

Analisa Pola Bidang Sesar pada Zona Subduksi di Wilayah Selatan Pulau Sumatera dari *Event* Gempa pada Tahun 2011-2014

Riski Salim dan Bagus Jaya Santosa
Jurusan Fisika, FMIPA, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia
e-mail: bjs@physics.its.ac.id

Abstrak— Pada penelitian membahas tentang momen tensor dan pola bidang patahan yang didapat dari focal mechanism gempa di selatan Pulau Sumatera Indonesia menempati zona tektonik yang sangat aktif karena tiga lempeng besar dunia dan sembilan lempeng kecil lainnya saling bertemu di wilayah Indonesia, gempa-gempa yang terjadi di Pulau Sumatera merupakan implikasi geodinamika dari deformasi aktif di sekitar Sunda dan Java trench, dalam menentukan momen tensor dan focal mechanism-nya menggunakan program ISOLA-GUI. Data yang digunakan dalam penelitian ini mempunyai magnituda lebih dari sama dengan 5.5 Skala Richter. Dari hasil penelitian didapatkan bahwa berdasarkan pengolahan data gempa yang diakibatkan oleh Sesar Mentawai mempunyai pola sesar reverse fault dan pola sesar dip-slip. Dalam penelitian ini didapatkan besar rentang momen tensor untuk masing-masing komponennya sebesar $M_{11} = 2.531 \exp 15$ sampai $0.205 \exp 18$, $M_{22} = 3.495 \exp 15$ sampai $0.337 \exp 18$, $M_{33} = 0.964 \exp 15$ sampai $0.131 \exp 18$, $M_{31} = 0.544 \exp 15$ sampai $5.174 \exp 18$, $M_{32} = 1.107 \exp 15$ sampai $4.113 \exp 18$, dan $M_{12} = 1.140 \exp 15$ sampai $0.430 \exp 18$ dan besar slip rata-rata adalah 274.71 meter.

Kata Kunci—Moment tensor, Focal Mechanism, reverse fault, dip slip.

I. PENDAHULUAN

Indonesia menempati zona tektonik yang sangat aktif karena tiga lempeng besar dunia dan sembilan lempeng kecil lainnya saling bertemu di wilayah Indonesia dan membentuk jalur-jalur pertemuan lempeng yang kompleks [1]. Keberadaan interaksi antar lempeng-lempeng ini menempatkan wilayah Indonesia sebagai wilayah yang sangat rawan terhadap gempa bumi. Gempa-gempa bumi yang terjadi di Pulau Sumatera merupakan implikasi geodinamika dari deformasi aktif di sekitar Sunda dan Java trench [2]. Kejadian gempa yang terjadi didekat batas pertemuan antara lempeng samudra yang menujam masuk ke bawah lempeng benua diklasifikasikan sebagai zona subduksi. Zona subduksi Sumatra terbentang dari Selat Sunda ke arah utara hingga laut Andaman. Pada penelitian ini penulis menggunakan data gempa yang terjadi di wilayah selatan Pulau Sumatera yang secara administrasi terbagi ke dalam tiga provinsi yaitu Sumatera Selatan, Bandar Lampung dan Bengkulu.

Terletak di zona tektonik yang sangat aktif berakibat dari aktivitas tektonik yang banyak, selain karena berada pada zona subduksi di Pulau Sumatera juga terdapat sesar yang membentang dari Sumatera Utara sampai Sumatera Selatan yang dinamakan SFZ (*Sumatran Fault Zone*) [3].

Untuk mengetahui pola bidang sesarnya ditentukan dari focal mechanism yang didapat dari penentuan momen tensor dari bidang sesar akibat gempa yang terjadi serta besar slip dari sesar. Dalam hal ini akan digunakan informasi data gempa yang terjadi di wilayah selatan Pulau Sumatera pada tahun 2011-2014.

II. METODOLOGI PENELITIAN

A. Pengambilan Data

Data yang digunakan adalah data *event* gempa yang terjadi di wilayah selatan Pulau Sumatera pada tahun 2011-2014 dengan magnituda lebih dari sama dengan 5.5 SR. Data tersebut didapatkan dari www.webdc.eu, website dari GFZ yang menyediakan data gempa lokal.

B. Pengolahan Data

Tahapan awal setelah mendapatkan data yang disediakan di webdc adalah merubah format data. Data dari webdc dalam



Gambar 1. Pengambilan data dari website www.webdc.eu.

format *seed* yang dirubah ke dalam format *SAC* untuk diolah pada program ISOLA-GUI. Untuk merubah format dari *seed* ke *SAC* menggunakan program *rdseed*

Data yang didapatkan dari GFZ dalam format *seed*. Dirubah kedalam format *SAC* yang akan digunakan dalam program

ISOLA-GUI untuk menentukan *momen tensor* dan *focal mechanism*[4]. Dalam pengolahan data diperlukan model bumi dan dalam penelitian ini menggunakan model bumi seperti pada tabel 1. Dalam penelitian ini digunakan model bumi Heslinger-Santosa (H-S) [5].

Tabel 1.
Model Bumi Haslinger-Santosa (H-S)

No	V _p (km/s)	Kedalaman (km)	V _s (km/s)	Massa Jenis (g/cm ³)	Q _p	Q _s
1	2.31	0.0	1.300	2.500	300	150
2	4.27	1.0	2.400	2.900	300	150
3	5.52	2.0	3.100	3.000	300	150
4	6.23	5.0	3.500	3.300	300	150
5	6.41	16.0	3.600	3.400	300	150
6	6.70	33.0	4.700	3.400	300	150
7	8.00	40.0	4.760	3.500	1000	500

C. Perhitungan Slip

Dalam menentukan besar moment seismik (M_0) dengan nilai magnituda gempa lokal sebesar 3 hingga 6,5 SR menggunakan dapat persamaan[3]

$$\log M_0 = 1.5M_L + 16 \dots (1)$$

Dengan M_L menyatakan besar magnituda gempa lokal. Sedangkan menurut Aki dalam Leonard [6] besar momen seismik dapat ditentukan menggunakan persamaan,

$$M_0 = \mu \bar{D} L W \dots (2)$$

Konstanta μ menyatakan koefisien rigiditas dari batuan lapisan, \bar{D} adalah besar *average slip* dari sesar, L adalah panjang dari sesar dan W menyatakan besar lebar dari sesar. Leonard [6] pun menyatakan bahwa untuk menentukan besar momen seismik dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan,

$$\log M_0 = 5/2 \log L + 3/2 \log C_1 + \log C_2 \mu \dots (3)$$

Dengan C_1 dan C_2 adalah konstanta dengan nilai masing-masing adalah 17.5 dan 3.9×10^{-5} . Dari persamaan 3 dapat dicari L dengan mensubstitusi M_0 dari persamaan 1. Untuk mendapatkan besar W , Leonard [6] juga mengusulkan bahwa untuk mendapatkannya menggunakan persamaan,

$$W = C_1 L^\beta \text{ dengan } \beta \approx 2/3 \dots (4)$$

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

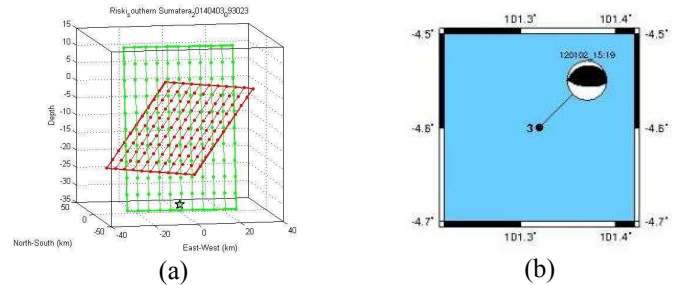
A. Hasil

Besar momen tensor dari masing-masing *event* gempa sebagai berikut,

Tabel 2.
Momen tensor untuk gempa di wilayah selatan Pulau Sumatera

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	exp
2011-01-02	5.920	-4.181	-1.739	4.274	-1.138	-0.049	17
2012-09-14	0.095	0.007	-0.102	5.174	-4.113	0.166	18
2013-07-06	0.131	0.205	-0.337	2.586	-1.252	0.430	18
2014-04-03	3.519	-1.670	-1.849	1.332	-2.187	0.279	17
2011-10-30	9.176	-4.336	-4.810	3.762	-0.536	2.292	16
2011-01-17	0.964	2.531	-3.495	0.544	-1.107	-1.140	15

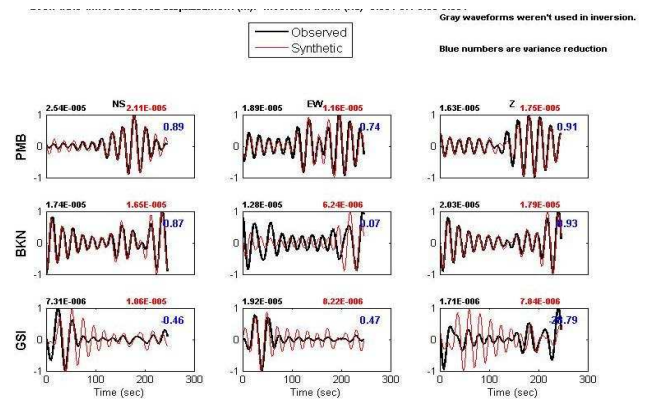
B. Pembahasan



Gambar 2. (a) Orientasi bidang patahan (hijau). (b) Bentuk *beach ball* dari pola bidang sesar, *reverse fault*. untuk gempa tanggal 02/01/2011 pada pukul 15:19:32 WIB.

Tabel 3.
Bidang sesar dan *auxiliary plane* untuk masing-masing *event*

Event	Plane I			Plane II		
	Strike	Dip	Rake	Strike	Dip	Rake
2011-01-02	95	65	98	256	26	73
2012-09-14	128	89	89	218	1	0
2013-07-06	15	10	169	116	88	81
2014-04-03	148	66	91	325	24	88
2011-10-30	124	56	78	325	35	107
2011-01-17	148	84	24	55	67	173

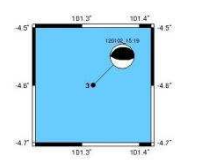

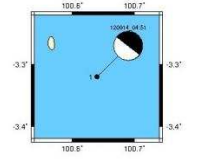
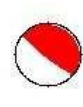
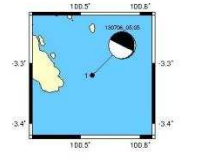

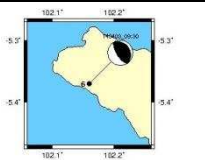
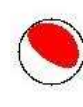
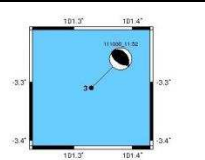

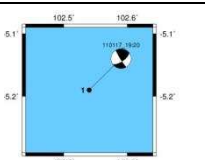



Gambar 3. Hasil *fitting* kurva *displacement* dari data *event* gempa tanggal 02/01/2011 pada pukul 15:19:32 WIB. (ISOLA-GUI)

Kurva pada gambar 3 yang berwarna merah adalah kurva estimasi dari Fungsi Green dan kurva berwarna hitam adalah kurva dari data seismogram. Besar kecocokan kurva ditentukan oleh varian reduksinya [7]. Nilai satu menunjukkan bahwa kurva hasil *fitting* berimpit penuh sedangkan nilai varian reduksinya nol maka ketidakcocokannya sangat besar, dapat dikatakan bahwa perbedaan kurvanya sangat jauh berbeda.

Dari masing-masing *event* gempa varian reduksinya berkisar mulai dari 0.60 sampai 0.83. Varian reduksi ini ditentukan oleh besar *filtering* yang dilakukan dalam proses inversi. Inversi yang digunakan dalam program ISOLA-GUI ini adalah *Deviatoric Moment Tensor Inversion* yang menghitung proses inversi untuk komponen 5 komponen dasar momen tensor serta menggunakan DC (*Double Couple*) dan CLVD (*Compensated Linier Vector Dipole*) yang mana inversi ini menurut Sokos dan Zahrandik merupakan metode inversi yang paling bagus dalam program ISOLA-GUI [7].

Tabel 4.
Perbandingan *beach ball* penelitian dengan katalog

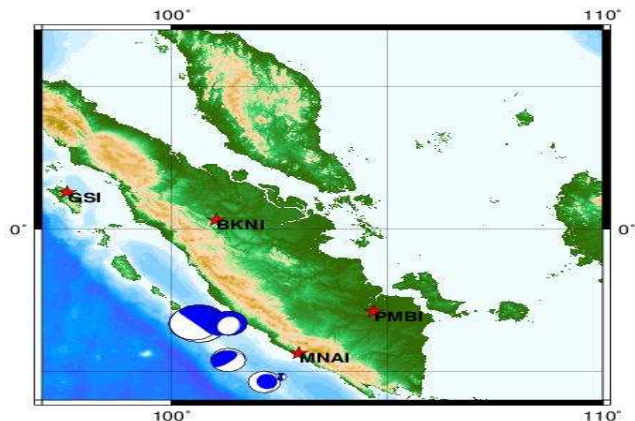
Tanggal event	Penelitian	Katalog GlobalCMT
2011-01-02		
2012-09-14		
2013-07-06		
2014-04-03		
2011-10-30		
2011-01-17		

Beach ball hasil pengolahan data dengan *beach ball* yang didapatkan dari global CMT terdapat hasil yang berbeda, hasil yang berbeda tersebut pada event gempa pada tanggal 17-01-2011, berdasarkan hasil pengolahan data pola bidang sesar diketahui adalah *strike slip* namun *beach ball* yang didapatkan dari global CMT menunjukkan bahwa pola bidang sesar adalah *reverse*, perbedaan ini diduga dikarenakan input data yang berbeda walaupun tidak terlalu besar perbedaannya. Input data tersebut adalah input data mengenai kedalaman centroid, pada hasil pengolahan data yang didapat dari webde informasi kedalaman centroid adalah 24 km sedangkan dari Global CMT adalah 32.3 km.

Ketidakkocokan $kurb=va$ dipengaruhi selain karena dipengaruhi oleh proses inversi juga dipengaruhi oleh medium (elastik dan tidak elastiknya) yang dilewati oleh gelombang gempa [8]. Fungsi Green menggambarkan sinyal yang akan terekam oleh seismograf sehingga dari Fungsi Green ini didapatkan sebuah model dari sinyal. Dari model ini diperbandingkan dengan hasil rekaman seismogram

sebenarnya. Dari hasil memperbandingkan ini dapat diketahui ketidakkocokannya.

Pola bidang sesar yang terbentuk didaerah sekitar zona



Gambar 4. Persebaran *beach ball* dari enam event gempa

subduksi adalah *dip-slip*, hal ini sesuai dengan penelitian sebelumnya bahwa untuk lokasi yang berada pada zona subduksi mempunyai pola bidang sesar *dip-slip* yang mempunyai pengaruh lebih besar dalam menimbulkan sumber gempa yang mempunyai magnituda yang besar [3]. Madrinovella dkk pun menyebutkan bahwa batas lempeng yang konvergen pada dua lempeng yang rigid antara Lempeng Eurasia dan Indo-Australia menimbulkan pola bidang sesarnya berbentuk *dip-slip* yang terjadi di sepanjang zona subduksi Sumatera (*megathrust*) [9].

Secara geologi, hal ini terjadi akibat dari penunjaman samudera (bagian dari Lempeng Eurasia). Lempeng Indo-Australia bergerak ke arah utara-timur laut dan mendorong Lempeng Eurasia dengan kecepatan 5 cm/tahun [9], bergerak 2.7 cm/tahun [10]. Sedangkan Indo-Australia sendiri bergerak 60 mm/tahun [3]. Minister dan Jordan mengatakan sepanjang zona subduksi *sunda trench* Lempeng Indo-Australia menunjam dibawah Lempeng Eurasia yang bergerak dengan rata-rata 75 m/tahun [1].

Bentuk *focal mechanism* dari masing-masing *event* menunjukkan pola bidang sesar *reverse fault* dan *dip-slip fault*. Bentuk pola ini dipengaruhi oleh kondisi geologi regional pulau Sumatera. Wilayah selatan pulau Sumatera diketahui terdapat zona sesar Sumatera yang dikenal sebagai sesar Semangko yang membelah pulau Sumatera menjadi dua bagian, sesar ini membentang di sepanjang Bukit Barisan dari Teluk Semangko di Selat Sunda hingga wilayah utara Aceh, selain sesar Semangko [5] wilayah selatan pulau Sumatera pun terdapat lempeng India-Australia menyusup di bawah lempeng Eurasia dengan arah yang miring sekitar 40-45°. Penunjaman miring tersebut mengakibatkan terbentuknya SFZ, yaitu suatu zona sesar geser menganan, yang memanjang dari ujung utara hingga ujung selatan Pulau Sumatera hal ini berbeda dengan penyusupan lempeng India Australia di bawah lempeng Eurasia yang terjadi sepanjang lepas pantai selatan Pulau Jawa yang menyusup dengan arah normal sehingga tidak terbentuk suatu zona sesar seperti yang ada di Pulau Sumatera selain itu

juga Peta batimetri Selat Sunda, antara Jawa dan Sumatera menunjukkan bahwa bagian selatan dari sesar Sumatera dikaitkan dengan dua garis sesar yang menonjol didasar laut.

KESIMPULAN/RINGKASAN

Dari penelitian didapatkan besar rentang momen tensor untuk masing-masing komponennya sebesar $M_{11} = 2.531 \times 10^{15}$ sampai 0.205×10^{18} , $M_{22} = 3.495 \times 10^{15}$ sampai 0.337×10^{18} , $M_{33} = 0.964 \times 10^{15}$ sampai 0.131×10^{18} , $M_{31} = 0.544 \times 10^{15}$ sampai 5.174×10^{18} , $M_{32} = 1.107 \times 10^{15}$ sampai 4.113×10^{18} , dan $M_{12} = 1.140 \times 10^{15}$ sampai 0.430×10^{18} . Sedangkan untuk besar slip rata-rata dari event gempa diselatan Pulau Sumatera pada tahun 2011-2014 274.71 meter.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Prof. Dr. rer. nat. Bagus Jaya Sanosa, S.U atas bimbingannya selama penulis melakukan tugas akhir.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Bird, P., (2003), *An updated digital model of plate boundaries: Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, v. 4, no. 3, 1027, doi:10.1029/2001GC000252.
- [2] Yeats R, Sieh, K, and Allen, C., 1997. *The geology of Earthquakes*, 568 pp., Oxford Univ., Press, New York.
- [3] Madlazim, Santosa, B. J., 2010. *Seismic moment tensors of Padang 20090930 and Jambi 20091001 Events in Jambi using Three Component Local Waveforms: Identification of the Active Fault Plane*. Indonesian Journal of Physics Vol 21 No. 4.
- [4] Sokos, E. N., Zahrandik, J., 2008. *ISOLA a Fortran code and a Matlab GUI to perform multiple-point source inversion of seismic data*. Computers and Geoscience 34. 967-977.
- [5] Madlazim. 2011. *Estimasi CMT, Bidang Sesar dan Durasi Rupture Gempa Bumi di Sumatera serta Kemungkinan Penerapannya untuk Sistem Peringatan Dini Tsunami*. Disertasi Jurusan Fisika FMIPA ITS Surabaya.
- [6] Leonard, M., 2010. *Earthquake Fault Scaling: Self-Consistent Relating of Rupture Length, Width, Average Displacement, and Moment Release*. Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 100, No. 5A, pp. 1971-1988.
- [7] Sokos, E. N., Zahrandik, J., 2009. *A Matlab GUI for use with ISOLA Fortran codes*. User's Guide.
- [8] Stein, S., Wysession, M., 2003. *An Introduction to Seismology, Earthquakes, and Earth Structure*. Oxford : Blackwell Publishing Ltd.
- [9] Mardrinovella, I., Widiyantoro, S., Irwan, M., 2011. *Relokasi Hiposenter Gempa Padang 30 September 2009 Menggunakan Metode Double Difference*. JTM Vol.XVIII No. 1.
- [10] Prasetya, Tiar., 2006. *Gempa Bumi; Ciri dan Cara Menanggulangnya*. Yogyakarta : GITANAGARI.