

**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**

Irwan Setyowidodo¹, Fur'on Pamungkas²
Universitas Nusantara PGRI Kediri, Indonesia
E-mail: irwan.setyowidodo@gmail.com

Abstrak

Pulau Jawa termasuk daerah rawan gempa. Dalam lima tahun terakhir *IRIS* mencatat sekitar 300 gempa besar di Indonesia, 30 di antaranya terjadi di pulau Jawa. Misalnya pada tanggal 2 September 2009, pukul 14:55:01 WIB, terjadi di Tasikmalaya dengan magnitudo $M_w = 7,0$. Hal ini karena pulau Jawa dan Sumatra terletak di antara tiga zona yang dapat mengakibatkan gempa bumi di Indonesia, yaitu Palung Sunda, Sesar Sumatra (Sesar Semangko), serta Sesar Mentawai, Sesar Batee dan Sesar Andaman.

Analisis seismogram menggunakan *waveform* tiga komponen dilakukan untuk mendapatkan momen tensor dan mengetahui pola bidang patahan subduksi di pulau Jawa. Penelitian ini akan diawali dengan *request* beberapa *event* gempa dari *IA* dan atau *Geofon*. Kemudian dengan *software ISOLA* dilakukan konversi dan *preprocessing* data, input data yang meliputi: *crustal model*, *event info*, memilih stasiun, persiapan data mentah, dan pendefinisian sumber seismik, menghitung fungsi *Green*, melakukan inversi dan *plot* hasil inversi. Selanjutnya menggambarkan *Fault-Plane* penyebab gempa bumi menggunakan *software hcplot*. Parameter-parameter gempa bumi yang meliputi, skala, kedalaman, energi gempa bumi serta model patahan penyebab gempa bumi akan diketahui. Hasil analisis sementara ini diketahui bahwa pola bidang patahan yang berkembang di pulau Jawa adalah pola sesar mendatar dan sesar *oblique normal*. Sehingga dengan mengetahui pola bidang patahan yang berkembang di suatu daerah jika sewaktu-waktu terjadi gempa dapat diantisipasi dampak yang akan ditimbulkannya.

Kata kunci: inversi waveform tiga komponen, momen tensor, pola bidang patahan

Pendahuluan

Wilayah Indonesia terletak di antara dua samudra, dua benua dan tiga mega lempeng tektonik. Indonesia terletak pada jalur pusat-pusat gempa bumi global *circum-Pacific*. Hal inilah yang menyebabkan beberapa daerah di Indonesia sering terjadi gempa bumi dengan intensitas dan kekuatan gempa mulai dari skala terkecil sampai skala terbesar, terutama di Sumatra, Irian Jaya, Selatan Jawa, dan Sulawesi.

Gempa-gempa yang terjadi di Sumatra dan Jawa merupakan implikasi geodinamik dari deformasi aktif di sekitar Sunda (*Java Trench*) (Lasitha, S dkk., 2006). Panjang *Java Trench* sekitar 5600 km, terhitung mulai dari pulau Andaman-Nicobar sampai kepulauan Nusa Tenggara Barat. Busur *Java Trench* merupakan hasil tumbukan antara 2 lempeng lautan, yaitu lempeng India-Australia yang bergerak dengan kecepatan 7 *cm/tahun* ke arah Utara dengan lempeng Eurasia. Interaksi lempeng-lempeng yang terjadi di Selatan Busur *Java Trench* menciptakan sebuah Palung Jawa (Palung Sunda).

Daerah Jawa Barat sebagai bagian dari pulau Jawa yang lebih dekat dengan Palung Sunda, memiliki jumlah *event* gempa yang cukup besar. Sepanjang tahun 2008 s/d 2010, *Geofon* menyebutkan bahwa tidak kurang dari 30 *event* gempa terjadi di daerah Jawa Barat dengan magnitudo $M_w \geq 5,0$. Misalnya pada tanggal 11 Nopember 2008, pukul 13:00:48 UTC atau pukul 20:00:48 WIB, terjadi gempa bumi dengan magnitudo $M_w = 5,3$ yang mengguncang kawasan Sukabumi, Jawa Barat. Berdasarkan catatan *Geofon*, episentrum gempa tersebut berada pada posisi $-7,80^\circ\text{S}$ dan $106,30^\circ\text{E}$ dengan kedalaman sekitar 54 km di bawah permukaan laut

Pada tanggal 2 September 2009, pukul 07:55:01 UTC atau pukul 14:55:01 WIB waktu setempat, juga telah terjadi gempa bumi besar dengan magnitudo $M_w = 7,0$ dan kedalaman 49,9 km pada posisi $7,777^\circ\text{S}$ dan $107,326^\circ\text{E}$. Gempa bumi ini mengakibatkan kerusakan berbagai prasarana dan sarana fisik serta sekitar 74 orang korban jiwa manusia di propinsi Jawa Barat.

Gempa berikutnya dengan magnitudo $M_w = 5,8$ dan kedalaman episentrum 96,8 km terjadi pada tanggal 26 Juni 2010, pukul 16.50 WIB di Lautan Hindia sebelah Selatan (80 km) Tasikmalaya, sekitar 80 km juga ke sebelah Timur dari posisi gempa tahun sebelumnya. Dengan kedalaman hiposentrum seperti itu, dapat diketahui gempa ini merupakan *slab earthquake* (patahan pada kerak samudera yang menunjam di bawah kerak akresi Selatan Jawa Barat).

Menurut McCaffrey (2009), Sesar di sekitar Sumatra dan Jawa berdasarkan sejarahnya menyebabkan gempa bumi yang merusak. Untuk meminimalisir kerusakan akibat gempa perlu mengetahui karakteristik sumber gempa bumi. Pemahaman terhadap karakteristik sesar yang mengakibatkan gempa bumi diperlukan untuk memperkirakan dan mengetahui karakter dan akibat kegempaan. Karena itulah dilakukan pemodelan momen tensor gempa bumi (Lay dan Wallace, 1995; Kayal, 2008; Shearer, 2009). Dalam memodelkan momen tensor ini dapat dilakukan dengan menggunakan metode inversi yang memanfaatkan *waveform* ataupun waktu tiba gelombang *P* (Kayal, 2008; Sokos dan Zahradnick, 2008).

Karena gelombang seismik merambat dari sumber menuju stasiun observasi dalam ruang tiga dimensi, maka penentuan CMT (*Centroid Moment Tensor*) gempa bumi menggunakan fungsi *Green* juga harus dalam tiga komponen. Yakni selain arah sumbu *Z*, juga mengakomodasi komponen *X* dan *Y* pada koordinat Kartesian. Agar bisa menggunakan seluruh data seismogram, maka untuk mengestimasi parameter sumber gempa utamanya digunakan gelombang permukaan (*waveform*). Selanjutnya untuk menganalisa data seismogram adalah dengan membandingkan *waveform* teramati oleh stasiun dan *waveform* sintetik yang telah dihitung fungsi *Green* pada ketiga komponen dalam seismogram.

Seiring dengan kemajuan teknologi, pemanfaatan atas kemampuan komputer semakin meningkat. Di sisi lain kualitas data seismik juga bertambah baik, maka penerapan teknologi baru pun banyak digunakan. Selain untuk memetakan struktur tiga dimensi bumi juga untuk menggambarkan mekanisme gempa bumi. Hal ini dapat dilihat dengan penggunaan permodelan *waveform forward* untuk melengkapi studi tomografi, memberikan detail tentang *featur-featur* struktural, begitu juga dengan pola-pola heterogenitas kecil. Maka dari

itu telah banyak dilakukan studi yang mengembangkan pemahaman kita tentang struktur dan dinamika dari interior dalam bumi serta mekanisme gempa bumi melalui estimasi parameter sumber gempa, termasuk juga CMT.

Dasar Teori

Fungsi Green dan Momen Tensor

Gempa bumi disebabkan adanya gerakan suatu sesar dengan karakter gerak tertentu. Model gerak sesar dan karakter sesar penyebab gempa bumi dapat diketahui berdasarkan momen tensor gempa bumi. Momen tensor ini digunakan untuk menggambarkan arah gaya penyebab gempa bumi. Berdasarkan persamaan dari suku fungsi Green,

$$u(x) = \int_{-\infty}^{\infty} G(x; x') f(x') dx' \dots\dots\dots(2.1.1)$$

maka komponen rekaman seismik dari sebuah titik sumber dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$U_k(x, t) = \sum_{i=1}^6 G_{ki}(x, x_s, t) * f_i(t) \dots\dots\dots(2.1.2)$$

Keterangan:

U_k = rekaman pergeseran pada komponen ke-k

x = posisi receiver

x_s = posisi sumber gempa

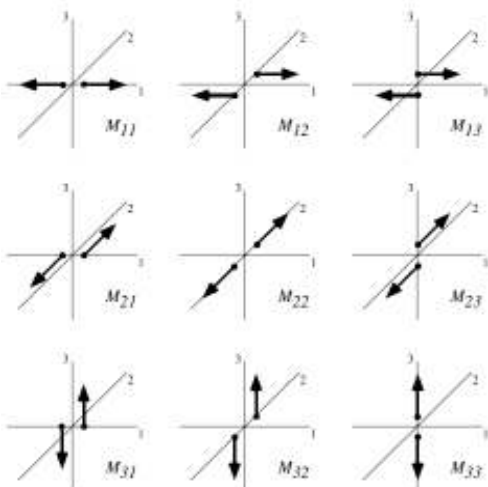
G_{ki} = fungsi Green, bergantung sifat elastik dan anelastik dari bumi dan tanda bintang menunjukkan konvolusi.

$f_i(t)$ = menyatakan 6 komponen momen tensor dasar independen.

Momen tensor-momen tensor menggambarkan kekuatan dari kopel gaya dari gempa dapat ditulis dalam bentuk :

$$M_{ij} = \begin{bmatrix} M_{11} & M_{12} & M_{13} \\ M_{21} & M_{22} & M_{23} \\ M_{31} & M_{32} & M_{33} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} M_{XX} & M_{XY} & M_{XZ} \\ M_{XY} & M_{YY} & M_{YZ} \\ M_{XZ} & M_{YZ} & M_{ZZ} \end{bmatrix}$$

Kesembilan komponen momen tensor tersebut dinyatakan dalam gambar sebagai berikut:



Gambar 1. Pasangan Gaya dari Komponen Momen tensor (Shearer, 2009)

Gaya yang bergerak ke arah *i* terhadap *j* disimbolkan dalam M_{ij} yang merupakan komponen momen tensor. Sifat momen tesor ini simetris, karena M_{ij} sama dengan M_{ji} . Nilai komponen M_{ij} tersebut dapat digunakan untuk mengetahui parameter *strike* (ϕ), *dip* (δ) dan *rake* (λ) penyebab gempa bumi. Karena $M_{ji} = M_{ij}$, maka dari 9 momen tensor hanya tinggal 6 momen tensor independen. Hubungan momen tensor dengan *strike* (ϕ), *dip* (δ) dan *rake* (λ) dinyatakan dalam persamaan berikut:

$$\begin{aligned}
 M_{11} &= M_{xx} = -M_0 (\sin \delta \cos \lambda \sin 2\phi + \sin 2\delta \cos \lambda \sin 2\phi) \\
 M_{12} &= M_{xy} = M_0 (\sin \delta \cos \lambda \cos 2\phi + 0.5 \sin 2\delta \cos \lambda \sin 2\phi) = M_{21} = M_{yx} \\
 M_{13} &= M_{xz} = -M_0 (\cos \delta \cos \lambda \cos \phi + \cos 2\delta \sin \lambda \sin \phi) = M_{31} = M_{zx} \\
 M_{22} &= M_{yy} = M_0 (\sin \delta \cos \lambda \sin 2\phi - \sin 2\delta \sin \lambda \cos 2\phi) \\
 M_{23} &= M_{yz} = -M_0 (\cos \delta \cos \lambda \sin \phi - \cos 2\delta \sin \lambda \cos \phi) = M_{32} = M_{xy} \\
 M_{33} &= M_{zz} = -(M_{11} + M_{22}) = M_0 (\sin 2\delta \sin \lambda)
 \end{aligned}$$

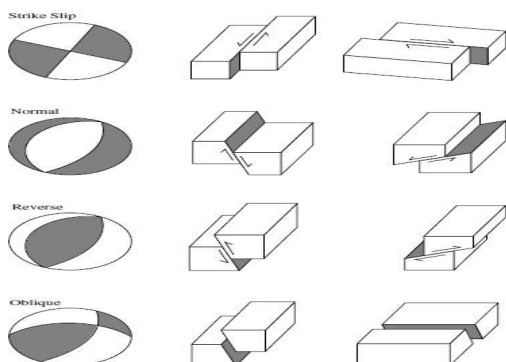
Selanjutnya, momen tensor ini dapat digunakan untuk mengukur kekuatan gempa bumi dengan menggunakan parameter momen seismik (M_0).

$$M_0 = \frac{1}{\sqrt{2}} \left[\sum_{ij} M_{ij}^2 \right]^{1/2} \dots\dots\dots (2.1.3)$$

Focal sphere digunakan untuk menampilkan mekanism fokus, dimana belahan bumi rendah diplot dan kuadran kompresi dibuat berbayang menghasilkan gambar "beach ball".

Struktur Geologi Sesar

Kekar atau rekahan yang tergeserkan membentuk sesar/patahan, sehingga terjadi perpindahan antar bagian-bagian yang saling berhadapan dengan arah yang sejajar bidang patahan. Zona-zona di sekitar pergeseran (*zona sesar*) merupakan zona lemah, zona lemah ini merupakan kawasan rawan bencana geologi, apalagi jika sesar yang terbentuk masih merupakan sesar aktif atau berada pada zona tektonik aktif (misal zona subduksi).



Gambar 2. Hubungan Focal Spheres dan Fault Geometries (Shearer, 2009)

Keterangan:

1. Sesar Strike – Slip

Terjadi pergerakan sesar secara horizontal/mendatar. Sesar *strike – slip* ditentukan berdasarkan pada gerakan yang menghadap bidang sesar, bila bidang didepan bergerak kekiri disebut *sinistral*, sedangkan bila ke kanan disebut *dekstral*.

2. *Sesar Normal*

Hanging wall relatif turun terhadap *foot wall*, bidang sesarnya mempunyai kemiringan yang besar biasanya disebut sesar turun.

3. *Sesar reverse*

Hanging wall relatif naik terhadap *foot wall*, bidang sesarnya mempunyai kemiringan yang besar biasanya disebut sesar naik.

4. *Sesar Oblique*

Pergerakan sesar ini gabungan antara vertikal dan horizontal. Gaya-gaya yang bekerja menyebabkan sesar *strike – slip* dan sesar normal.

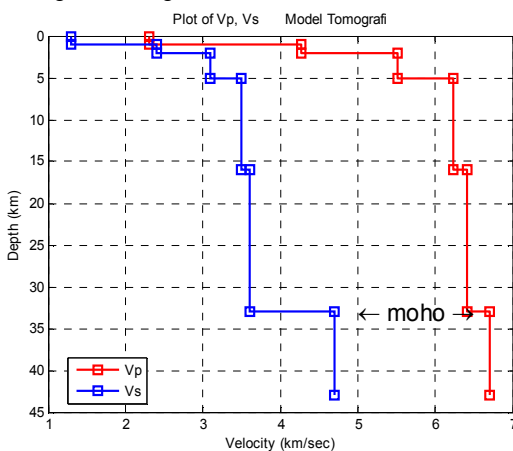
Seeting Tektonik Jawa

Beberapa mekanisme subduksi dan mekanisme patahan permukaan terjadi di wilayah Indonesia. Busur Sunda adalah salah satu zona gempa yang paling aktif di Indonesia, yang terbentang sekitar 5600 km antara Kepulauan Andaman di Barat-Laut dan Busur Banda di Timur. Pulau itu terbentuk dari pertemuan dan subduksi Lempeng Indo-Australia, Lempeng Eurasia dan Lempeng Pasifik. Arah pergerakan lempeng antara Asia Tenggara dan lempeng Indo-Australia diperkirakan sekitar Utara-Selatan dengan kecepatan pergerakan sekitar 7.7 cm/tahun (Sengara, dkk., 2009). Berdasarkan perkiraan arah pergerakan lempeng dan fakta geologis, pergerakan relatifnya adalah normal terhadap busur di Pulau Jawa dan memiliki sudut miring di dekat Sumatera. Pergerakannya paralel terhadap busur sepanjang sistem *strike-slip fault* Sumatera (Sengara, dkk., 2009).

Selat Sunda merupakan daerah transisi dari segmen lajur benturan normal di Jawa ke zona benturan miring di Sumatera. Daerah ini sangat terbebani oleh perubahan pola sesar mendatar yang lebih cepat ke arah Andaman, ke gerak normal di Jawa. Oleh karena itu daerah ini berkecenderungan bentangan dan perluasan Selat Sunda, lebih didominasi oleh suatu deformasi lokal seperti di antaranya gerak *graben* dan sejumlah patahan normal.

Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan analisis waveform lokal tiga komponen. Parameter-parameter sumber gempa bumi diestimasi dengan menggunakan model inversi untuk mencapai fitting waveform 3 komponen dengan baik. Proses inversi yang baik didasarkan hasil pencocokkan data observasi dan data sintetik yang dihasilkan dalam proses inversi. Hasil yang baik terjadi jika data observasi dan data sintetik saling tumpang tindih. Seismogram teleseismik komponen direkam oleh network IA, selanjutnya diinversi dengan menggunakan fungsi Green yang dihitung dengan metode diskritisasi bilangan gelombang yang dilakukan secara iterasi (Bouchon, 1981). Untuk menghitung fungsi Green digunakan model kecepatan 1 D dan hiposenter pada beberapa event dari IA. Model kecepatan yang digunakan pada penelitian ini ialah sebagaimana gambar berikut.



Gambar 3. Model Kecepatan Inversi Momen tensor (ISOLA, 2010)

Selanjutnya dilakukan proses inversi data waveform tiga komponen dengan menggunakan metode iterasi dekonvolusi (Zahradnik, 2006). Metode ini diimplementasikan dalam software ISOLA yang dikembangkan untuk mendapatkan parameter-parameter sumber gempa bumi (Sokos, 2008). Parameter-parameter gempa ini tergambarkan dengan menggunakan *Centroid Moment Tensor (CMT)* atau *beach ball*, parameter sesar penyebab gempa dan kedalaman Gempa bumi. Selanjutnya, hasil parameter-parameter tersebut digunakan untuk mengetahui bentuk patahan yang sebenarnya (*fault-plane*) dengan menggunakan metode H-C (Zahradnik, 2008).

Analisa Data

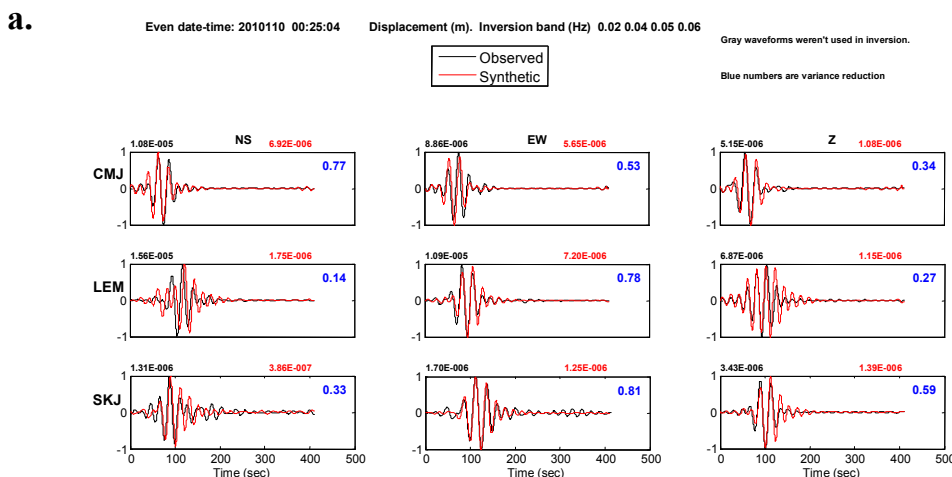
Data yang digunakan adalah data seismik lokal yang diunduh dari data gempa *IA* dan *Geofon*, yaitu gempa bumi yang terjadi di daerah Jawa Barat pada tahun 2010. Stasiun yang dipilih adalah 3 stasiun terdekat, diantaranya yaitu *LEM (JISNET Lembang)*, *CNJI*, *CMJI* dan *SKJI (BMG Cibinong, Cimerak dan Sukabumi)*.

Pada analisis data ini, digunakan *waveform* lokal tiga komponen (*BHN, BHE dan BHZ*). Parameter-parameter sumber gempa bumi ini diestimasi dengan menggunakan model inversi untuk mencapai *fitting waveform* tiga komponen dengan baik. Proses inversi yang baik didasarkan pada hasil pencocokkan data observasi dan data sintetik hasil inversi. Hasil yang baik terjadi saat data observasi dan data sintetik saling tumpang tindih.

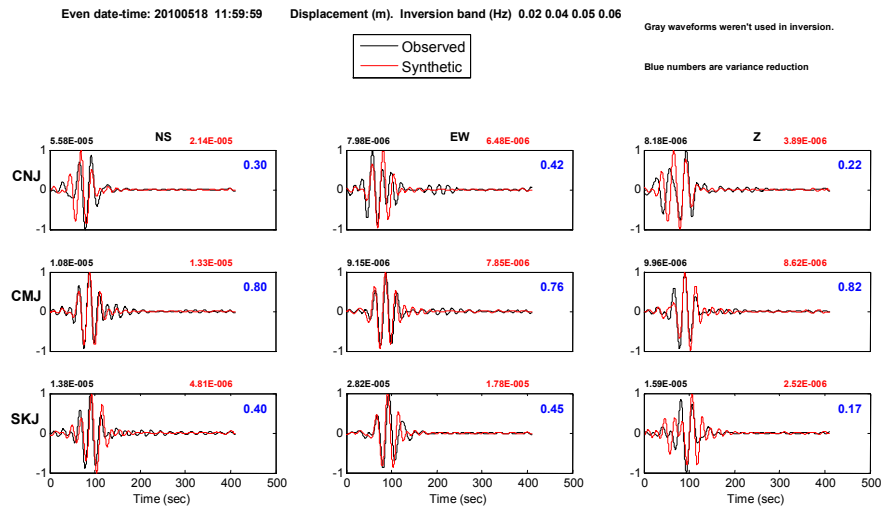
Untuk pilihan filter, yakni *low pass filter (f1)*, *band-pass filter (f2 dan f3)*, dan *high pass filter (f4)* harus dipilih yang sesuai dengan nilai terbaik. Biasanya, inversi gelombang dilakukan pada band frekuensi rendah, antara 0,01 - 0,12 Hz. Dalam penelitian ini, inversi gelombang dilakukan dalam rentang frekuensi antara 0.02 - 0.06 Hz dan dianalisa dalam tiga komponen. Dari hasil inversi diperoleh hubungan antara *waveform* lokal tiga komponen yang teramati 3 stasiun terdekat dengan seismogram sintetik dari masing-masing *event*. Kesemuanya diperlihatkan pada Gambar 4.

Varian reduksi kombinasi dari ketiga stasiun pada setiap *event* hanya sekitar 50 %. Nilai varian reduksi tersebut memang tergolong kurang bagus, tapi itulah nilai terbaik yang diperoleh penulis dalam proses inversi. Hal ini lebih disebabkan karena stasiun pencatat gempa bumi tidak bisa mengitari pusat sumber gempa. Semua stasiun *IA* dan *Geofon* terletak di daratan pulau Jawa, sebelah Utara pusat sumber gempa yang ada di lautan. Selain itu pemilihan model kerak bumi (*Vp* dan *Vs*) yang lebih tepat juga dapat memperbaiki varian reduksi tersebut.

Sekalipun demikian, varian reduksi hasil *fitting* dari masing-masing stasiun ada yang sangat bagus. Misalnya komponen *E* pada stasiun *SKJI* memiliki varian reduksi mencapai 81% (Gambar 4.a), komponen *Z* pada stasiun *CMJI* memiliki varian reduksi mencapai 82% (Gambar 4.b). Selebihnya dapat dilihat bahwa antara data observasi dan data sintetik berada pada fase relatif sama sekalipun dengan amplitudo yang sedikit berbeda.



b.



Gambar 4. Data seismogram sintetik dan observasi 3 komponen gempa bumi tahun 2010. a) tanggal 10 Januari, b) tanggal 18 Mei

Parameter gempa bumi untuk *event* gempa bumi yang terjadi diperlihatkan pada Tabel 1 untuk waktu, hiposenter, kedalaman, magnitudo dan momen seismik (M_0) gempa bumi, sementara Tabel 2 menyatakan *Strike*, *Dip* dan *Rake*, dan Tabel 3 menyatakan enam komponen momen tensor. Adapun *Beachballs* yang menggambarkan mekanisme fokus masing-masing *event* gempa bumi dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 1 *Time Event*, Hiposenter, Kedalaman, Magnitudo, dan Momen Seismik gempa bumi di daerah Jawa Barat.

Date	Agency	Time	Lat. N	Lon. E	Depth	Mw	M_0 (10^{17} Nm)
2010/01/10	Geofon	00:25:04.0	-8.17	107.81	10.00	5.2	NA
	USGS	00:25:04.2	-7.91	107.88	65.00	5.1	NA
	Author	00:25:01.5	-8.23	108.89	17.98	4.6	0.102
2010/05/18	Geofon	11:59:59.0	-8.18	107.23	59.00	5.7	NA
	USGS	11:59:57.8	-7.84	107.22	34.00	5.1	NA
	Author	11:59:58.2	-8.18	108.26	59.00	5.3	1.161

Tabel 2 *Strike*, *Dip* dan *Rake*

Event	Strike 1	Dip 1	Rake 1	Strike 2	Dip 2	Rake 2
2010/01/10	164	77	178	255	88	13
2010/05/18	67	52	-25	174	70	-139

Tabel 3 Enam Komponen Momen Tensor (10^{17} Nm)

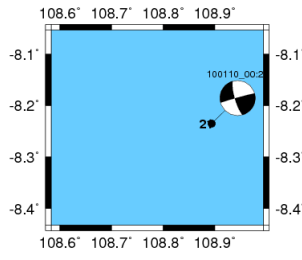
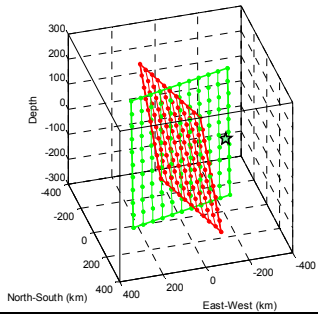
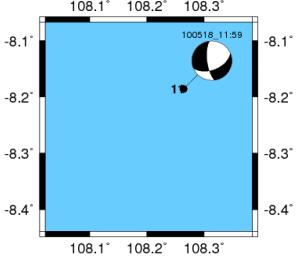
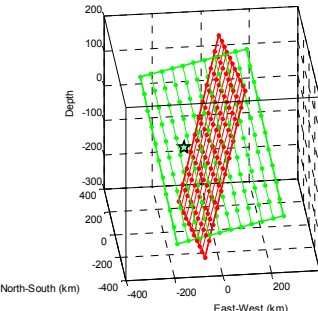
Event	$M_{rr}=M_{33}$	$M_{tt}=M_{11}$	$M_{pp}=M_{22}$	$M_{rt}=M_{31}$	$M_{rp}=M_{32}$	$M_{tp}=M_{12}$
2010/01/10	-0.028	-0.034	0.062	-0.019	-0.019	0.082
2010/05/18	-0.449	-0.148	0.597	-0.445	0.574	0.728

Parameter-parameter gempa bumi tahun 2010 tersebut telah dihasilkan dan dilaporkan oleh beberapa lembaga, seperti Geofon dan USGS. Hasil analisis pada penelitian ini dapat digunakan sebagai pembandingan. Waktu, hiposenter, kedalaman, magnitudo dan momen seismik yang dihitung dari penelitian ini

(Tabel 1) tidak memiliki perbedaan yang signifikan dengan hasil dari Geofon dan USGS. Sementara besar momen tensor dalam tabel 3 hanya hasil hitungan penulis dan belum diperoleh laporan dari BMKG maupun USGS.

Hasil inversi berupa parameter gempa tersebut, digunakan untuk menggambarkan *Fault-Plane* penyebab gempa bumi. Penggambaran dilakukan dengan menggunakan *software hcplot* yang didasarkan pada metode H-C (Zahradnik dkk., 2008). Hasil penggambaran *Fault-Plane* gempa bumi pada masing-masing *event* terlihat pada Tabel 4.

Tabel 4 Hubungan *bechballs*, *Fault-Plane*, dan Tipe Sesar gempa bumi

Beachballs	Fault-Plane	Fault Types
<p>2010/01/10</p> 		<p>Mendatar/Horizontal <i>(strike-slip)</i></p> <p>Bidang patahan penyebab gempa bumi berwarna Hijau (<i>Plane 1</i>).</p>
<p>2010/05/18</p> 		<p>Diagonal Turun/ Oblique Normal</p> <p>Bidang patahan penyebab gempa bumi berwarna Hijau (<i>Plane 1</i>).</p>

Dari hasil penggambaran *Fault-Plane* dan tipe sesar gempa bumi di atas, terlihat bahwa pola bidang patahan yang berkembang di pulau Jawa adalah pola *strike-slip* dan *Oblique Normal*

Kesimpulan

Analisa data gempa melalui inversi *waveform* tiga komponen dilakukan dengan menggunakan *software ISOLA* yang bertujuan untuk mengestimasi *CMT* dan pola Bidang Patahan (*Fault Plane*) gempa bumi. Analisa dilakukan pada 3 data gempa di daerah Jawa Barat pada tahun 2010 yang diperoleh dari *IA* dan *Geofon*. Hasil analisis ini diketahui bahwa: Gempa tanggal 10 Januari 2010, $M_{33} = -0.028$, $M_{11} = -0.034$, $M_{22} = 0.062$, $M_{31} = -0.019$, $M_{32} = -0.09$, $M_{12} = 0.082$ sedangkan Gempa tanggal 18 Mei 2010, $M_{33} = -0.449$, $M_{11} = 0.148$, $M_{22} = 0.597$, $M_{31} = -0.445$, $M_{32} = 0.574$, $M_{12} = 0.728$.

Secara berurutan, pola bidang patahan pada masing-masing *event* gempa adalah sesar mendatar dan *oblique normal fault*. Selanjutnya perlu dilakukan penelitian lanjutan dalam dimensi yang lebih luas dan anggaran yang lebih banyak, sebagai langkah untuk memetakan seluruh daerah-daerah di Indonesia yang memiliki potensi terhadap gempa bumi. Hal ini dimaksudkan agar masyarakat menyadari akan pentingnya pengetahuan terhadap wilayah-wilayah di Indonesia yang berpotensi terjadi gempa bumi, sehingga nantinya akibat kegempaan dapat diantisipasi.

Daftar Pustaka

- Aki, K. and P. G. Richards (1980), *Quantitative seismology: Theory and methods*, W.H. Freeman, San Francisco, CA.
- Grandis, H. (2009), *Pengantar pemodelan inversi geofisika*, Himpunan Ahli Geofisika Indonesia (HAGI).
- Irsyam, M., Sengara, W., Aldiarnar, F., Widiyantoro, S., Triyoso, W., Natawijaya, D.H., Kertapati, E., Meilano, I., Suhardjono, Asrurifak, M. Ridwan, M. (2010), Ringkasan hasil studi tim revisi peta gempa Indonesia 2010.
- Kayal J.R. (2008), *Microearthquake seismology and seismotectonics of South Asia*, Springer. India.
- 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.
- Lay, T. and Wallace, Terry C. (1995), *Modern global seismology*. Academic Press, New York, USA, 521 p.
- Madlazim (2010), Three components seismogram analysis of Tasikmalaya, Indonesia on September 2nd, *Indonesian Journal of Physics*, Vol 21.
- McCafferey, R. (2009), The tectonic framework of the Sumatran subduction zone, *Annu. Rev. Earth Planet. Sci.* Vol 37, pp 345-366.
- Menke, W. (1993), *Gophysical data analysis: Discrete inverse theory*, Academic Press.
- Santosa, B.J. (2007), Analisa gempa dalam C050296F untuk penyelidikan kecepatan gelombang S di bawah Plato Ontong-Jawa, *PROC. ITB Sains & Tek.* Vol. 39 A, No. 1&2.
- Sengara, I.W., Toha, F.X., Suarjana, M., Ridolva, Kusumastuti, D., Sadisun, I., Afnimar, Abuhuroyroh (2009), Laporan kajian dan survey awal pasca gempabumi Tasik Jawa Barat 2 September 2009, LPPM ITB.
- Shearer, PM. (2009), *Introduction to seismology second edition*, Cambridge University Press
- Sieh K, Natawidjaja D. (2000), Neotectonics of the Sumatran fault, Indonesia. *J. Geophys. Res.* 105:28295–326
- Sokos, E.. and Zahradník, J. (2008), *ISOLA a Fortran code and a Matlab GUI to perform multiple-point source inversion of seismic data*. *Computers & Geosciences* 34,967–977
- Zahradnik, J., Gallovic F., E. Sokos, A. Serpetsidaki and G-A. Tselentis (2008), Quick fault-plane identification by a geometrical method: Application to the Mw 6.2 leonidio earthquake, 6 January 2008, Greece. *Seismological Research Letters* Volume 79, Number 5, September/October 2008, 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 lefkada earthquake, Greece (<http://seismo.geology.upatras.gr/isola/>).