

Analisa Pola Bidang Sesar Pada Zona Subduksi di Wilayah Sumatera Barat dari *Event* Gempa Pada Tahun 2013

Muhammad Mifta Hasan dan Bagus Jaya Santosa

Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia

e-mail: bjs@physics.its.ac.id

Abstrak—penelitian ini membahas tentang penentuan momen tensor dan *focal mechanism* serta *slip* dari sesar yang ada di wilayah Sumatera Barat yang diakibatkan oleh Sesar Mentawai dan gerakan Lempeng Eurasia dan Indo-Australia di zona subduksi. Program yang digunakan dalam pengolahan data adalah ISOLA-GUI, dan untuk menggambarkan sesarnya menggunakan program *hplot* serta GMT. Dari hasil penelitian didapatkan bahwa untuk gempa yang diakibatkan oleh Sesar Mentawai mempunyai pola sesar *reverse fault* dan gempa yang diakibatkan oleh gerakan lempeng di zona subduksi mempunyai pola sesar *dip-slip*. Besar momen tensor yang dihasilkan untuk tiap komponennya adalah $M_{11} = 3.328 \exp15$ sampai $1.165 \exp18$, $M_{22} = 3.195 \exp15$ sampai $0.805 \exp18$, $M_{33} = 6.523 \exp15$ sampai $1.970 \exp18$, $M_{31} = 5.965 \exp15$ sampai $5.564 \exp18$, $M_{32} = 3.617 \exp15$ sampai $4.253 \exp18$, dan $M_{12} = 3.587 \exp15$ sampai $1.100 \exp18$. Sedangkan untuk besar *slip* rata-rata dari *event* gempa di Sumatera Barat pada tahun 2013 di zona subduksi sebesar 198 meter dan di Sesar Mentawai sebesar 113 meter.

Kata Kunci—*Dip-slip*, *focal mechanism*, momen tensor, *reverse fault*, Sesar Mentawai dan zona subduksi.

I. PENDAHULUAN

PROVINSI Sumatera Barat merupakan salah satu wilayah di Indonesia yang memiliki tatanan geologi yang kompleks. Kondisi ini disebabkan letaknya yang berada pada daerah tumbukan dua lempeng besar yaitu Lempeng Indo-Australia dibagian selatan dan Lempeng Eurasia dibagian utara yang ditandai dengan terdapatnya pusat-pusat gerakan tektonik di Kepulauan Mentawai dan sekitarnya. Selain itu, akibat tumbukan kedua lempeng besar ini muncul gejala tektonik lainnya yaitu busur magmatik yang ditandai dengan munculnya rangkaian pegunungan bukit barisan beserta gunung apinya dan patahan besar di Sumatera yang memanjang searah dengan zona tumbukan kedua lempeng yaitu utara-selatan [15].

Akibat dari aktivitas tektonik yang banyak, diperlukan sebuah analisa pola pergeseran dari tumbukan antar lempeng pada zona subduksi dan pergeseran dari sesar yang membentang dari Sumatera Utara sampai Sumatera Selatan yang dinamakan SFZ (*Sumatran Fault Zone*)[6] melewati wilayah Sumatera Barat ini dengan menganalisa pola bidang sesarnya. Informasi yang didapatkan dari analisa pola bidang sesar ini akan mempermudah dalam mengetahui pola geometri



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

dari patahan yang ada di zona subduksi yang dihasilkan dari gesekan antar Lempeng Indo-Australia dengan Lempeng Eurasia maupun sesar aktif dari SFZ. Selain itu, dilepas pantai Sumatera Barat, terdapat Sesar Mentawai atau MFZ (*Mentawai Fault Zone*) yang berada diantara batas zona subduksi dengan SFZ [8].

Oleh karena itu, 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 Sumatera Barat pada tahun 2013.

II. METODOLOGI PENELITIAN

A. Pengambilan Data

Data yang digunakan adalah data *event* gempa yang terjadi di Sumatera Barat pada tahun 2013 dengan magnituda lebih dari sama dengan 5 SR. Data tersebut didapatkan dari www.webdc.eu, website dari GFZ yang menyediakan data gempa lokal.

B. Pengolahan Data

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*[11][12]. Sebelum dilakukan perhitungan, terlebih dahulu ditentukan model bumi yang digunakan. Dalam

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

Tabel 2.
Momen tensor untuk gempa Sumatera Barat

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
2013-10-14	6.523	-3.328	-3.195	5.965	-3.617	3.587	15
2013-07-09	-0.308	0.208	0.100	3.433	-6.260	-0.287	16
2013-07-09	0.140	-0.924	0.784	5.378	-4.496	0.245	17
2013-07-06	-1.970	1.165	0.805	5.564	-4.253	-1.100	18
2013-02-13	4.168	-2.563	-1.605	3.999	-0.723	3.091	16
2013-02-06	3.510	3.853	-7.363	-0.237	-4.655	0.259	16

penelitian ini digunakan model bumi Heslinger-Santosa (H-S) [5].

C. Perhitungan Slip

Bakun (1984) dalam Hanks dan Boore (1984)[3] menyimpulkan bahwa untuk menentukan besar momen seismik (M₀) dengan nilai magnituda gempa lokal mulai dari 3 SR sampai 6,5 SR menggunakan persamaan,

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

Dengan M_L menyatakan besar magnituda gempa lokal. Sedangkan menurut Aki dalam Leonard (2010)[4] 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 (2010) pun menyatakan bahwa untuk menentukan besar momen seismik dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan,

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

Dengan C₁ dan C₂ adalah konstanta dengan nilai masing-masing adalah 17.5 dan 3.9x10⁻⁵. Dari persamaan 3 dapat dicari L dengan mensubstitusi M₀ dari persamaan 1. Untuk mendapatkan besar W, Leonard (2010) juga mengusulkan bahwa untuk mendapatkannya menggunakan persamaan,

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

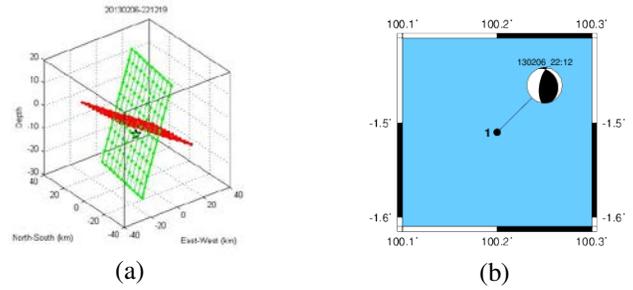
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil

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

B. Pembahasan

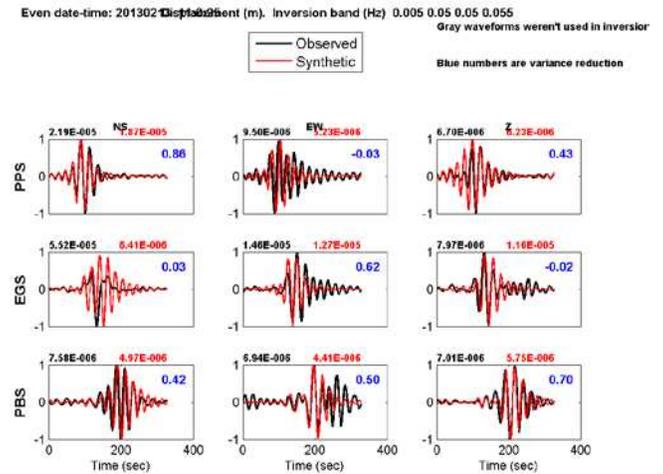
Kurva pada gambar 3 yang berwarna merah adalah kurva estimasi dari Fungsi Green dan kurva berwarna hitam adalah



Gambar 2. (a) Orientasi bidang patahan (hijau). (b) Bentuk beach ball dari pola bidang sesar, reverse fault, untuk gempa tanggal 06/02/2013 pada pukul 22:12:19 WIB.

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

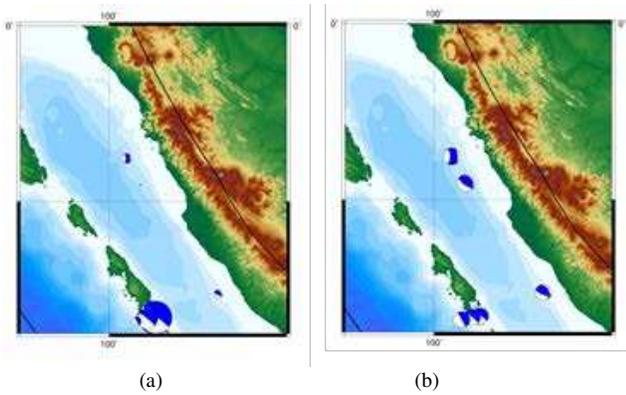
Event	Plane I			Plane II		
	Strike	Dip	Rake	Strike	Dip	Rake
2013-10-14	125	68	83	324	23	108
2013-07-09	331	89	-88	241	2	0
2013-07-09	130	89	97	231	7	10
2013-07-06	307	82	-91	134	8	-84
2013-02-13	110	67	70	333	30	128
2013-02-06	189	66	103	339	27	63



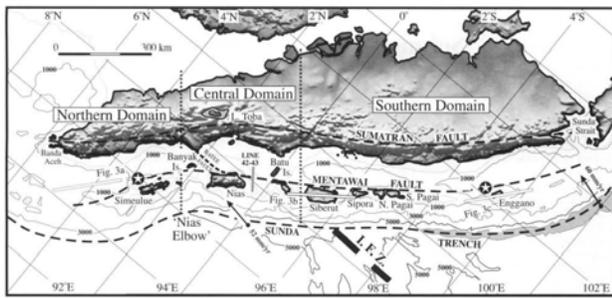
kurva dari data seismogram. Besar kecocokan kurva ditentukan oleh varian reduksinya[12]. Nilai satu menunjukkan bahwa kurva hasil fitting berimpit penuh sedangkan nilai varian reduksinya nol maka ketidak cocokannya sangat besar, dapat dikatakan bahwa perbedaan kurvanya sangat jauh berbeda.

Dari masing-masing event gempa varian reduksinya berkisar mulai dari 0.21 sampai 0.56. 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 (2009) merupakan metode inversi yang paling bagus dalam program ISOLA-GUI[12].

Selain proses inversi ini, ketidakcocokan kurva dipengaruhi oleh sifat elastik dan tak elastik dari medium yang dilewati oleh gelombang sumber gempa [14]. 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



Gambar 4. Posisi beach ball menggambarkan posisi epicenter (a). Besar beach ball bervariasi yang ditentukan oleh besar magnituda gempa (b). Besar beach ball dibuat sama untuk mengetahui posisi masing-masing (GMT)

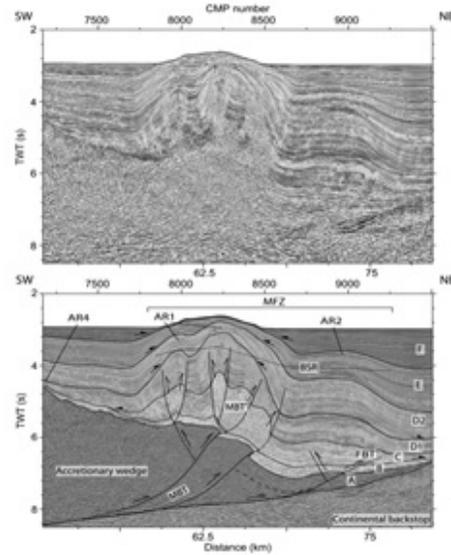


Gambar 5. Tiga sistem sesar yang melewati sumatera barat [3]. sebenarnya. Dari hasil memperbandingkan ini dapat diketahui ketidakcocokannya.

Pola bidang sesar yang terbentuk didaerah sekitar zona subduksi adalah *dip-slip* 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 [6]. Madrinovella dkk (2011) 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*) [7].

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 [7], bergerak 2.7 cm/tahun [9]. Sedangkan Indo-Australia sendiri bergerak 60 mm/tahun [6]. Minister dan Jordan (1978) mengatakan sepanjang zona subduksi *sunda trench* Lempeng Indo-Australia menunjam dibawah Lempeng Eurasia yang bergerak dengan rata-rata 75 m/tahun [1].

Samuel dan Harbury (1996) mengatakan bahwa untuk Sesar Mentawai yang terbentang hingga Pulau Nias mempunyai pola *strike-slip* [10]. Namun, Sieh dan Natawijaya (2000) mengatakan bahwa gerakan sesar yang ada di Sesar Mentawai mempunyai pola bidang sesar bervariasi mulai dari *normal fault*, *strike slip* dan *reverse fault* [13]. Sedangkan Mukti dkk (2012) menyatakan bahwa untuk pola sesar yang ada di Sesar



Gambar 6. Intepretasi dari penampang seismik di bawah MFZ (Mentawai Fault Zone) (Mukti dkk. 2012).

Tampak dari gambar bahwa terdapat antiklin (struktur batuan yang naik) yang berada di Sesar Mentawai. Hal ini disebabkan oleh dorongan dari Lempeng Indo-Australia terhadap Lempeng Eurasia sehingga menimbulkan antiklin. Dari penampang seismik ini dapat dikatakan bahwa pola sesar yang ada di Mentawai adalah pola sesar *reverse fault*. Madlazim (2010) mengatakan dari hasil studi kasus untuk gempa padang, bahwa gempa yang terjadi di wilayah Sumatera Barat khususnya yang berada didekat lepas pantai padang mempunyai pola bidang sesar *reverse fault* [6].

IV. KESIMPULAN/RINGKASAN

Dari penelitian ini didapatkan bahwa untuk untuk pola bidang patahan yang terjadi di Sumatera Barat yang ditandai oleh gempa pada tahun 2013 adalah pola *reverse fault* di Sesar Mentawai dan *dip-slip* di zona subduksi *sunda trench*. Dengan besar rentang momen tensor untuk masing-masing komponennya sebesar $M_{11} = 3.328 \times 10^{15}$ sampai 1.165×10^{18} , $M_{22} = 3.195 \times 10^{15}$ sampai 0.805×10^{18} , $M_{33} = 6.523 \times 10^{15}$ sampai 1.970×10^{18} , $M_{31} = 5.965 \times 10^{15}$ sampai 5.564×10^{18} , $M_{32} = 3.617 \times 10^{15}$ sampai 4.253×10^{18} , dan $M_{12} = 3.587 \times 10^{15}$ sampai 1.100×10^{18} . Sedangkan untuk besar *slip* rata-rata dari *event* gempa di Sumatera Barat pada tahun 2013 di zona subduksi sebesar 198 meter dan di Sesar Mentawai sebesar 113 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] Barber, A. J., Crow, M. J., and Milsom, J. S., 2005. *Sumatra; Geology, Resources and Tectonic Evolution*. Geological Society Memoir No.31. London : The Geological Society.
- [2] Bellier, O., Sebrier, M., 1994. *Relationship Between Tectonism and Volcanism Along the Great Sumatran Fault Zone Deduced by SPOT Image Analyses*. Tectonophysics 223. 215-231.
- [3] Hanks, T., Boore, D. M., 1984. *Moment-Magnitude Relations in Theory and Practice*. Journal of Geophysical Research, Vol. 89, No. B7, pages 6229-6235.
- [4] 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.
- [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] 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.
- [7] Mardrinovella, I., Widiyantoro, S., Irwan, M., 2011. *Relokasi Hiposenter Gempa Padang 30 September 2009 Menggunakan Metode Double Difference*. JTM Vol.XVIII No. 1.
- [8] Mukti, M. M., Singh, S. C., Deighton, I., Hananto, N. D., Moeremans, R., Permana, H., 2012. *Structural evolution of backthrusting in the Mentawai Fault Zone, offshore Sumatran forearc*. Geochem. Geophys. Geosyst., 13, Q12006.
- [9] Prasetya, Tiar., 2006. *Gempa Bumi; Ciri dan Cara Menanggulangnya*. Yogyakarta : GITANAGARI.
- [10] Samuel, M. A., Harbury, N. A., 1996. *The Mentawai Fault Zone and Deformation of the Sumatran Forearc in the Nias Area*. Geological Society, London, Special Publications. v.106, p337-351.
- [11] 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.
- [12] Sokos, E. N., Zahrandik, J., 2009. *A Matlab GUI for use with ISOLA Fortran codes*. User's Guide.
- [13] Sieh, K., Natawidjaja, D., 2000. *Neotectonics of the Sumatran Fault, Indonesia*. Journal of Geophysical Research, vol. 105, No. B12, pages 28, 295-28,326.
- [14] Stein, S., Wysession, M., 2003. *An Introduction to Seismology, Earthquakes, and Earth Structure*. Oxford : Blackwell Publishing Ltd.
- [15] <http://bkpmp.sumbarprov.go.id/statistik-2/kondisi-geologi/>. *Kondisi Geologi*. Diakses pada tanggal 30 september pada pukul 1:28 WIB.