ISSN 1979-4657

PENENTUAN TINGGI DAN WAKTU TEMPUH PENJALARAN GELOMBANG TSUNAMI MENGGUNAKAN MODEL NUMERIK LINIER TUNAMI N1 DI PANTAI KABUPATEN PADANG PARIAMAN DAN KOTA PARIAMAN SUMATERA BARAT

Meli Muchlian[1], Dwi Pujiastuti[1], Khusnul [2]
[1]Jurusan Fisika, FMIPA Universitas Andalas Padang,
[2]BPDP-BPPT Yogyakarta
e-mail: Dwi_Pujiastuti@yahoo.com

Abstrak

Penelitian ini difokuskan untuk menentukan tinggi dan waktu tempuh serta visualisasi penjalaran gelombang tsunami dari pusat pembangkitan sampai kawasan pantai menggunakan model numerik linier TUNAMI N1. Dalam penelitian ini digunakan tiga model skenario penjalaran gelombang tsunami yaitu untuk magnitudo (Mw) 7,5, 8,0 dan 8,5 dengan titik koordinat gempa 99,3 BT dan 3,3 LS. Hasil penelitian di Kabupaten Padang Pariaman dan Kota Pariaman menyatakan bahwa terjadi penurunan muka air laut setelah terjadinya gempa besar dan sebelum gelombang tsunami sampai di titik tinjauan. Tinggi gelombang tsunami paling besar dihasilkan pada skenario pemodelan Mw 8,5. Daerah yang mengalami tinggi gelombang paling besar adalah Ketaping (4,50 m), selanjutnya disusul oleh Pariaman Tengah (3,85 m) dan terakhir Sungai Limau (3,09 m). Waktu tempuh penjalaran gelombang tsunami dari pusat pembangkitan ke titik tinjau pasang surut paling cepat dihasilkan pada pemodelan skenario Mw 8,5. Daerah yang paling cepat dihantam gelombang tsunami setelah terjadinya gempa adalah Ketaping (2545 detik), selanjutnya disusul oleh Pariaman Tengah (2659 detik) dan terakhir di Sungai Limau (3057 detik).

Kata kunci: Tsunami, TUNAMI N1, waktu tempuh, magnitudo

Abstract

This research was focused to determine of height and travel time and also visualization ot tsunami propagation from the earthquake source to the coast region applying linear numerical model Tunami N1. This research used three scenario models of tsunami propagation Mw 7.5, 8.0 and 8.5 with source coordinate of the earthquake at 99 E 99,3 and S 3,3. Result of this research, Padang Pariaman regency and Pariaman city occurred reduction of tide after the earthquake and before arrival of the tsunami. The highest tsunami occurred at scenario model Mw 8,5. The place with highest tsunami are at Ketaping (4,5 m), the next at Pariaman Tengah (3.85 m) and the last at Sungai Limau (3.09 m). The fastest tsunami arrval time to the tide point occurred at scenario model Mw 8.5. The place with fastest tsunami arrival time after the earthquake are at Ketaping (2545 s), the next at Pariaman Tengah (2659 s) and the Last at Sungai Limau (3057 s)

Key words : Tsunami, TUNAMI N1, travel time, magnitude

1. Pendahuluan

Kabupaten Padang Pariaman dan Kota Pariaman adalah daerah yang terletak di pesisir pantai barat Sumatera Barat. Kedua daerah ini memiliki jumlah penduduk yang cukup padat dan sebagian besar tersebar di pesisir pantai. Daerah ini dahulunya juga mendapat dampak dari tsunami yang pernah menerjang pantai Sumatera Barat pada tahun 1797 dan 1833 (Danny Hilman, 2007). Untuk mengatasi masalah di atas, perlu dilakukan suatu persiapan untuk mitigasi bencana gempa dan tsunami dimasa datang untuk wilayah pesisir pantai Kabupaten Padang Pariaman dan Kota Pariaman. Berdasarkan hal tersebut penulis melakukan penelitian dengan judul " Penentuan Tinggi dan Waktu Tempuh Penjalaran Gelombang Tsunami Menggunakan Model Numerik Linier TUNAMI N1 di Pantai Kabupaten Padang Pariaman dan Kota Pariaman Sumatera Barat". Tinggi gelombang tsunami dianalisis dan digunakan untuk menentukan lokasi evakuasi penduduk di mana lokasi tersebut memiliki ketinggian yang melebihi tinggi maksimum gelombang tsunami. Waktu tempuh penjalaran gelombang tsunami dihitung dan digunakan untuk menentukan waktu evakuasi sebelum gelombang tsunami mencapai pantai

sehingga jumlah korban manusia dapat diminimalisir. Sehingga hasil penelitian ini dapat digunakan sebagai *Early Warning System* yang merupakan salah satu langkah mitigasi bencana tsunami.

TUNAMI N1 adalah suatu model simulasi munerik untuk menentukan tinggi dan waktu tempuh penjalaran gelombang tsunami. Model linier ini dikhususkan untuk tipe tsunami yang memiliki jarak antara sumber pembangkitan tsunami dengan pantai cukup dekat yaitu kurang dari 2.000 km. Perhitungan model numerik ini, mengabaikan pengaruh gesekan dasar laut. Selain itu, model numerik ini menggunakan nilai grid yang konstan untuk daerah kajiannya. TUNAMI N1 ini tidak bisa digunakan untuk menentukan tinggi limpasan gelombang tsunami sampai ke darat.

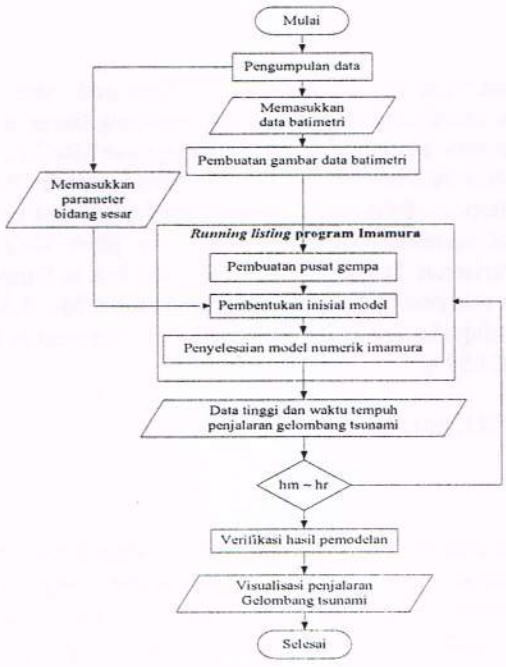
2. Metode

Peneliti yang dilakukan adalah menentukan tinggi dan waktu tempuh penjalaran gelombang tsunami dan membuat suatu pemodelan penjalaran gelombang tsunami dari pusat pembangkitan sampai kawasan pantai daerah kajian yaitu pantai Kabupaten Padang Pariaman dan Kota Pariaman. Langkah awal dalam pembuatan pemodelan ini adalah pengumpulan data sekunder berupa data gempa yang berpotensi tsunami, data batimetri dan topografi daerah kajian. Selanjutnya data masukan diolah menggunakan model numerik linier TUNAMI N1 (Gambar 1).

3. Hasil dan Dikusi

Hasil penelitian ini adalah data tinggi dan waktu tempuh serta visualisasi penjalaran gelombang tsunami dari pusat pembangkitan sampai ke tiga titik lokasi pengamatan yaitu: Sungai Limau, Pariaman Tengah, dan Ketaping. Data tinggi gelombang tsunami merupakan data ketinggian yang dihasilkan dari pemodelan dalam rentang waktu 10800 detik dan data waktu tempuh adalah rentang waktu penjalaran gelombang tsunami mencapai titik lokasi pengamatan tersebut.

Data hasil pemodelan tinggi maksimum dan waktu tempuh penjalaran gelombang tsunami terhadap titik lokasi pengamatan dapat dilihat pada Tabel 3. Berdasarkan data yang tercantum pada Tabel 1, dapat kita lihat bahwa semakin besar magnitudo gempa, maka tinggi gelombang tsunami yang ditimbulkan akan semakin besar dan waktu tempuh penjalaran tsunami dari pusat pembangkitan ke titik pengamatan juga semakin cepat. Pembahasan hasil pemodelan Imamura untuk masing-masing titik pengamatan akan dijabarkan pada sub bab berikutnya.



Gambar 1 Diagram Alir TUNAMI N1

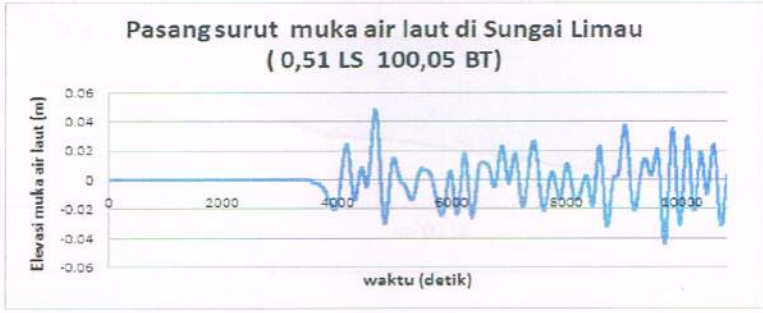
Tabel 1. Data skenario pemodelan tinggi dan waktu tempuh penjalaran gelombang tsunami

No.	Nama Lokasi	Koordinat Lokasi		Skenario (Mw)					
				7.5		8.0		8,5	
		Lintang (LS)	Bujur (BT)	Tinggi (m)	Waktu (detik)	Tinggi (m)	Waktu (detik)	Tinggi (m)	Waktu (detik)
1	Sungai Limau	0,51	100,05	0,08	4166	0,31	2234	3,09	3057
2	Pariaman Tengah	0,65	100,09	0,11	3766	0,23	1838	3,85	2659
3	Ketaping	0,80	100,27	0,05	3801	0,21	1841	4,50	2545

Sungai Limau

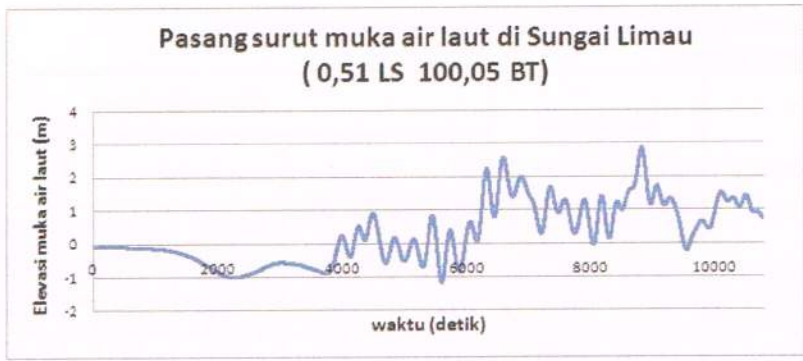
Sungai Limau terletak pada koordinat geografi 0,51° LS dan 100,05° BT atau x = 269 dan y = 579 pada koordinat grid. Grafik pasang surut skenario Mw 7,5 pada Gambar 2 menunjukkan waktu surut pertama air laut terjadi pada detik 3514 setelah terjadinya gempa. Kemudian terjadi kenaikan muka air laut pada detik 3973 dan gelombang tsunami tiba di Sungai Limau pada detik 4166. Sehingga waktu tempuh yang dibutuhkan gelombang tsunami mencapai pantai adalah 4166 detik. Sedangkan tinggi gelombang tsunami yang dihasilkan pada model tercatat pada angka 0,08 m. Berdasarkan nilai tinggi gelombang tersebut, ini menyatakan bahwa pada saat magnitudo gempa sebesar 7,5 (Mw), tsunami yang dihasilkan adalah pergerakan yang tidak stabil pada muka air laut.

Grafik pasang surut untuk skenario Mw 8,0 pada Gambar 3 menunjukkan bahwa terjadinya waktu surut pertama muka air laut pada detik 1916. Namun hal tersebut tidak langsung menimbulkan tsunami karena yang terjadi adalah ketidakstabilan muka air laut akibat gempa. Setelah detik ke 3364, terjadi penurunan muka air laut dan pada detik 3912 muka air laut terus naik dan menghantam daratan Sungai Limau pada detik 4114. Sehingga waktu yang dibutuhkan tsunami untuk tiba di Sungai Limau adalah 4114 detik. Tinggi gelombang tsunami yang dihasilkan pada pemodelan ini mencapai angka 0,31 m. Sehingga tsunami yang dihasilkan masih tergolong tidak berbahaya.



Gambar 2. Pasang surut muka air laut pemodelan tsunami di Sungai Limau (skenario 7,5 Mw)

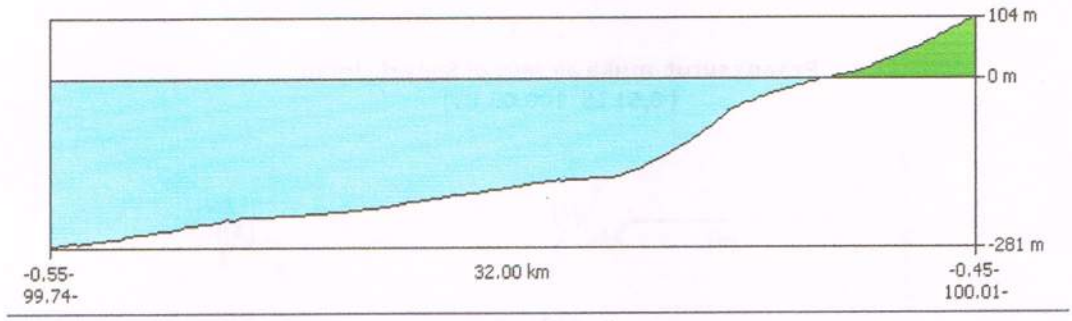
Gambar 3. Pasang surut muka air laut pemodelan tsunami di Sungai Limau (skenario 8 (Mw)



Gambar 4. Pasang surut muka air laut pemodelan tsunami di Sungai Limau (skenario 8,5 Mw)

Berbeda halnya dengan pemodelan pada skenario Mw 8,5. Saat pertama terjadi gempabumi, air laut langsung menunjukkan kondisi yang tidak stabil dan disertai terjadinya penurunan muka air laut sampai detik 2296. Setelah itu terjadi kenaikan permukaan air laut lagi dari detik 2296 sampai 3057. Sehingga waktu yang dibutuhkan gelombang tsunami awal mencapai daratan Sungai Limau adalah 3057 detik. Tinggi gelombang tsunami di Sungai Limau mencapai 3,09 m seperti yang terlihat pada Gambar 4. Nilai tinggi gelombang ini tergolong pada tsunami yang berbahaya.

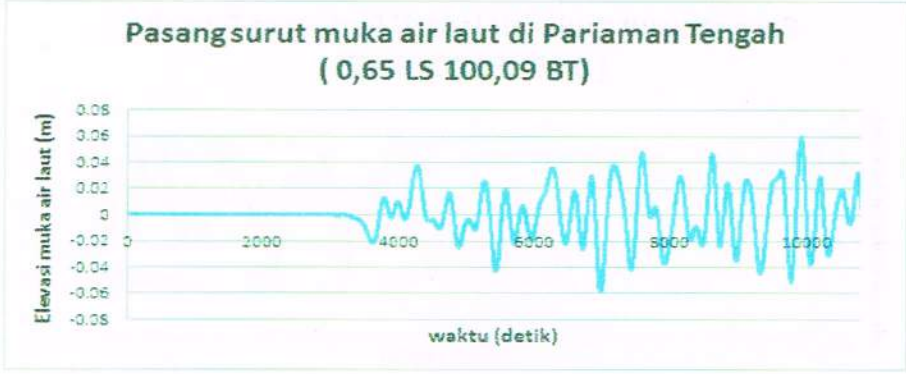
Jika dilihat dari waktu tempuh penjalaran gelombang tsunami untuk daerah Sungai Limau, waktu tempuhnya adalah yang paling lama dibandingkan daerah titik tinjau yang lainnya. Hal ini terjadi karena posisi Sungai Limau yang jauh dari sumber pembangkitan tsunami. Tinggi gelombang tsunami di Sungai Limau juga dipengaruhi oleh geometri pantai yang sedikit berlekuk dan profil pantai yang cukup landai seperti terlihat pada Gambar 5. Selain itu, sebelum mencapai pantai Sungai Limau, gelombang tsunami telah diredam terlebih dahulu oleh Pulau Mentawai bagian barat yang langsung berhadapan dengan pusat pembangkitan tsunami. Namun tinggi gelombang yang dihasilkan ini belum mempertimbangkan pengaruh suku gesekan dasar samudera dan akibat longsoran dasar Laut.



Gambar 5. Profil pantai Sungai Limau (ITDB, 2004)

Pariaman Tengah

Titik tinjau pasang surut untuk Pariaman Tengah terletak pada koordinat geografi 0,65° LS dan 100,09° BT atau x = 289 dan y = 558 pada koordinat grid. Grafik pasang surut untuk skenario Mw 7,5 dipaparkan pada Gambar 6, terlihat bahwa untuk daerah Pariaman Tengah, waktu surut pertama air laut terjadi pada detik 3221 setelah terjadinya gempa. Kemudian terjadi kenaikan muka air laut pada detik 3646 dan gelombang tsunami tiba di Kecamatan Pariaman Tengah pada detik 3766. Sehingga waktu tempuh yang dibutuhkan gelombang tsunami mencapai pantai adalah 3766 detik. Waktu penjalaran tsunami di Kecamatan Pariaman Tengah ini, memiliki waktu yang lebih cepat dibandingkan dua daerah sebelumnya yaitu Sungai Limau. Tinggi gelombang tsunami yang dihasilkan pada model tercatat pada angka 0,11 m. Berdasarkan nilai ketinggian gelombang tersebut, ini menyatakan bahwa pada saat magnitudo gempa sebesar 7,5 (Mw), tsunami yang dihasilkan adalah pergerakan yang tidak stabil pada muka air laut.



Gambar 6. Pasang surut muka air laut pemodelan tsunami di Pariaman Tengah (skenario 7,5 Mw)

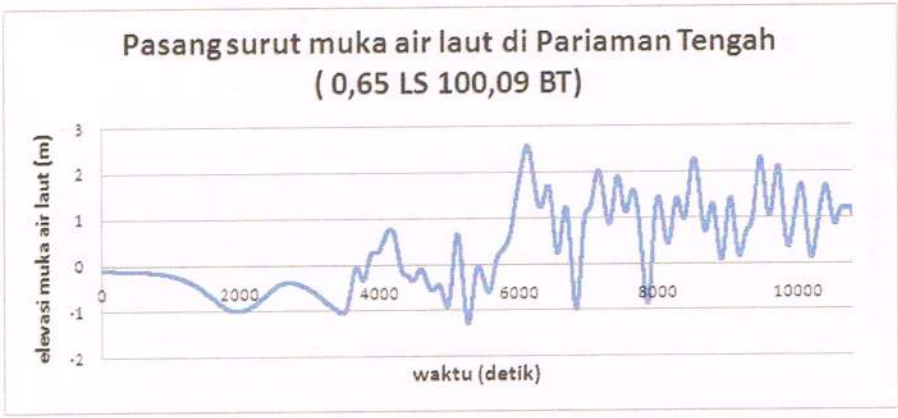
Gambar 7. Pasang surut muka air laut pemodelan tsunami di Pariaman Tengah (skenario 8 Mw)

Grafik pasang surut untuk skenario Mw 8,0 pada Gambar 7 menggambarkan bahwa waktu surut pertama muka air laut terjadi pada detik ke 1603. Namun hal tersebut tidak langsung menimbulkan tsunami karena yang terjadi adalah ketidakstabilan dan sedikit penurunan muka air laut akibat gempa sampai detik ke 3217. Mulai dari detik ke 3217 sampai 3578 terjadi penurunan muka air laut dan pada detik ke 3578 sampai 3747, muka air laut terus naik dan menghantam daratan Pariaman Tengah pada detik 3747. Sehingga waktu yang dibutuhkan tsunami untuk tiba di Pariaman Tengah adalah 3747 detik. Tinggi gelombang tsunami yang dihasilkan pada pemodelan ini mencapai angka 0,23 m. Sehingga tsunami yang dihasilkan masih tergolong tidak berbahaya.

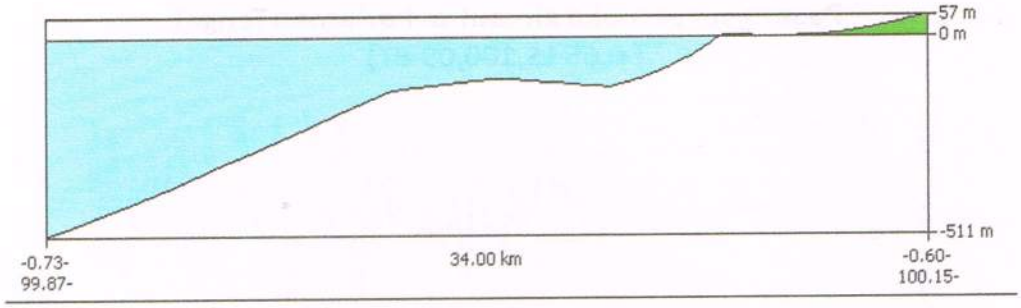
Pada pemodelan skenario Mw 8,5, saat pertama terjadi gempabumi, air laut langsung menunjukkan kondisi yang tidak stabil dan disertai dengan terjadinya penurunan muka air laut sampai detik 1955. Setelah itu terjadi kenaikan permukaan lagi sampai detik 2659. Sehingga waktu yang dibutuhkan gelombang tsunami awal untuk mencapai daratan Pariaman Tengah adalah 2659 detik. Tinggi gelombang tsunami di Pariaman Tengah mencapai 3,85 m seperti yang terlihat pada Gambar 8. Nilai tinggi gelombang tsunami ini tergolong pada tsunami yang berbahaya.

Data Hasil Pemodelan

Data hasil pemodelan tinggi maksimum dan waktu tempuh penjalaran gelombang tsunami terhadap titik lokasi pengamatan dapat dilihat pada Tabel 3. Berdasarkan data yang tercantum pada Tabel 1, dapat kita lihat bahwa semakin besar magnitudo gempa, maka tinggi gelombang tsunami yang ditimbulkan akan semakin besar dan waktu tempuh penjalaran tsunami dari pusat pembangkitan ke titik pengamatan juga semakin cepat. Pembahasan hasil pemodelan Imamura untuk masing-masing titik pengamatan akan dijabarkan pada sub bab berikutnya.



Gambar 8. Pasang surut muka air laut pemodelan tsunami di Pariaman Tengah (skenario 8,5 Mw)

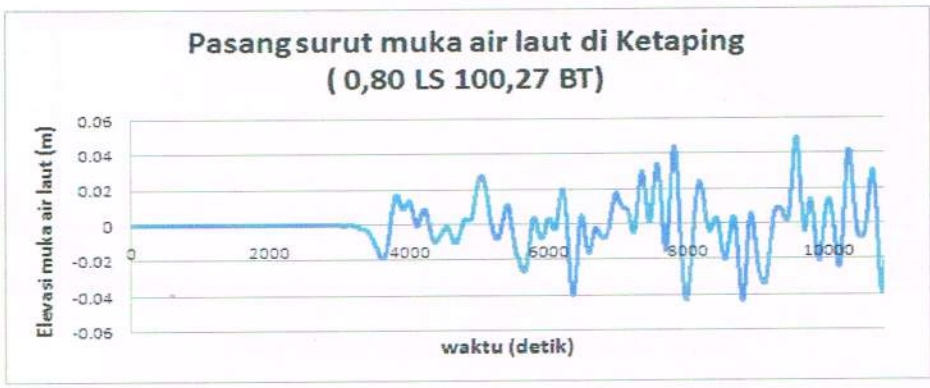


Gambar 9. Profil pantai Pariaman Tengah (ITDB, 2004)

Nilai tinggi gelombang di daerah ini lebih kecil jika dibandingkan dengan pemodelan untuk daerah Ketaping dengan skenario yang sama. Hal ini bisa saja disebabkan oleh pengaruh adanya pulau-pulau kecil di depan Pariaman Tengah. Tinggi gelombang tsunami di Pariaman Tengah juga dipengaruhi oleh geometri pantai yang cukup berlekuk dan profil pantai yang cukup landai seperti terlihat pada Gambar 11. Selain itu, sebelum mencapai Pariaman Tengah, gelombang tsunami telah diredam terlebih dahulu oleh Pulau Mentawai bagian barat yang langsung berhadapan dengan pusat pembangkitan tsunami. Namun tinggi gelombang yang dihasilkan ini belum mempertimbangkan pengaruh suku gesekan dasar samudera dan akibat longsoran dasar laut.

Ketaping

Titik tinjau pasang surut untuk daerah Ketaping terletak pada koordinat geografi 0,80° LS dan 100,27° BT atau x = 304 dan y = 538 pada koordinat grid. Grafik pasang surut untuk skenario Mw 7,5 dipaparkan pada Gambar 10, menunjukkan bahwa untuk daerah Ketaping, waktu surut pertama air laut terjadi pada detik 3195 setelah gempa. Kemudian terjadi kenaikan muka air laut mulai detik 3638 dan gelombang tsunami pertama tiba di Ketaping pada detik 3801. Sehingga waktu tempuh yang dibutuhkan gelombang tsunami mencapai pantai Ketaping adalah 3801 detik. Tinggi gelombang tsunami yang dihasilkan pada model tercatat pada angka 0,05 m. Jika dibandingkan dengan daerah tinjauan lainnya pada skenario yang sama, nilai ketinggian ini adalah yang terkecil. Berdasarkan nilai ketinggian gelombang tersebut, ini menyatakan bahwa pada saat magnitudo gempa sebesar 7,5 (Mw), tsunami yang dihasilkan adalah pergerakan yang tidak stabil pada muka air laut.

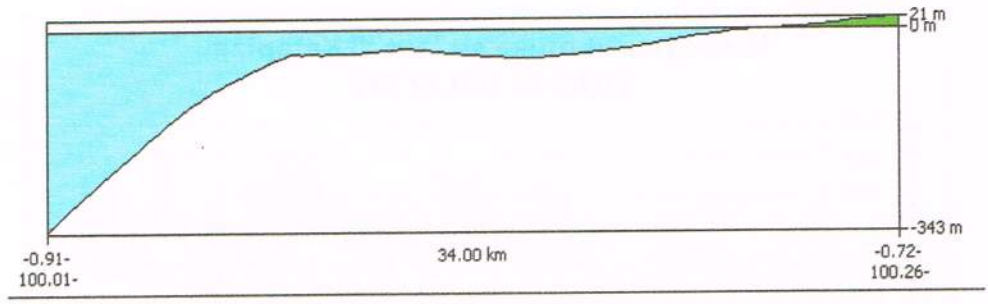


Gambar 10. Pasang surut muka air laut pemodelan tsunami di Ketaping (skenario 7,5 Mw)

Selanjutnya, untuk grafik pasang surut skenario Mw 8,0 pada Gambar 11 terlihat bahwa waktu surut pertama muka air laut terjadi pada detik ke 1595 setelah gempa. Namun hal tersebut tidak langsung menimbulkan tsunami karena yang terjadi adalah ketidakstabilan pada muka air laut. Ketidakstabilan muka air laut ini berlanjut sampai detik 3568 yang merupakan terjadinya puncak turunnya muka air laut. Lalu muka air laut kembali naik dan menghantam daratan Ketaping pada detik 3790. Sehingga waktu yang dibutuhkan tsunami untuk tiba di Ketaping adalah 3790 detik. Tinggi gelombang tsunami yang dihasilkan pada pemodelan ini mencapai angka 0,21 m. Sehingga tsunami yang dihasilkan masih tergolong tidak berbahaya

Gambar 11 Pasang surut muka air laut pemodelan tsunami di Ketaping (skenario 8 (Mw)

Gambar 12. Pasang surut muka air laut pemodelan tsunami di Ketaping (skenario 8,5 (Mw)



Gambar 13. Profil pantai Ketaping (ITDB, 2004)

Pada pemodelan skenario Mw 8,5, saat pertama terjadi gempabumi air laut langsung menunjukkan kondisi yang tidak stabil dan disertai dengan terjadinya penurunan muka air laut sampai detik 1980. Setelah itu terjadi kenaikan permukaan air laut sampai detik 2545. Sehingga waktu yang dibutuhkan gelombang tsunami awal untuk mencapai daratan Ketaping adalah 2545 detik. Tinggi gelombang tsunami di Ketaping mencapai 4,50 m seperti yang terlihat pada Gambar 12. Nilai ini adalah yang paling tinggi jika dibandingkan dengan daerah lain dengan skenario yang sama. Nilai tinggi gelombang tsunami ini tergolong pada tsunami yang berbahaya.

Tinggi gelombang tsunami di Ketaping yang paling besar bisa dipengaruhi oleh geometri pantai yang cukup berlekuk dan landai seperti terlihat pada Gambar 13. Selain itu, sebelum mencapai Ketaping, gelombang tsunami telah diredam terlebih dahulu oleh Pulau Mentawai bagian barat yang langsung berhadapan dengan pusat pembangkitan tsunami dan secara perhitungan jarak dari sumber pembangkitan, posisi Ketaping termasuk dekat dengan sumber pembangkian tsunami. Namun tinggi gelombang yang dihasilkan ini belum mempertimbangkan pengaruh suku gesekan dasar samudera dan akibat longsoran dasar laut. Karena secara teoritis tsunami yang ditimbulkan oleh longsoran dasar laut tidak membutuhkan magnitudo yang besar. Longsoran yang berasal dari dasar laut ini akan menyibak air di atasnya yang menimbulkan pergerakan massa air laut yang bergerak secara konsentris dan menjalar menghantam daratan yang berada di garis pantai. Energi tsunami ini akan menghancurkan setiap daerah yang dilewatinya dan sisanya akan kembali direfleksikan ke laut.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian tentang penggunaan model numerik TUNAMI N1 untuk menentukan tinggi dan waktu tempuh penjalaran gelombang tsunami di daerah Kab. Padang Pariaman dan Kota pariaman dapat ditarik beberapa kesimpulan.

1. Untuk daerah Kabupaten Padang Pariaman dan Kota Pariaman setelah terjadinya gempa besar dan sebelum gelombang tsunami sampai di titik tinjauan mengalami penurunan muka air laut terlebih dahulu. Hal ini disebabkan karena posisi titik tinjau pasang surut tsunami yang saling berdekatan yaitu berada pada satu jalur yaitu pantai barat Sumatera Barat.
2. Tinggi gelombang tsunami maksimum yang dihasilkan pada skenario Mw 7,5 untuk masing-masing daerah tinjauan secara berurutan yaitu 0,05 m di Ketaping, 0,08 m di Sungai Limau, dan 0,11 m di Pariaman Tengah.
3. Tinggi gelombang tsunami maksimum yang dihasilkan pada skenario Mw 8 untuk masing-masing daerah tinjauan secara berurutan yaitu 0,21 m di Ketaping, 0,23 m di Pariaman Tengah, dan 0,31 m di Sungai Limau.
4. Tinggi gelombang tsunami paling besar dihasilkan pada skenario pemodelan Mw 8.5. Daerah yang mengalami tinggi gelombang paling besar adalah Ketaping (4.506 m), selanjutnya disusul oleh Pariaman Tengah (3.849 m), dan terakhir Sungai Limau (3.09 m).
5. Waktu tempuh penjalaran gelombang tsunami pada pemodelan Mw 7,5 dari pusat pembangkitan ke titik tinjauan pasang surut secara berurutan yaitu 3766 detik di Pariaman Tengah, 3801 detik di Ketaping, dan 4166 detik di Sungai Limau.
6. Waktu tempuh penjalaran gelombang tsunami pada pemodelan Mw 8 dari pusat pembangkitan ke titik tinjauan pasang surut secara berurutan yaitu 1848 detik di Pariaman Tengah, 1841 detik di Ketaping dan 2234 detik di Sungai Limau.
7. Waktu tempuh penjalaran gelombang tsunami dari pusat pembangkitan ke titik tinjau pasang surut pada pemodelan skenario Mw 8.5 dengan daerah yang paling cepat dihantam gelombang tsunami setelah terjadinya gempa adalah Ketaping (2545 detik), selanjutnya disusul oleh Pariaman Tengah (2659 detik) dan terakhir Sungai Limau (3057 detik).
8. Bentuk geometri dan profil pantai juga mempengaruhi tinggi gelombang tsunami yang menerjang pantai daerah tinjauan.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Velly Asvaliantina, M.Sc, staf dari BPPT Jakarta atas arahannya selama penelitian ini berlangsung

Daftar pustaka

Borrero , C.Jose , S. Kerry, et.all., 2006. *Tsunami Inundation Modeling for Western Sumatera*. PNAS vol.103 No.52

Dean, G. Robert, Dalrymple, A. Robert, 1991. *Water Wave Mechanics For Engineers And Scientiest*. World Scientific. Singapura

Diposatono, Subandono, 2007. *Mitigasi Tsunami dalam pelatihan pemodelan run-up tsunami*, ristek, 20-24 Agustus

F. Imamura, 1995. *Review of Tsunami Simulation with a Finite Difference Method, Yeh, Harry, Long-Wave Runup Models*. halaman 25-42, World Scientific. Singapura

Danny Hilman. 2007. *Tectonic Setting Indonesia dan Pemodelan Sumber Gempa dan Tsunami dalam pelatihan pemodelan run-up tsunami, ristek, 20-24 Agustus.*

Pertiwi, Ratu Ayu. 2005. *Penggunaan Model Numerik Tsunami untuk Menentukan Tinggi dan Waktu Tempuh Penjalaran Gelombang Tsunami di Nangroe Aceh Darussalam*. Skripsi Teknik Geodesi-Geomatika Fakultas Teknik UGM. Yogyakarta

Rynn, Jack. 2002. " A Preliminary Assessment of Tsunami Hazard and Risk in the Indonesian Region" dari Jurnal tsunami volume 20, halaman 193