
Simulasi Penjalaran dan Penentuan Run-Up Gelombang Tsunami di Teluk Pangandaran, Jawa Barat

Sofia Alma Aeda^{*)}, Siddhi Saputro^{*)}, Petrus Subardjo^{*)}

^{*)} Program Studi Oseanografi, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. H. Soedarto, S.H, Tembalang, Semarang. 50275 Telp/fax (024)7474698

Email : sofiaalmaaeda@gmail.com; saputrosiddhi@gmail.com;

petrus_soebardjo@yahoo.com

Abstrak

Pangandaran merupakan kabupaten di Jawa Barat yang terletak di bagian selatan Pulau Jawa dan berhadapan dengan Samudra Hindia. Samudra Hindia merupakan daerah subduksi antar lempeng yang dapat mengakibatkan gempa dan tsunami, sebagai contoh gempa dan tsunami yang terjadi di Pangandaran (2006). Gempa dan tsunami yang pernah terjadi di suatu daerah, berpotensi terjadi kembali di masa mendatang. Tujuan dilakukan penelitian ini adalah untuk mengetahui tinggi gelombang tsunami, waktu tempuh dan run-up gelombang tsunami. Penelitian ini dilakukan pada 29 - 30 Desember 2015 di Teluk Pangandaran dengan koordinat antara 108°20'00" BT - 108°47'00" BT dan 7°36'00" LS - 7°48'00" LS. Metode penelitian yang digunakan adalah metode kuantitatif dan penentuan lokasi menggunakan metode purposive sampling. Data yang digunakan dalam penelitian berupa parameter patahan gempa, data batimetri, dan kelerengan pantai. Data dimodelkan dengan menggunakan software COMCOT v1.7 untuk mengetahui tinggi dan waktu tempuh penjalaran tsunami. Nilai tinggi gelombang hasil simulasi digunakan untuk menentukan nilai jangkauan run-up gelombang. Hasil simulasi menunjukkan ketinggian gelombang tsunami pada tiap skenario berkisar antara 2 – 9 meter dengan kisaran run-up antara 0 - 510 meter. Tinggi tsunami tertinggi ada di titik pengamatan 3 dan terendah di titik pengamatan 1. Run-up tertinggi terjadi di titik 3 dan run-up terendah di titik 6. Waktu yang diperlukan gelombang tsunami untuk mencapai daratan berkisar antara 39 – 48 menit. Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa tinggi tsunami tertinggi di Pangandaran terjadi di daerah dengan morfologi landai, sedangkan tinggi tsunami terendah terjadi di kawasan tebing atau belakang tanjung.

Kata Kunci: *Tsunami, Pangandaran, Comcot, Runup*

Abstract

Pangandaran is an area located at the Southern of Java Island heading toward to Indian Ocean. The Indian Ocean is a subduction zone between the plates that can cause earthquakes and tsunami, as an example earthquakes and tsunami in Pangandaran (2006). The earthquake and tsunami that had occurred in this area, potentially happen again in the future. The purpose of the research is to determine the height of tsunami, tsunami time travel, and tsunami wave run-up. This research was conducted on December 29th to 30th, 2015 in Pangandaran Bay with coordinates between 108°20'00" E - 108°47'00" E and 7°36'00" S - 7°48'00" S. The research method used is quantitative method and the method used to determine research location is purposive sampling. The data used are the source of earthquake faults, bathymetry data, and coastal slope. Data was modeled with COMCOT v1.7 software to determine the height of tsunami and tsunami time travel. The height of tsunami wave by simulation model used to determine tsunami wave run-up. The simulation result known tsunami wave height range from 2 to 9 meters with run-up between 0 to 510 meters. The highest tsunami wave was at observation point 3 and the lowest was at observation point 1. The highest run-up tsunami was at observation point 3 and the lowest was at observation point 6. Time required for tsunami waves to reach the land between 39 to 48 minutes. Based on the result can be concluded that the highest tsunami wave in Pangandaran located in sloping morphology, while the lowest tsunami located in high area or behind the cape area.

Keywords: *Tsunami, Pangandaran, Comcot, Runup*

Pendahuluan

Gelombang Tsunami merupakan salah satu bencana alam turunan yang banyak berpotensi menimbulkan dampak yang besar. Kejadian gelombang tsunami dapat menimbulkan korban jiwa dan kerusakan yang signifikan. Gelombang tsunami paling sering terjadi akibat aktivitas tektonik atau gempa bumi. Gempa bumi yang terjadi di tengah laut dengan kedalaman kurang dari 30 km dan kekuatan gempa lebih dari 6,5 Mw, dapat mengakibatkan gelombang tsunami. Di kawasan terbuka, tsunami bergerak dengan kecepatan tinggi namun tinggi gelombang tsunami sulit terdeteksi. Tsunami yang mendekati pantai akan mengalami penurunan kecepatan gelombang dan penambahan tinggi gelombang akibat adanya pengurangan kedalaman perairan. Kondisi dasar perairan dapat memperbesar tinggi gelombang sehingga menghasilkan dinding vertikal yang bergerak ke arah daratan dan menimbulkan kerusakan besar di darat terutama pada daerah pantai dengan topografi landai (Chaeroni et al., 2013).

Indonesia diapit oleh 3 lempeng yang aktif bergerak yaitu lempeng Eurasia, Indo-Australia dan lempeng Pasifik. Pergerakan ketiga lempeng ini menjadikan Indonesia rawan terhadap gempa besar. Daerah yang dianggap rawan ini yaitu daerah yang dilewati jalur pertemuan lempeng terutama di daerah sepanjang barat Pulau Sumatra, bagian selatan Pulau Jawa yang memanjang hingga Nusa Tenggara dan bagian timur laut Papua (Triatmadja, 2010).

Kabupaten Pangandaran merupakan salah satu wilayah yang termasuk pada daerah rawan tsunami. Pantai Pangandaran yang terletak di bagian selatan mengakibatkan daerah ini berhadapan langsung dengan Samudra Hindia dimana terdapat zona *subduction* atau zona penujaman lempeng antara lempeng benua dan lempeng samudra yang dapat menimbulkan gempa. Tercatat dua kali tsunami dengan kerusakan besar terjadi akibat aktivitas tektonik di wilayah selatan Jawa yaitu tsunami Banyuwangi tahun 1994 dan tsunami Pangandaran tahun 2006. Kejadian gempa dan tsunami yang pernah terjadi berpotensi kembali terjadi di masa mendatang, sehingga diperlukan kajian untuk mengetahui kondisi penjalaran gelombang Tsunami (Latief et al., 2012).

Kajian mengenai tinggi tsunami, waktu tempuh dan *run-up* gelombang tsunami ini dapat digunakan sebagai salah satu langkah penyiapan data dalam perencanaan mitigasi bencana untuk mengurangi korban dan kerugian akibat bencana tsunami. Data yang diperoleh dapat digunakan sebagai *Early Warning System* atau sebagai data dasar dalam penyusunan peta mitigasi bencana tsunami.

1. Materi dan Metode Penelitian

Materi penelitian terbagi menjadi dua yaitu materi utama dan materi penunjang. Materi utama berupa kelerengan pantai dan nilai elevasi pantai. Materi penunjang berupa peta RBI skala 30 arc second, data patahan gempa dan data bencana tsunami wilayah Pangandaran.

Penelitian menggunakan metode penelitian studi kasus yang dianalisa dengan analisa kuantitatif, yaitu analisa data dengan menggunakan model atau secara numerik. Penentuan lokasi penelitian menggunakan metode *Purposive sampling* pada 6 titik yang telah dianggap mewakili daerah penelitian. Ke-6 titik tersebut meliputi daerah tebing, landai, muara sungai dan percampuran daerah tebing dan landai.

Data kelerengan pantai dan elevasi pantai diperoleh dari pengukuran lapangan menggunakan GPS dan selang yang difungsikan sebagai *waterpass*. Pada setiap lokasi pengamatan dilakukan 3 kali pengukuran dengan jarak tiap pengukuran 20 meter secara horizontal. Data lapangan dianalisa dan diperoleh nilai kelerengan pantai (α) dengan persamaan :

$$\tan \alpha = \frac{(h_0 - h_1)}{\text{jarak}}$$

Keterangan :

α : kelerengan

h_0 : Ketinggian air di jarak ke-1 pada selang dalam meter

h_1 : Ketinggian air di jarak ke-2 pada selang dalam meter



Gambar 1. Peta Lokasi Pengambilan Data di Teluk Pangandaran, Jawa Barat

Data parameter patahan gempa dibagi dalam 5 skenario yang berbeda. Skenario yang digunakan terdiri atas parameter patahan gempa Pangandaran tahun 2006 dan 4 parameter patahan gempa berdasarkan *historical* gempa yang pernah terjadi diselatan Pulau Jawa.

Tabel 1. Skenario Parameter Patahan Gempa yang Digunakan

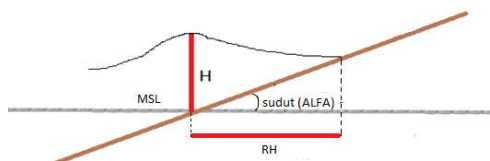
Skenario	MW	Epicenter		Depth (km)	Strike (°)	Dip (°)	Slip (°)	L (km)	W (km)	D (m)
		Lat	Long							
Tsunami 2006	7.7	-9.319	108.594	20	290	10	90	140	20	15
1	8.3	-9.319	108.594	12	280	15	90	240	20	20
2	8	-9.319	108.594	12	280	15	90	165	15	15
3	8.3	-9.656	108.554	24	280	15	90	240	75	7
4	8	-9.656	108.554	24	280	15	90	165	60	5

Keterangan :

- Mw : Magnitudo Momen (Skala Gempa)
- Epicenter : Lokasi gempa
- Depth : Kedalaman lokasi gempa dalam km
- L : *Length* atau panjang patahan gempa dalam km
- W : *Width* atau lebar patahan gempa dalam km
- D : *Dislocation* atau pergeseran lempeng dalam meter

Data batimetri dan parameter patahan gempa disimulasikan dengan menggunakan COMCOT v1.7 untuk mengetahui tinggi dan waktu tempuh penjaralan gelombang pada tiap titik pengamatan. Simulasi dilakukan pada kurun waktu 2 jam setelah terjadi gempa.

Perhitungan jangkauan run up gelombang tsunami dapat dilakukan dengan memperhitungkan tinggi maksimum gelombang tsunami di darat dan nilai keterenggan pantai.



Gambar 2. Tinggi Gelombang Tsunami dan Jangkauan Run-Up (RH) di Darat

Dari gambar diatas diperoleh persamaan untuk menentukan jangkauan *run-up* tsunami, yaitu :

$$\frac{H}{RH} = \tan \alpha \qquad RH = \frac{H}{\tan \alpha}$$

Keterangan :0

- H : Tinggi Maksimum Tsunami di Darat
- RH : Jangkauan *run-up* maksimum gelombang tsunami
- tan α : Sudut batas kedalaman dengan kemiringan pantai

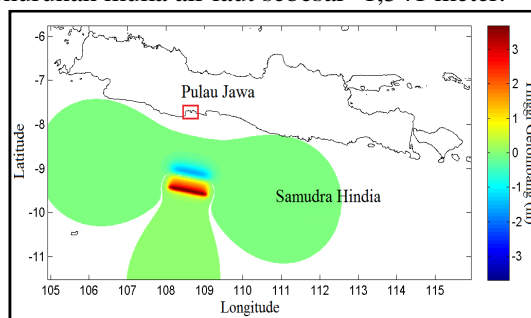
2. Hasil dan Pembahasan

Hasil yang diperoleh dari simulasi penjalaran gelombang tsunami antara lain *initial condition*, tinggi, waktu tempuh dan *run-up* gelombang tsunami di pantai serta *time step* gelombang tsunami.

3.1 Hasil

A. Tsunami Pangandaran 2006

Gempa yang mengakibatkan tsunami Pangandaran tahun 2006 terjadi pada epicenter 9.319 LS dan 108.594 BT dengan kekuatan 7,7 Mw, dan dihasilkan kondisi laut saat terjadi gempa seperti pada Gambar 3. Pada kondisi tersebut di sekitar pusat gempa terjadi kenaikan muka air laut sebesar 3,878 meter dan penurunan muka air laut sebesar -1,541 meter.



Gambar 3. Kondisi Laut di Sekitar Pusat Gempa saat Terjadi Gempa

Data tinggi gelombang, penjalaran gelombang dan jangkauan *run-up* gelombang tsunami pada tiap titik pengamatan diperoleh dari BPBD Kab. Ciamis (Tabel 2). Data BPBD Kab. Ciamis kemudian divalidasi dengan data hasil Pengolahan model (Tabel 3).

Tabel 2. Tinggi, Waktu Tempuh dan *Run-Up* Tsunami (sumber : BPBD Kab. Ciamis tahun 2006)

Lokasi	TTM (menit)	Tmax (m)	Time (menit)	RH (m)
1	35	2,0	39	25
2	37	3,5	40	90
3	40	5,0	43	250
4	37	4,0	40	200
5	38	3,0	42	95
6	45	3,2	48	0

Keterangan :

- TTM : Tsunami Travel Time (waktu tempuh tsunami)
- Tmax : Tinggi maksimum di darat atau lokasi pengamatan
- Time : Waktu terjadi tinggi maksimum
- RH : Jangkauan *run-up* maksimum gelombang tsunami

Tabel 3. Tinggi, Waktu Tempuh dan *Run-Up* Tsunami (Pengolahan Data, 2016)

Lokasi	TTM (menit)	Tmax (m)	Time (menit)	RH (m)
1	38,9	2,52	41	29
2	41,3	3,25	44	85
3	43,5	4,25	47	236
4	42,6	3,04	45	190
5	41	2,84	44	93
6	42,3	3,19	44	0

Keterangan :

TTM : *Tsunami Travel Time* (waktu tempuh tsunami)

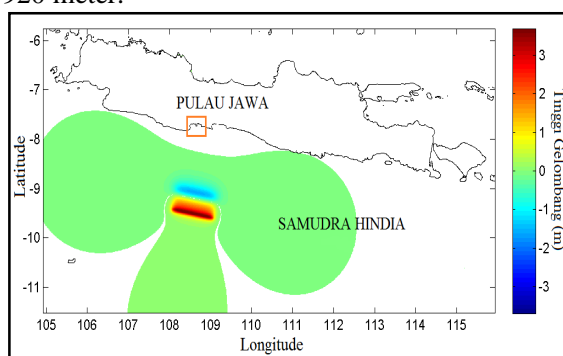
Tmax : Tinggi maksimum di darat atau lokasi pengamatan

Time : Waktu terjadi tinggi maksimum

RH : Jangkauan *run-up* maksimum gelombang tsunami

B. Skenario 1

Skenario 1 mengasumsikan gempa terjadi pada epicenter 9.319 LS dan 108.594 BT dengan kekuatan 8 Mw, sehingga dihasilkan kondisi laut saat gempa seperti pada Gambar 4. Pada Kondisi tersebut di sekitar pusat gempa terjadi kenaikan muka air laut sebesar 4,116 meter dan penurunan muka air laut sebesar -1,9920 meter.



Gambar 4. Kondisi Laut di Sekitar Pusat Gempa saat Terjadi Gempa

Dari simulasi model, diketahui ketinggian tsunami pada tiap titik pengamatan, selanjutnya dilakukan perhitungan untuk mengetahui nilai *run-up* tsunami (Tabel 4).

Tabel 4. Tinggi, Waktu Tempuh dan *Run-Up* Tsunami

Lokasi	TTM (menit)	Tmax (m)	Waktu (menit)	RH (m)
1	40,1	2,98	43	34,65
2	41,9	3,79	44	99,74
3	44,4	5,09	45	282,78
4	41,9	4,32	44	190
5	43,5	3,04	47	98,43
6	43	3,25	45	0

Keterangan :

TTM : *Tsunami Travel Time* (waktu tempuh tsunami)

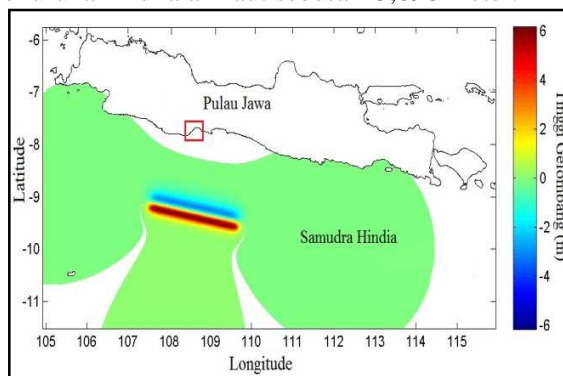
Tmax : Tinggi maksimum di darat atau lokasi pengamatan

Time : Waktu terjadi tinggi maksimum

RH : Jangkauan *run-up* maksimum gelombang tsunami

C. Skenario 2

Skenario 2 mengasumsikan gempa terjadi pada epicenter 9.319 LS dan 108.594 BT dengan kekuatan 8,3 Mw, sehingga dihasilkan Kondisi Laut di Sekitar Pusat Gempa saat Terjadi Gempa seperti pada Gambar 5. Pada kondisi tersebut di sekitar pusat gempa terjadi kenaikan muka air laut sebesar 6,479 meter dan penurunan muka air laut sebesar -3,098 meter.



Gambar 5. Kondisi Laut di Sekitar Pusat Gempa saat Terjadi Gempa

Dari simulasi model, diketahui ketinggian tsunami pada tiap titik pengamatan, selanjutnya dilakukan perhitungan untuk mengetahui nilai *run-up* tsunami (Tabel 5).

Tabel 5. Tinggi, Waktu Tempuh dan *Run-Up* Tsunami

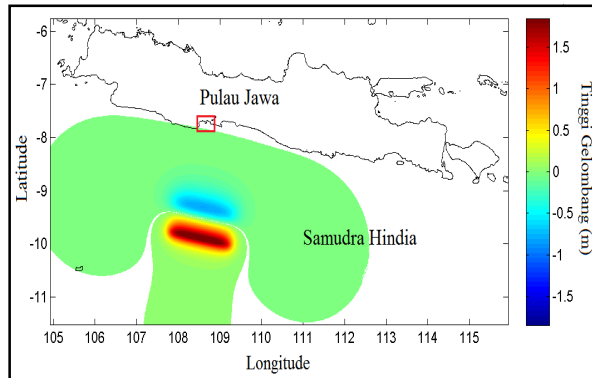
Lokasi	TTM (menit)	Tmax (m)	Time (menit)	RH(m)
1	39,92	5,60	43	65,15
2	42	5,98	44	157,33
3	44,5	9,13	47	507,22
4	41,9	5,93	44	370,41
5	43,7	4,86	47	113,76
6	43,1	7,01	45	0

Keterangan :

- TTM : *Tsunami Travel Time* (waktu tempuh tsunami)
- Tmax : Tinggi maksimum di darat atau lokasi pengamatan
- Time : Waktu terjadi tinggi maksimum
- RH : Jangkauan *run-up* maksimum gelombang tsunami

D. Skenario 3

Skenario 3 mengasumsikan gempa terjadi pada epicenter 9.656 LS dan 108.554 BT dengan kekuatan 8 Mw, sehingga dihasilkan kondisi laut saat gempa seperti pada Gambar 6. Pada Kondisi tersebut, di sekitar pusat gempa terjadi kenaikan muka air laut sebesar 1,9430 meter dan penurunan muka air laut sebesar -0,81 meter.



Gambar 6. Kondisi Laut di Sekitar Pusat Gempa saat Terjadi Gempa

Dari simulasi model, diketahui ketinggian tsunami pada tiap titik pengamatan, selanjutnya dilakukan perhitungan untuk mengetahui nilai *run-up* tsunami (Tabel 6).

Tabel 6. Tinggi, Waktu Tempuh dan *Run-Up* Tsunami

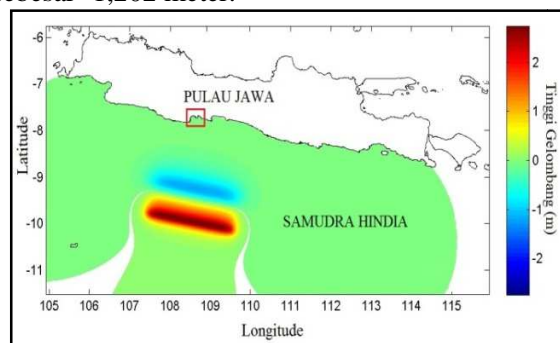
Lokasi	TTM (menit)	Tmax (m)	Waktu (menit)	RH (m)
1	42,2	1,69	44	15.92
2	44,6	2,66	48	65.98
3	46,7	3,8	49	169.2
4	44,2	2,06	47	113.67
5	46,1	2,79	50	70.05
6	45,7	2,51	50	0

Keterangan :

- TTM : Tsunami Travel Time (waktu tempuh tsunami)
- Tmax : Tinggi maksimum di darat atau lokasi pengamatan
- Time : Waktu terjadi tinggi maksimum
- RH : Jangkauan run-up maksimum gelombang tsunami

E. Skenario 4

Skenario 4 mengasumsikan gempa terjadi pada epicenter 9.656 LS dan 108.554 BT dengan kekuatan 8,3 Mw, sehingga dihasilkan kondisi laut saat gempa seperti pada Gambar 7. Pada Kondisi tersebut, di sekitar pusat gempa terjadi kenaikan muka air laut sebesar 2,882 meter dan penurunan muka air laut sebesar -1,202 meter.



Gambar 7. Kondisi Laut di Sekitar Pusat Gempa saat Terjadi Gempa

Dari simulasi model, diketahui ketinggian tsunami pada tiap titik pengamatan, selanjutnya dilakukan perhitungan untuk mengetahui nilai *run-up* tsunami (Tabel 7).

Tabel 7. Tinggi, Waktu Tempuh dan *Run-Up* Tsunami

Lokasi	TTM (menit)	Tmax (m)	Waktu (menit)	RH (m)
1	41,8	3,61	45	19.65
2	44,3	4,96	49	70
3	46,5	6,31	50	188.89
4	44,1	3,56	49	128.75
5	45,9	3,40	51	86.37
6	45,5	5,69	50	0

Keterangan :

- TTM : Tsunami Travel Time (waktu tempuh tsunami)
 Tmax : Tinggi maksimum di darat atau lokasi pengamatan
 Time : Waktu terjadi tinggi maksimum
 RH : Jangkauan run-up maksimum gelombang tsunami

3.2 Pembahasan

Kondisi laut di sekitar pusat gempa bergantung pada pembangkit atau hiposentrum gempa dan dislokasi atau pergeseran lempeng yang dapat menyebabkan terjadinya kenaikan dan penurunan muka air laut. Perubahan muka air laut terbesar terjadi di skenario 2 karena nilai dislokasi gempa lebih besar dari skenario yang lain. Sedangkan pada skenario 3 dan 4 dengan kedalaman gempa yang sama namun nilai dislokasi berbeda, terlihat bahwa naik turunnya muka air pada skenario 4 lebih besar. Semakin besar nilai dislokasi gempa yang terjadi, maka perubahan muka air laut di sekitar pusat gempa akan semakin besar. Semakin besar lebar dislokasi dibandingkan dengan kedalaman perairan, maka akan lebih besar pula nilai magnitude momen gempa dan pengaruhnya pada perairan di sekitar pusat gempa.

Tsunami Time Travel (TTT) merupakan waktu yang dibutuhkan gelombang tsunami untuk mencapai daratan pertama kali. *Tsunami Time Travel* dihitung dari waktu gelombang tinggi mencapai daratan. Perbedaan waktu tempuh tsunami ini diakibatkan oleh perbedaan jarak antara titik pengamatan dengan pusat gempa bumi. Semakin jauh jarak antara titik pengamatan dan pusat gempa, maka waktu tsunami untuk mencapai daratan akan semakin lama

Gelombang tsunami yang mencapai daratan akan mengalami perubahan bentuk karena kondisi perairan dan batimetri dasar laut. Titik 3 dimana terjadi gelombang tertinggi merupakan daerah dengan batimetri paling landai diantara titik pengamatan lain. Lokasi ini juga merupakan daerah terbuka yang tidak terhalang tebing dan berhadapan langsung dengan pusat gempa. Kondisi yang demikian menyebabkan gelombang tsunami akan pecah didekat daratan dan gelombang yang terbentuk akan lebih tinggi. Titik 1 dan 5 dimana terbentuk gelombang terendah merupakan lokasi yang terhalang oleh tebing dan tanjung. Titik 1 memiliki topografi yang relatif curam dan berupa karang. Lokasi ini tertutup oleh tebing. Titik 5 merupakan lokasi yang terhalang oleh Tanjung Pangandaran. Kondisi batimetri pada daerah tebing dan tanjung cenderung terjal, sehingga gelombang datang akan mengalami proses difraksi. Proses difraksi menyebabkan pembelokan arah gelombang di ujung tebing dan tanjung sehingga mengakibatkan gelombang akan masuk ke daerah yang terlindungi oleh tebing dan tanjung. Gelombang jenis ini akan berdampak pada penurunan ketinggian gelombang. Titik 2, 4 dan 6 merupakan lokasi yang landai namun tidak berhadapan langsung dengan pusat gempa sehingga tinggi maksimum tsunami tidak setinggi di titik 3.

Run-Up gelombang tsunami adalah kondisi dimana terjadi perubahan energi yang menyebabkan gelombang menjalar naik ke daratan. Nilai *run-up* gelombang tsunami pada setiap

lokasi pengamatan berbeda beda. Titik 3 merupakan daerah terbuka dengan kemiringan pantai yang sangat landai. Pada saat terjadi tsunami, akan terjadi *run-up* gelombang yang paling tinggi karena pada titik ini tidak ada penghalang yang mampu meredam ketinggian gelombang tsunami. Pada titik 6, dapat dikatakan tidak terjadi *run-up* gelombang karena titik tersebut merupakan daerah tebing dengan tinggi daratan melebihi tinggi tsunami. Titik 1 dan 5 memiliki nilai jangkauan *run-up* rendah karena kedua titik tersebut berada di daerah yang terhalang oleh tebing dan tanjung. Tebing dan tanjung ini mengakibatkan gelombang mengalami proses difraksi sehingga terjadi pembelokan gelombang dan daerah yang terlindungi akan tetap terkena gelombang namun dengan tinggi relatif lebih kecil. Keberadaan tebing dan tanjung ini mampu meredam tinggi gelombang tsunami. Berkurangnya tinggi gelombang tsunami akan mengakibatkan berkurangnya jangkauan *run-up* tsunami. Titik 2 dan 4 memiliki nilai *run-up* relatif tinggi namun tidak setinggi titik 3. Titik 2 dan 4 merupakan daerah percampuran antara daerah landai dan tebing dengan vegetasi.

3. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian di Teluk Pangandaran diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

1. Tinggi gelombang tsunami tertinggi terjadi di titik 3 dengan koordinat $07^{\circ} 40' 02.02''$ LS dan $108^{\circ} 36' 06.17''$ BT pada gempa berkekuatan 8.3 Mw yaitu 9,13 meter, sedangkan tinggi terendah terjadi di titik 1 dengan koordinat $07^{\circ} 44' 27.50''$ LS dan $108^{\circ} 29' 48.41''$ BT pada gempa berkekuatan 8,0 Mw yaitu 0,83 meter.
2. Waktu tempuh gelombang tsunami hingga mencapai daratan berkisar antara 39 menit – 43 menit dengan waktu terjadi tinggi maksimum tsunami pada kisaran 44 menit – 47 menit.
3. Jangkauan *run-up* gelombang tsunami tertinggi terjadi di titik 3 dengan koordinat $07^{\circ} 40' 02.02''$ LS dan $108^{\circ} 36' 06.17''$ BT antara 150 - 510 meter pada daerah landai dengan kisaran $1^{\circ} - 5^{\circ}$ dan jangkauan *run-up* terendah di titik 6 dengan koordinat $07^{\circ} 40' 42.79''$ LS dan $108^{\circ} 42' 32.81''$ BT yaitu 0 meter pada daerah tebing dengan tinggi tebing 8 meter.

Daftar Pustaka

- Chaeroni, W. Hendriyono dan W. Kongko. 2013. Pemodelan Tsunami dan Pembuatan Peta Mitigasi di Teluk Teleng Pacitan. *Jurnal Penanggulangan Bencana.*, 4(2): 23 – 33
- Diposaptono, S. dan Budiman. 2008. *Hidup Akrab dengan Gempa dan Tsunami*. PT. Sarana Komunikasi Utama. Bogor
- Latief, H., Y. Tanioka, H. Sunendar, A. R. Gusman and S. Koshimura. 2012. Tsunami Hazard Mitigation at Pangandaran, Indonesia. *Journal of Disaster Research.*, 7(1)
- Sugiyono. 2009. *Metode Penelitian Kuantitatif Kualitatif dan R&D*. Alfabeta. Bandung
- Triatmadja, R. 2010. *Tsunami : Kejadian, Penjalaran, Daya Rusak dan Mitigasinya*. Gajah Mada University Press. Yogyakarta