

VALIDASI PEMODELAN TSUNAMI BERDASARKAN SOFTWARE L-2008 MENGGUNAKAN DATA SUMBER GEMPABUMI USGS, IRIS, CMT DAN GFZ UNTUK STUDI KASUS TSUNAMI NIAS 28 MARET 2005

*VALIDATION OF TSUNAMI MODELING BASED EARTHQUAKE SOURCE DATA OF USGS,
IRIS, CMT AND GFZ WITH STUDY CASE NIAS TSUNAMI AT MARCH 28, 2005*

Wiko Setyonegoro^{1*}, Sayyidatul Khoiridah², Moh Ikhyaul Ibad²

¹Puslitbang BMKG, Jl. Angkasa I No. 2 Kemayoran, Jakarta Pusat 10720

²Jurusan Fisika Fakultas MIPA Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

*E-mail:wiko_setyonegoro@yahoo.co.id

Naskah masuk: 27 Maret 2014; Naskah diperbaiki: 15 Mei 2015; Naskah diterima: 14 Agustus 2015

ABSTRAK

Telah terjadi gempa bumi di Nias, pada tanggal 28 Maret 2005 yang menyebabkan korban meninggal dunia sebanyak 1.000 jiwa, 300 orang terluka, dan 300 bangunan rusak. Berdasarkan hal tersebut dilakukan pemodelan tsunami dari pengolahan data mekanisme sumber gempa bumi dengan menggunakan software Tsunami L-2008. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui hasil perhitungan mekanisme sumber gempa bumi melalui persamaan empiris *scaling law* untuk memvalidasi antara nilai run up hasil simulasi dengan run up dari beberapa skenario sumber gempa yaitu data USGS, IRIS, Global CMT, dan GFZ. Berdasarkan data USGS gempa Nias terjadi pada jam 16:10:31.8 UTC dengan lokasi episenter 1,64° LU 96,98° BT, pada kedalaman 30 km, Mw 8,6 SR, strike 130°, dan dip 83°. Persamaan *scaling law* berdasarkan hubungan rumus empiris dimana panjang fault 369,83 km, lebar fault 82,41 km, dan slipnya sebesar 11,063 m dengan tipe sesar naik. Hasil validasi tinggi run-up yang dilakukan dengan membandingkan antara run-up hasil simulasi dengan run-up hasil survey menunjukkan bahwa data GFZ dengan menggunakan panjang dan lebar fault hasil perhitungan lebih mendekati hasil survey. Sedangkan berdasarkan hasil regresi menunjukkan bahwa data USGS yang lebih mendekati hasil survey, hal ini ditunjukkan dengan kedekatan titik-titik terhadap linearitas yang memiliki nilai 0.6588 dengan nilai regresinya yaitu $y=0,8223x+0,2966$. Berdasarkan hasil keseksamaan yang mendekati survey adalah data dari instansi GFZ menggunakan panjang dan lebar fault hasil perhitungan dengan nilai keseksamaan sebesar 87.58%. Dan berdasarkan uji korelasi data yang mendekati survey adalah data dari instansi USGS dengan nilai korelasi 0,81.

Kata Kunci: gempa bumi Nias, mekanisme sumber gempa bumi, pemodelan, run-up, tsunami, validasi.

ABSTRACT

There was an earthquake in Nias, on March 28, 2005. Based on this, tsunami modeling of earthquake source mechanism of data processing by using software Tsunami L-2008. This study aims to determine the results of the calculation of earthquake source mechanism through empirical equation scaling law to validate the value of the run-up simulation results, with the run-up of some of the scenarios that earthquake sources of data. The results of the validation of high run-up is done by comparing the run-up simulation results with the run-up based on the regression results indicate that the USGS data closer to the results of the survey, as shown by the proximity of the points against linearity regression 0.658. Based on the results of the survey are approaching the precision of the data from the GFZ agencies using fault length and width of the calculation results with the value of 87.58% accuracy. And based on the correlation data in depth approach is data from USGS agency with a correlation value of 0.81.

Keywords: Nias earthquake, earthquake source mechanisms, modeling, run-up, tsunamis, validation.

1. Pendahuluan

Secara geografis Indonesia terletak pada 94°-141° BT dan 6° LU-11° LS yang merupakan negara kepulauan dengan tingkat kegempaan tinggi dengan beberapa

kejadian tsunami. Hal ini dapat dijelaskan oleh kondisi tektonik wilayah Indonesia yang merupakan jalur pertemuan lempeng Eurasia dari arah utara dan lempeng Hindia-Australia dari arah Selatan, serta pergerakan lempeng pasifik dari arah Timur. Pada

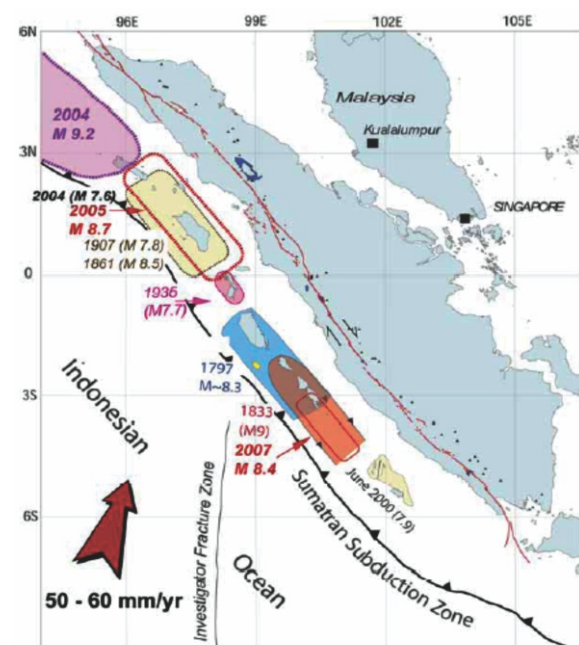
tektonik aktif Pulau Sumatra memperlihatkan sumber-sumber utama gempabumi pada zona Subduksi dan zona Patahan Sumatra. Wilayah barat Sumatra sering terjadi gempabumi karena posisinya di sepanjang jalur tumbukan dua lempeng bumi, di mana lempeng samudra Hindia bergerak menunjam ke bawah lempeng benua Pulau Sumatra. Sumatra dan busur kepulauan di bagian baratnya adalah bagian dari lempeng Eurasia. Sedangkan lempeng lainnya berada di bawah Samudera Hindia. Di Sumatra bidang zona subduksi ini dapat diamati (dari data seismisitasnya) sampai kedalaman sekitar 300 km di bawah P. Sumatra. Bagian zona subduksi dari palung sampai kedalaman 40 km-an, umumnya mempunyai sifat regas (elastik) dan batas kedua lempeng ini di beberapa tempat terikat/terkunci erat. Karena itu dorongan terus menerus dari Lempeng Hindia menyebabkan terjadinya akumulasi energi-potensial regangan pada bidang kontak yang merekat erat ini berupa pengkerutan. Inilah yang menjadi sumber gempabumi di lepas pantai barat Sumatra. Di daratan Sumatra, Patahan/Sesar Sumatra terbentang sepanjang Pegunungan Bukit Barisan, mulai dari Teluk Semangko di Selat Sunda sampai dengan wilayah Aceh di utara. Sudah sekitar 20 gempa besar dan merusak terjadi di sepanjang Patahan Sumatra dalam 100 tahun terakhir. Dengan kata lain, gempa besar di Sesar Sumatra terjadi rata-rata dalam lima tahun sekali. Jadi, berbeda dengan di zona subduksi Sumatra yang berpotensi untuk mengeluarkan gempa besar dengan magnitudo > 8 tapi hanya sekitar 2 - 3 kali dalam 100 tahun, gempa di Sesar Sumatra magnitudonya < 7.7 (gambar 1) [1]. Tingginya kejadian gempabumi di Indonesia dapat dilihat dari kejadian gempabumi merusak dan menimbulkan korban yang sangat besar yang terjadi di Indonesia pada dekade terakhir antara lain gempabumi Nias. Daerah di Indonesia yang sering mengalami gempa bumi salah satunya adalah pulau Nias yang menurut letak geografis berada pada lintang 0°25' 00" LU - 1° 40' 00" LU dan 97° 00' 00" BT - 98° 05' 00" BT dengan luasan sekitar 47 km x 120 km. Pada gempa Nias 28 Maret 2005 terdapat korban meninggal dunia sebanyak 1000 jiwa, 300 orang terluka, dan 300 bangunan rusak [1].

Pertemuan antar lempeng ini merupakan daerah sumber terjadinya gempabumi. Lempeng Indo-Australia sebagai lempeng samudera bergerak ke arah utara timur laut menyusup di bawah lempeng Eurasia sebagai lempeng kontinen. Pertemuan kedua lempeng ini ada di laut yang merupakan sumber gempa dangkal. Semakin ke utara semakin dalam. Teori Bingkai Elastik atau *Elastic Rebound Theory* (Reid, 1906) menyatakan bahwa saat lempeng tektonik bergerak relatif satu sama lain, akan terakumulasi energi strain elastik di sepanjang tepi batuan pada bidang patahan. Oleh karena itu, bidang patahan biasanya tidak rata sehingga sejumlah besar energi akan tersimpan (bila batuan cukup kuat) saat pergerakan tertahan akibat penguncian di sepanjang patahan [2]. Bila stress geser

(*shear stress*) bekerja pada batuan di bidang patahan maka akan memperbesar kekuatan geser dari batuan sehingga dapat mengakibatkan terjadinya *rupture*. Dengan prinsip ini, yaitu bila batuan pada patahan dengan panjang tertentu dan lempeng mengalami *slip* satu sama lain dengan laju tertentu, maka memungkinkan untuk menghitung waktu yang diperlukan untuk akumulasi energi strain elastik, dan kemungkinan besarnya magnitude gempabumi yang akan terjadi [2].

Identifikasi permasalahan dalam penelitian ini adalah mengetahui tipe mekanisme sumber gempabumi yang dapat mempengaruhi terpropagasinya gelombang tsunami hingga sampai di garis pantai dan menimbulkan korban jiwa dan materi. Tipe mekanisme sumber gempabumi akan dipaparkan lebih lanjut. Tipe mekanisme sumber gempabumi merupakan sebuah sesar. Berdasarkan batasan masalah pada penelitian ini sesar yang dominan di Pulau Nias adalah sesar naik (*thrust fault*) [3].

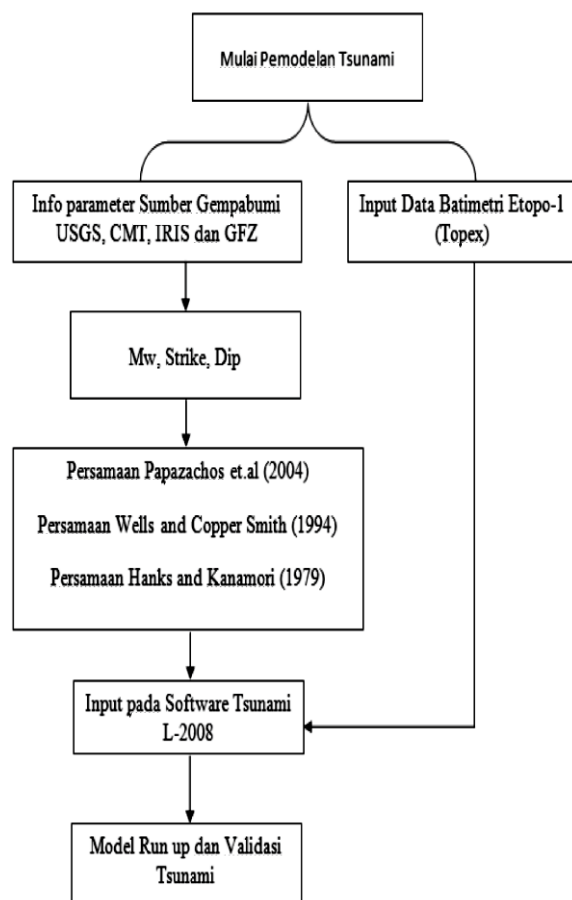
Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui hasil perhitungan mekanisme sumber gempabumi melalui persamaan empiris pemodelan sumber gempabumi sebagai pembangkit tsunami (*source modeling*), penjaran gelombang tsunami (*ocean modeling*), dan ketinggian tsunami (*run-up modeling*) serta untuk memvalidasi antara nilai run up hasil simulasi dengan run up dari beberapa referensi. Pemodelan tersebut dilakukan dengan memperhatikan faktor-faktor yang mempengaruhi tinggi tsunami, seperti ; bentuk pantai, kelandaian pantai, vegetasi dan struktur penghalang di sekitar pantai, arah gelombang tsunami, efek pemantulan (*refleksi*) gelombang yang berasal dari pulau lain disekitarnya.



Gambar 1. Tektonik aktif Pulau Sumatra yang mempengaruhi gempabumi Nias [1].

2. Metode

Pada penelitian ini menggunakan metode simulasi tsunami dengan menggunakan data gempabumi nias 28 Maret 2005 dengan menggunakan empat sekenario dari data instansi USGS (*United States Geological Survey*), IRIS (*Incorporated Reasearch Institutions for Seismology*), GCMT (*Global Centroid moment Tensor*) dan GFZ (*Geo Forschung Zentrum-G*). Pada penelitian ini juga menggunakan software simulasi tsunami yang digunakan adalah *software* Tsunami L-2008. *Software* ini dikembangkan oleh Dr. Mamoru Nakamura dari University of Ryukyus dan dikembangkan format outputnya oleh Nguyen Anh Duong dari Institute of Geophysics Vietnam. Metode penelitian untuk pemodelan tsunami ini dilakukan dengan mengumpulkan beberapa sumber referensi dan beberapa data parameter mekanisme fokus gempa bumi serta batimetri. Adapun parameter input yang diperlukan antara lain lokasi episenter gempa (lintang dan bujur), magnitudo sumber, panjang dan lebar sesar, *strike*, *dip*, dan *slip*. Agar output yang diperoleh lebih akurat maka dilakukan validasi antara output dengan data input yang diperoleh dari USGS, IRIS, GCMT, dan GFZ dan data input dari referensi penelitian lain (gambar 2) [1][6].



Gambar 2. Diagram alir penelitian.

Gempa yang dapat membangkitkan tsunami (*tsunamigenic earthquake*) untuk menghasilkan deformasi di dasar laut harus gempa yang mempunyai momen seismik yang besar dengan posisi episenter yang dangkal. 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.

$$M_0 = \mu \cdot A \cdot D \quad (1)$$

Dimana: M = momen seismik gempa (Nm)

μ = regiditas (tingkat kekakuan benda, semakin keras bendanya maka energi yang diperlukan untuk menggerakannya semakin besar, artinya momen seismiknya semakin besar) (Nm²)

A = Luas Bidang Sesar (m²)

D = Deformasi / dislokasi (m)

(Hank dan Kanamori, 1979) [10]

Adapun hubungan antara magnitude gempa dengan moment seismik menurut persamaan (Geist, 1998).

$$M_w = 2/3 \log M_0 - 6,07 \quad (2)$$

(Wells dan Coppersmith, 1994) [13]

Beberapa parameter gempa yang perlu diketahui dalam hubungannya dengan pembentukan tsunami adalah momen seismik, lokasi atau episenter pusat gempa, kedalaman pusat gempa, dan mekanisme fokus dan geometri sesar. Untuk panjang dan lebar dari deformasi dapat ditentukan dari daerah distribusi gempautama (*main shock*), gempa-gempa kecil sebelum gempa utama (*fore shock*), dan gempa-gempasusulan (*after shock*). Magnitude dari *foreshock* dan *aftershock* selalu lebih kecil dari padan *mainshock*. Secara empiris panjang, lebar dan slip *fault* dapat ditentukan dengan melakukan interpolasi berdasarkan persamaan persamaan Papazachos, et al. (2004) sebagai berikut (gambar 3) [8]:

a. Panjang sesar (L)

$$\log L = -2,42 + (0,58 \cdot M_w) \quad (3)$$

b. Lebar sesar (W)

$$\log W = -1,61 + (0,41 \cdot M_w) \quad (4)$$

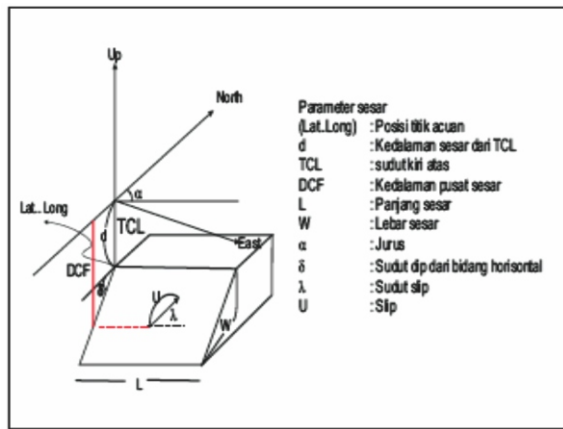
c. Maximum displacement (MD)

$$\log MD = -1,38 + (1,02 \cdot \log L) \quad (5)$$

d. Average displacement (AD)

$$\log AD = -1,43 + (0,88 \cdot \log L) \quad (6)$$

(Madrinovella, 2011) [9]



Gambar 3. Parameter Bidang sesar [6].

Perumusan diatas dipergunakan keseluruhannya untuk dilakukan substitusi pada variabel yang belum diketahui, sehingga parameter L, W, A dan M dapat dijadikan input pada simulasi tsunami.

Untuk skenario model dengan sumber gempabumi yang berada pada lempeng samudra maka perhitungan parameter sesar yang digunakan adalah peumusan dengan konstanta di zona penunjaman menggunakan rumus :

$$\log L = 0,5 M_w - 2,19 \quad (7)$$

$$W = 0,31 M_w - 0,63 \quad (8)$$

Sedangkan untuk skenario model dengan sumber gempabumi yang berada pada lempeng kerak bumi yang lebih lunak maka perhitungan parameter sesar yang digunakan adalah peumusan dengan konstanta di lempeng kontinental menggunakan rumus :

$$\log L = 0,50 M_w - 1,86 \quad (9)$$

$$W = 0,28 M_w - 0,7 \quad (10)$$

Simulasi skenario dilakukan pada lokasi sumber gempabumi di lempeng samudera (Barat Laut Nias), juga dilakukan pada lempeng kontinen (Timur Laut Nias). Untuk menghitung waktu tiba, amplitudo, dan tinggi gelombang tsunami, serta pengaruh gelombang tsunami terhadap suatu wilayah maka dibuat model tsunami berdasarkan parameter yang telah ditentukan [5].

Proses input pemodelan tsunami dilakukan dengan mengunduh data batimetri area lokasi gempa bumi yang terjadi di Pulau Nias pada tanggal 28 Maret 2005 untuk extract data topografi atau gravitasi data dari global grids 1-menit dalam format ASCII XYZ di alamat topex. Setelah itu menyiapkan data mekanisme fokus gempa bumi. Langkah selanjutnya yaitu menentukan desain model atau skenario yang akan dilakukan (*source modeling*), membuat grid dari nilai batimetri wilayah simulasi dan desain simulasi

penjalaran tsunami (*ocean modeling*), serta memodelkan tinggi gelombang tsunami (*run up modeling*). Adapun tahapan-tahapan dalam pemodelan tsunami dapat dilihat pada diagram alir pengerjaan simulasi penjalaran tsunami.

2.1. Source Modeling

Profil awal sumber tsunami dapat diperoleh dengan menganggapnya sebagai deformasi dasar laut dengan parameter patahan yang ditentukan berdasarkan data solusi mekanisme sumber gempa. Secara empiris panjang, lebar, dan slip *fault* dapat ditentukan dengan menggunakan korelasi persamaan empiris antara Papazachos (2004), Wells dan Coopersmith (1994), dan Hanks and Kanamori (1979). Output dari *source modeling* berupa *vertical displacement* yaitu deformasi yang terjadi didasar laut, yang dilakukan melalui aplikasi perangkat lunak Tsunami L-2008 menggunakan formula Nakamura, M. (2006), yang selanjutnya akan dipergunakan dalam *ocean modeling* dan *run up modeling* [5].

2.2. Ocean Modeling

Batimetri. Data yang dibutuhkan dalam *ocean modeling* adalah *output* dari *source modeling* dan data batimetri. Batas kordinat batimetri wilayah penelitian terletak di antara 6° LU – 3° LS dan 91° BT – 100° BT.

Parameter Simulasi. Parameter simulasi yang menjadi input dalam Program Tsunami L-2008 sebagai formulasi dari Nakamura, M. (2006), meliputi *Maximum Time* yaitu waktu yang dibutuhkan untuk menjalankan simulasi, dimana pada penelitian ini ditetapkan selama 3600 detik, *Graph interval* dipilih 50, *Δt* 5 agar penyimpanan hasil simulasi tiap 25 detik, *Hmax* merupakan nilai estimasi run up yang diperoleh dari referensi yaitu sebesar 5m, sedangkan *Hmin* sebesar -5m. Untuk *Maning Parameter* ditentukan sebesar 0,025, *Max Depth for Friction* 50. Hasil dari *Ocean modeling* berupa simulasi penjalaran gelombang tsunami tiap 25 detik.

2.3. Run Up Modeling

Run Up tsunami adalah jarak vertikal antara ujung tsunami di pantai dengan titik nol muka laut atau *mean sea level*. Adapun output dari *run up modelling* yaitu berupa nilai ketinggian tsunami yang terjadi di sepanjang pantai yang terkena gelombang tsunami di beberapa titik target. *Run up modeling* dilakukan dengan melakukan digitasi pada lokasi-lokasi yang telah ditentukan. Adapun lokasi digitasi pemodelan *run up* dalam penelitian ini meliputi Pulau Nias dan sekitarnya yang meliputi Pulau Salaut, bagian Barat Laut Simeulue, bagian Barat Daya Simeulue, Pulau Babi, Pulau Bangkuru, Pulau Tuangku, Singkil, Sarangbaung, Pulau Asu, Barat Nias, Barat Daya Lagundri Nias dan Barat Laut Pulau Batu.

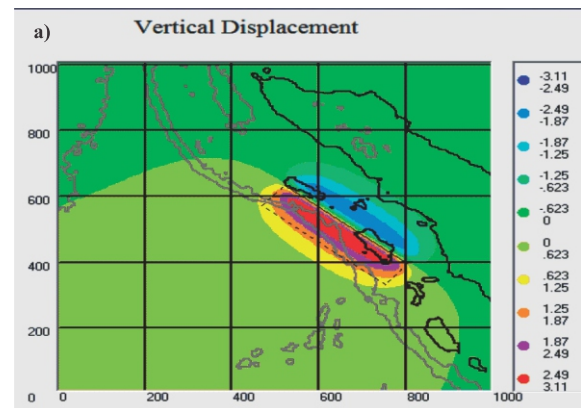
3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Source Modelling

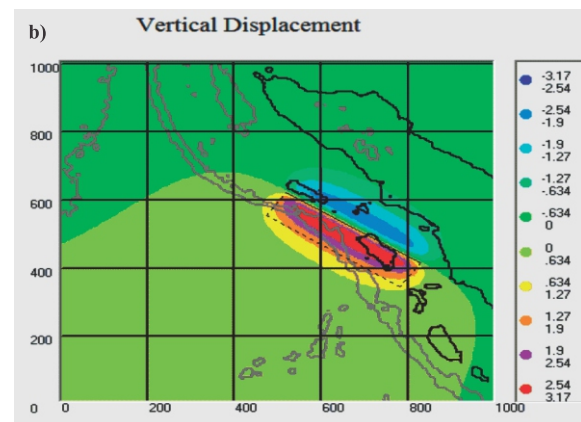
Pada pemodelan sumber gempa (*source modeling*) nilai parameter sumber gempabumi yang dibutuhkan yaitu nilai panjang *fault*, lebar *fault*, *strike*, *dip*, dan *slip*. Pada penelitian ini nilai input parameter sumber gempabumi yang digunakan pada *software* *Tsunami L-2008* adalah berdasarkan dari hasil perhitungan dengan menggunakan persamaan empiris dan dua referensi. Pada nilai perhitungan didapatkan nilai panjang dan lebar *fault* sebesar 369,83km x 82,41km sehingga didapatkan nilai luas *fault* yaitu 30477,69 km² menggunakan persamaan Hank dan Kanamori, 1979. Jadi, untuk nilai slip diperoleh 11,063 m. Sedangkan nilai parameter sumber gempa pada salah satu referensi yang digunakan pada penelitian ini memiliki nilai panjang dan lebar *fault* sebesar 300km x 150km dengan nilai slip 12.35 m dan untuk referensi yang lain memiliki nilai panjang dan lebar *fault* sebesar 300km x 100km dengan nilai slip yang digunakan adalah slip dari perhitungan yaitu 11,063 m karena pada referensi tidak disebutkan berapa besar nilai slipnya.

Nilai output yang didapat dari pemodelan sumber gempa (*source modeling*) adalah *vertical displacement* yaitu deformasi yang terjadi di dasar laut. Untuk nilai *vertical displacement* dengan nilai panjang dan lebar perhitungan dapat dilihat pada gambar 7, 8 dan 9, yang menunjukkan bahwa nilai *maximum vertical displacement* untuk data USGS dan IRIS yaitu sebesar -3,11m dan nilai minimumnya yaitu -3,11m serta data dari GCMT untuk maximum yaitu sebesar 3,32m dan minimumnya yaitu -3,32m. Sedangkan untuk data GFZ nilai maximumnya sebesar 3,17 m dan nilai minimumnya -3,17m.

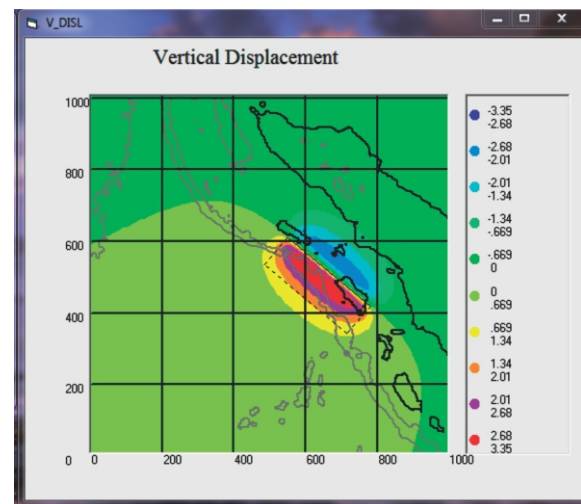
Untuk nilai *maximum vertical displacement* dengan panjang dan lebar *fault* sebesar 300km x 100km yaitu pada data USGS dan IRIS sebesar 3,35m dan minimumnya yaitu -3,35m serta data dari GCMT yaitu maximum sebesar 3,56m dan minimum sebesar -3,56m serta data *vertical displacement* untuk GFZ yaitu maximum sebesar 3,41m dan minimumnya sebesar -3,41m. Untuk nilai *vertical displacement* dengan panjang dan lebar *fault* sebesar 300km x 150km yaitu pada data USGS dan IRIS maximum sebesar 4,25m dan minimumnya -4,25m, data dari GCMT yaitu maximum sebesar 4,47m dan minimum sebesar -4,47m, dan data dari GFZ yaitu maximum sebesar 4,33m dan minimum sebesar -4,33m (gambar 4 dan gambar 5).



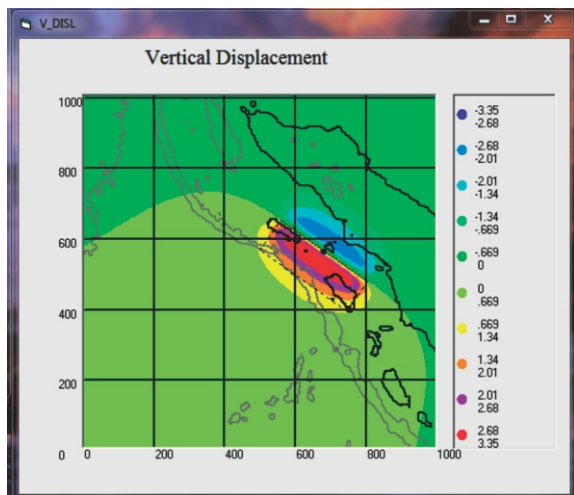
Gambar 4a) *Vertical displacement* berdasarkan data USGS dengan nilai panjang dan lebar *fault* hasil perhitungan.



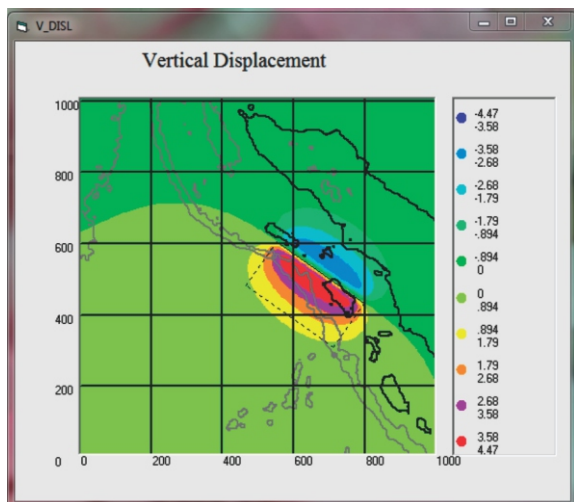
Gambar 4b) *Vertical displacement* berdasarkan data GFZ dengan nilai panjang dan lebar *fault* hasil perhitungan.



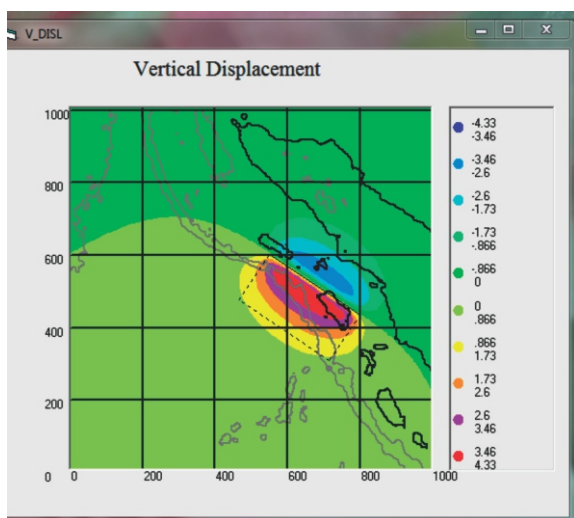
Gambar 5a) *Vertical displacement* berdasarkan data USGS dengan nilai panjang *fault* 300 km dan lebar *fault* 100 km.



Gambar 5b) *Vertical displacement* berdasarkan data IRIS dengan nilai panjang *fault* 300 km dan lebar *fault* 100 km.

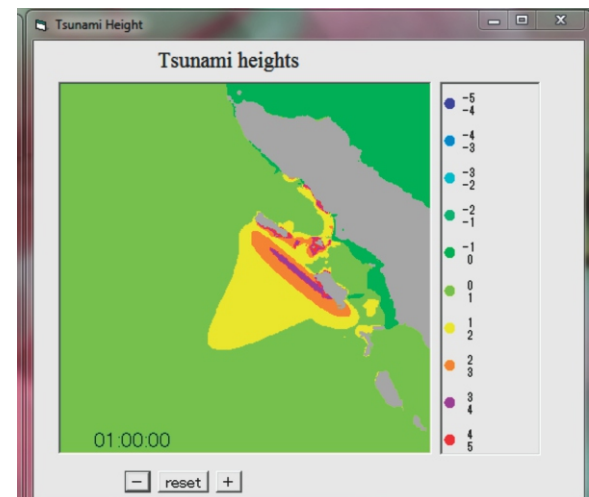


Gambar 6a) *Vertical displacement* berdasarkan data GCMT dengan nilai panjang *fault* 300 km dan lebar *fault* 150 km.

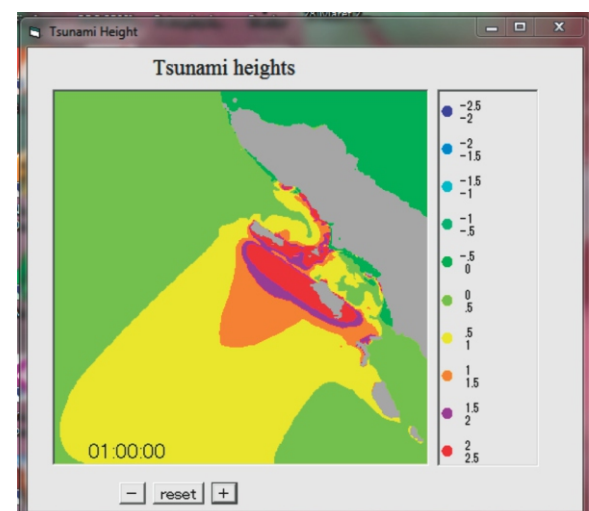


Gambar 6b) *Vertical displacement* berdasarkan data GFZ dengan nilai panjang *fault* 300 km dan lebar *fault* 150 km.

Berdasarkan hasil simulasi untuk nilai ketinggian maksimal tsunami (*maximum tsunami height*) dari hasil perhitungan panjang dan lebar *fault* adalah USGS sebesar 5,89m, IRIS sebesar 5,01m, GCMT sebesar 6,12m, dan GFZ sebesar 5,75. Sedangkan untuk nilai *maximum tsunami height* dengan panjang dan lebar *fault* 300km x 100km adalah USGS sebesar 6,45m, IRIS sebesar 4,81m, GCMT sebesar 6,66m, dan GFZ sebesar 6,24m. Dan untuk nilai *maximum tsunami height* dengan panjang dan lebar *fault* 300km x 150km adalah USGS sebesar 8,42m, IRIS sebesar 5,63m, GCMT sebesar 4,28m, dan GFZ sebesar 8,03m. Untuk nilai ketinggian tsunami (*tsunami height*) dari hasil perhitungan panjang dan lebar *fault* adalah USGS dan GCMT minimum -5m dan maximum 5m. Sedangkan untuk data IRIS dan GFZ yaitu minimum -2,5m dan maximum 2,5m. Nilai *tsunami height* dengan panjang dan lebar *fault* 300km x 100km dan 300km x 150km yaitu minimum -5m dan maximum 5m untuk semua data, baik USGS, IRIS, GCMT, maupun GFZ (gambar 6 dan gambar 7).



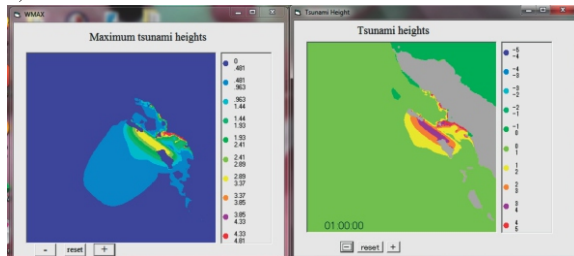
Gambar 7a) *Tsunami heights* berdasarkan data USGS dengan nilai panjang dan lebar *fault* hasil perhitungan.



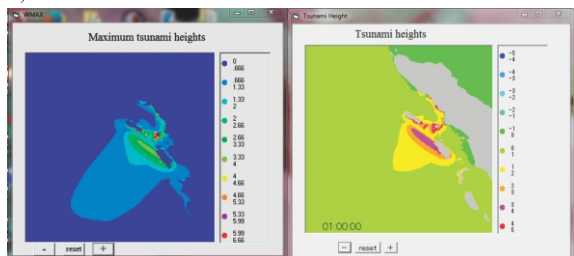
Gambar 7b) *Tsunami heights* berdasarkan data GFZ dengan nilai panjang dan lebar *fault* hasil perhitungan.

Nilai *maximum tsunami height* hanya bernilai positif saja. Sedangkan *tsunami height* bernilai negatif dan positif. Hal ini menunjukkan amplitudo gelombang tsunami, dimana untuk *maximum tsunami height* hanya menunjukkan amplitudo maksimum gelombang tsunami saja dan untuk *tsunami height* menunjukkan amplitudo maksimum maupun minimum gelombang tsunami terhadap titik nol muka laut (*mean sea level*), yang membesar pada saat tsunami menjalar dari pusat tsunami ke garis pantai (gambar 8)

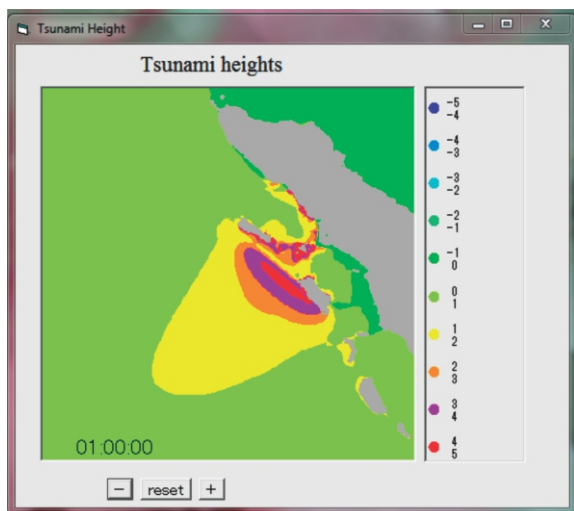
a)



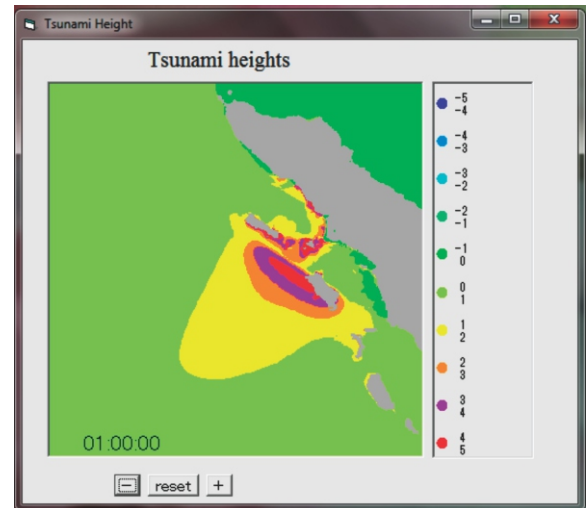
b)



Gambar 8. a) *Maximum tsunami heights* dan *tsunami heights* berdasarkan data IRIS dengan nilai panjang *fault* 300 km dan lebar *fault* 100 km, b) *Maximum tsunami heights* dan *tsunami heights* berdasarkan data GCMT dengan nilai panjang *fault* 300 km dan lebar *fault* 100 km.



Gambar 9a) *Maximum tsunami heights* dan *tsunami heights* berdasarkan data USGS dengan nilai panjang *fault* 300 km dan lebar *fault* 150 km.



Gambar 9b) *Maximum tsunami heights* dan *tsunami heights* berdasarkan data GFZ dengan nilai panjang *fault* 300 km dan lebar *fault* 150 km.

Berdasarkan dari persamaan empiris serta referensi maka terdapat selisih perbedaan antara nilai *maximum tsunami height* baik dari data USGS, IRIS, GCMT, maupun GFZ. Perbedaan ini disebabkan karena perbedaan besar kedalaman dan *strike* pada daerah gempa. Data dari GCMT memiliki nilai *maximum tsunami height* yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan data dari USGS maupun IRIS. Hal ini dikarenakan input kedalaman yang digunakan pada pemodelan tsunami untuk data GCMT lebih dangkal yaitu 25,8m. Sedangkan input kedalaman untuk data USGS, IRIS, dan GFZ yaitu sebesar 30m. Berdasarkan hal ini maka dapat diketahui bahwa kedalaman gempa berpengaruh pada ketinggian tsunami. Gelombang tsunami akan semakin besar ketika berada pada dasar laut yang dangkal begitujuga sebaliknya. Untuk nilai *strike* pada data IRIS dan GCMT memiliki nilai yang sama yaitu 125, sedangkan data USGS memiliki nilai *strike* yang lebih besar yaitu 130. Besar kecilnya nilai *strike* ini memiliki hubungan dengan arah *fault*. Ketika *strike* ini mengarah pada daerah yang morfologinya lebih dangkal maka nilai gelombang tsunami semakin tinggi, sedangkan apabila arah *strike* ini mengarah pada daerah yang morfologinya dasar lautnya dalam maka tinggi gelombang tsunaminya kecil gambar 9).

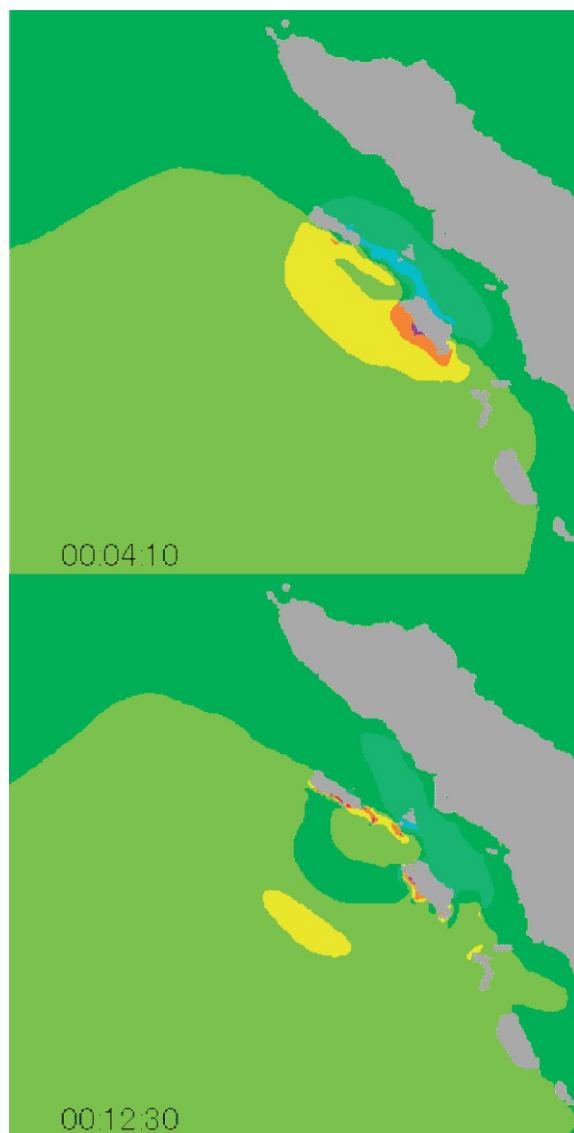
3.2 Ocean Modeling

Hasil dari *ocean modeling* memperlihatkan penjalaran gelombang tsunami dari sumber ke segala arah. Berdasarkan gambar 13, menunjukkan bahwa penjalaran gelombang tsunami memasuki daerah Lagundri yang berada di arah Barat Daya dari pulau Nias terjadi pada menit keempat lebih 10 detik sampai menit kedua belas lebih tiga puluh detik. Sedangkan di daerah Singkil terkena gelombang tsunami pada menit kelima puluh delapan lebih dua puluh detik. Perbedaan waktu penjalaran gelombang ini dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain kondisi batimetri

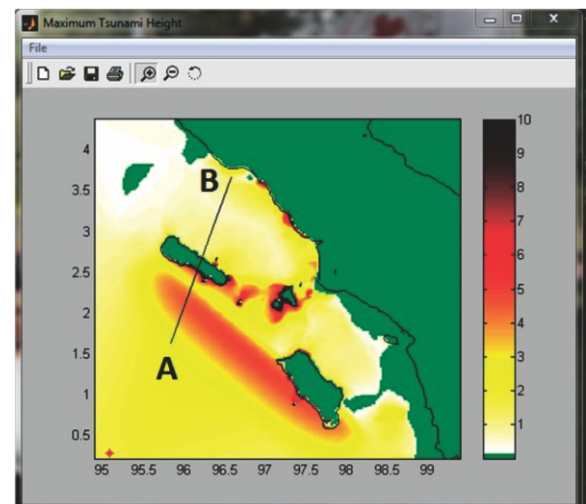
bawah permukaan laut tiap daerah yang berbeda-beda dan tingkat kelandaian pantai (gambar 10).

3.3. Run up Modeling

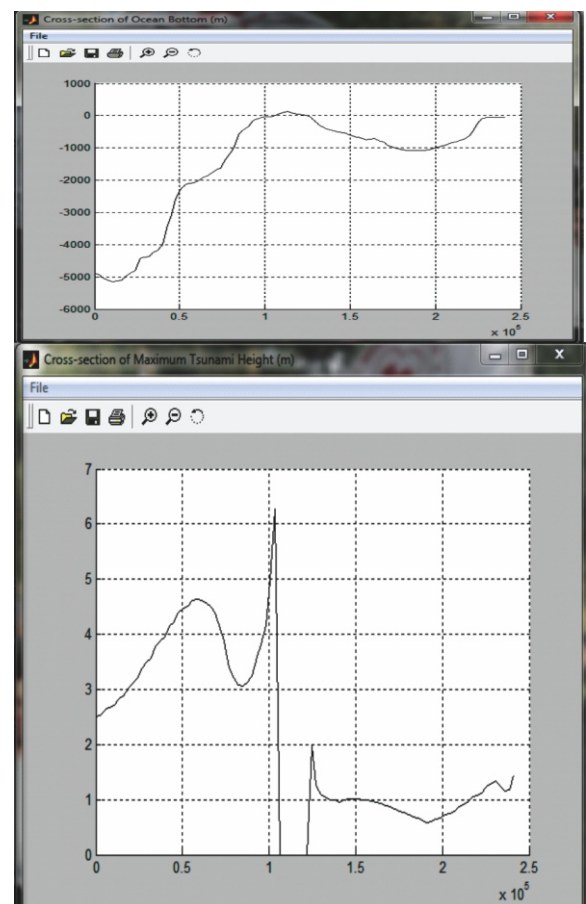
Run Up Tsunami adalah jarak vertikal antara jarak tsunami di pantai dengan titik nol muka laut atau *mean sea level*. Lokasi yang di ambil untuk melihat pengaruh kedalaman dasar laut terhadap tinggi *run up* tsunami ada tiga yaitu sekitar pusat gempa (A) yang ditarik garis lurus terhadap Pulau Simeulue (B) yang dapat dilihat pada **Gambar 14**, sekitar pusat gempa (C) yang ditarik garis lurus terhadap Pulau Banyak (D) yang dapat dilihat pada **Gambar 15**, dan pusat gempa (E) yang ditarik garis lurus terhadap Pulau Nias (F) yang dapat dilihat pada Gambar 11, sehingga bentuk dan kedalaman dasar laut, jarak dari lokasi pusat gempa sampai ke pesisir Pulau Simeulue, P. Banyak, dan Nias serta tinggi gelombang tsunami.



Gambar 10. Waktu Penjalaran Simulasi Gelombang Tsunami.



Gambar 11a) Plot *cross-section* A-B (Pulau Simeulue) (jarak A ke B adalah 241.3195 km).



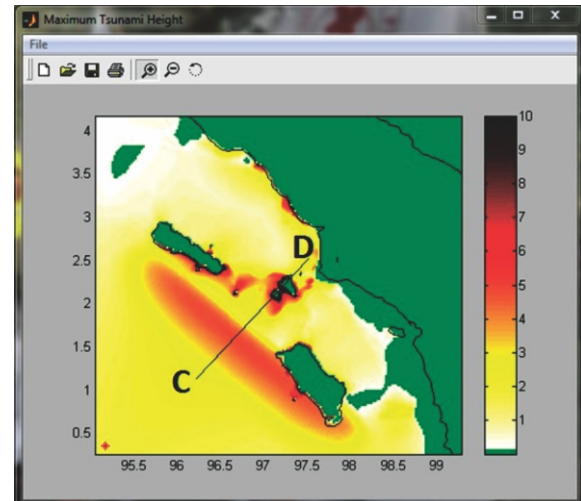
Gambar 11b) Plot *cross-section* A-B (Pulau Simeulue) (jarak A ke B adalah 241.3195 km).

Tabel 1. Data perbandingan antara *run up* perhitungan dan *run up* referensi yang mendekati nilai *run up* hasil survey [4][6][7].

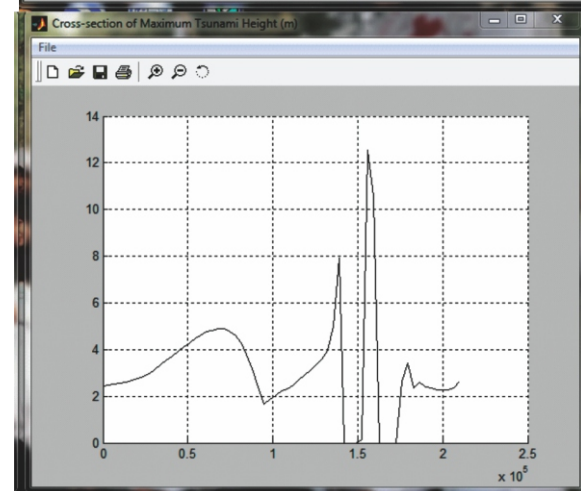
DAERAH PENELITIAN	GFZ	GCMT 300X100	USGS 300X150	Survey
	Run-up (meter)	Run-up (meter)	Run-up (meter)	(Meter)
Salaut Island	0.6922	0.69332	0.96187	2
NW Simeuleu	2.75708	1.55679	2.19112	3.2
SW Simeulue	4.77368	4.49444	5.9055	4.2
Babi Island	1.7872	2.08922	2.3939	2
Bangkuru Island	2.56807	2.74062	3.93737	2
Tuangku Island	3.45047	3.34781	4.32695	3
Singkil	1.44657	1.70483	2.4499	1.5
Sarangbaung	1.19754	2.33613	1.00551	1
Asu Island Central Western Nias	2.32915	2.50533	3.69469	2
Lagundri SW Nias	2.15186	2.12585	3.14728	4
Northwest Batu Island	0.60789	0.62313	1.12015	0.6

Dari ketiga gambar plot *cross-section ocean modeling* dapat diketahui Pulau Nias untuk kedalaman dari 0-6000 km dibawah permukaan laut terlihat lebih curam dibandingkan Pulau Simeulue dan Pulau Banyak. Hal ini menunjukkan bahwa kompresi dari proses subduksi lebih dominan di Pulau Nias.

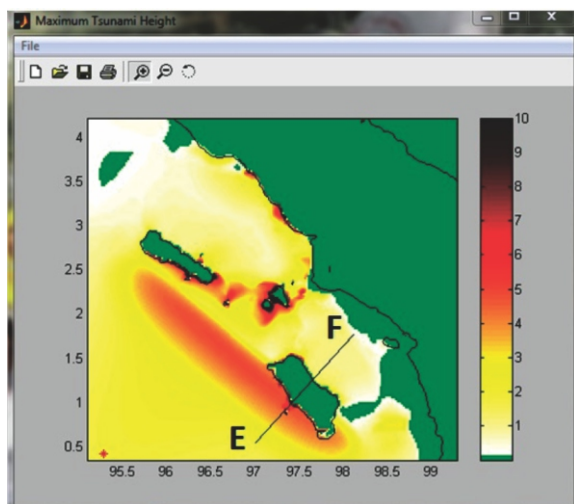
Untuk mengetahui validitas dari model maka perlu dilakukan validasi antara data hasil survey (pengukuran di Lapangan) dengan data observasi. Selain itu juga perlu dilakukan regresi untuk mengetahui keakuratan dari data mekanisme sumber gempabumi. Data survey yang digunakan pada pengukuran ini adalah hasil pengukuran lapangan yang telah dilakukan oleh team survey USGS Scientists (tabel 1, gambar 11, gambar 12 dan gambar 13).



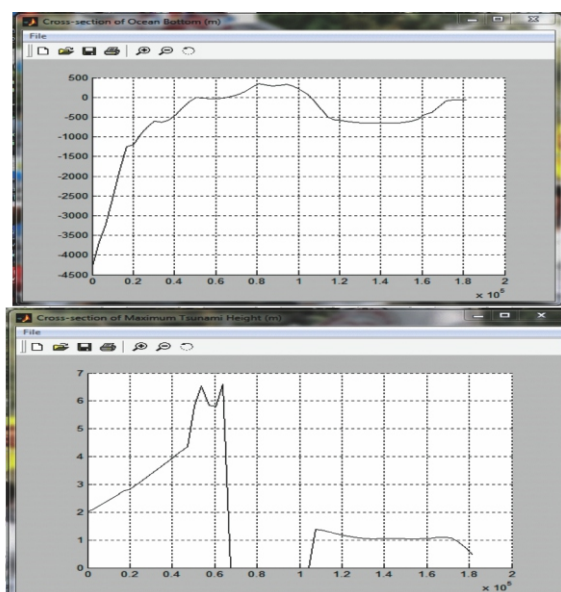
Gambar 13a) Plot *cross-section* C-D (Pulau Banyak) (jarak C ke D adalah 209.9859 km).



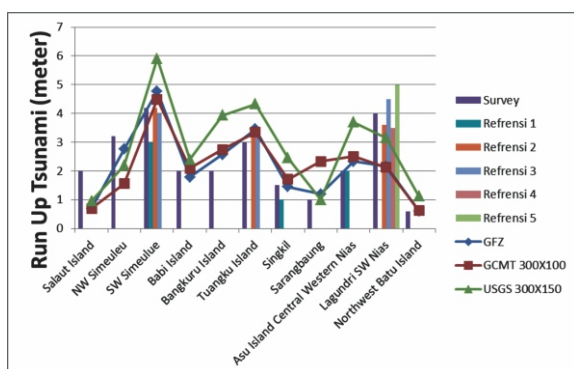
Gambar 13b) Plot *Cross-Section Ocean Bottom* dari C ke D.



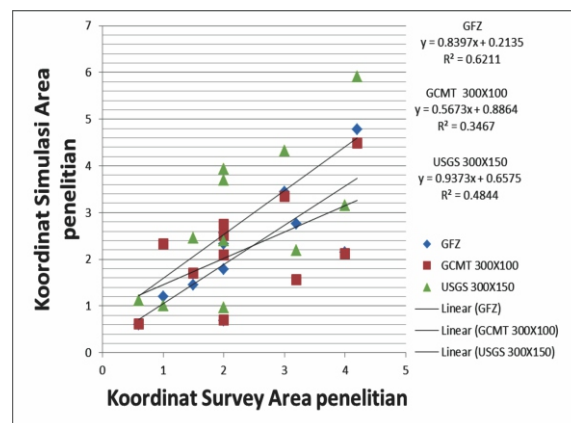
Gambar 14a) Plot *cross-section* C-D (Pulau Banyak) (jarak C ke D adalah 209.9859 km).



Gambar 14b) Plot *cross-section* E-F (Pulau Nias) (jarak E ke F adalah 181.8049 km) b) Plot *Cross-Section Ocean Bottom* dari E ke F.



Gambar 15. Validasi tinggi *run up* maksimum antara *run up* perhitungan dan *run-up* referensi yang mendekati nilai *run up* hasil survey.



Gambar 16. Regresi tinggi *run up* maksimum antara koordinat survey area penelitian dengan koordinat simulasi area penelitian untuk data GFZ dengan panjang dan lebar fault perhitungan, GCMT dengan panjang dan lebar fault 300x100 dan USGS dengan panjang dan lebar fault 300x150.

Pada ketiga grafik validasi tersebut nilai tinggi *run up* yang mendekati hasil survey adalah data dari GFZ dengan menggunakan panjang dan lebar *fault* hasil perhitungan dengan 5 area penelitian yang nilai *run-up*nya mendekati hasil survey. Untuk mengetahui keakuratan data yang digunakan dalam aplikasi pemodelan tsunami dengan menggunakan mekanisme sumber gempa bumi, maka dilakukan regresi antara koordinat survey area penelitian dengan koordinat simulasi area penelitian (gambar 16).

Dari beberapa grafik regresi kita dapat mengetahui bahwa data yang lebih mendekati hasil survey adalah data dari USGS dengan menggunakan perhitungan empiris dengan kedekatan titik-titik terhadap linearitas yang memiliki nilai 0.6588 dengan nilai regresinya yaitu $y = 0,8223x + 0,2966$, selanjutnya menggunakan uji korelasi data simulasi dengan survey dan melihat nilai keseksamaan data simulasi dengan survey (gambar 17).

Tabel 2. Nilai rata-rata keseksamaan data simulasi dengan survey.

Instansi	Fault		
	Perhitungan	Panjang Lebar 300x100	Panjang Lebar 300x150
USGS	87.27%	78.77%	79.40%
IRIS	69.42%	65.54%	70.42%
GCMT	83.50%	81.82%	79.72%
GFZ	87.58%	71.86%	81.97%

Tabel 3. Nilai uji korelasi data simulasi dengan survey.

Instansi	Fault		
	Perhitungan	Panjang Lebar 300x100	Panjang Lebar 300x150
USGS	0.81	0.63	0.69
IRIS	0.12	-0.05	-0.02
GCMT	0.69	0.58	0.59
GFZ	0.78	0.68	0.69

Berdasarkan hasil keseksamaan yang mendekati survey adalah data dari instansi GFZ berdasarkan hasil perhitungan panjang dan lebar *fault* yaitu dengan nilai keseksamaan sebesar 87.58% dan berdasarkan hasil uji korelasi nilai yang mendekati survey adalah data dari instansi USGS berdasarkan hasil perhitungan panjang dan lebar *fault* dengan nilai korelasi 0,81 (table 2 dan table 3).

4. Kesimpulan

Dari penelitian pemodelan tsunami Nias 28 Maret 2005 tersebut di dapatkan kesimpulan bawasanya. Berdasarkan hubungan persamaan empiris antara Papazachos (2004), Wells and Coppersmits (1994), dan Hanks and Kanamori (1979) didapatkan nilai mekanisme sumber gempa Panjang *fault* 369.83 km, Lebar *fault* 82.41 km, Luas *fault* 30477.69 km² Slip 11.063 m. Hasil dari pemodelan tsunami di Pulau Nias, Output *source modeling* berupa *vertical displacement* untuk data GFZ dengan panjang dan lebar *fault* hasil perhitungan matematis yaitu nilai maximumnya sebesar 3,17 m dan nilai minimumnya -3,17m. Sedangkan untuk data USGS yaitu maximumnya sebesar -3,11m dan nilai minimumnya yaitu -3,11m. *Ocean Modeling* memperlihatkan penjalaran gelombang tsunami memasuki daerah Lagundri yang berada di arah Barat Daya dari pulau Nias terjadi pada menit keempat lebih sepuluh detik sampai menit kedua belas lebih tiga puluh detik. Sedangkan di daerah Sigkil terkena gelombang tsunami pada menit kelima puluh delapan lebih dua puluh detik. *cross-section ocean modeling* dapat diketahui bahwa Pulau Nias untuk kedalaman dari 0-6000 km dibawah permukaan laut terlihat lebih curam dibandingkan Pulau Simeulue dan Pulau Banyak.

Hasil *run up* ketinggian Tsunami dari data GFZ hasil perhitungan panjang dan lebar *fault* berdasarkan hubungan persamaan empiris antara Papazachos (2004), Wells and Coppersmits (1994), dan Hanks and Kanamori (1979) adalah Salut Island 0.6m, NW Simeulue 2.7m, SW Simeulue 4.7m, Babi Island 1.7m, Bangkuru Island 2.5m, Tuanku Island 3.4m, Singkil 1.4m, Sarangbaung 1.1m, Asu Island central western Nias 2.3m, Lagundri SW Nias 2.1m, Nortwest Batu Island 0.6m. Hasil *run up* gempa Nias 28 Maret 2005 dari data USGS hasil perhitungan panjang dan lebar *fault* berdasarkan hubungan persamaan empiris antara

Papazachos (2004), Wells and Coppersmits (1994), dan Hanks and Kanamori (1979) adalah Salut Island 0.8m, NW Simeulue 2.1m, SW Simeulue 4.4m, Babi Island 1.7m, Bangkuru Island 2.3m, Tuanku Island 3.6m, Singkil 1.5m, Sarangbaung 1m, Asu Island central western Nias 2.7m, Lagundri SW Nias 2.7m, Nortwest Batu Island 0.7m.

Hasil validasi tinggi run-up yang dilakukan dengan membandingkan antara run-up hasil simulasi dengan run-up hasil survey yaitu berdasarkan hasil regresi linier nilai yang mendekati survey adalah data dari instansi USGS berdasarkan hasil perhitungan panjang dan lebar *fault* dengan kedekatan titik-titik terhadap linearitas yang memiliki nilai 0.6588 dengan nilai regresinya yaitu $y=0,8223x+0,2966$. Sedangkan berdasarkan hasil keseksamaan yang mendekati survey adalah data dari instansi GFZ berdasarkan hasil perhitungan panjang dan lebar *fault* yaitu dengan nilai keseksamaan sebesar 87.58% dan berdasarkan hasil uji korelasi nilai yang mendekati survey adalah data dari instansi USGS berdasarkan hasil perhitungan panjang dan lebar *fault* dengan nilai korelasi 0,81.

Ucapan Terimakasih

Saya mengucapkan Puji Syukur kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan banyak rahmat dan hidayah-Nya hingga terwujudnya karya ilmiah ini. Saya mengucapkan terimakasih yang sedalamnya pada teman-teman di ITS yang telah bekerjasama dalam ilmu, software dan pengolahan data sehingga penulis dapat menjadikannya sebagai karya ilmiah. Semoga karya ilmiah ini dapat bermanfaat dilingkungan di BMKG, kampus ITS serta Instansi lainnya untuk dimanfaatkan dalam penelitian lebih lanjut.

Daftar Pustaka

- [1] Natawidjaja, Danny Hilman. (2007). Gempabumi dan Tsunami di Sumatra dan Upaya Untuk Mengembangkan Lingkungan Hidup yang Aman Dari Bencana Alam, Vol. 136.
- [2] Kertapati, E. K. (1995). Pemahaman Gempa Bumi dalam Upaya Menurunkan Resiko Bahaya Gempa Bumi, Seminar Teknologi Pengurangan Dampak Gempa Bumi dan Tsunami. Bandung: ITB.
- [3] Sapiie, B., Natawidjaja, D. H., and Cloos, M., (1999). Strike-Slip Tectonics Of New Guinea: Transform Motion Between The Caroline And Australian Plates: In: Busono, I. and Alam, H. (Eds), Developments in Indonesian Tectonics and Structural Geology; Proceedings of Indonesian Association of Geologist, 28th Annual Convention, Jakarta, I, p. 1-5.
- [4] Rusli, Irjan, Ariska Rudyanto. (2010). *Pemodelan Tsunami Sebagai Bahan Mitigasi Bencana Studi Kasus Sumenep dan Kepulauannya*.

- Jurnal Neutrino Vol. 2, No.2.
- [5] Nakamura, M. (2006). *Source fault model of the 1771 Yaeyama Tsunami- Southern Ryukyu island Japan Inferred from Numerical Simulation*, Pure Appl. Geophys., 163, 41-54.
- [6] UNESCO-IOC. (2006). Tsunami Glossary: IOC Information document No. 1221.Paris. www.shoa.cl diunduh pada 13 September 2012.
- [7] Diposaptono, S dan Budiman. (2006). *Tsunami. Buku Ilmiah Populer*. Bogor:ITB.
- [8] Papazachos, B.C., Scordilis, E.M., Panagiotopoulos, D.G., Papazachos, C.B., and Karakaisis, G.F., 2004. *Global Relations between Seismic Fault Parameters and Moment Magnitude of Earthquakes*. Bull. Geol. Soc. Greece, Vol. XXXVI. Proceedings of the 10 International Congress, Thessaloniki, April 2004th.
- [9] Madrinovella, Iktri., Sri Widiyantoro, dan Irwan Meilano. (2011). *Relokasi Hiposenter Gempa Padang 30 September 2009 Menggunakan Metode Double Difference*. JTM Vol. XVII No. 1/2011.
- [10] Hanks, Thomas C. dan Hiroo Kanamori. (1979). *Moment magnitude scale*. Journal of Geophysical Research 84 (B5): 2348–2350. Retrieved 2007-10-06.
- [11] 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.
- [12] Miller, Russel and The Editors of Time – Life Books. (1990). *Planets Earth – Continents in Collision*. Amsterdam : Time–Life Books.
- [13] Wells, D.L., dan Coppersmith, K.J., (1994), *New empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture width, and surface displacements*: Bulletin of the Seismological Society of America, v. 84, p. 974–1002.