yang berwarna merah yang berarti sumbu tegangan sehingga menghasilkan *hanging wall* relatif naik dari *foot wall*.

Pembahasan

Momen tensor gempa menggambarkan arah gaya dari penyebab gempa bumi dalam bentuk *beachball* yang didekomposisikan menjadi komponen *Isotropik* (ISO) dan deviatorik yang diantaranya *Double Couple* (DC), dan *Compensated Linear Vertical Dipole* (CLVD) (Ichinose, *et al.*, 2008). Kecocokan hasil estimasi tersebut dengan hasil data pengamatan dapat diketahui berdasarkan besar selisih dari keduanya yang ditunjukkan dengan besarnya varian reduksi (VR). VR biasanya dinyatakan dalam rentang 0 sampai dengan 100%. Apabila nilai VR lebih dari 50% menandakan hasil dari bentuk gelombang yang terhitung berimpit dengan bentuk gelombang yang teramati, sedangkan apabila nilai VR kurang dari 50%, maka ketidakcocokan bentuk gelombang semakin besar. Apabila diperoleh solusi CMT dengan presentase ISO>50%, maka sumber gempa diakibatkan oleh ledakan. Apabila diperoleh solusi CMT dengan presentase DC>50%, maka sumber gempa diakibatkan oleh aktivitas tektonik. Jika nilai yang dihasilkan dari solusi CMT presentase CLVD>50%, maka sumber gempa diakibatkan oleh aktivitas vulkanik (Madlazim & Prastowo, 2016).

Tabel 1. Hasil dari solusi CMT dan *PRESS RELEASE* dari BMKG

Hasil	Centroid			Tipe Sesar
	Lat	Long	Depth	
Hasil Solusi CMT	-7.21	109.65	3.6	<i>Reverse Fault</i>
<i>PRESS RELEASE</i>	-7.21	109.65	4	<i>Oblique Thrust Fault</i>

Tabel 1 memperlihatkan hasil dari solusi CMT dan *press release* dari BMKG tentang gempa pada tanggal 18 April 2018 di Banjarnegara. Penyebab gempa di Banjarnegara terjadi akibat aktivitas tektonik dari gerakan sesar. Dalam hal ini terjadi perbedaan hasil

antara solusi CMT dan *press release*. Perbedaan terletak pada tipe sesar, dimana tipe sesar hasil dari solusi CMT adalah sesar naik sedangkan tipe sesar dari hasil *press release* adalah *oblique*. Pada penelitian ini solusi CMT dinyatakan valid sebab nilai VR 57.6% serta komponen yang mendominasi adalah komponen DC.

Berdasarkan penelitian Mustofa dan Sehad (2016) menyatakan bahwa sesar yang berada di Kecamatan Banjarnegaru Kabupaten Banjarnegara termasuk tipe sesar naik atau *reverse fault* yang sesuai dengan hasil solusi CMT pada penelitian ini. Sehingga dapat disimpulkan bahwa penyebab terjadinya *event* gempa tersebut disebabkan oleh sesar lokal yang memang berada disekitar Wilayah Banjarnegara.

Hasil dari solusi CMT memberikan solusi yang lebih baik dalam menentukan titik kedalaman *centroid* daripada dengan metode estimasi parameter gempa yang lain. Tidak semua lembaga seismologi, seperti Global CMT yang secara pasti mengeluarkan solusi CMT untuk mengetahui penyebab gempa dengan bentuk persentase DC, CLVD, dan ISO terutama pada gempa yang magnitudonya < 5 SR. Pada penelitian ini, dapat dibuktikan bahwa *event* gempa 18 April 2018 dengan magnitude 4 SR dapat diketahui sumber penyebab gempa melalui solusi CMT dengan menggunakan *software* MTINV. Sedangkan untuk lembaga seismologi seperti Global CMT tidak menyediakan solusi CMT untuk gempa dengan magnitude < 5 SR.

PENUTUP

Simpulan

Penelitian ini berfokus pada menganalisis karakteristik sesar yang menyebabkan gempa dangkal yang terjadi di Wilayah Banjarnegara dengan menggunakan *software* MTINV. Hasil dari solusi CMT menunjukkan bahwa gempa terjadi akibat aktivitas tektonik yang dibuktikan dengan persentase nilai DC lebih dominan dibandingkan CLVD dengan nilai VR yaitu 57.6%. Berdasarkan nilai VR, maka hasil yang diperoleh dalam penelitian ini dapat dinyatakan valid karena telah memenuhi syarat. Selain itu hasil solusi CMT dalam penelitian ini berbeda dengan hasil *press release* dari BMKG dikarenakan adanya perbedaan model kecepatan

yang digunakan dalam penelitian ini dengan yang digunakan oleh BMKG.

Saran

Penentuan data *event* gempa bumi harus dilakukan sebab belum tentu dapat dijalankan oleh *software* MTINV. Oleh karena itu peneliti lain perlu memilih data yang dapat dijalankan pada *software* MTINV dengan acuan terekam minimal 4 stasiun seismik yang mencakup wilayah 4 kuadran penuh terhadap sumber. Selain itu data tersebut 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

- 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.
- 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>.
- Kinasti, M.A., 2014. *Pengaruh Struktur Geologi Terhadap Gerakan Tanah di Dusun Windusari, Desa Metawana, Kecamatan Pagentan, Kabupaten Banjarnegrara, Provinsi Jawa Tengah*. *Jurnal Ilmiah MTG* Vol.7 Hal.2.
- Mustofa, Imam & Sehad. (2016). "PEMODELAN SESAR DI KECAMATAN BANJARMANGU KABUPATEN BANJARNEGARA BERDASARKAN

- DATA ANOMALI GRAVITASI*". Jurnal Inovasi Dan Pembelajaran Fisika. Vol. 1. 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*.
- Satyana, A.H., 2009. *Disappearance of Java's Southern Mountains in Kebumen and Lumajang Depressions: Tectonic Collapses and Identations by Java's Transverse Major Fault Zones*; Proceedind International Conference On Earth Science and Technology; Geological Engineering Departmen, Gadjah Mada University; Yogyakarta; 6-7 Agustus 2009, ISBN: 978-979-17549-4-1.
- Sokos, E. and Zahradník, J., ISOLA a Fortran code and a Matlab GUI to perform multiple-point source inversion of seismic data, *Computers & Geosciences*, 2008, 34, 967–977.
- Zahradnik, J., Jaromir Jansky, and Vladimir Plicka, 2008a. Detailed Waveform Inversion for Moment Tensors of $M_w \sim 4$ Events: Examples from the Corinth Gulf, Greece, *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 98, No. 6, pp. 2756–2771, December 2008, doi: 10.1785/012008012

