

Pemodelan Tsunami Berdasarkan Parameter Mekanisme Sumber Gempa Bumi dari Analisis *Waveform* Tiga Komponen Gempa Bumi Mentawai 25 Oktober 2010

Moh Ikhyaul Ibad 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—Penelitian ini membahas tentang pemodelan tsunami dan momen tensor pada gempa bumi Mentawai 25 Oktober 2010 dengan Mw 7,8. Momen tensor dan focal mechanism-nya didapat dengan menggunakan data seismogram 3 komponen dan program ISOLA-GUI. Didapatkan nodal plane 1 nilai strike 172° , dip 86° , rake -83 , pada nodal plane 2 nilai strike 294° , dip 8° , rake -148 . Pola bidang patahan pada gempa bumi Mentawai adalah pola normal fault sesuai dengan pola sesar zona subduksi yaitu tipe normal fault. Parameter mekanisme sumber gempa yaitu nilai strike, dip, longitude, latitude dan kedalaman gempa digunakan sebagai input pemodelan tsunami menggunakan program Tsunami L-2008, input panjang fault, lebar fault dan slip diperoleh berdasarkan hubungan persamaan Wells dan Coppersmith dengan persamaan Hanks dan Kanamori. Pemodelan tsunami terdiri dari pemodelan sumber gempa bumi (source modeling), penjalaran gelombang tsunami (ocean modeling), dan ketinggian tsunami (run-up modeling). Terdapat 4 model yang digunakan untuk pemodelan tsunami yaitu model 1 dari ISOLA, model 2 dari IRIS, model 3 dari USGS dan model 4 dari Global CMT. Waktu penjalaran gelombang tsunami, Pada model 1 tsunami sampai ke Kepulauan Mentawai menit ke 16 lebih 40 detik. Untuk model 1, 2 dan 4 tsunami sampai ke Kepulauan Mentawai menit ke 20 lebih 50 detik. Run-up hasil pemodelan divalidasi dengan run-up hasil survei GITST (German-Indonesia Tsunami survey Team). Ketinggian tsunami yang mendekati hasil survei yaitu Pantai Batimongga 2,24 meter (model 1 dan model 4), Pantai Ghobi 1,73 meter (model 1 dan model 4), Pantai Tumele 4,29 meter (model 2), Pantai Pasangan 2,64 meter (model 1 dan model 4), Pantai Sabeugunggu 6,34 meter (model 2) dan Pantai Asahan 3,16 meter (model 1). Nilai strike dan ocean bottom mempengaruhi penjalaran gelombang tsunami. Ketinggian tsunami dipengaruhi oleh bentuk dasar permukaan laut dan parameter sumber gempa bumi (strike, dip, slip, panjang fault dan lebar fault).

Kata Kunci—*Focal mechanism*, momen tensor, normal fault, pemodelan tsunami dan zona subduksi.

I. PENDAHULUAN

Tektonik aktif Pulau Sumatra memperlihatkan sumber-sumber utama gempa bumi pada zona Subduksi dan zona patahan Sumatra. Dimana pada wilayah barat Sumatra sering terjadi gempa karena posisinya di sepanjang jalur tumbukan dua lempeng bumi, di mana lempeng (Samudra) Hindia bergerak menunjam ke bawah lempeng

(benua) Sumatra. Sumatra dan busur kepulauan di bagian baratnya adalah bagian dari lempeng Eurasia. Sedangkan lempeng lainnya berada di bawah Lautan Hindia. Batas tumbukan dua lempeng ini dapat diamati berupa jalur palung laut dalam di sebelah barat Sumatra sampai ke Kep. Andaman. Lempeng Hindia menunjam di bawah Sumatra dengan kecepatan 50–60 cm/tahun dan kemiringan dari zona penunjamannya sekitar 12° [1].

Daerah di Indonesia yang sering mengalami gempa bumi salah satunya adalah Kepulauan Mentawai yang menurut letak geografis berada pada lintang $0^{\circ} 55' 00''$ LU - $30^{\circ} 21' 00''$ LU dan $98^{\circ} 35' 00''$ BT - $100^{\circ} 32' 00''$ BT dengan luasan sekitar $6.011,35 \text{ km}^2$. Dengan jumlah pulau sekitar 4 buah besar dan 252 pulau kecil yang didiami sebanyak 68,807 penduduk. Kegempaan di kepulauan Mentawai sangat tinggi akibat pertemuan dua lempeng, yaitu Lempeng Samudra Indo-Australia yang bergerak dari arah barat daya dan menunjam ke dalam Lempeng Benua Eurasia yang berada di sebelah timur laut. Menurut Pacific Tsunami Warning Center gempa kepulauan Mentawai 25 Oktober 2010 terdapat korban meninggal dunia sebanyak 286 jiwa, 252 orang hilang, dan 536 bangunan rusak.

Berdasarkan analisa tersebut, maka perlu dibuat skenario gelombang tsunami yang terjadi di Pulau Mentawai dan sekitarnya. Hal ini untuk mengurangi resiko kerugian akibat tsunami maupun jumlah korban yang ditimbulkan. Adapun salah satu caranya adalah dengan menggunakan simulasi, simulasi menggunakan data *focal mechanism* yang didapat dari penentuan momen tensor dari bidang sesar akibat gempa yang terjadi serta besar *slip* dari sesar. Dari hasil analisa simulasi tsunami diharapkan dapat memprediksikan efek yang di akibatkan oleh propagasi tsunami sehingga nantinya dapat dipakai sebagai acuan untuk melakukan mitigasi bencana tsunami yang terjadi di area bencana.

II. METODOLOGI PENELITIAN

A. Pengambilan Data

Data yang digunakan adalah data gempa bumi Mentawai 25 Oktober 2010 dengan magnitude 7,8 SR dan data batimetri wilayah Mentawai. Data gempa didapatkan dari

www.webdc.eu, website dari GFZ yang menyediakan data gempa lokal. Data batimetri yang digunakan dalam penelitian ini adalah data Etopo2 dengan grid data 2 menit atau sekitar 3,7 km dengan koordinat 1° N sampai 7° S dan 97° E sampai 105° E. Data batimetri didapatkan dari www.ngdc.noaa.gov.

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* [2,3]. Sebelum dilakukan perhitungan, terlebih dahulu ditentukan model bumi yang digunakan. Penelitian ini menggunakan model bumi Heslinger-Santosa (H-S) [4].

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 |

Untuk pemodelan tsunami data *focal mechanism* yang digunakan adalah data dari IRIS, USGS, Global CMT dan dari hasil pengolahan program ISOLA.

Tabel 2.
Focal mechanism pemodelan tsunami.

| Parameter | ISOLA | IRIS | USGS | GCMT |
|--------------------------|-------|-------|-------|-------|
| Latitude | -3,46 | -3,71 | -3,68 | -3,71 |
| Longitude | 100,2 | 99,32 | 99,29 | 99,32 |
| M _w (Richter) | 7,4 | 7,8 | 7,8 | 7,8 |
| Strike (Degree) | 172 | 130 | 131 | 130 |
| Dip (Degree) | 86 | 82 | 83 | 82 |
| Depth (km) | 12 | 12 | 12 | 12 |

C. Perhitungan Slip

Beberapa parameter gempa yang perlu diketahui dalam hubungannya dengan pembentukan tsunami adalah magnitude gempa, lokasi atau episenter pusat gempa, kedalaman pusat gempa, dan mekanisme fokus dan geometri sesar [5]. Secara empiris panjang, lebar dan *slip fault* dapat ditentukan berdasarkan persamaan *Wells and Coppersmith*, untuk jenis patahan turun (*normal fault*) dengan batas magnitude $4,8 \leq M_w \leq 7,8$ menggunakan persamaan berikut:

$$M_w = 4,86 + 1,32 \times \text{Log } RL \dots\dots\dots (1)$$

$$M_w = 4,04 + 2,11 \times \text{Log } RW \dots\dots\dots (2)$$

$$\text{Log } RA = -3,49 + 0,91 \times M_w \dots\dots\dots (3)$$

dimana *RL* adalah *rupture length* (km), *RW* adalah *rupture width* (km) dan *RA* adalah *rupture area* (km²) [6]. Momen seismik menghitung besarnya energi yang dilepaskan oleh gempa dengan memperhitungkan perpindahan yang terjadi di dalam *slip* di sepanjang sesar dan luas permukaan sesar yang

mengalami *slip*. Magnitude gempa tidak cocok untuk digunakan dalam gempa berskala kecil, karena perpindahan dalam *slip* relative lebih kecil atau kurang signifikan. Hubungan antara momen seismik dan deformasi dapat dilihat pada persamaan berikut:

$$M_0 = \mu \times A \times D \dots\dots\dots (4)$$

dimana *M₀* adalah momen seismik gempa (Nm), μ adalah rigiditas batuan (Nm²), *A* adalah Luas Bidang Sesar (m²), dan *D* adalah deformasi/dislokasi (m) [7].

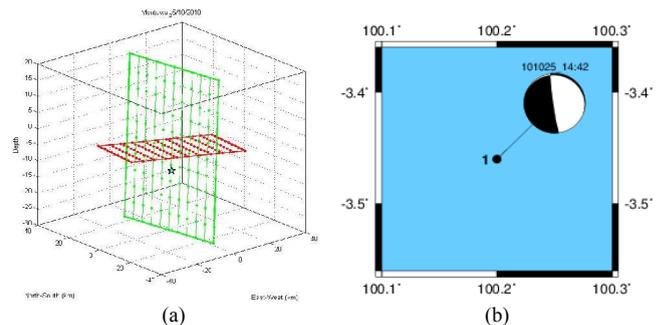
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil

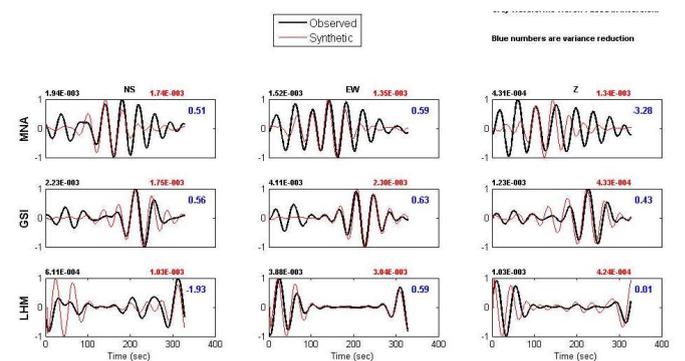
Besar momen tensor gempa bumi Mentawai sebagai berikut,

- $M_{rr} = M_{33} = -0,270$
- $M_{tt} = M_{11} = 0,183$
- $M_{pp} = M_{22} = 0,087$
- $M_{rt} = M_{31} = -0,151$
- $M_{rp} = M_{32} = 1,322$
- $M_{tp} = M_{12} = -0,154$

Pada saat gempa terjadi, ada dua bidang yang menjadi acuan dalam penentuan momen tensor yaitu *auxiliary plane* serta bidang patahan (*fault plane*) yang saling tegak lurus [8].



Gambar 1. (a) Orientasi bidang patahan (hijau). (b) Bentuk *beach ball* dari pola bidang sesar *normal fault*.



Gambar 2. *Fitting* kurva *displacement* antara tiga stasiun.

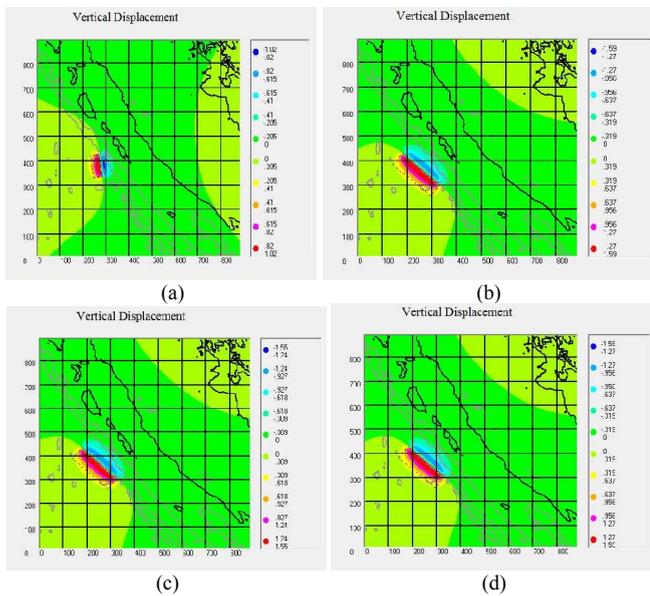
Pada gempa yang terjadi pada tanggal 25 Oktober 2010 pada pukul 14:42:21 WIB menunjukkan bahwa pola bidang sesar yang terbentuk adalah *normal fault* dengan karakteristik untuk bidang pertama (hijau) besar *strike* = 172, *dip* = 86 dan *rake* = -83 dan bidang kedua (merah) besar *strike* = 294, *dip* = 8 dan *rake* = -148.

Jarak antara hiposenter gempa dengan bidang pertama

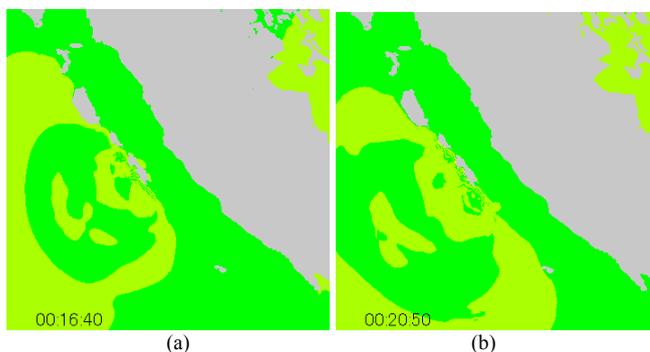
sebesar 2,04 km sedangkan jarak dengan bidang kedua sebesar 7 km, sehingga bidang patahannya adalah yang berwarna hijau dan *auxiliary plane* berwarna merah. Untuk jarak antara titik centroid-nya dengan jarak hiposenter sebesar 7 km.

Tabel 3. Hasil perhitungan panjang, lebar, luas dan *slip* bidang sesar.

| Nilai | ISOLA | IRIS | USGS | GLOBAL CMT |
|---------------------------|-----------------------|------------------------|-----------------------|-----------------------|
| M _w (Richter) | 7,4 | 7,8 | 7,8 | 7,8 |
| μ (N/m ²) | $4,28 \times 10^{10}$ | $4,28 \times 10^{10}$ | $4,28 \times 10^{10}$ | $4,28 \times 10^{10}$ |
| B (m/s) | 3566 | 3566 | 3566 | 3566 |
| M ₀ (Nm) | $1,36 \times 10^{20}$ | $6,773 \times 10^{20}$ | $6,66 \times 10^{20}$ | $6,77 \times 10^{20}$ |
| L (km) | 83,992 | 168,761 | 168,761 | 168,761 |
| W (km) | 39,12 | 60,53 | 60,53 | 60,53 |
| A (km ²) | 1753,881 | 4055,085 | 4055,085 | 4055,085 |
| D (m) | 1,81 | 3,90 | 3,84 | 3,90 |



Gambar 3. (a) *Vertical displacement* berdasarkan Model 1 ISOLA. (b) *Vertical displacement* berdasarkan Model 2 IRIS. (c) *Vertical displacement* berdasarkan Model 3 USGS. (d) *Vertical displacement* berdasarkan Model 4 Global CMT

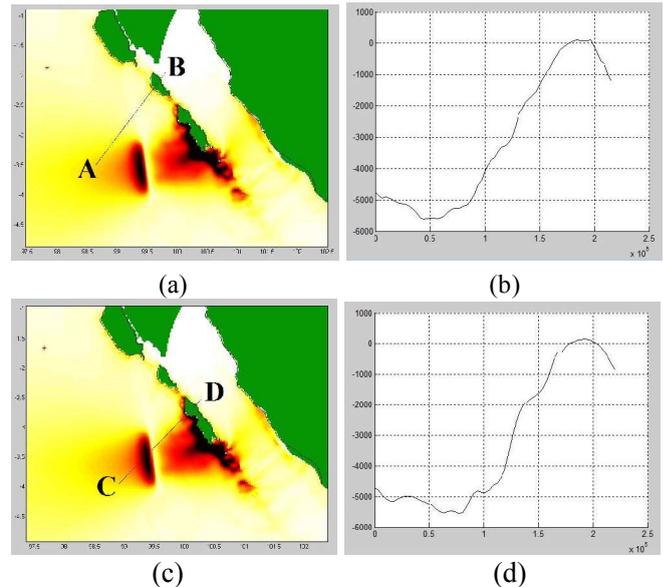


Gambar 4. (a) Waktu penjarangan simulasi gelombang tsunami model 1. (b) Waktu penjarangan simulasi gelombang tsunami model 2, 3 dan model 4.

Hasil bentuk pemodelan tinggi tsunami (*Run up modeling*) pada gempa Mentawai 25 Oktober 2010 yang dilakukan dengan melakukan digitasi pada lokasi-lokasi penelitian yang telah ditentukan, hasil ketinggian tsunami sebagai berikut,

Tabel 4. Ketinggian tsunami hasil simulasi.

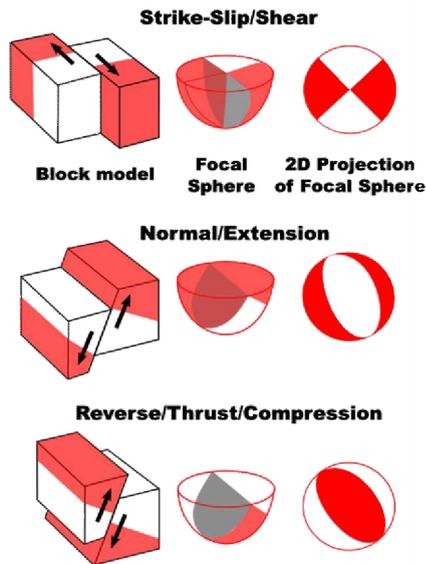
| Daerah Penelitian | Model 1 | Model 2 | Model 3 | Model 4 | Survei GITST 2010 |
|-------------------|---------------|--------------|--------------|--------------|-------------------|
| | ISOLA (meter) | IRIS (meter) | USGS (meter) | GCMT (meter) | |
| Batimonga Bay | 0,63 | 2,24 | 2,43 | 2,24 | 2,2 |
| Ghobi Bay | 0,55 | 1,73 | 2,11 | 1,73 | 1,5 |
| Tumele Bay | 0,78 | 3,25 | 4,29 | 3,25 | 4 |
| Pasangan Bay | 1,47 | 2,62 | 2,88 | 2,62 | 2,4 |
| Sabeugunggu Bay | 1,75 | 5 | 6,34 | 5 | 8 |
| Malacopa Bay | 2,41 | 2,88 | 2,94 | 2,88 | 2,5 |
| Asahan Bay | 3,16 | 2,86 | 2,97 | 2,86 | 2,8 |



Gambar 5. (a) Plot *cross-section* A-B (Pulau Sipora). (b) Plot *cross-section* ocean bottom dari A ke B. (c) Plot *cross-section* C-D (Pulau Pagai Utara). (d) Plot *cross-section* ocean bottom dari C ke D.

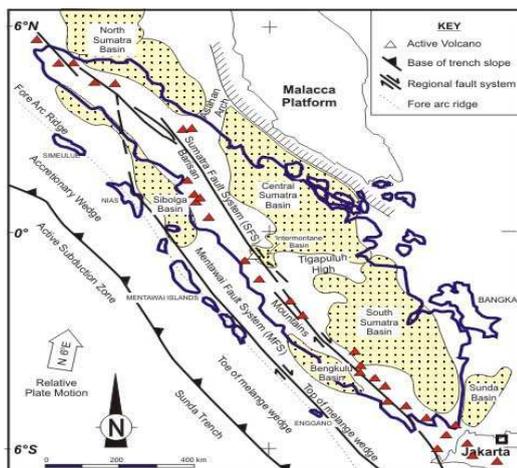
B. Pembahasan

Perhitungan Fungsi Green dan inversi menggunakan program ISOLA-GUI didapatkan hasil *fitting* kurva *displacement* dari data seismogram hasil observasi lapangan dengan data hasil estimasi dapat dilihat pada gambar 2. Besar kecocokan kurva ditentukan oleh varian reduksi [3]. Dan ketidakcocokan kurva dipengaruhi oleh sifat elastik dan tak elastik dari medium yang dilewati oleh gelombang sumber gempa [8]. Nilai varian reduksi pada penelitian ini adalah 0.53. Nilai varian reduksi ditentukan oleh nilai *filtering* yang dilakukan dalam proses inversi. Proses *inversi* yang digunakan pada program ISOLA-GUI adalah *deviatoric moment tensor* yang menghitung proses inversi untuk komponen 5 komponen dasar momen tensor serta menggunakan DC (*Double Couple*) dan CLVD (*Compensated Linier Vector Dipole*). Dari hasil Inversi *waveform* 3 komponen didapatkan Bentuk *focal mechanism* gempa bumi Mentawai yaitu pola bidang sesar *normal fault*.



Gambar 6. Focal mechanism gempa bumi dengan geometri sesar [9].

Bentuk pola bidang sesar pada gempa bumi Mentawai dipengaruhi oleh kondisi geologi regional kepulauan Mentawai. Diwilayah kepulauan Mentawai terdapat system sesar yaitu MFZ (*Mentawai Fault Zone*) dan zona subduksi.



Gambar 7. Sistem sesar yang ada di sumatera, SFZ, MFZ dan Zona Subduksi [10].

Sesar Mentawai/MFZ terbentang mulai dari selat sunda sampai pulau Nias [11]. 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 [12]. Gerakan sesar yang ada di Sesar Mentawai mempunyai pola bidang sesar bervariasi mulai dari *normal fault*, *strike slip* dan *reverse fault* [13]. Pada 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*) [5].

Pada pemodelan sumber gempa (*source modeling*) nilai parameter sumber gempa bumi yang dibutuhkan yaitu *latitude*

dan *longitude* gempa, *strike*, *dip*, nilai panjang *fault*, lebar *fault*, dan *slip*. Untuk *latitude*, *longitude*, *strike* dan *dip* didapat katalog lembaga penelitian (IRIS, USGS dan GCMT) dan dari hasil momen tensor menggunakan ISOLA.

Tabel 5.

Model parameter *fault* untuk pemodelan tsunami.

| Parameter | Model 1 | Model 2 | Model 3 | Model 3 |
|-----------------|---------|---------|---------|---------|
| Latitude | -3,46 | -3,71 | -3,68 | -3,71 |
| Longitude | 100,2 | 99,32 | 99,29 | 99,32 |
| Mw (Richter) | 7,4 | 7,8 | 7,8 | 7,8 |
| Strike (Degree) | 172 | 130 | 131 | 130 |
| Dip (Degree) | 86 | 82 | 83 | 82 |
| Slip (m) | 1,81 | 3,90 | 3,84 | 3,90 |
| Depth (km) | 12 | 12 | 12 | 12 |
| Length (km) | 83,992 | 168,761 | 168,761 | 168,761 |
| Width (km) | 39,12 | 60,53 | 60,53 | 60,53 |

Nilai output yang didapat dari pemodelan sumber gempa (*source modeling*) adalah *vertical displacement* (gambar 3) yaitu deformasi yang terjadi di dasar laut. Pergerakan deformasi kerak samudra di dasar laut di ikuti pergeseran permukaan air laut yang mengikuti deformasi bidang sesar. Pergerakan vertikal lantai samudra naik ditunjukkan dengan nilai *maximum vertical displacement*, sedangkan untuk nilai *minimum vertical displacement* menunjukkan pergerakan vertikal lantai samudra turun. Pergerakan vertikal lantai samudra naik dan turun dengan cepat sebagai respon dari gempa bumi dan menyebabkan naik dan turun air laut. Pergerakan *Displacemet* merupakan ukuran absolut perubahan posisi partikel [14]. Untuk nilai *vertical displacement* dengan nilai panjang dan lebar perhitungan dapat dilihat pada gambar 4.4 yang menunjukkan bahwa nilai *maximum vertical displacement* untuk data Model 1 (ISOLA) nilai *maximum* yaitu sebesar 1,02 m dan nilai minimumnya yaitu -1,02 m, Untuk data Model 2 dan Model 4 (IRIS dan GCMT) nilai *maximum* yaitu sebesar 1,59 m dan nilai minimumnya -1,59 m, Sedangkan model 3 (USGS) nilai *maximum* yaitu sebesar 1,55 m dan nilai minimumnya -1,55 m.

Hasil dari *Ocean modeling* memperlihatkan penjalaran gelombang tsunami dari sumber ke segala arah (gambar 4). Hasil survei oleh GITST waktu penjalaran gelombang tsunami sampai di kepulauan mentawai selama 5-10 menit. Penjalaran gelombang tsunami menggunakan model 1 (ISOLA) menunjukkan bahwa waktu penjalaran gelombang tsunami pada menit 12 lebih 30 detik gelombang tsunami sudah memasuki daerah pantai Batimonga di pulau Sipora, pantai Pasangan dan pantai Sabeugunggu di Pulau Pagai Utara. Pada menit ke 16 lebih 40 detik gelombang tsunami sudah memasuki pantai selatan pulau Sipora, Pulau Pagai Utara dan Pulau Pagai Selatan. Sedangkan berdasarkan gambar 4.7, gambar 4.8 dan gambar 4.9 penjalaran gelombang tsunami menggunakan model 2, 3 dan 4 (IRIS, USGS dan GCMT) menunjukkan bahwa waktu penjalaran gelombang tsunami pada menit 16 lebih 40 detik gelombang tsunami sudah memasuki daerah pantai Pasangan dan pantai Sabengunggu di Pulau Pagai Utara dan juga sudah memasuki daerah pantai Malacopa dan pantai Asahan di Pulau Pagai Selatan. Pada menit ke 20 lebih 50 detik gelombang tsunami sudah memasuki pantai

selatan pulau Sipora, Pulau Pagai Utara dan Pulau Pagai Selatan.

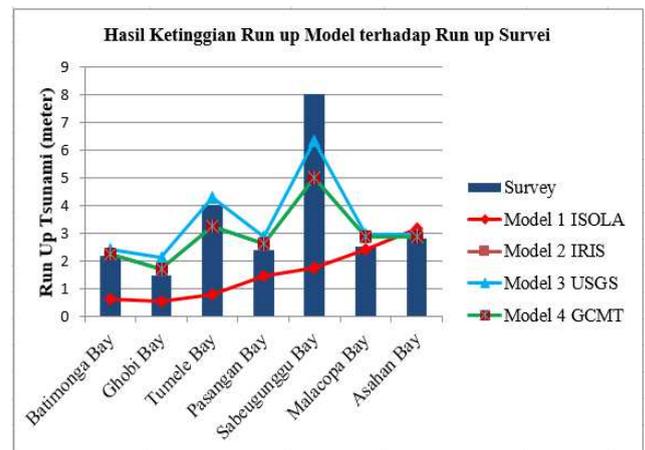
Waktu kedatangan tsunami diperkirakan melalui model kecepatan dan pembiasan gelombang tsunami ketika bergerak dari sumber asalnya, *Estimate Time or Arrival* dapat diperkirakan dengan ketepatan yang sangat baik jika batimetri dan sumber gempa diketahui [15]. Perbedaan waktu penjalaran gelombang ini dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain perbedaan nilai parameter sesar yaitu nilai *strike*, dari ke empat model nilai *strike* model 1 berbeda 40^0 dengan nilai *strike* model 2 dan 4, berbeda 41^0 dengan nilai *strike* model 3. Sedangkan untuk model 3 nilai *strike* berbeda 1^0 dengan nilai *strike* model 2 dan 4. Selisih 40^0 sangat berpengaruh pada penjalaran gelombang tsunami. Untuk model 1 nilai *strike*/arah bidang sesarnya lebih dekat dengan pulau Sipora sehingga pantai di pulau Sipora lebih cepat terkena gelombang tsunami. Sedangkan pada model 2, 3 dan 4 nilai *strike*/arah bidang sesarnya sejajar dengan pulau Sipora, Pulau Pagai Utara dan Pulau Pagai Selatan, sehingga waktu penjalaran gelombang tsunami hampir sama di setiap pulau. Selain nilai *strike*, kondisi batimetri bawah permukaan laut tiap daerah yang berbeda-beda dan tingkat kelandaian pantai juga berpengaruh pada waktu penjalaran gelombang tsunami [7].

Run up Tsunami adalah jarak vertikal antara jarak tsunami di pantai dengan titik nol muka laut atau *mean sea level*. Hasil *Run up* Tsunami dapat dilihat pada table 4. Tinggi *run up* dan tinggi tsunami tergantung pada magnitudo gempa, morfologi dasar laut, dan bentuk pantai. Kesulitan-kesulitan yang kerap ditemui saat memprediksi *run up* tsunami adalah transformasi gelombang, refleksi gelombang, batimetri, gelombang infragravitasi, porositas dan lain-lain [17]. Kenaikan *run up* tsunami ketika mencapai dasar laut yang lebih dangkal berpengaruh dalam simulasi penjalaran tsunami. Untuk melihat pengaruh kedalaman dasar laut terhadap tinggi *run up* tsunami dilakukan plot *cross-section*. Tiap model dilakukan tiga plot *cross-section* yaitu pada Pulau Sipora, Pulau Pagai Utara dan Pulau Pagai Selatan. Untuk hasil semua plot *cross-section* dapat dilihat di lampiran c. Pada gambar 5a ditarik garis lurus dari daerah sekitar pusat gempa (titik A) sampai Pulau Sipora (titik B). Sedangkan pada gambar 5c ditarik garis lurus dari daerah sekitar pusat gempa (titik C) sampai Pulau Pagai Utara (titik D).

Dari ketiga daerah yang dilakukan plot *cross-section* dapat diketahui bahawa bentuk permukaan dasar laut (*ocean Bottom*) Pulau Pagai Utara untuk kedalaman dari 1000-4000 km dibawah permukaan laut terlihat lebih curam dibandingkan Pulau Sipora. Bentuk permukaan dasar laut/*Ocean bottom* dapat mempengaruhi penjalaran gelombang tsunami dan ketinggian tsunami, dimana ketika gelombang tsunami semakin mendekati daratan maka gelombangnya semakin tinggi. Hal ini menyebabkan ketinggian gelombang tsunami jauh lebih tinggi ketika mencapai daerah pesisir pantai dari pada ketinggian gelombang pada lokasi awal pusat gempa. Tinggi tsunami pada saat mendekati pantai akan mengalami perbesaran karena adanya penumpukan massa air akibat adanya penurunan kesempatan penjalaran. Kecepatan penjalaran gelombang tsunami bergantung pada kedalaman air dan Tinggi tsunami disebabkan karena terjadi konversi energi

kinetik gelombang menjadi energi potensial, kehilangan energi akibat berkurangnya kecepatan ditransfer ke dalam bentuk pembesaran tinggi gelombang (*run up*) [18]. Tsunami Mentawai yang terjadi pada 25 Oktober 2010 termasuk tsunami lokal yang terjadi di perairan dangkal dengan kedalaman gempa 12 km. Tsunami lokal merupakan tsunami dari sumber yang letaknya tidak jauh dan dampak destruktifnya terbatas hanya pada pantai dalam radius 100 km dari sumber gempa [15].

Untuk mengetahui kevalidan ketinggian gelombang tsunami dari hasil permodelan tsunami maka perlu dilakukan validasi antara *run up* hasil survei (pengukuran di Lapangan) dengan *run up* hasil pemodelan.



Gambar 8. Validasi tinggi run-up hasil pemodelan dengan run-up hasil survey.

Data survei yang digunakan pada pengukuran ini adalah hasil pengukuran lapangan yang telah dilakukan oleh *German-Indonesia Tsunami Survey Team* (GITST) [19]. Berdasarkan gambar 8 dapat diketahui bahwa data yang mendekati hasil survei adalah Model 2 (IRIS) dan Model 3 (Global CMT) dengan 4 area penelitian yang nilai *run up*-nya mendekati hasil survei yaitu pada daerah pantai Batimonga, pantai Ghobi, pantai Pasanggan dan pantai Asahan.

IV. KESIMPULAN

Dari penelitian ini didapatkan bahwa untuk untuk pola bidang patahan yang terjadi pada gempa Mentawai 25 Oktober 2010 adalah pola *normal fault* di zona subduksi. Dengan besar rentang momen tensor untuk masing-masing komponennya sebesar $M_{11} = 0,183 \exp20$, $M_{22} = 0,087 \exp20$, $M_{33} = -0,270 \exp20$, $M_{31} = -0,151 \exp20$, $M_{32} = 1,322 \exp20$, $M_{12} = -0,154 \exp20$. Dengan nodal plane 1 nilai *Strike* 172, *Dip* 86, *Rake* -83, nodal plane 2 nilai *Strike* 294, *Dip* 8, *Rake* -148. Untuk nilai panjang *fault*, lebar *fault* dan *slip* gempa Mentawai 25 Oktober 2010, untuk penelitian (ISOLA) panjang *fault* = 83,992 km, lebar *fault* = 39,12 km, *slip* = 1,81 m. Untuk IRIS dan Global CMT panjang *fault* = 168,761 km, lebar *fault* = 60,53 km, *slip* = 3,90 m. Untuk USGS panjang *fault* = 168,761 km, lebar *fault* = 60,53 km, *slip* = 3,84 m. Hasil dari pemodelan tsunami *Source Modeling*, nilai *Vertical Displacement*, Model 1 (ISOLA) nilai maximum = 1,02 meter,

Model 2 (IRIS) nilai maximum = 1,59 meter, Model 3 (USGS) nilai maximum = 1,55 meter, Model 4 (GCMT) nilai maximum = 1,59 meter. *Ocean Modeling*/waktu penjalaran gelombang tsunami sampai ke Pulau Sipora, Pagai Utara dan Pagai Selatan yang mendekati hasil survei adalah model 1 (ISOLA) yaitu Menit ke 16 lebih 40 detik. Untuk *Run up Modeling*, Ketinggian tsunami yang mendekati hasil survei adalah model 2 (IRIS) dan model 4 (Global CMT). Nilai ketinggian tsunami hasil pemodelan yang mendekati hasil survei sebagai berikut: Pantai Batimongga = 2,24 m (IRIS dan GCMT), Pantai Ghobi = 1,73 m (IRIS dan GCMT), Pantai Tumele = 4,29 m (USGS), Pantai Pasangan = 2,62 m (IRIS Dan GCMT), Pantai Sabeugunggu = 6,34 m (USGS), Pantai Asahan = 3,16 m (ISOLA). Nilai *strike* dan *ocean bottom* mempengaruhi penjalaran gelombang tsunami. Ketinggian tsunami dipengaruhi oleh bentuk dasar permukaan laut dan parameter sumber gempa bumi (*strike, dip, slip, panjang fault* dan lebar *fault*).

UCAPAN TERIMA KASIH

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

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Natawidjaja, D. H. 2007. *Gempabumi dan Tsunami di Sumatra dan Upaya Untuk Mengembangkan Lingkungan Hidup yang Aman Dari Bencana Alam*, Vol. 136.
- [2] 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 (2008) 967-977.
- [3] Sokos, E. N., Zahrandik J. 2009. *A Matlab GUI for use with ISOLA Fortran codes*. User's Guide.
- [4] 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.
- [5] Madrinovella, Iktri., Widiyantoro, Sri., Meilano, Irawan., 2011. *Relokasi Hiposenter Gempa Padang 30 September 2009 Menggunakan Metode Double Difference*. JTM Vol. XVII No. 1/2011.
- [6] Wells, D. L., Coppersmith, K. J. 1994. *New Empirical Relationships among Magnitude, Rupture Length, Rupture Width, Rupture Area, and Surface Displacement*. Bulletin of the Seismological Society of America, 84(4). 1994.
- [7] Hanks, Thomas C., Kanamori, H. 1979. *Moment magnitude scale*. Journal of Geophysical Research 84, B5: 2348–2350. Retrieved 2007-10-06.
- [8] Stein, S., Wysession, M. 2003. *An Introduction to Seismology, Earthquakes, and Earth Structure*. Oxford: Blackwell Publishing Ltd
- [9] Freeman, W.H. 1994. *Understanding Earth*. US: Press and Serve.
- [10] Ikatan Ahli Geologi Indonesia (IAGI). 2012. *Geologi Sumatra*. www.geologi.iagi.or.id. Diunduh pada tanggal 3 April 2014.
- [11] 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 Publication. V.106, p337-351.
- [12] Madlazim, Santosa, B.J., Less, J.M., Utama, W. 2010. *The four Earthquake of the Sumatran Fault Plane*. Journal of seismology and Earthquake Engginer, Winter 11. 4.
- [13] Sieh, K., Natawidjaja, D. H. 2000. *Neotectonics of the Sumatran Fault, Indonesia*. Journal of Geophysical Research, vol. 105, No. B12, pages 28, 295-28,326.
- [14] Afnimar. 2009. *Seismologi*. Bandung: ITB.
- [15] UNESCO. 2007. *Rangkuman Istilah Tsunami*. Jakarta: UNESCO-IOC.
- [16] Setyonegoro, W. 2011. *Pengaruh Profil Kedalaman Lautan Pada Penjalaran Tsunami (Studi Kasus: Gempabumi Aceh 11 April 2012)*. Hal 105–110, edisi ke-8 Prosiding Seminar Scientific Jurnal Club Tahun 2013. ISBN: 978-979-1241-56-4. Jakarta: Badan Meteorologi dan Geofisika.
- [17] Setyonegoro, W., et al. 2012. *Analisis Sumber Gempabumi dengan Potensi Tsunami pada Segmen Mentawai*, Jurnal Meteorologi dan Geofisika BMKG. Vol.13.No.2, Hal: 139-138, 2012. Jakarta: Badan Meteorologi dan Geofisika.
- [18] Diposaptono, S., Budiman. 2006. *Tsunami. Buku Ilmiah Populer*. Bandung: ITB.
- [19] GITST (German-Indonesia Tsunami Survey Team). 2010. *Jejak tsunami 25 Oktober 2010 di kepulauan Mentawai berdasarkan penelitian kebumihan dan wawancara*. Jurnal Lingkungan dan Bencana Geologi, Vol. 1, No. 3, Desember 2010: 165-181.