

ESTIMASI WAKTU DAN TINGGI GELOMBANG TSUNAMI DI LHOK KRUEK KABUPATEN ACEH JAYA

Muhammad Nasir¹, Muhammad Ikhsan², dan Astiah Amir²

¹Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Universitas Teuku Umar, Meulaboh

²Dosen Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Universitas Teuku Umar, Meulaboh
Email: Nasirzulna49@yahoo.com

Abstrak

Gempa bumi samudra hindia 2004 adalah gempa bumi berskala tinggi di bawah laut dengan magnitude $M_w > 9$ di kedalaman 28,6 Km terjadi pada hari minggu 26 desember 2004, gempa ini menyebabkan tsunami di sepanjang pantai barat Aceh salah satunya di Lhok Kruet kabupaten Aceh Jaya. Bencana ini memakan korban jiwa sangat besar dan kerusakan bangunan, selain itu sifat fisis pantai juga berubah di antaranya mundurnya garis pantai, terjadi penurunan tanah, adanya genangan air di bibir pantai sehingga terbentuk laguna. Informasi yang berguna untuk menjaga masyarakat selalu waspada terjadi tsunami sangat penting, seperti dalam penelitian ini yang bertujuan mengetahui lama penjarangan gelombang tsunami dan tinggi maksimum gelombang tsunami di Lhok Kruet kabupaten Aceh Jaya sebagai bagian dari upaya untuk meningkatkan kesiapsiagaan masyarakat dan kapasitas pemerintah daerah terhadap bencana tsunami. Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data topografi, data batimetri, dan data gempa. Data tersebut akan di input dalam pemodelan numerik, pemodelan ini merupakan suatu model dengan menggunakan rumus-rumus matematika yang diselesaikan dengan mentransformasi objek fisik pantai ke dalam wilayah komputasi dan salah satu model numerik tersebut adalah program COMCOT (Cornell Multi-grid Coupled Tsunami). Hasil akhir penelitian ini berkenaan dengan pokok permasalahan dan tujuan dari penulisan ini yang merupakan penyajian dari hasil simulasi yang didasari oleh data sekunder sehingga didapatkan profil penjarangan gelombang tsunami yang mencakup ETA dan tinggi gelombang tsunami. Hasil yang di dapat pada penelitian ini dengan ETA 28,33 menit dan ketinggian gelombang tsunami maksimum 28,76 meter. Selain itu dengan penelitian ini masyarakat lokal dan pemerintah dapat dipergunakan untuk kesiapsiagaan tsunami dalam mendukung perencanaan evakuasi dan layanan peringatan dini.

Kata kunci : Tsunami, COMCOT, ETA, Evakuasi, Mitigasi bencana tsunami.

Abstract

Indian Ocean earthquake of 2004 was a high magnitude earthquake under the sea with a magnitude $M_w > 9$ at a depth of 28.6 km occurred on Sunday 26 December 2004, this earthquake caused a tsunami along the west coast of Aceh one in Lhok Kruet Aceh Jaya district. This disaster is huge casualties and property damage, but it also changes the physical properties of the coast of which the withdrawal of the coastline, a decline in soil, the puddles on the shoreline, forming a lagoon. Information that is useful to keep the public always wary of a tsunami is very important, as in this study that aims to determine the length of the propagation of tsunami waves and a maximum height of tsunami waves in Lhok Kruet Aceh Jaya district as part of efforts to improve community preparedness and capacity of local government to the tsunami, The data used in this study is the topographic data, bathymetric data and seismic data. Such data will be input into the numerical modeling, this model is

a model using mathematical formulas that are solved by transforming physical objects into the realm of computing coast and one of the numerical models are COMCOT program (Cornell Multi-grid Coupled Tsunami). The final results of this study relates to the subject matter and purpose of this paper is the presentation of simulation results based on secondary data thus obtained tsunami wave propagation profile that includes ETA and tsunami wave height. The results obtained in this study with EDTA 28.33 minutes and the maximum tsunami wave height of 28.76 meters. In addition to the study of local communities and government can be used for tsunami preparedness in support of the evacuation planning and early warning system.

Key Words : Tsunami, COMCOT, ETA, Evacuation, Tsunami Mitigation

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Wilayah Barat Pulau Sumatera merupakan salah satu kawasan yang terletak pada zona lempeng aktif (*active plate margin*) dunia yang memiliki frekuensi kejadian gempa bumi yang tinggi di wilayah ini. Sebaran gempa bumi di wilayah tersebut tidak hanya bersumber dari aktivitas zona subduksi, tetapi juga dari sistem sesar aktif di sepanjang pulau Sumatra. Indonesia merupakan daerah dengan potensi bencana tsunami yang tinggi. Tingginya kejadian tsunami di Indonesia itu berkaitan erat dengan tatanan tektonik (*tectonic setting*) kepulauan Indonesia (Tejakusuma, 2008). Pulau Sumatera dan sekitarnya memiliki pola tektonik yang unik, di sebelah barat Sumatera membentang daerah subduksi yang sejajar dengan garis pantai Sumatera. Di Darat membentang sesar Sumatera yang membelah pulau Sumatera menjadi dua, dari Teluk Andaman di ujung Utara sampai Teluk Sumangko diujung Selatan yang sejajar dengan kelurusan zona subduksi. Zona subduksi dan sesar merupakan pemicu gempa bumi yang sangat aktif seperti halnya dipulau Sumatera (Rifai dan Pudja, 2010).

Lhok Kruet merupakan salah satu wilayah dari kabupaten Aceh Jaya yang terkena gempa besar yang terjadi pada tanggal 24 Desember 2004 dengan magnitudo $M_w > 9$, gempa ini mengakibatkan tsunami dasyat di seluruh Samudera Hindia (Hirata et al, 2006). Bencana ini memakan korban jiwa sangat besar dan kerusakan bangunan, selain itu sifat fisis pantai juga berubah diantaranya mundurnya garis pantai, terjadi penurunan tanah, adanya genangan air di bibir pantai sehingga terbentuk laguna. Selain itu hampir dari seluruh warga Lhok Kruet kabupaten Aceh Jaya, tetap memilih untuk tinggal didaerah pesisir dimana tempat tersebut dasar dari tempat mereka tinggal sebelum bencana gempa dan tsunami, oleh sebab itu, maka akan dilakukan penelitian estimasi waktu penjalaran gelombang tsunami dari sumber gempa menuju pantai Lhok Kruet yang terjadi pada tahun 2004. Data estimasi waktu kedatangan tsunami ini dapat digunakan oleh pemerintah setempat sebagai acuan waktu yang dimiliki masyarakat di Lhok Kruet untuk melakukan evakuasi bila terjadi gempa di laut yang dapat menyebabkan tsunami (Syamsidik, 2012).

Beberapa model numerik telah dikembangkan untuk menjelaskan kondisi gelombang, arus dan juga berperan dalam menyelidiki estimasi waktu dan gelombang tsunami. Pemodelan numerik adalah suatu model dengan menggunakan rumus-rumus matematika yang diselesaikan dengan

mentransformasi objek fisik pantai ke dalam wilayah komputasi yang selanjutnya dipecahkan secara numerik yang kemudian dikalkulasi melalui bantuan komputer untuk mempercepat proses perhitungan yang panjang dan berulang. Salah satu model numerik tersebut adalah program COMCOT (*Cornell Multi-grid Coupled Tsunami*). COMCOT merupakan suatu program yang mampu membangkitkan gangguan awal pada dasar laut seperti sumber gangguan statik dari deformasi bawah laut akibat pergerakan patahan atau penurunan bawah laut (Mahinsa and Smylie, 1971; dan Okada, 1985). Juga longSORan bawah laut, profil perubahan muka air, dan pembangkit gelombang (*data time series*) (Wang, 2009).

Berdasarkan penjelasan di atas beberapa tahapan yang sudah dilakukan untuk menginvestigasi tujuan dari penelitian ini yang berarah pada hasil yang di inginkan terkait dengan judul penelitian. ETA dan ketinggian maksimum tsunami merupakan tujuan dari penelitian ini yang berlokasi di Lhok Kruet, dengan ETA 28,33 menit dan ketinggian gelombang maksimum 28,76 meter, hasil. Melalui penelitian ini dapat memberikan manfaat yaitu mengetahui solusi numerik dan profil dari penjalaran gelombang tsunami akan didapatkan informasi durasi waktu penjalaran gelombang tsunami juga hubungan antara waktu dan tinggi gelombang tsunami. Selain itu untuk kesiapsiagaan tsunami dalam mendukung perencanaan evakuasi dan layanan peringatan dini untuk masyarakat.

a. Gempa Bumi

Gempa bumi adalah berguncangnya bumi yang disebabkan oleh tumbukan antar lempeng bumi, patahan aktif aktivitas gunung api atau runtuhannya batuan. Kekuatan gempa bumi akibat aktivitas gunung api dan runtuhannya batuan relatif kecil bila dibandingkan dengan gempa bumi yang diakibatkan tumbukan antar lempeng bumi dan patahan aktif (Bakornas PB, 2007). Gempa bumi mempunyai efek yang sangat besar sebenarnya berasal dari kegiatan tektonik. Gempa bumi terjadi karena adanya gaya-gaya tektonik yang telah berlangsung dalam proses pembentukan gunung-gunung, terjadinya patahan-patahan dan tarikan atau tekanan dari pergerakan lempeng-lempeng penyusun kerak bumi atau yang lebih sering disebut dengan lempeng tektonik (Nandi, 2006).

b. Tsunami

Tsunami berasal dari bahasa Jepang yang berarti gelombang ombak lautan “*tsu*” berarti lautan, “*nami*” berarti gelombang ombak. Tsunami adalah serangkaian gelombang ombak laut raksasa yang timbul karena adanya pergeseran di dasar laut akibat gempa bumi (BNPB No.8 Tahun 2011). Menurut Bakornas PB (2007), tsunami dapat diartikan sebagai gelombang laut dengan periode panjang yang ditimbulkan oleh gangguan impulsif dari dasar laut. Gangguan impulsif tersebut bisa berupa gempabumi tektonik, erupsi vulkanik atau longSORan.

Kecepatan tsunami bergantung pada kedalaman perairan, akibatnya gelombang tersebut mengalami percepatan atau perlambatan sesuai dengan bertambah atau berkurangnya kedalaman perairan, dengan proses ini arah pergerakan arah gelombang juga berubah dan energi gelombang bias menjadi terfokus atau juga menyebar. Di perairan dalam tsunami mampu bergerak dengan kecepatan

500 sampai 1000 kilometer per jam sedangkan di perairan dangkal kecepatannya melambat hingga beberapa puluh kilometer per jam, demikian juga ketinggian tsunami juga bergantung pada kedalaman perairan. Amplitudo tsunami yang hanya memiliki ketinggian satu meter di perairan dalam bisa meninggi hingga puluhan meter di garis pantai (Puspito, 2010).

c. Pemodelan Tsunami

Berbagai model untuk mensimulasikan gelombang panjang seperti model simulasi tsunami telah banyak dikembangkan dengan tujuan terutama untuk pemetaan daerah rawan bencana berdasarkan perkiraan pembangkit tsunami (gempa bumi, longsor atau letusan gunung dibawah air), perkiraan waktu kedatangan tsunami di daratan, tinggi limpasan (*run-up*) dan jauhnya rendaman (*inundation*). Model-model numerik yang ada saat ini telah cukup mampu menggambarkan simulasi tsunami dari mulai pembangkitannya hingga penjalarnya di daratan dengan model-model berdasarkan persamaan Boussinesq dan *Shallow Water Equations* (SWE). Kedua tipe model tersebut merupakan model numerik berdasarkan rerata kedalaman (Dao dan Tklich, 2007).

d. Deskripsi Model COMCOT

COMCOT adalah paket pemodelan tsunami yang mampu mensimulasikan seluruh proses pergarakan tsunami, dari generasi, propagasi, dan luasan rendamannya di daerah pesisir. Gelombang tsunami dapat dibangkitkan berdasarkan input pembangkit gelombang, model deformasi dasar laut yang disebabkan oleh gempa bumi, dan longsor. COMCOT juga telah menggunakan sistem *multi grid* yang memungkinkan penggunaan banyak area simulasi untuk meningkatkan akurasi dan efisiensi pemodelan. Model ini telah digunakan untuk menyelidiki beberapa tsunami sejarah, seperti tsunami di Chili tahun 1960 dan baru-baru tsunami Samudra Hindia 2004 (Wang dan Liu, 2006).

e. Latar belakang teori

COMCOT dikembangkan berdasarkan Persamaan Air Dangkal (SWE) berdasarkan koordinat *spherical* dan koordinat *cartesian*. Dalam persamaan, ζ menunjukkan elevasi permukaan bebas; P dan Q adalah debit fluks x dan y arah ($P = hu$, $Q = hv$); ϕ dan ψ berdiri untuk bujur dan lintang, masing-masing.

Pilihan grid sisipan sangat diperlukan untuk mensimulasikan penjalaran tsunami pada saat informasi lebih rinci diperlukan terutama ketika tsunami menjalar pada perairan dangkal atau di daratan. Oleh karena itu, di dalam sistem grid yang ada diperlukan grid dengan ukuran yang lebih kecil dari pada grid induknya. Sehingga, di dalam grid yang lebih rinci ini (grid anakan), informasi lebih rinci dapat di peroleh. Pada COMCOT, pilihan grid sisipan ini dapat diterapkan baik itu untuk model linear maupun nonlinear dan berlaku juga ke dua sistem koordinat, *cartesian* dan *spherical*. Jumlah grid yang dapat disisipkan di dalam sistem COMCOT haruslah integer dan dapat dimasukkan sebagai grid anakan (*sub level grid*) pada daerah yang diinginkan (*flexible*). COMCOT dapat menggunakan hingga 12 grid anakan (*sub level grid*) pada satu area simulasi.

METODOLOGI

Lokasi Penelitian

Tsunami yang terjadi pada tanggal 26 desember 2004 menyebabkan banyak korban dan menghancurkan infrastruktur sepanjang daerah. Calang dan Meulaboh daerah yang terburuk dengan dampak tsunami di pantai Barat Daya, yang telah ditunjukkan oleh jumlah korban dan bangunan-bangunan yang hancur. Penelitian ini dilakukan di pantai Lhok Kruet kabupaten Aceh Jaya.

a. Pengumpulan data

Data-data yang diperlukan untuk simulasi berupa data:

1. Data Topografi
2. Data Batimetri
3. Data Parameter Gempa

b. Input data COMCOT

Lama penjaralan tsunami dan tinggi maksimum tsunami sebagai hasil akhir yang didapat dalam penelitian ini, semua data diatas di input kedalam program COMCOT dan kemudian di simulasikan. Data yang di input adalah data Topografi, data Batimetri dan data Parameter Gempa, didalam data Parameter Gempa meliputi data *stike*, *dip*, *slip*, *magnitude* dan pusat gempa yang juga disimulasikan menjadi satu paket pada data Parameter Gempa.

c. Analisis hasil simulasi

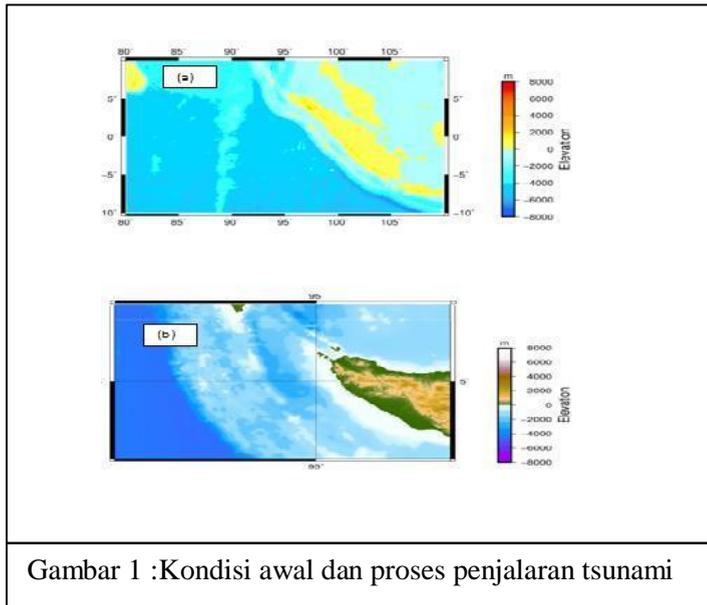
Hasil yang diperoleh dari simulasi, kemudian dianalisis berbagai hal diantaranya:

1. Profil penjaralan gelombang tsunami secara umum
2. Hubungan antara tinggi gelombang tsunami dan waktu (z = meter dan t = detik)
3. Lamanya penjaralan gelombang tsunami ($t= s$)
4. Ketinggian maksimum gelombang tsunami ($z= m$)

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Menentukan Layer

Layer adalah untuk melihat daerah simulasi tsunami dalam bentuk peta, layer terbagi dua yaitu layer01 untuk melihat wilayah secara umum sedangkan layer02 untuk melihat wilayah lebih detail. Layer sangat mempengaruhi pada saat simulasi kedalaman tsunami pada laut dalam, yang terdapat dalam file *ts.record.dat*, jika ukuran layer terlalu kecil maka hasil yang didapat pada file *ts.record.dat* adalah nol. Menentukan grid pada layer simulasi menggunakan **grd* dan **nc* yang diperoleh dari GEBCO dan SRTM30 yang kemudian hasilnya aplikasikan dalam bentuk software GMT. Software GMT berfungsi untuk menampilkan gambar seperti layer, kondisi awal dan proses penjaralan tsunami. Seperti pada Gambar 1.



2. Proses Simulasi Gelombang Tsunami

Penelitian simulasi gelombang tsunami dengan menggunakan model COMCOT 1.7 ini mengambil titik lokasi di perairan barat Sumatera tepatnya di Lhok Kruet, kabupaten Aceh Jaya. Simulasi ini dijalankan dengan skenario gempa yang memiliki kekuatan gempa M_w 9,1 (tinggi), kedalaman 28,6 Km dengan waktu simulasi 3 jam untuk setiap 1 menit visualisasi hasil. Pengambilan data parameter gempa didasari oleh kejadian gempa sekitar 100 km sebelah barat pantai Sumatra tepatnya di Aceh, yaitu gempa yang pernah terjadi pada tahun 2004. Hasil analisa data mengemukakan bahwa skenario gempa yang disimulasi di lokasi penelitian berpotensi tsunami.

Proses simulasi dapat dilakukan dengan membuat beberapa tahapan dalam bentuk pemograman yang terdapat pada file comcot.ctl, dimana dalam file tersebut terdapat beberapa parameter yang mesti di substitusikan seperti total run time atau durasi simulasi yang direncanakan sekitar 18000 detik, juga nilai length of source area, width of source area, dislocation of fault plate, titik koordinat Lhok Kruet dan lain-lain. Hasil simulasi ini berkesinambungan sampai ke penjalaran tsunami karena disaat penjalaran tsunami ada file yang mesti di input dari hasil simulasi.

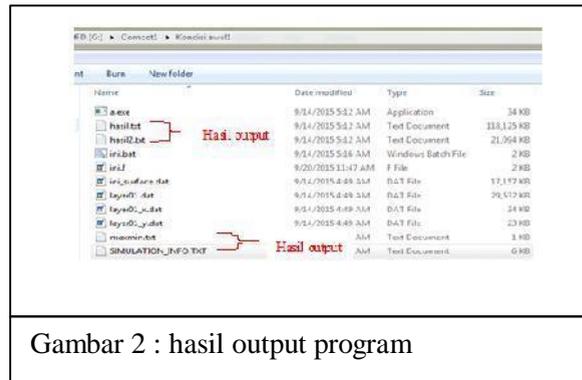
3. Kondisi Awal

Kondisi awal simulasi merupakan salah satu hasil simulasi yang dapat ditampilkan. Kondisi awal simulasi memberikan informasi ketinggian air dan posisi sumber luasan gempa pada awal simulasi setelah dibangkitkan oleh model fault pada skenario yang digunakan. Proses untuk mengetahui besar fault dihitung secara manual, nilai yang sudah dihitung disubstitusikan kedalam file comcot.ctl yang ada dalam folder simulasi. Sehingga hasil dari folder simulasi dipindahkan dalam folder Kondisi awal. Beberapa file baru akan keluar sebagai hasil output dari program ini.f seperti pada

gambar

2

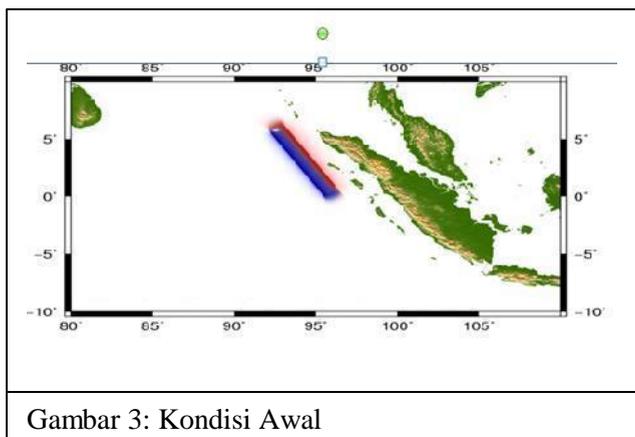
:



Gambar 2 : hasil output program

Sumber luasan gempa didasari oleh panjang patahan lempeng bumi yang mencapai 721,107 km, lebar patahan 117,490 km dan deformasi dasar laut yaitu 18,96 m. Proses deformasi yang terjadi sesaran naik (*thrust fault*) tipe ini sangat efektif memindahkan volume air yang berada diatas lempeng yang bergerak sebagai awal lahirnya tsunami.

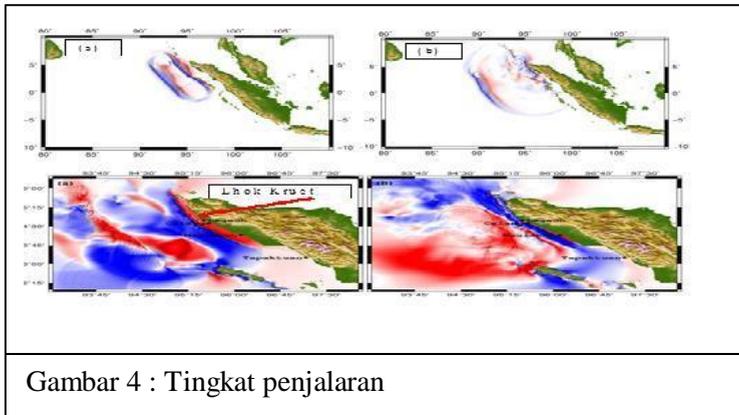
Apabila lempeng samudra bergerak naik, terjadi air pasang di wilayah pantai hingga wilayah tersebut akan mengalami banjir sebelum kemudian gelombang tsunami datang menerjang. Apabila lempeng samudra bergerak turun, kurang lebih pada separuh waktu sebelum gelombang tsunami sampai ke pantai, air laut di pantai tersebut surut. Gambar 3 kondisi awal:



Gambar 3: Kondisi Awal

4. Penjalaran Tsunami

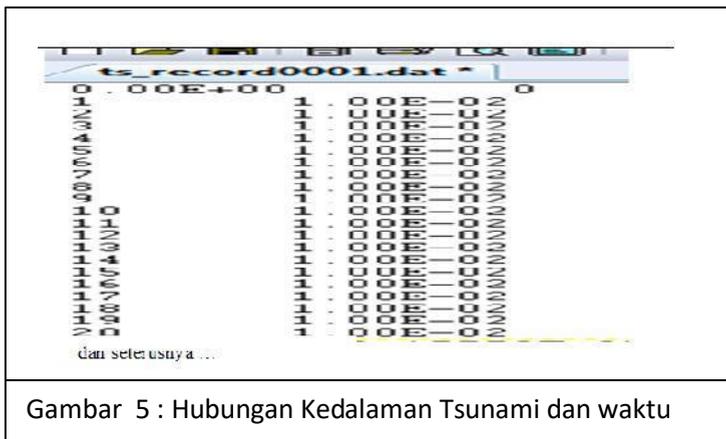
Mengetahi penjalaran gelombang tsunami berkaitan dengan file pengatur pada proses simulasi yang dijelaskan pada halaman sebelumnya. File yang di input dalam folder penjalaran seperti layer01.dat dan z_01_000000.dat sampai dengan z_01_...n.dat yang terdapat dari folder simulasi, nilai z_01_...n.dat dimana nilai n detik pada simulasi terakhir yaitu sampai 18000 detik karena simulasi dilakukan 3 jam. Adapun file perintah yaitu 11.f dan 22.f yang di ambil dari folder tsunami kedua file ini memiliki fungsi untuk mengolah data yang terinput didalamnya, ada beberapa data yang di input dalam file tersebut salah satunya adalah nilai nx, nilai ny, nilai t, dimana nilai nx, ny jumlah grid dan t adalah waktu yang direncanakan dalam menampilkan tingkat penjalaran dalam bentuk gambar. Seperti terlihat pada gambar 4:



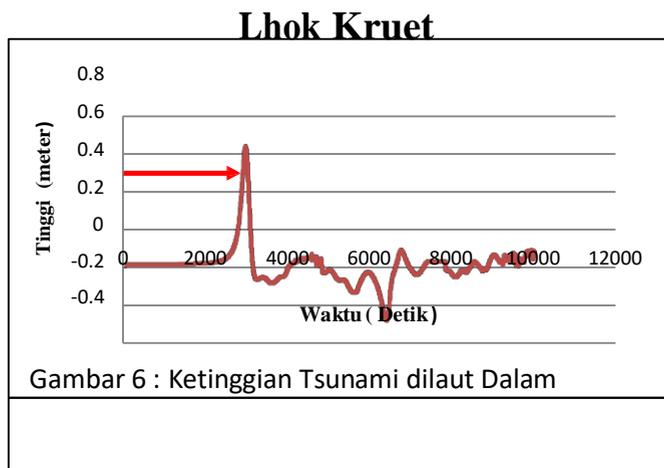
Pada menit ke 14 air laut mulai surut dengan gambar berwarna merah sedangkan pada menit ke 30 air tsunami sudah menghantam pesisir Aceh khususnya Lhok Kruet yang ditandai dengan gambar warna biru. Gambar di atas menunjukkan perbedaan kecepatan gelombang tsunami, saat pesisir kota meulaboh hampir kedatangan tsunami sedangkan Lhok Kruet sudah duluan terhantam tsunami. Hal ini diakibatkan Lhok Kruet salah satu daerah yang tergolong zona subduksi patahan lempeng bumi yang terjadi pada tahun 2004.

5. ETA di Lhok Kruet

Menentukan nilai ETA Lhok Kruet salah satu objek utama dalam penelitian ini karena nilai ini sangat penting untuk kesiap-siagaan dalam menghadapi tsunami. Nilai ETA didapat dari hasil tsunami laut dalam yang sudah di hitung dengan program COMCOT, terdapat pada folder simulasi dalam bentuk file ts_record.dat, didalam file ini terdapat hubungan kedalaman tsunami dan waktu. Seperti terlihat pada Gambar 5 dibawah ini:



Hasil yang ada dalam file ts_record.dat akan dipindahkan kedalam Microsoft excel untuk membuat grafik agar lebih mudah dalam melihat tingkat ketinggian tsunami dilaut dalam. Seperti terlihat pada Gambar 6 dibawah ini:



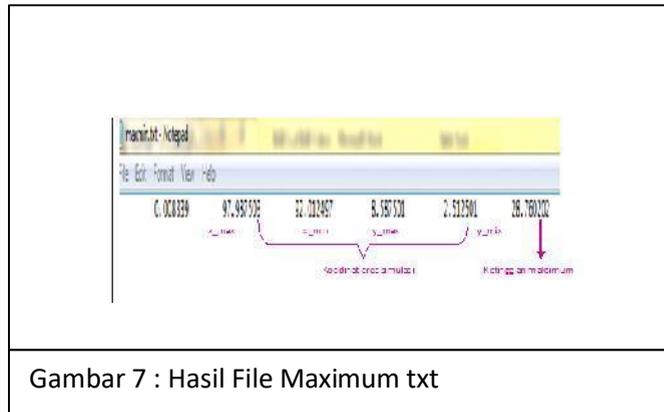
Selain melihat ketinggian tsunami laut dalam pada grafik di atas, juga dapat ditentukan nilai ETA dengan melihat awal bangkit tsunami pada menit tertentu sampai pada ketinggian 0,5 m yang di anggap tsunami sudah mencapai ke pesisir Lhok Kruet. Menentukan kebenaran awal bangkit tsunami jika ketinggian laut dalam naik tiga kali berturut-turut dengan ketinggian yang berbeda di anggap tsunami sudah mulai bangkit, seperti terlihat pada Lampiran B Halaman 47. Bangkitnya air tsunami tepat pada detik ke 1335 sampai mencapai ke pesisir Lhok Kruet pada detik ke 3035 terhitung awal gempa. Jadi nilai $3035-1335=1700$ detik atau 28,33 menit setelah gempa. Jadi ETA Lhok Kruet pada tahun 2004 yaitu 28,33 menit.

6. Tinggi Maksimum Gelombang Tsunami di Lhok Kruet

Ketinggian tsunami di lautan dalam hanya mencapai 0,3-0,4 m, dengan panjang gelombang mencapai ratusan kilometer, sehingga keberadaan tsunami dilaut dalam susah dibedakan dengan gelombang biasa, bahkan tidak dirasakan oleh kapal-kapal yang sedang berlabuh ditengah samudera. Berbeda dengan gelombang karena angin, dimana hanya bagian permukaan yang bergerak, gelombang tsunami mengalami pergerakan diseluruh bagian partikel air, mulai dari permukaan sampai bagian dalam samudra.

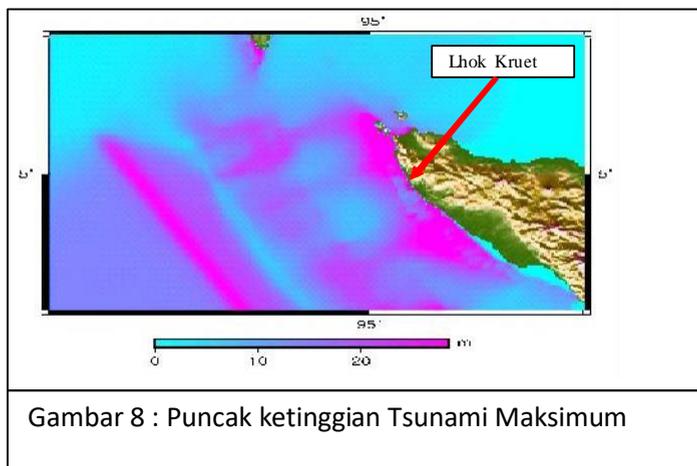
Berbeda dengan menghitung puncak gelombang tsunami terdapat folder khusus untuk menghitungnya yaitu folder "maksimum". File yang di input dalam folder ini seperti - zmax_layerxx_xxxxhrs.dat. File tersebut berisi matriks nilai maksimum tinggi tsunami dengan interval per jam. Bila simulasi dilakukan selama 3 jam maka akan terdapat 3 file ketinggian maksimum pada tiap layer. Selain itu file yang di input adalah Layer01.dat, Layer_x.dat, dan Layer_y.dat. Didalam folder tersebut juga ada file perintah yaitu max.f yang dijalankan dengan fortran, didalam max. f terdapat file ='zmax_layer02_0001hrs.dat', file='layer02_x.dat', file='layer02_y.dat' sebagai file dalam mewakili nilai titik koordinat yang di amati dan hasil gelombang maksimum tsunami. File maxmim.txt menghasilkan titik koordinat yang diteliti juga hasil gelombang maksimum. Juga ada file perintah max2.bat yang berfungsi untuk memplot gambar melalui GMT didalam file max2.bat, ada beberapa data yang di input salah satunya set region yaitu

untuk menginput titik koordinat yang diteliti di ambil dari file maxmin.txt. Seperti terlihat pada gambar 7 dibawah:



Gambar 7 : Hasil File Maximum txt

Setelah semua data sudah diinput, file max2 siap di runing dengan klik 2 kali. Hasil area simulasi dalam bentuk gambar yang menunjukkan ketinggian maksimum dengan puncak tertinggi yaitu 28,76 meter yang terjadi di Lhok Kruet tahun 2004. Seperti pada gambar 8 dibawah:



Gambar 8 : Puncak ketinggian Tsunami Maksimum

KESIMPULAN DAN SARAN

a. Kesimpulan

1. Gempa bumi 26 Desember 2004 dengan Mw 9,1 termasuk gempa berkarakteristik *Thrust Fault*, kemiringan sudut tegak antar lempeng yang bertemu, juga memiliki kedalaman pusat gempa yang dangkal yaitu $28,6 < 70$ Km sehingga ketiga faktor tersebut bisa menyebabkan tsunami. Tsunami di Lhok Kruet masuk dalam katagori berbahaya karena ketinggian tsunami di laut dalam $< 0,5$ meter, sehingga menghasilkan puncak gelombang tsunami maksimum di daerah pesisir 28,76 meter.
2. Kedatangan tsunami di Lhok Kruet lebih cepat di bandingkan Meulaboh, karena Lhok Kruet termasuk kawasan zona subduksi sehingga lebih dekat dengan pusat gempa. Waktu tiba minimum tsunami yang diakibatkan oleh gempa bumi kedalaman 28,6 Km dan Mw 9,1

terhadap pantai Lhok Kruet Kabupaten Aceh Jaya yaitu 28,33 menit sedangkan Meulaboh 38 menit.

b. Saran

Penelitian ini membutuhkan waktu yang panjang untuk menghitung ketibaan tsunami jika di khususkan untuk peringatan dini, karena banyak proses yang mesti dilakukan. Berbeda dengan alarm tsunami yang langsung terdeteksi jika tsunami mulai bangkit. Oleh karena itu pihak pemerintah wajib membuat sistem peringatan dini yang lebih cepat dalam mendeteksi tsunami pada daerah yang rawan terjadi kemungkinan tsunami. Walaupun mempunyai waktu yang lama dalam mengetahui ketibaan tsunami tetapi penelitian ini mampu mengetahui tingkat penjalaran tsunami dan ketinggian maksimum tsunami. Berbeda dengan alarm tsunami yang hanya saja mendeteksi awal bangkit tsunami. Nilai ETA dan ketinggian tsunami di Lhok Kruet dapat digunakan dalam perencanaan jalur evakuasi, mitigasi bencana, guna untuk meningkatkan tingkat keselamatan masyarakat yang ada disekitar pesisir.

DAFTAR KEPUSTAKAAN

1. Anonim, 2010, Bencana Tsunami, <http://www.piba.tdmrc.org>, diakses tanggal 13 Mei 2015.
2. Arizal, 2011, Pemodelan Numerik Perubahan Morfologi Dasar Pantai Singkil dengan Menggunakan Delft3D, TGA, Fakultas Teknik Universitas Syiah Kuala, Darussalam-Banda Aceh.
3. Adhitya B, 2009, *Muhammadiyah dan Kesiapsiagaan Bencana*, Penerbit MDMC Cetakan I- 2009 ISBN di dukung oleh AusAID.
4. BNPB. 2012. Data dan Informasi Bencana Indonesia. Diakses Tanggal 13 Mei 2015 <http://dobi.bnpp.go.id/DesInventar/dashboard.jsp?countrycode=id&continue=y&lang=ID>.
5. BAKORNAS PB, 2007, *Undang-Undang Republik Indonesia No.24 Tahun 2007 tentang Penanggulangan Bencana*, BAKORNAS PB.
6. DART, 2013. National Data Buoy Center. Available from: <http://www.ndbc.noaa.gov/dart/dart.shtml>. Diakses Tanggal 13 Juni 2015.
7. Doa M. H. and Tkalic P. (2007): 'Tsunami Propagation Modeling – A Sensitivity Study', *Natural Hazards and Earth System Sciences*, Vol. 7, pp. 741-754
8. GEBCO, 2012. General Bathymetric Chart of the Oceans. Available from: <http://www.gebco.net>. Diakses Tanggal 13 Mei 2015
9. Huda, R. N. 2013. *Perbandingan Penjalaran Gelombang Tsunami Akibat Gempa Bumi di Pesisir Barat Pulau Sumatra Menggunakan Model Tsunami Travel Time (TTT) Versi 1.2 dan Data Tide Gauge*. Skripsi Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga, Yogyakarta
10. Hidayat, R. 2006. *Persamaan Diferensial Parsial*. Jember: Jember University Press
11. Imamura, F., Yalciner, A. C. & Ozyurt, G. 2006. *Tsunami Modelling Manual (Tsunami Model)*. http://www.tsunami.civil.tohoku.ac.jp/hokusai3/E/projects/man_al-ver-3pdf_11 [1 Mei 2012]
12. Mansinha, L., & Smylie, D.E., (1971): *The displacement fields of inclined faults*. *Bull Seismol. Soc. Am.*, 61, 1433-1440
13. Nandi, 2006. *Vulkanisme*. Handouts Geologi Lingkungan. UPI.
14. Oktaviani, A. (Tanpa Tahun). *Tektonik Lempeng*. <http://elearning.pelatiha.osn.com/riddar/kebumian/tektoniklempeng.pdf> diakses tanggal 13 Mei 2015

15. Okada, Y., (1985): *Surface deformation due to shear and tensile faults in halfspace*, Bull. Seismol.Soc.Am., 75,1135-1154
16. Peraturan Kepala BNPB No. 8 Tahun 2011 tentang *Standarisasi Data Kebencanaan*
17. Prihandini, R. M. 2012. *Analisis Solusi Persamaan Korteweg-De Vries (KdV) Dengan Menggunakan Metode Prediktor-Korektor dan Runge-Kutta*. Tidak diterbitkan.Skripsi. Jember: Fakultas MIPA Universitas Jember.
18. Puspto, Nanang T, 2010. *Mengelola Resiko Bencana Di Daerah Maritim*, Jurusan Geofisika dan Meteorologi ITB, Bandung
19. Rasyif, T. M. 2014. *Data Base Development of Estimated Time of Arrival For Tsunami Disaster Mitigation At Southwestern Cities of Aceh, Indonesia*. Tesis: Universitas Syiah Kuala.
20. Rohman, F. 2013. *Penjalaran Gelombang Tsunami Dengan Variasi Materi Penyusun Dasar Laut Menggunakan Metode Runge Kutta*. Skripsi: Universitas Jember.
21. Rifai, D.L dan Pudja, P.I.2010. *Studi Awal Hubungan Gempa Laut dan Gempa Darat Sumatra dan sekitarnya*. *Jurnal Meteorologi dan Geofisika*, 11.2, 142-148
22. Syamsidik,.2012. *Kajian Kerentanan Zona Pantai Aceh Terhadap Tsunami*. *Prosiding Seminar Hasil Penelitian* di akses 15 oktober 2015.
23. Satake, K. 1995. *Linear and Nonlinear Computations of the 1992 Nicaragua*.
24. Weisstein, E.W. & Troot, M. 2005. *The Mathematics of Tsunamis* [Serial Online]. <http://mathworld.wolfram.com/news/2005-01-14/tsunamis>. Diakses Tanggal 20 Mei 2015
25. Wang, X. (2009):' User Manual for Comcot Version 1.7 (First Draft)',http://ceeserver.cee.cornell.edu/pll-group/comcot_down.htm diakses tanggal 13Mei 2015
26. Wang, X and P. L.-F. Liu. 2006. *Ananalysis of 2004 sumatra earthquake fault plan mechanisms and indian ocean tsunami*. *J. Hydraulic Res.*, 44(2):147–154.
27. Zamzami, A. 2006. *Simulasi Model Penjalaran Gelombang Tsunami dengan Variasi Syarat Awal dan Bentuk Batimetri Dasar Laut*. Tidak diterbitkan. Skripsi. Jember: Fakultas MIPA Universitas Jember.