

ANALISIS PENTINGNYA STASIUN MUKA AIR LAUT DI PELABUHAN BARAT SUMATERA UNTUK PENGUATAN SISTEM PERINGATAN DINI TSUNAMI

Oleh :

Indra Hermawan, Semeidi Husrin, Fatimah Yasmin Azzahra, Dian
Novianto, Rahman Hidayat

Pendahuluan

Fenomena tsunami memiliki potensi yang cukup tinggi di wilayah Indonesia. Hal ini disebabkan karena letak geografis wilayah Indonesia berada di pertemuan tiga lempeng besar, yaitu Indonesia-Australia, Pasifik, dan Eurasia. Kejadian gempa bumi besar dan merusak umumnya terjadi di sepanjang pertemuan ketiga lempeng besar tersebut dan juga di jalur patahan-patahan aktif yang terbentuk di bagian interior lempeng Kepulauan Indonesia. Seperti yang telah di kemukakan oleh Natawidjaja (2007)¹, Indonesia merupakan negara yang memiliki potensi tsunami akibat gempa bumi yang cukup tinggi, terutama jika gempa bumi yang terjadi memiliki episenter di laut dengan jenis gempa bumi dangkal.

Wilayah pesisir barat Sumatera memiliki tingkat kejadian gempa bumi yang sangat tinggi, baik berasal dari darat maupun dari bawah laut. Hal ini dikarenakan wilayah tersebut berada di pertemuan Lempeng Indonesia-Australia dengan Lempeng Eurasia. Setelah

¹ Natawidjaja, D. H., 2007, Gempabumi dan Tsunami di Sumatra dan Upaya Untuk Mengembangkan Lingkungan Hidup yang Aman Dari Bencana Alam, Laporan KHL, LIPI, Jakarta.

kejadian Tsunami Aceh tahun 2004, hal yang menjadi perhatian adalah daerah pesisir Sumatera Barat karena dikhawatirkan terjadi akumulasi energi yang berpotensi menimbulkan terjadinya gempa dan tsunami kembali (Latief, 2012)². Kekhawatiran ini terbukti dengan berbagai tsunami yang terjadi beberapa tahun setelah Tsunami Aceh 2004, yaitu Tsunami Bengkulu pada 12 September 2007, Tsunami Padang pada 30 September 2009 dan Tsunami Mentawai pada 25 Oktober 2010.

Early warning system diperlukan sebagai peringatan dini tsunami agar dapat mengurangi kerugian yang disebabkan oleh tsunami. Sistem peringatan dini tsunami diperlukan sebagai informasi elevasi permukaan air laut secara *real time* agar kejadian anomali elevasi muka air laut dapat diketahui secara dini. Dengan demikian, persiapan dapat dilakukan sebelum gelombang tsunami mencapai daratan. *Early warning system* ini dapat berjalan dengan baik dengan adanya dukungan seperti *tide gauge* yang memadai sehingga informasi adanya perubahan elevasi muka air diberbagai wilayah dapat ditangkap dan menjadi acuan potensi tsunami di suatu tempat.

Pelabuhan merupakan infrastruktur penting dalam mitigasi bencana. Keberadaan pelabuhan dengan eksisting infrastrukturnya dapat dimanfaatkan dalam penguatan mitigasi bencana seperti penempatan sensor muka air yang dapat memberikan peringatan dini jika terjadi anomali. Lautan di barat Pulau Sumatera yang memiliki pulau-pulau kecil dengan pelabuhan – pelabuhan yang ada dapat berperan penting dalam upaya mitigasi bencana ini karena sensor pasang surut realtime dapat dipasang di lokasi tersebut dan

² Latief, H., 2012, Kajian risiko tsunami di Provinsi Sumatera Barat dan Upaya Mitigasinya, In Proceedings of the 37th HAGI Annual Convention and Exhibition (Palembang).

dapat memberikan peringatan ke daerah lainnya yang lebih jauh terutama di pantai barat Pulau Sumatera seperti kota-kota besar Padang dan Bengkulu.

Stasiun pasang surut real-time dan dapat memberikan peringatan telah terpasang di 8 lokasi di seluruh Indonesia termasuk dua di antaranya di Barat Sumatera (Mentawai dan Padang). Pada kajian ini, pemodelan numerik akan memperlihatkan kebutuhan akan sensor pasang surut di lokasi lokasi pelabuhan di Barat Sumatera dan potensinya untuk dipergunakan sebagai penguat peringatan dini tsunami eksisting.

Metode Penelitian

Pemodelan simulasi numerik penjalaran tsunami ini menggunakan model *Cornell Multi-grid Coupled Tsunami Model* (COMCOT). Dalam simulasi numerik ini, terdapat dua proses utama yaitu proses pembangkitan dan proses penjalaran. Dalam proses pembangkitan akan menghasilkan nilai elevasi awal muka air laut akibat deformasi bawah laut, sementara dalam proses penjalaran akan memberikan visualisasi penjalaran tsunami dari sumber gempa ke lokasi titik pengamatan atau lokasi titik tinjau. *Software* ini menggunakan pemrograman FORTRAN 90 dengan persamaan perairan dangkal atau *Shallow Water Equation* (SWE) (Wang, 2009)³. Dasar dari persamaan pengatur model *Cornell Multi-grid Coupled Tsunami* (COMCOT) terdiri dari persamaan konservasi massa dan momentum yang ditunjukkan sebagai berikut:

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \left(\frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial Q}{\partial y} \right) = - \frac{dh}{dt} \quad (1)$$

³ Wang, X., 2009, *COMCOT User Manual Guide*, Cornell University, USA.

$$\frac{\partial P}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{P^2}{H} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{PQ}{H} \right) + gH \frac{\partial \eta}{\partial x} + F_x = 0 \quad (2)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{PQ}{H} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{Q^2}{H} \right) + gH \frac{\partial \eta}{\partial y} + F_y = 0 \quad (3)$$

dengan,

P : transpor fluks pada arah $-x$ (m²/detik)

Q : transpor fluks pada arah $-y$ (m²/detik)

t : waktu (detik)

H : kedalaman total perairan dari dasar ke permukaan air (m)

h : kedalaman air dari dasar ke MSL (m)

η : elevasi sesaat (m)

g : percepatan gravitasi (m/detik²)

F_x : friksi permukaan dasar dalam arah x

F_y : friksi permukaan dasar dalam arah y

Data batimetri yang digunakan didapat dari Batimetri Nasional (BATNAS) dengan resolusi 6 detik. Sebelum menjadi inputan dalam model COMCOT v.1.7 data batimetri diolah dengan menggunakan *software Global Mapper*. Selanjutnya, untuk data parameter gempa didapatkan dari penelitian yang sudah dilakukan dengan berbagai sumber. Dalam penelitian kali ini, terdapat 3 skenario tsunami yang akan disimulasikan, yaitu Tsunami Padang tahun 2009 dengan Mw 8,7, Tsunami Mentawai 2010 dengan Mw 8,5, dan Tsunami Bengkulu 2007 dengan Mw 8,4.

Berikut merupakan parameter gempa yang digunakan disetiap masing-masing skenario.

Tabel 2 Tabel Parameter Skenario Padang

Parameter	Patahan			
	1	2	3	4
P (km)	18,13	67,42	75,19	212,78
L (km)	14,78	139,44	130,11	147
Strike (°)	325	325	325	325
Dip (°)	10	10	10	10

<i>Slip</i> (°)	100	100	100	100
Dislokasi (m)	4	6	8	16
Kedalaman(km)	1	1	1	1
Bujur (°)	99,62	99,52	99,17	98,78
Lintang (°)	-3,66	-3,52	-3,03	-2,47

(Sumber: Prayoadhie dan Shibazaki, 2012)⁴

Tabel 3 Tabel Parameter Skenario Mentawai dan Bengkulu

Mentawai (Satake dkk, 2013) ⁵		Bengkulu (Borrero dkk., 2009) ⁶	
Parameter	Patahan	Parameter	Patahan
P (km)	190	P (km)	158,5
L (km)	70	L (km)	14,78
<i>Strike</i> (°)	325	<i>Strike</i> (°)	325
<i>Dip</i> (°)	11	<i>Dip</i> (°)	10
<i>Slip</i> (°)	101	<i>Slip</i> (°)	100
Dislokasi (m)	12,08	Dislokasi (m)	4
Kedalaman(km)	20,6	Kedalaman(km)	24
Bujur (°)	92,623	Bujur (°)	92,62
Lintang (°)	-3,46	Lintang (°)	-3,66

Untuk titik tinjau berdasarkan titik lokasi pelabuhan perikanan yang berada di daerah Provinsi Sumatera Barat dan Bengkulu. Selain itu, titik stasiun pasang surut Badan Informasi Geospasial⁷

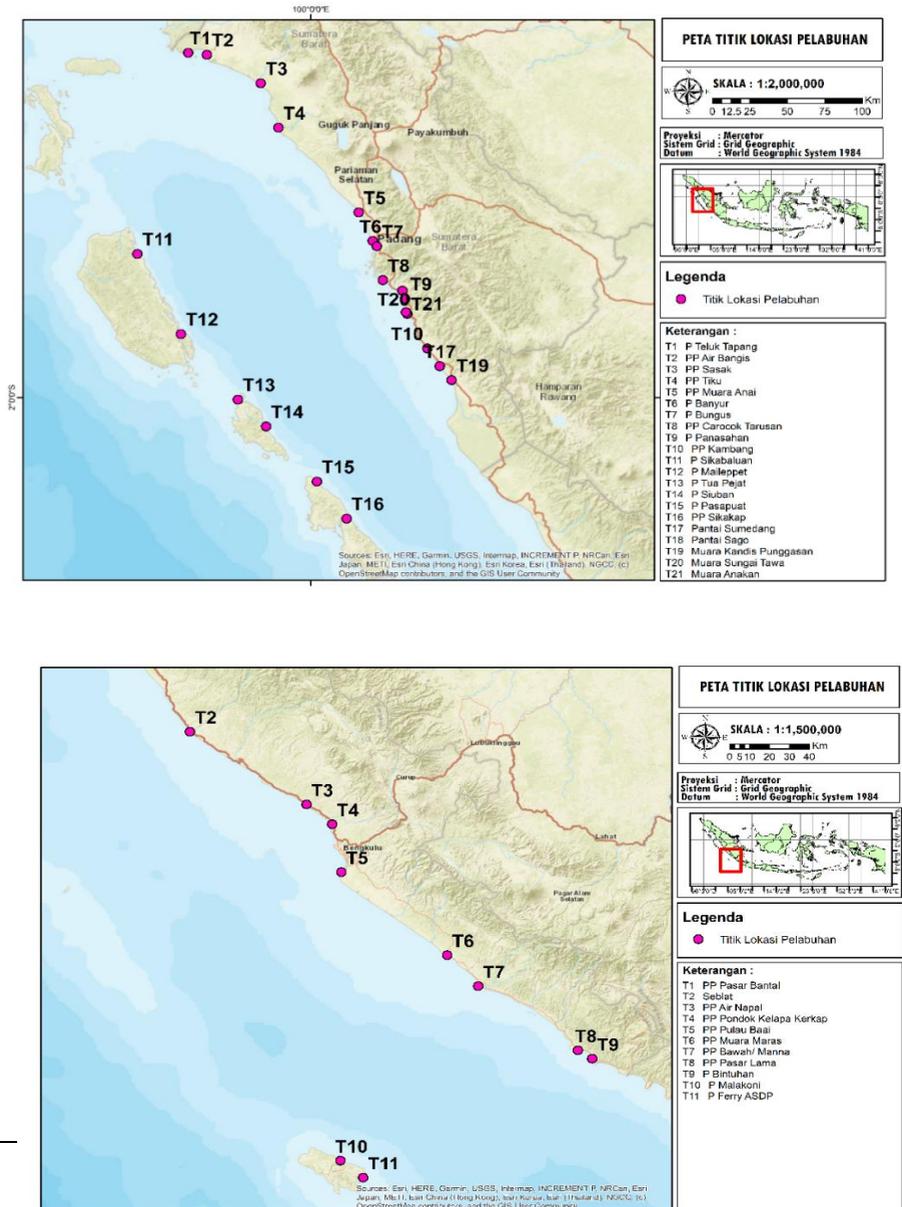
⁴ Prayoadhie, S., Fujii, Y., dan Shibazaki, B., 2012, *Numerical simulations for Tsunami forecasting at Padang city using offshore Tsunami sensors*, Bulletin of the International Institute of Seismology and Earthquake Engineering, **46**: 97-102.

⁵ Satake, K., Nishimura, Y., Putra, P. S., Gusman, A. R., Sunendar, H., Fujii, Y., dan Yulianto, E., 2013, *Tsunami source of the 2010 Mentawai, Indonesia earthquake inferred from tsunami field survey and waveform modeling*, Pure and Applied Geophysics, **170(9-10)**: 1567-1582.

⁶ Borrero, J. C., Weiss, R., Okal, E. A., Hidayat, R., Arcas, D., dan Titov, V. V., 2009, *The tsunami of 2007 September 12, Bengkulu province, Sumatra, Indonesia: post-tsunami field survey and numerical modelling*, Geophysical Journal International, **178(1)**: 180-194.

⁷ Badan Informasi Geospasial, Batimetri Nasional, (<http://tides.big.go.id/>, diakses pada 17 Juni 2021)

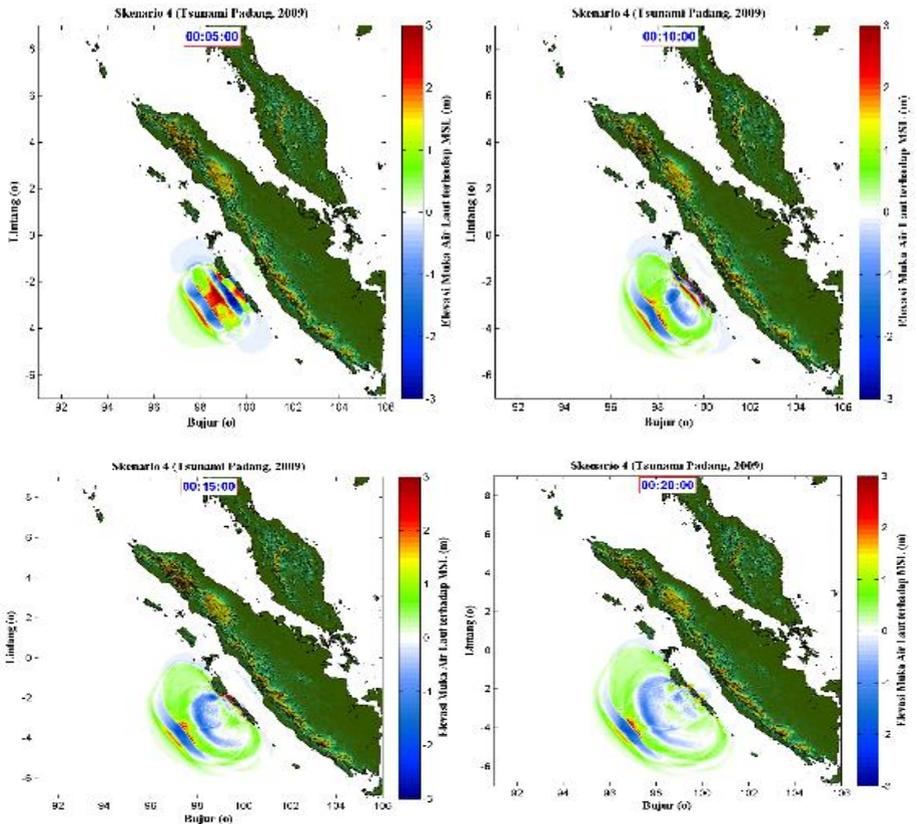
dan titik stasiun pasang surut yang sudah beroperasi di Indonesia sejak Januari 2019, yaitu Inexpensive Device for Sea Level Measurement (IDSL).



Gambar 1. Titik lokasi pelabuhan untuk Skenario Padang dan Mentawai (atas) , untuk Skenario Bengkulu (Bawah)

Hasil dan Pembahasan

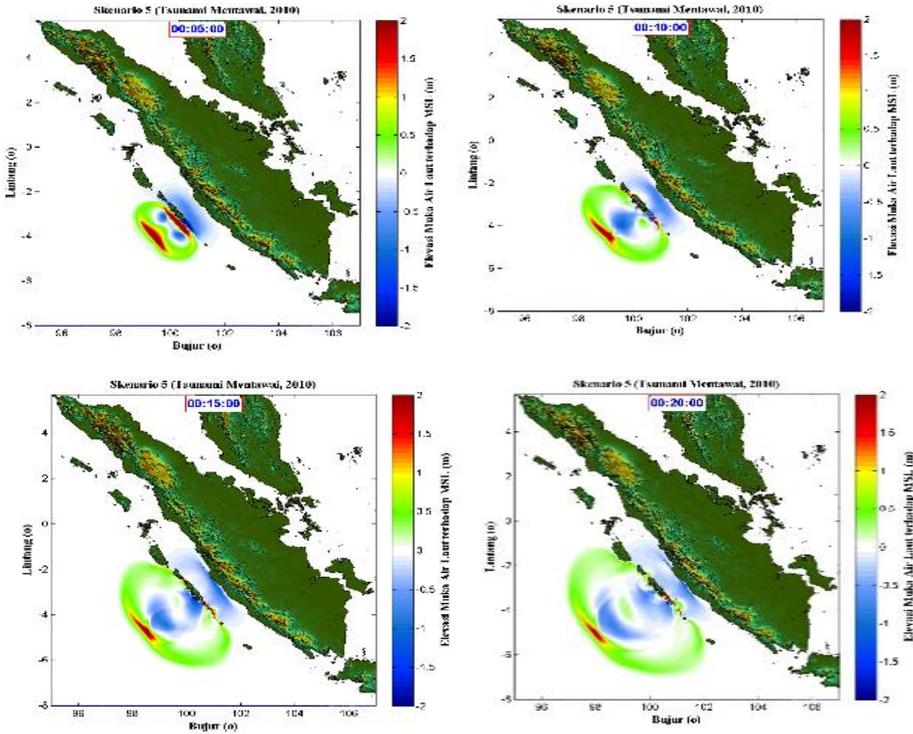
Berdasarkan hasil simulasi tsunami yang sudah dilakukan, dihasilkan nilai tinggi tsunami dan waktu tiba di setiap titik lokasi pelabuhan dan stasiun pasang surut pada masing-masing skenario. Pada skenario simulasi tsunami Padang tahun 2009 terdapat 21 titik pelabuhan, stasiun pasang surut (BIG dan IDSL).



Gambar 2. Cuplikan Simulasi Tsunami Padang, 2009

Dari hasil simulasi tsunami Padang, 2009 nilai tinggi tsunami tertinggi direkam oleh titik T13 di Pelabuhan Tua Pejat sekitar 4.35

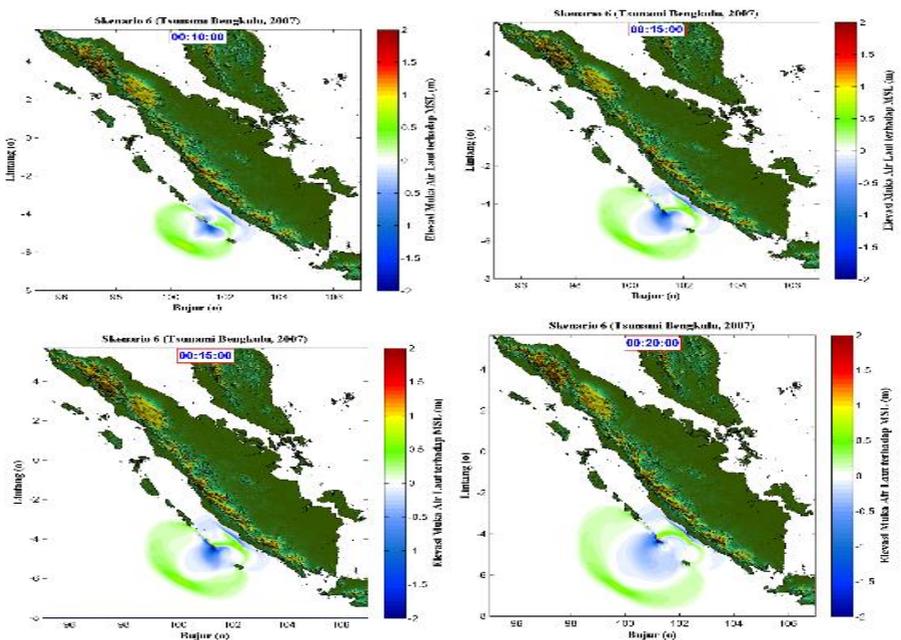
m (tercatat pada gelombang ke-3) dengan waktu tiba sekitar 18 menit. Jarak titik T13 dengan sumber gempa sekitar 92 km. Sementara, untuk waktu tiba tercepat direkam oleh titik T15 di Pelabuhan Pasapat, dengan waktu tiba sekitar 15-16 menit, karena titik T15 Pelabuhan Pasapat merupakan titik yang lebih dekat dan berhadap langsung dengan sumber gempa dibandingkan titik lokasi tinjau lainnya, dengan jarak sekitar 113 km. Pada menit ke 15-16 titik lokasi T15 sudah merekam anomali muka air laut dengan nilai tinggi tsunami yang tercatat sekitar 4.30 m (tercatat digelombang pertama). Pada skenario simulasi tsunami Mentawai tahun 2010 terdapat 21 titik pelabuhan, stasiun pasang surut (BIG dan IDSL).



Gambar 3. Cuplikan Simulasi Tsunami Mentawai, 2010

Dari hasil simulasi tsunami Mentawai, 2010 nilai tinggi tsunami direkam oleh titik T6 di Pelabuhan Banyur sekitar 1.99 m (tercatat pada gelombang ke-2) dengan waktu tiba sekitar 28 menit. Jarak titik T6 dengan sumber gempa sekitar 274 km dan lokasi T6 Pelabuhan Banyur ini merupakan sebuah teluk yang dapat mempengaruhi tinggi tsunami yang datang. Selain itu, titik T7 Pelabuhan Bungus yang merupakan titik IDSL 305 juga mencatat tinggi tsunami yang tidak jauh berbeda dengan T6 yaitu sekitar 1.95 m dengan waktu tiba 27.45 menit. Sementara, untuk waktu tiba tercepat direkam oleh titik T15 di Pelabuhan Pasapat, dengan waktu tiba sekitar 3-4 menit.

Pada skenario simulasi tsunami Bengkulu tahun 2007 terdapat 11 titik pelabuhan, stasiun pasang surut (BIG dan IDSL).



Gambar 4. Cuplikan Simulasi Tsunami Bengkulu, 2007

Dari hasil simulasi tsunami Bengkulu, 2007 nilai tinggi tsunami tertinggi direkam oleh titik T4 di Pelabuhan Perikanan Pondok

Kelapa Kerkap sekitar 2.85 m (tercatat pada gelombang pertama) dengan waktu tiba sekitar 33-34 menit. Jarak titik T4 dengan sumber gempa sekitar 128 km dan lokasi T4 ini merupakan lokasi yang langsung berhadapan dengan titik sumber gempa. Sementara, untuk waktu tiba tercepat direkam oleh titik T10 di Pelabuhan Malakoni, Enggano dengan waktu tiba sekitar 9-10 menit.

Kesimpulan

Dari hasil analisa penjalaran tsunami secara numerik berdasarkan tiga skenario yang berbeda, terlihat bahwa pelabuhan – pelabuhan yang berada di Kepulauan Mentawai dan Enggano sangat berperan penting dalam proses deteksi dini kejadian tsunami (bahkan ada yang kurang dari 5 menit). Hal ini menandakan bahwa keberadaan pulau-pulau kecil dan pelabuhan – pelabuhan yang berada di dalamnya dapat dioptimalkan untuk memperkuat sistem peringatan dini tsunami di kawasan ini. Jika fenomena penurunn muka tanah akibat proses megathurst juga dipertimbangkan, maka akan lebih banyak lagi lokasi pelabuhan yang dapat dimanfaatkan sebagai lokasi penempatan IDSL atau stasiun pasang surut lainnya sebagai penguat sistem peringatan dini tsunami di Sumatera Barat, Bengkulu dan wilayah barat Sumatera lainnya.