

Analisa Momen Tensor dan Mekanisme Pusat Gempa Bumi Wilayah Maluku Utara Sepanjang Tahun 2016 dengan Magnitude ≥ 5 SR Memanfaatkan Program ISOLA-GUI

Hardiansyah Pratama dan Bagus Jaya Santosa

Departemen Fisika, Fakultas Ilmu Alam, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

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

Abstrak—Penelitian dengan fokus analisa momen tensor dan pola bidang patahan dilakukan pada gempa bumi Wilayah Maluku Utara pada tahun 2016 *magnitude* ≥ 5 SR dengan memanfaatkan program ISOLA-GUI. Penelitian dilakukan dengan tujuan untuk menentukan nilai momen tensor gempa bumi tektonik dan bentuk pola bidang patahan pada Wilayah Maluku Utara dengan program ISOLA-GUI. Prinsip program ini mengolah tiga komponen gelombang seismik yang terekam dalam seismogram. Data berupa gelombang diolah sesuai masing-masing *event* gempa yang terjadi dan digunakan perhitungan fungsi Green serta inversi. Pada tahap inversi digunakan 4 filter f_1, f_2, f_3, f_4 yang diisi sesuai *event*. *Plotting* untuk hasil dilakukan setelah tahap inversi dan didapatkan nilai *variance reduction* 0.87, 0.99, 0.53, 0.82, 0.92, dan 0.62. Plot selanjutnya berupa nilai momen tensor beserta pola bidang patahan yang disimbolkan dengan *beachball*. Pengolahan tersebut dilakukan pada seluruh *event* gempa.

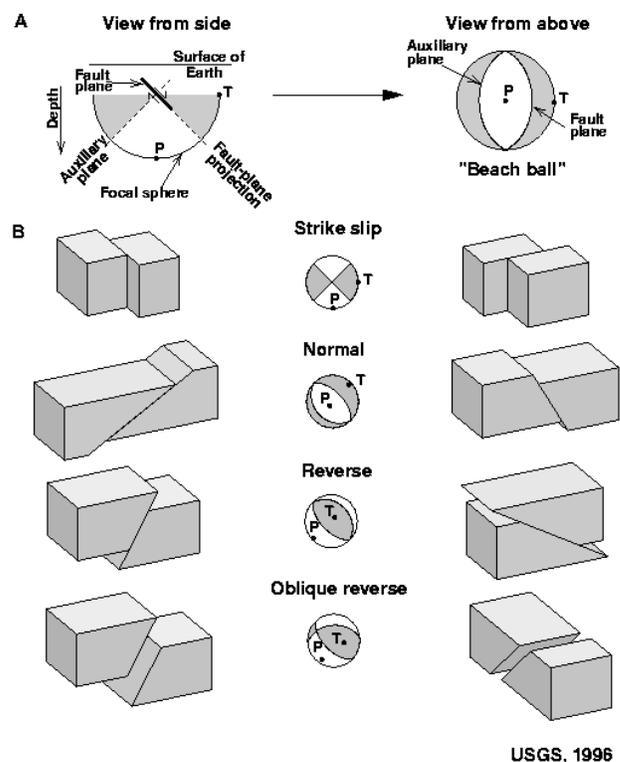
Kata Kunci—ISOLA-GUI, Fungsi Green, Inversi, Plotting, Beachball, Variance Reduction.

I. PENDAHULUAN

INDONESIA merupakan salah satu negara di Asia Tenggara yang terletak diantara 6 derajat LU – 11 derajat LS dan diantara 95 derajat BT – 141 derajat BT. Kondisi wilayah Indonesia yang terletak dalam lingkupan *Ring of Fire* dan tepat berada pada lempeng Pasifik, Indo-Australia dan Eurasia sangat berpengaruh dalam tingkat kebencanaan. Akibatnya banyak sekali *event* gempa bumi bahkan tsunami yang terjadi. Gempa bumi yang terjadi meliputi gempa tektonik maupun vulkanik. Pada penelitian ini, pengamatan dipusatkan pada gempa bumi tektonik. Gempa bumi tektonik sendiri adalah gempa yang disebabkan adanya pergeseran-pergeseran di dalam bumi secara tiba-tiba. Peristiwa gempa bumi tektonik sangat erat hubungannya dengan teori tektonik lempeng mengenai pembentukan pegunungan yang biasanya diikuti dengan pembentukan sesar-sesar baru. Jikalau tegangan-tegangan mengakibatkan sesar-sesar lama yang sudah tidak aktif, aktif kembali dengan melakukan pergerakan yang cukup besar maka dapat menyebabkan terjadi gempa bumi tektonik [1].

Wilayah Maluku Utara merupakan salah satu daerah di Indonesia dengan tingkat aktifitas seismik yang besar. Hal tersebut dikarenakan Keadaan tektonik Maluku Utara merupakan daerah tektonik yang kompleks, dibangun oleh interaksi antara lempeng Filipina di utara, lempeng Pasifik di timur, lempeng Eurasia dibarat, dan lempeng Indo-Australia di

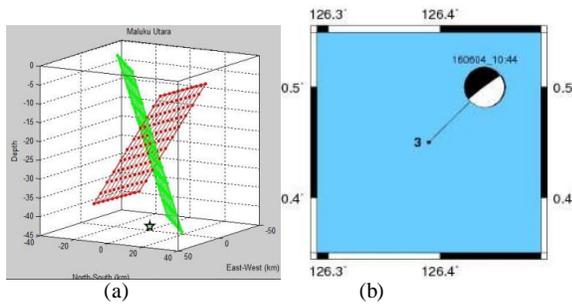
Schematic diagram of a focal mechanism



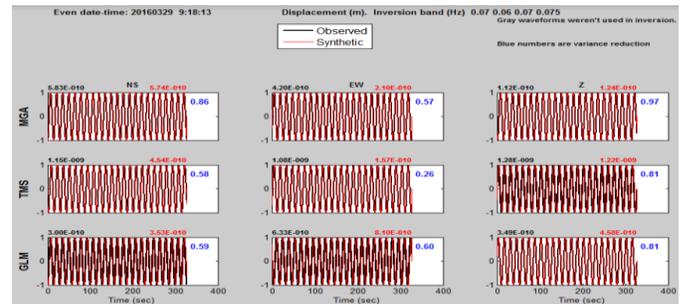
Gambar 1. Skema diagram dari mekanisme fokus gempa. (A) Pola beachball terhadap proyeksi bidang sesar dilihat dari samping. (B) Pola beachball dilihat dari atas. (USGS).

selatan. Batas selatannya merupakan sistem patahan Sorong dari Papua ke Sulawesi yang panjangnya sekitar 800 km kearah Sulawesi dan 1500 km sepanjang tepi utara Papua kearah Papua Nugini. sebelah barat dibatasi oleh Laut Maluku dan di timur laut dibatasi oleh ujung selatan Palung Filipina serta timur berbatasan dengan perluasan ke utara Patahan Sorong. Keadaan tektonik yang demikianlah yang membuat Wilayah Maluku Utara sering dilanda gempa bumi [2].

Gempa bumi terjadi akibat adanya gerakan suatu sesar dengan karakter gerak tertentu [3]. Karakteristik pergerakan sesar dibagi menjadi dua, sesar mendatar (*strike slip fault*) dan sesar tidak mendatar (*dip slip*).



Gambar 2. (a) Orientasi bidang patahan. (b) Beachball sebagai representasi pola bidang sesar pada event 04/06/2016 dengan origin time 10:44:13 WIB.



Gambar 3. Hasil *Fitting* kurva *displacement* dari data *event* gempa tanggal 29/03/2016 pukul 9:18:13 WIB.

Tabel 1.
Data *event* yang terjadi di Maluku Utara

No	Tanggal	Jam	Latt	Long	Mag	Depth
1	2016-10-27	08:17:51	1.42	125.76	5.7	82
2	2016-10-09	14:46:27	1.78	127.49	5.7	137
3	2016-06-19	05:00:15	1.02	126.21	5.1	61
4	2016-06-07	19:15:17	1.36	126.34	6.3	47
5	2016-06-04	10:44:13	0.45	126.39	5.4	44
6	2016-03-29	09:18:13	2.42	126.16	5.3	78

Tabel 2.
Model Bumi Haslinger-Santosa(H-S)

No	V _p (km/s)	Kedalaman (km)	V _s (km/s)	Massa Jenis	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

Sesar mendatar merupakan sesar dengan arah gerak blok sesar yang horizontal. Sesar mendatar dibagi menjadi dua, *Right Lateral* yang bergerak mendatar searah jarum jam dan *Left Lateral* dengan arah gerak mendatar berlawanan arah jarum jam (Gambar 1). Sesar tidak mendatar merupakan sesar dengan arah gerak blok secara vertikal atau miring. Macam-macam jenis sesar tidak mendatar yaitu *Normal Fault* atau sesar turun, *Reverse Fault* atau sesar naik, dan *Oblique Fault* adalah sesar yang mempunyai gerak secara diagonal karena gabungan dari sesar horizontal dan vertikal [4].

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. Konsep momen tensor dapat memberi deskripsi yang lengkap tentang gaya dari sumber titik seismik. Berdasarkan hal tersebut, studi ini dilakukan untuk menganalisa momen tensor gempa bumi dan pola bidang patahan Wilayah Maluku Utara dengan menggunakan program ISOLA-GUI [5].

II. METODE PENELITIAN

A. Pengambilan Data

Data yang akan diolah terlebih dahulu diunduh pada sumber *webdc.eu*. Data yang diunduh berupa *event* gempa bumi dan

Tabel 3.
Nilai Rentan Momen Tensor pada Setiap *Event* Gempa.

<i>Event</i>	M _{rr}	M _{tt}	M _{pp}	M _{rt}	M _{rp}	M _{tp}
2016-10-27	1.340	-8.550	7.210	7.512	0.427	2.205
2016-10-09	-0.167	-0.969	1.136	0.115	1.134	-0.264
2016-06-19	-0.580	-1.684	2.264	0.203	-0.911	-3.087
2016-06-07	1.744	-3.684	1.940	0.231	-0.078	-0.018
2016-06-04	-0.276	-0.190	0.466	3.794	2.946	0.873
2016-03-29	2.935	-2.695	-0.243	-1.295	2.592	-0.469

Tabel 4.
Nilai Rentan Momen Tensor pada Setiap *Event* Gempa.

<i>Event</i>	Bidang 1			Bidang 2		
	Strike	Dip	Rake	Strike	Dip	Rake
20161027	236	86	-36	328	54	-175
20161009	301	46	179	32	89	44
20160619	106	78	176	197	86	12
20160607	133	78	164	226	74	13
20160604	351	7	-152	233	87	-83
20160329	62	39	44	295	64	120

stasiun *geophone* pada Wilayah Maluku Utara, Indonesia dengan jangkauan awal hingga akhir tahun 2016. Gempa bumi berkisar pada *magnitude* lebih dari 4.9SR (Tabel 1).

B. Pengolahan Data

Setelah proses pengunduhan data selesai, dilanjutkan *extracting* data untuk mengkonversi data dalam bentuk SEED menjadi SAC supaya dapat diolah dalam program berikutnya. *Extracting* dilakukan dengan bantuan software *JrdSeed* dan *CMD*. Sebelum diolah pada program ISOLA-GUI yang dapat dijalankan oleh Matlab maka perlu dilakukan *extracting* data, supaya dapat diolah dalam program berikutnya yaitu dilakukan dengan bantuan *software* *JrdSeed*. Pengolahan data dengan menggunakan ISOLA bertujuan untuk mengetahui momen tensor dari data gempa, menentukan jenis sesar serta parameter gempa yakni *strike*, *dip* dan *rake* [6]. (Tabel 2)

Krustal model untuk wilayah yang diteliti juga harus dimasukkan dalam ISOLA-GUI. Krustal model atau model bumi yang digunakan dalam penelitian ini ialah model bumi Haslinger-Santosa. Model bumi Haslinger-Santosa adalah salah satu model kecepatan yang sesuai dengan kondisi bawah permukaan bumi di wilayah Indonesia. (Tabel 3)

Tabel 5.
Nilai *variance reduction* Masing-masing *Event*.

Event	<i>variance reduction</i>
20161027	0.87
20161009	0.99
20160619	0.53
20160607	0.82
20160604	0.92
20160329	0.62

Nilai momen tensor (M) tersebut mempunyai satuan Nm. Pada setiap event gempa yang terjadi, tercatat momen tensor bernilai berbeda-beda namun tidak sangat kontras. Besar nilai momen seismik tersebut merupakan penggambaran model sesar penyebab gempa bumi tersebut. Dari inversi momen tensor dapat ditentukan parameter jenis sesar (strike, dip dan rake). Dalam Tabel 4 disajikan besar dari ketiga parameter jenis sesar.

Strike merupakan parameter sesar dengan sudut orientasi *fault*. Nilai pada kolom *strike* menunjukkan nilai sudut yang dibentuk oleh bidang patahan dengan permukaan horisontal. *Strike* dapat membuat sudut dari 0° hingga 360°. Selanjutnya adalah kolom *dip*, *dip* adalah parameter sesar berupa sudut kemiringan *fault*. Nilai pada kolom *dip* dibentuk antara patahan dengan bidang horisontal. *Dip* dapat membuat sudut dari 0° hingga 360°. Kemudian terdapat kolom *rake* yang menunjukkan nilai sudut pergerakan bidang terhadap kondisi *strike*. Pada setiap fenomena patahan, seolah-olah akan terdapat dinding atas dan dinding bawah. *Rake* inilah yang berperan untuk menunjukkan arah gerak dinding bagian atas akan bergerak naik atau turun secara diagonal. Ketika nilai *rake* 0°, ini berarti *hanging wall* atau sisi kanan dari patahan yang terlihat secara vertikal, seakan-akan menjauh dari ujung atas 0° dan dapat dikatakan *left lateral motion*. Dan saat nilai *rake* ±180°, hal ini dapat diartikan dinding atas seolah-olah mendekati ujung 0° atau disebut *right lateral motion* [5].

III. HASIL DAN DISKUSI

Dari hasil solusi inversi akan memperoleh Momen tensor dan *focal mechanism*. Pada gempa yang terjadi tanggal 04/06/2016 dengan *origin time* 10:44:13 WIB menunjukkan bahwa pola bidang yang terbentuk adalah normal *fault* dengan karakteristik untuk bidang pertama (hijau) besar *strike* = 351, *dip* = 7, dan *rake* = -152 dan bidang kedua (merah) besar *strike* = 233, *dip* = 87, dan *rake* = -83. Jarak antara hiposenter gempa dengan bidang pertama sebesar 11.74 km dan jarak dengan bidang kedua sebesar 17.40 km, sehingga bidang patahannya adalah yang berwarna hijau dan *auxiliary plane*-nya berwarna merah. Untuk selisih kedalaman hiposenter dan centroidnya adalah 35 km (Gambar 2).

Momen tensor dan *focal mechanism* didapatkan dari hasil inversi momen tensor. Inversi ditentukan oleh data seismogram, fungsi green dan komponen momen tensor. Perhitungan fungsi green dan inversi menggunakan program ISOLA-GUI didapatkan hasil *fitting* kurva *displacement* dari data hasil observasi lapangan (seismogram) dengan data hasil estimasi menggunakan fungsi green (Gambar 3).

Tabel 6.
Komponen dari hasil studi

Event	M _{rr}	M _{tt}	M _{pp}	M _{rt}	M _{rp}	M _{tp}	e
20161027	1.340	-8.550	7.210	7.512	0.427	2.205	17
20161009	-0.167	-0.969	1.136	0.115	1.134	-0.264	18
20160619	-0.580	-1.684	2.264	0.203	-0.911	-3.087	16
20160607	2.960	-3.170	0.210	2.125	-0.119	2.578	17
20160604	-3.924	5.393	-1.469	1.609	1.353	2.486	16
20160329	1.312	0.802	-2.114	-0.020	-1.393	-0.679	17

Kurva berwarna merah (Gambar 3) menunjukkan estimasi dari fungsi green dan kurva berwarna hitam menunjukkan data seismogram. Nilai kecocokan kurva ditentukan oleh *variance reduction*. Nilai *variance reduction* yang mendekati 1 menunjukkan bahwa *fitting* yang dilakukan mendekati presisi, dan ketika hasilnya mendekati 0 maka ketidak-presisiannya juga besar. Dalam Tabel 5 disajikan nilai *variance reduction* dari setiap *event*.

Hasil pola bidang patahan yang direpresentasikan dengan *beachball* didapatkan beberapa pola yang berbeda. Kebanyakan pusat gempa terdapat di Laut Maluku tepatnya di antara busur gunung aktif Halmahera dan busur gunung aktif Sangihe. Hal ini dikarenakan sangat tingginya tekanan yang bekerja pada lempeng tektonik Laut Maluku yang merupakan salah satu manifestasi aktivitas cincin api Pasific (Pasific Ring of Fire). Selaras dengan referensi yang mengatakan Kedua busur magmatik di daerah ini dipisahkan oleh jarak terdekat 250 km, dimana masing-masing sisi busur terdapat palung dengan kedalaman hingga 3 km. Diantara palung-palung tersebut dijumpai morfologi tinggi yaitu punggung Mayu-Talud yang pada beberapa tempat muncul ke permukaan sebagai pulau, yaitu Pulau Mayu, Pulau Talud dan Pulau Tifore. Gempa-gempa dangkal yang terkonsentrasikan di bawah puncak punggung tersebut dan berdasarkan analisis mekanisme focal menunjukkan tipe sesar naik (*reverse fault*), selain itu juga terdapat normal *fault* dan *strike slip fault* mendominasi Laut Maluku yang terletak diantara kedua busur magmatik.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil data dan *processing* terhadap penelitian yang berjudul “Analisa Momen Tensor dan Mekanisme Pusat Gempa Bumi Wilayah Maluku Utara Sepanjang Tahun 2016 dengan Magnitude ≥ 5 SR Memanfaatkan Program ISOLA-GUI” dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Diperoleh masing-masing komponen sebesar (Tabel 6)
2. Pola *focal mechanism* bidang sesar wilayah Maluku Utara terdiri atas sesar naik (*reverse fault*) di dekat pulau Mayu dan Laut Maluku di dominasi oleh Pola bidang *strike slip fault*.

DAFTAR PUSTAKA

[1] D. Noor, *Geologi Lingkungan*, 1st ed. Yogyakarta: Graha Ilmu, 2006.
 [2] B. Hermanto, “Perkembangan Kerangka Tektonik Laut Maluku Kepulauan Banggai-Sula dan Lajur Ofiolit Sulawesi Timur. Pusat Survei Geologi,” *J.G.S.M*, vol. 15, no. 2, 2014.
 [3] I. Ramadhani and B. Santosa, “Rwlokasi Hypocentre Gempa Bumi

- Dengan Velest (JHD) dan Estimasi Sesar Daerah Sumatra Selatan,” [5] E. Sokos and J. Zahrandik, *A Matlab GUI for use with ISOLA Fortran*
J. Fis. dan Apl., vol. 13, no. 2, 2017. *codes. User’s Guide*, 2009.
- [4] T. K. Datta, “Seismic Analysis of Structures,” New Delhi, 2010. [6] C. V. . Murty, “IITK-BMPTC Earthquake Tips,” 2005.