

PEMODELAN TSUNAMI DAN PEMBUATAN PETA RENDAMAN UNTUK KEPERLUAN MITIGASI DI TELUK TELENG, PACITAN

Chaeroni, Wahyu Hendriyono, Widjo Kongko
Balai Pengkajian Dinamika Pantai (BPDP)
Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT)
Jln. Grafika No.2 Sekip, Yogyakarta
E-mail: chaeroni@bppt.go.id

Abstract

The Indian Ocean to the south of Java Island is the subduction fault which is the source of the earthquakes and tsunamis. Historically, there were two major earthquake tsunamis in Banyuwangi (1994) and Pangandaran (2006), both causing high number of casualties. It shows that the area of the sea to the south of Java is a potential earthquake and tsunami region. This study describes the simulation of tsunami in the area of Teluk Teleng, Pacitan, East Java.

Teluk Teleng is one of recreational areas visited by a lot of domestic and overseas tourists. The results of this study are aimed for the purpose of mitigation. Modelling scenarios are based on large historical earthquake and tsunami events, and also on the earthquake analysis by Well & Coppersmith (1994) and Papazachos et al (2004). Simulation was carried out using the hydrodynamic module of MIKE21 software package, subdividing the domain by means of nested grid. The maximum wave heights and the run up were obtained, as well as the maximum inundation of affected areas. The results will be used for the determination of tsunami risks in the area, and as considerations for mitigation purposes.

Keywords: tsunami modeling, mitigation, inundation map.

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Pacitan merupakan salah satu kabupaten di Jawa Timur yang memiliki banyak tempat wisata potensial. Beberapa pantai yang berada di balik pegunungan di sekitar kota Pacitan menyimpan berjuta keindahan untuk dijadikan tempat wisata. Setiap hari libur banyak sekali pengunjung dari luar Pacitan yang datang ke tempat-tempat pariwisata tersebut, bahkan hari-hari biasa pun juga banyak yang datang ke tempat pariwisata di Pacitan. Itulah keistimewaan Kota Pacitan, walaupun kotanya kecil tapi sungguh terkenal hingga Pacitan disebut dengan kota wisata.

Beberapa obyek wisata pantai yang ada di Pacitan antara lain: Pantai Teleng Ria, Pantai Srau dan Pantai Klayar. Pantai Teleng Ria

adalah pantai yang terletak di Teluk Teleng yang menghadap ke selatan dengan hamparan Pasir Putih yang panjangnya 3 km. Jarak dari Ibukota Kabupaten Pacitan ke lokasi wisata hanya 3,5 km, dan dapat dengan mudah dicapai dengan berbagai jenis kendaraan. Fasilitas yang ada di tempat wisata tersebut antara lain gardu pandang, kolam renang, arena bermain anak, tempat penginapan, areal perkemahan, arena pemancingan, dan juga terdapat tempat pendaratan ikan. Di pantai ini juga dijadikan arena untuk tempat *surfing* yang sangat digemari wisatawan asing. Pantai Srau yang mempunyai pasir putih yang indah berada di wilayah kecamatan Pringkuku, Kabupaten Pacitan, yang jaraknya kurang lebih 25 km ke arah barat kota Pacitan dan dapat dilalui dengan kendaraan umum maupun pribadi. Pantai Klayar adalah pantai yang berada di wilayah Kecamatan Donorejo Kabupaten

Pacitan, yang jaraknya kurang lebih 35 km ke arah barat kota Pacitan. Pantai berpasir putih ini memiliki suatu keistimewaan yaitu adanya seruling laut yang sesekali bersiul di antara celah batu karang dan semburan ombak. Di samping itu juga terdapat air mancur alami yang sangat indah. Air mancur ini terjadi karena tekanan ombak air laut yang menerpa tebing karang berongga, bisa mencapai ketinggian 10 meter yang menghasilkan gerimis dan embun air laut yang diyakini berkhasiat sebagai obat awet muda.

Disamping Pacitan mempunyai banyak tempat wisata yang potensial, ternyata juga menyimpan potensi terkena bencana baik berupa bencana gempa maupun tsunami. Hal ini karena secara geografis letak Pacitan berhadapan langsung dengan daerah hunjaman (*subduction*), sangat rawan terhadap adanya gempa bumi dan tsunami. Wilayah selatan Kabupaten Pacitan yang berbatasan langsung dengan Samudera Hindia yang sekaligus merupakan jalur *the ring of fire* (pertemuan lempeng Samudera dengan lempeng benua), menyebabkan daerah ini menjadi daerah yang rawan gempa dan tsunami. Wilayah-wilayah yang kemungkinan besar mendapatkan dampak akibat tsunami adalah kawasan yang berbatasan langsung dengan laut, seperti Kawasan Teluk Teleng, Pantai Srau dan Pantai Klayar dan beberapa segmen pantai yang berkontur landai lainnya.

Dari data historis yang ada, telah terjadi gempa yang menimbulkan tsunami di wilayah selatan Pantai Jawa yaitu tsunami di Banyuwangi (1994) dan tsunami di Pantai Pangandaran (2006). Tsunami ini telah menimbulkan banyak korban, baik korban jiwa maupun infrastruktur yang ada. Dari kejadian ini, masyarakat di pesisir Jawa bagian selatan harus selalu waspada terhadap bencana ini. Karena Kabupaten Pacitan terletak di pesisir Jawa bagian selatan maka wilayah tersebut perlu dilakukan perencanaan mitigasi tsunami yang lebih komprehensif.

1.2. Tujuan

Kegiatan ini bertujuan untuk mengkaji parameter-parameter yang signifikan yang

memicu bencana tsunami dan melakukan analisis data serta simulasi numerik dalam rangka pembuatan peta rendaman tsunami di Teluk Teleng, Pacitan. Berdasarkan peta tersebut dibuat rekomendasi-rekomendasi untuk mitigasi bendanya dan mendukung program pengelolaan di kawasan pesisir untuk masyarakat tangguh terhadap bencana.

2. METODOLOGI

2.1. Lokasi

Lokasi kajian ini adalah berada di wilayah Teluk Teleng, Pacitan, Jawa Timur. Lokasi ini dipilih karena bentuknya yang berupa teluk akan mempunyai resiko yang tinggi jika terjadi tsunami.



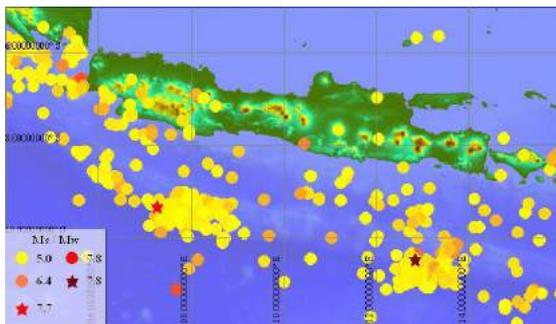
Gambar 1. Batasan Daerah Penelitian

2.2. Pengumpulan dan Pengolahan Data

Data masukan yang diperlukan dalam pemodelan tsunami ini adalah data batimetri (kedalaman air), data topografi dan data parameter gempa. Data batimetri dan data topografi yang digunakan dalam simulasi ini diperoleh dari BAKOSURTANAL, GEBCO (*General Bathymetric Chart of the Ocean*) dan SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*), sedangkan data parameter gempa merupakan data asumsi yang diperoleh dari hasil analisis kemungkinan terjadinya gempa di selatan Jawa yang dituangkan dalam beberapa skenario gempa. Skenario gempa ini dibuat berdasarkan data historis gempa yang pernah terjadi di selatan Jawa dan hasil analisis gempa yang dilakukan oleh Well & Coppersmith (1994) dan Papazachos et.al (2004). Seluruh data yang diperoleh masih berupa data mentah yang harus diolah sedemikian hingga mempunyai format yang sesuai dengan perangkat lunak yang dipakai dalam pemodelan ini.

2.3. Analisis Potensi Gempa dan Tsunami

Berdasarkan data historis, jumlah gempa bumi di zona subduksi Jawa yang terjadi dalam periode waktu 1977-2007 di dalam batas koordinat yang digambarkan pada Gambar 2, dengan kekuatan gempa lebih besar dari Ms 5.0 dan kedangkalan hiposenter 40 km adalah sekitar 420 kejadian (Widjo Kongko, et.al, 2010).



Gambar 2. Gempa (titik), Tsunami (bintang)

Di antara kejadian gempa bumi yang besar adalah gempa yang terjadi pada tahun

1994 dan 2006. Masing-masing diikuti oleh tsunami yang cukup besar (ITDB / WLD 2007) menyebabkan kerusakan dan korban yang banyak di pantai Jawa Selatan. Menurut basisdata dari USGS tentang parameter sumber gempa (USGS 2010), ada 20 kejadian gempa bumi yang besarnya di atas Mw6.5 dan kedalaman kurang dari 100 km dalam jangka waktu 1978-2008. Dua gempa bumi yang menghasilkan tsunami terjadi pada kedalaman kurang dari 20 km. Parameter sumber gempa utama hampir identik, yaitu pada masing-masing sudut strike $\sim 278^\circ$ - 297° , dip $\sim 10^\circ$, dan slip $\sim 90^\circ$. Selain itu ciri lain yang hampir identik adalah guncangan gempa sangat lemah dan hampir tidak dirasakan oleh orang di sepanjang pantai. Menurut Fujii dan Satake (2006), tipe gempa ini disebut "*Tsunami Earthquake*"

2.3.1. Kejadian Gempa dan Tsunami Banyuwangi (1994)

Pada tanggal 3 Juni 1994, dini hari jam 01.17 waktu setempat telah terjadi gempa dengan kekuatan *magnitude* gempa Mw= 7.6 di selatan pantai Jawa Timur tepatnya di episenter 10.690 Lintang Selatan, 113,130 Bujur Timur atau sekitar 240 km dari pantai selatan Jawa Timur. Setelah sekitar 45 menit dari gempa utama, terjadilah tsunami yang menyerang pantai selatan Jawa Timur dan sebelah barat daya pulau Bali.

Dari hasil survei lapangan yang dilakukan pada tanggal 20 Juni sampai 26 Juni 1994 oleh *International Tsunami Survey Team* (ITST) di sepanjang Barat Daya Pulau Bali, Selatan Jawa Timur dan Pulau Sempu (Tsuji et.al, 1995b, Synolakis et al, 1995) diperoleh keterangan bahwa ketinggian run up tsunami di barat Bali adalah 0.5 – 4.1 m, Pancer : 5.7 – 9.4 m, Rajekwesi : 4.2 – 3.9 m, Bandialit : 4.6 – 10.3 m, Popoh: 2.9 – 4.0 m. Sendang Biru : 2.1 – 3.6 m.

Bencana tersebut telah menewaskan korban sekitar 250 jiwa dan ratusan orang cedera, serta jutaan rupiah kerugian harta benda. Korban terbanyak terjadi di daerah Banyuwangi, sehingga terkenal dengan sebutan tsunami Banyuwangi. Kejadian tersebut menjadi pelajaran yang sangat

berharga dalam melakukan berbagai kegiatan mitigasi bencana dan kesiapsiagaan masyarakat di pantai selatan Jawa Timur.

2.3.2. Kejadian Gempa dan Tsunami Pangandaran (2006)

Sebuah gempa besar ($M_w = 7,7$) di sepanjang batas lempeng disertai tsunami terjadi di selatan Pulau Jawa pada 17 Juli 2006 -08:19:25 UTC. USGS mencatat setidaknya 22 gempa susulan di selatan Jawa berkisar antara 4,6 dan 6,1 *magnitude* (gambar 1). Dua gempa susulan terbesar diukur 6,0 dan 6,1. Yagi (2006) menganalisis gelombang seismik dan menyatakan bahwa gempa bumi terjadi di sepanjang sudut dip dangkal (10 derajat) patahan *thrust* dan merupakan tipikal antar lempeng gempa. Pembangkitan tsunami sebagai hasil dari beberapa penelitian baru oleh Yagi tampaknya dibangkitkan oleh patahan *thrust* dangkal. Sumber gempunya diestimasi selama 150 detik dan 200 detik dengan kecepatan *rupture* masing-masing 1.5 km/detik atau kurang dari 1.1 km/detik. Ammon dkk. [2006] mengestimasi kecepatan *rupture* rendah kira-kira 1.0-1,5 km/detik dan lamanya sumber gempa sekitar 185 detik menggunakan periode panjang bodi gelombang dan gelombang Rayleigh. Hara [2006] dalam rangka pencarian awal *magnitude* juga berpendapat bahwa lamanya radiasi energi tinggi adalah 156 detik, lebih lama dari tipe klas gempa M7.

2.4. Pemodelan Tsunami

Untuk memodelkan tsunami ini, baik penjalaran maupun limpasannya digunakan perangkat lunak Mike 21 – Modul Hidrodinamika 2D (2 dimensi) yang dikembangkan oleh DHI (*Danish Hydraulic Institute*). Perangkat lunak Mike 21 ini telah terbukti mampu mensimulasikan kejadian tsunami Aceh tahun 2004 (Pedersen et.al, 2005).

Model *numerik hidrodinamika* Mike 21 ini menggunakan persamaan konservasi massa dan momentum dengan penyelesaian matematiknya menggunakan pendekatan metode beda hingga (*Finite Difference Method*), sedangkan integrasi domain ruang-

waktu dilakukan dengan menggunakan teknik *Alternating Direction Implicit* (ADI).

2.4.1. Setting model

Model Hidrodinamika yang digunakan dalam pemodelan ini adalah model hidrodinamika yang menggunakan *nested grid* (grid tersarang). *Nested Grid* ini digunakan karena pertimbangan ekonomis waktu pada saat pacu model (*running model*) dengan daerah perhitungan yang sangat luas dan harus menjangkau mulai daerah sumber gempa/ tsunami hingga daerah *run up* tsunami. *Domain* (daerah perhitungan) yang digunakan dalam pemodelan ini dibagi menjadi 6 buah domain yaitu *domain A*, *domain B*, *domain C*, *domain D*, *domain E* dan *domain F*.

Tabel 1. Domain Perhitungan

Domain	Jarak Grid DX=DY (m)	Jumlah Grid	Batas Koordinat
A	614.79	1948 x 1029	104.93° s/d 115.93° BT 5.756° s/d 11.52° LS
B	204.93	571 x 286	110.52° s/d 111.59° BT 8.03° s/d 8.56° LS
C	68.31	1084 x 679	110.74° s/d 111.41° BT 8.09° s/d 8.51° LS
D	22.77	1780 x 1327	110.90° s/d 111.27° BT 8.13° s/d 8.41° LS
E	7.59	2203 x 2014	111.02° s/d 111.16° BT 8.17° s/d 8.31° LS
F	2.54	2125 x 2236	111.06° s/d 111.12° BT 8.19° s/d 8.24° LS

Domain A adalah *domain* yang paling besar yaitu daerah yang dibatasi dari 104.930 s/d 115.930 BT (Bujur Timur) dan 5.7560 s/d 11.520 LS (Lintang Selatan) yang mempunyai ukuran *grid* 1948 x 1029, dengan jarak tiap *grid* $dx=dy=614.79$ m. *Domain B* adalah daerah di dalam *domain A* dengan batas-batas 110.520 s/d 111.590 BT dan dan 5.7560 s/d 11.520 LS yang mempunyai ukuran *grid* 571 x 286, dengan jarak tiap *grid* $dx=dy=204.93$ m. *Domain C* adalah daerah di dalam *domain B* dengan batas-batas 110.740 s/d 111.410 BT dan dan 8.090 s/d 8.510 LS yang mempunyai ukuran *grid* 1084 x 679, dengan jarak tiap *grid* $dx=dy=68.31$ m. *Domain D* adalah daerah di dalam *domain C* dengan batas-batas 110.900 s/d 111.270 BT dan dan 8.130 s/d 8.410 LS yang mempunyai ukuran *grid* 1780 x 1327, dengan jarak tiap *grid*

$dx=dy= 22.77$ m. *Domain E* adalah daerah di dalam domain D dengan batas-batas 111.020 s/d 111.160 BT dan dan 8.170 s/d 8.310 LS yang mempunyai ukuran *grid* 2203 x 2014, dengan jarak tiap *grid* $dx=dy= 7.59$ m. *Domain F* adalah daerah di dalam *domain E* dengan batas-batas 116.060 s/d 111.120 BT dan dan 8.190 s/d 8.240 LS yang mempunyai ukuran *grid* 2125 x 2236, dengan jarak tiap *grid* $dx=dy= 2.54$ m.

2.4.2. Skenario Pemodelan

Dalam pemodelan tsunami Pacitan ini dibuat 6 (enam) skenario pemodelan yaitu diasumsikan bahwa pusat gempa terjadi di 2 (dua) lokasi yaitu di posisi 9.8610 LS, 110.9050 BT dan di posisi 9.4590 LS, 110.9790 BT dengan variasi kedalaman gempa, sudut *strike*, *dip*, *slip*, dislokasi dan variasi *magnitude* gempa $Mw=7.7$, $Mw=8.0$ dan $Mw=8.3$. Keenam skenario tersebut dapat dilihat seperti tabel di bawah ini :

Tabel 2. Skenario Gempa

Skenario	MW	Epicenter		Depth deg	Stk deg	Dip deg	Slip km	L km	W km	D m
		Lat	Lon							
1	7.7	-9.861	110.905	12	280	15	90	111	46	9
2	8.0	-9.861	110.905	12	280	15	90	165	15	15
3	8.3	-9.861	110.905	12	280	15	90	240	20	20
4	7.7	-9.459	110.979	24	280	15	90	111	46	3
5	8.0	-9.459	110.979	24	280	15	90	165	60	5
6	8.3	-9.459	110.979	24	280	15	90	240	75	7



Gambar 3. Lokasi Pusat Gempa

2.4.3. Pelaksanaan Simulasi Model

Dalam pelaksanaan simulasi model tsunami ini, ada tiga tahapan simulasi yaitu simulasi pembangkitan gelombang tsunami, simulasi penjalaran tsunami dari pusat gempa

dan simulasi limpasan tsunami sampai ke daratan.

2.4.3.1. Simulasi Pembangkitan Tsunami

Inisialisasi gelombang tsunami diperoleh dengan menghitung perpindahan vertikal kolom air laut di atas dasar samudra akibat gempa. Untuk membuat estimasi awal pembangkitan tsunami digunakan metode Mansinha dan Smylie (1971). Hasil dari perhitungan ini dijadikan data masukan sebagai kondisi awal (*initial condition*) dalam pacu model tsunami. Selanjutnya dengan menggunakan perangkat lunak Mike 21 – Modul Hidrodinamika, simulasi penjalaran tsunami dan limpasannya dijalankan.

2.4.3.2. Simulasi Penjalaran Tsunami

Pada pelaksanaan simulasi model penjalaran gelombang tsunami, hal yang utama menjadi kajian adalah penetapan waktu running model dan penentuan titik-titik observasi untuk pengukuran tsunami di pinggir pantai. Agar penjalaran gelombang tsunami di Teluk Teleng sampai melimpas ke daratan (*run up*) maka simulasi dijalankan dengan total durasi selama 1 jam (3600 detik) perhitungan. Titik-titik observasi ketinggian tsunami di pinggir pantai dibuat sebanyak 4 (empat) titik dengan posisi titik koordinat dapat dilihat dalam



Gambar 4. Koordinat Titik Observasi

gambar 5. Tujuan dari observasi ini adalah untuk mengetahui ketinggian tsunami serta waktu tiba tsunami.

2.4.3.3. Simulasi Limpasan Tsunami

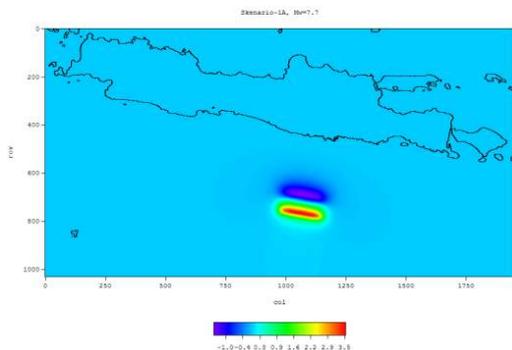
Limpasan tsunami atau tsunami run-up adalah suatu proses penjalaran tsunami yang telah melewati garis pantai dan telah melakukan penetrasi masuk ke daratan. Informasi penjalaran tsunami ke daratan atau limpasan tsunami menjadi kajian yang penting dalam kaitannya dengan pengkajian resiko bencana dan penentuan zona-zona aman. Hal yang penting pada limpasan tsunami adalah arah dominan tsunami datang, jarak terjauh penetrasi ke daratan, tinggi/flowdepth dan gambaran luasan genangan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil yang diperoleh dalam pemodelan tsunami ini antara lain adalah kondisi awal tinggi muka air di laut sekitar pusat gempa pada saat terjadi gempa, waktu tempuh penjalaran tsunami sampai ke pinggir pantai, ketinggian tsunami di pinggir pantai dan limpasan tsunami yang digambarkan dengan peta rendaman tsunami.

3.1. Skenario 1

Dalam skenario ini diasumsikan bahwa gempa berkekuatan $M_w = 7.7$ terjadi di posisi 9.8610 LS, 110.9050 BT, menghasilkan ketinggian muka air pada saat awal terjadinya gempa seperti pada gambar di bawah ini:



Gambar 5. Kondisi awal tinggi muka air ketika terjadi gempa skenario 1

Dari gambar 5. diperoleh informasi bahwa air laut di sekitar terjadinya gempa akan naik setinggi 3.5 m di atas permukaan laut dan turun 1.3 m di bawah permukaan laut.

Dari hasil pencatatan ketinggian tsunami di 4 (empat) titik observasi di pinggir pantai (lihat gambar 4) dan waktu tempuhnya sebagai berikut:

Tabel 3. Pencatatan tinggi tsunami dan waktu tempuhnya skenario 1

Point	TTT (menit)	Tmax (m)	Waktu (menit)
1	34.0	7.27	35.8
2	34.3	9.16	35.4
3	34.3	8.73	35.6
4	34.3	7.15	35.5

Keterangan:

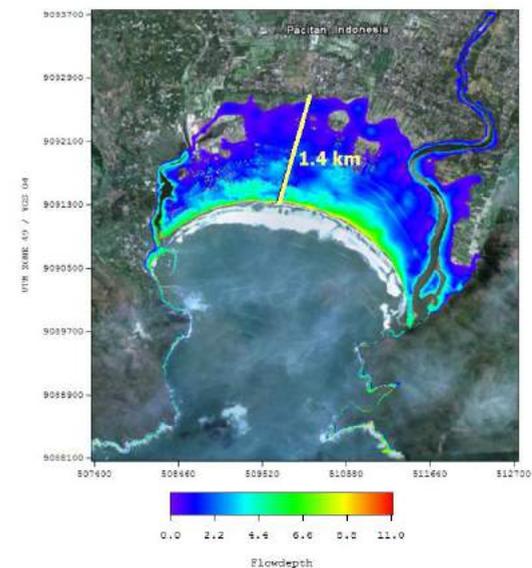
Point : titik-titik observasi

TTT: Tsunami Travel Time (waktu tempuh tsunami)

T max : ketinggian maksimum tsunami

Time : waktu terjadinya tinggi maksimum

Dari hasil pacu model selama 1 jam dihasilkan peta rendaman tsunami sebagai berikut:

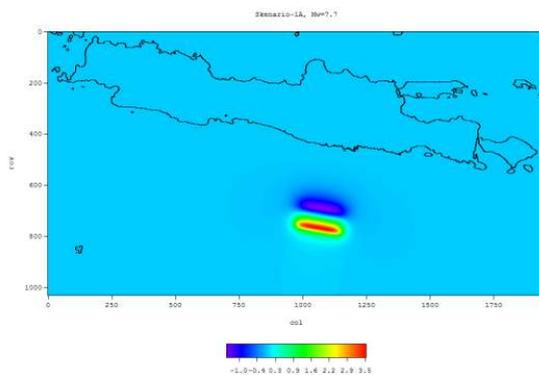


Gambar 6. Peta Rendaman Tsunami Skenario 1.

Peta rendaman ini menggambarkan distribusi ketinggian air di darat dihitung dari tinggi daratan (*flow depth*). Dari gambar 6., terlihat bahwa ketinggian maksimum tsunami di daratan mencapai 11 meter dan melimpas sampai daratan sejauh 1.4 km.

3.2. Skenario 2

Dalam skenario ini diasumsikan bahwa gempa berkekuatan $M_w = 8.0$ terjadi di posisi 9.8610 LS, 110.9050 BT, menghasilkan ketinggian muka air pada saat awal terjadinya gempa seperti pada gambar di bawah ini:



Gambar 7. Kondisi awal tinggi muka air ketika terjadi gempa skenario 2

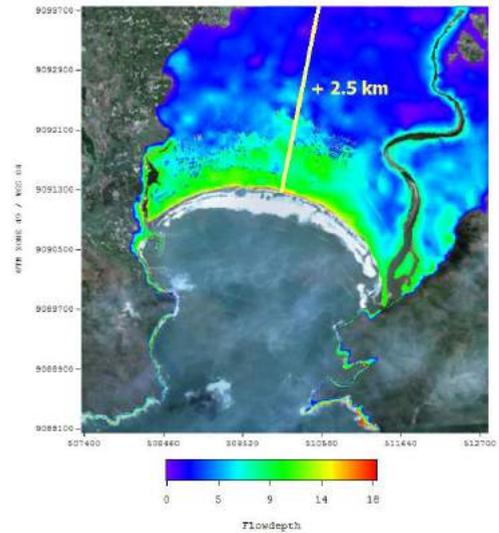
Dari gambar 7., diperoleh informasi bahwa air laut di sekitar terjadinya gempa akan naik setinggi 3.5 m di atas permukaan laut dan turun 1.3 m di bawah permukaan laut.

Dari hasil pencatatan ketinggian tsunami di 4 (empat) titik observasi di pinggir pantai (lihat gambar 4) dan waktu tempuhnya sebagai berikut:

Tabel 4. Pencatatan tinggi tsunami dan waktu tempuhnya skenario 2

Point	TTT (menit)	Tmax (m)	Waktu (menit)
1	33.7	13.62	34.9
2	34.0	15.79	34.9
3	33.9	14.13	35.2
4	33.7	11.57	35.2

Dari hasil pacu model selama 1 jam dihasilkan peta rendaman tsunami sebagai berikut:

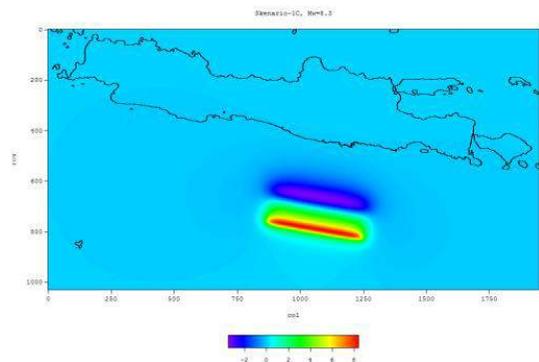


Gambar 8. Peta Rendaman Tsunami Skenario 2.

Dari gambar 8. terlihat bahwa ketinggian maksimum tsunami di daratan mencapai 18 m dan melimpas sampai daratan sejauh kurang lebih 2.5 km.

3.3. Skenario 3

Dalam skenario ini diasumsikan bahwa gempa berkekuatan $M_w = 8.0$ terjadi di posisi 9.8610 Lintang Selatan, 110.9050 Bujur Timur, menghasilkan ketinggian muka air pada saat awal terjadinya gempa seperti pada gambar di bawah ini:



Gambar 9. Kondisi awal tinggi muka air ketika terjadi gempa skenario 3

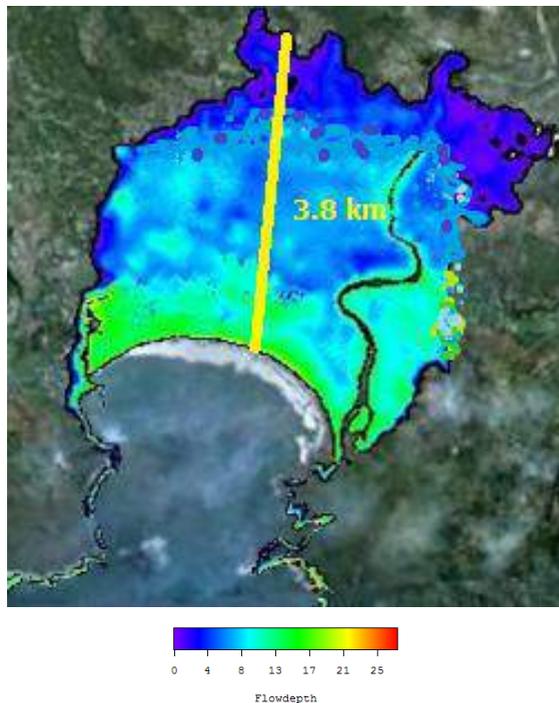
Dari gambar 9., diperoleh informasi bahwa air laut di sekitar terjadinya gempa akan naik setinggi 8.2 m di atas permukaan laut dan turun 2.8 m di bawah permukaan laut.

Dari hasil pencatatan ketinggian tsunami di 4 (empat) titik observasi di pinggir pantai (lihat gambar 4) dan waktu tempuhnya sebagai berikut:

Tabel 5. Pencatatan tinggi tsunami dan waktu tempuhnya skenario 3

Point	TTT (menit)	Tmax (m)	Waktu (menit)
1	33.2	17.08	35.1
2	33.6	20.68	34.8
3	33.5	19.26	35.0
4	33.3	15.08	35.2

Dari hasil pacu model tsunami skenario 3, selama 1 jam dihasilkan peta rendaman tsunami sebagai berikut:

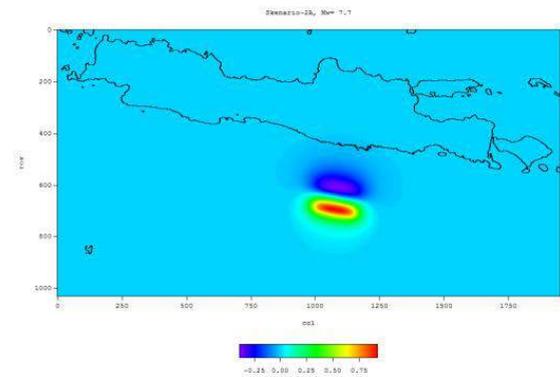


Gambar 10. Peta Rendaman Tsunami Skenario 3

Dari gambar 10. terlihat bahwa ketinggian maksimum tsunami di daratan mencapai 25 m dan melimpas sampai daratan sejauh kurang lebih 3.8 km.

3.4. Skenario 4

Dalam skenario ini diasumsikan bahwa gempa berkekuatan Mw= 7.7 terjadi di posisi 9.8610 LS, 110.9050 BT menghasilkan ketinggian muka air pada saat awal terjadinya gempa seperti pada gambar di bawah ini:



Gambar 11. Kondisi awal tinggi muka air ketika terjadi gempa skenario 4

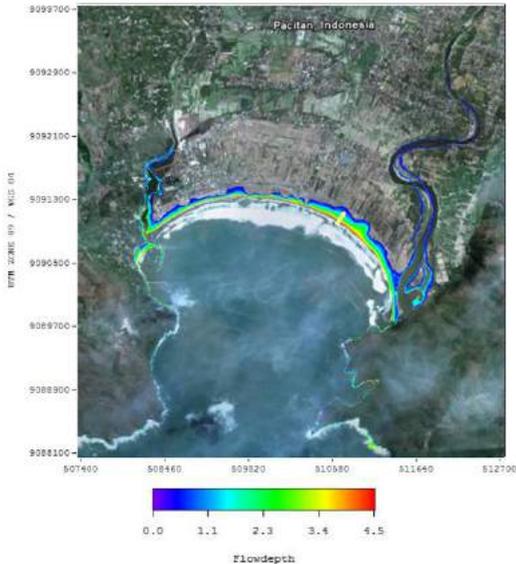
Dari gambar 11. diperoleh informasi bahwa air laut di sekitar terjadinya gempa akan naik setinggi 0.9 m di atas permukaan laut dan turun 0.5 m di bawah permukaan laut.

Dari hasil pencatatan ketinggian tsunami di 4 (empat) titik observasi di pinggir pantai (lihat gambar 4) dan waktu tempuhnya sebagai berikut:

Tabel 6. Pencatatan tinggi tsunami dan waktu tempuhnya skenario 4

Point	TTT (menit)	Tmax (m)	Waktu (menit)
1	29.5	3.47	32.6
2	30.0	4.28	32.1
3	29.9	4.16	32.9
4	30.1	3.78	32.7

Dari hasil pacu model tsunami skenario 4, selama 1 jam dihasilkan peta rendaman tsunami sebagai berikut:

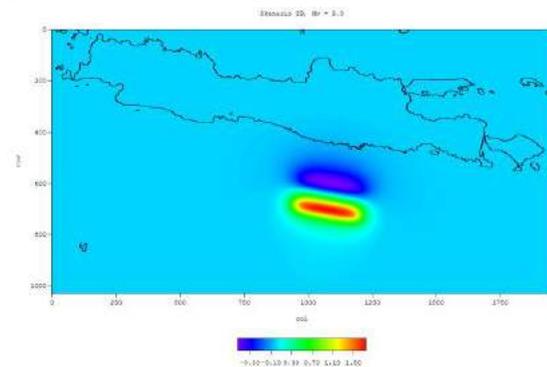


Gambar 12. Peta Rendaman Tsunami Skenario 4

Dari gambar 12. terlihat bahwa ketinggian maksimum tsunami di daratan mencapai 4.5 meter dan melimpas sampai daratan sejauh kurang lebih 400 m.

3.5. Skenario 5

Dalam skenario ini diasumsikan bahwa gempa berkekuatan $M_w = 8.0$ terjadi di posisi 9.8610 LS, 110.9050 BT. menghasilkan ketinggian muka air pada saat awal terjadinya gempa seperti pada gambar di bawah ini:



Gambar 13. Kondisi awal tinggi muka air ketika terjadi gempa skenario 5

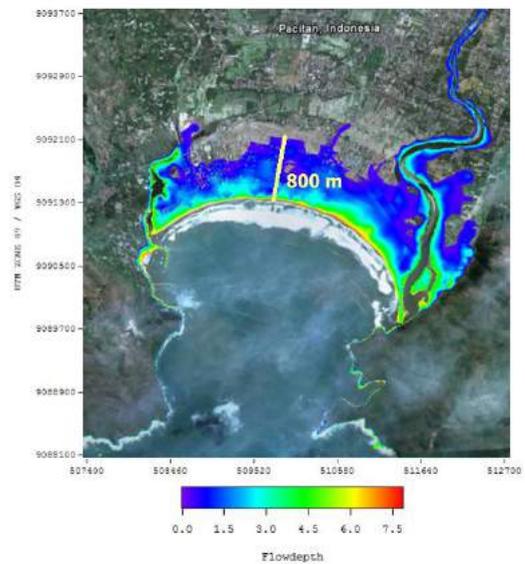
Dari gambar 13. diperoleh informasi bahwa air laut di sekitar terjadinya gempa akan naik setinggi 1.9 m di atas permukaan laut dan turun 0.6 m di bawah permukaan laut.

Dari hasil pencatatan ketinggian tsunami di 4 (empat) titik observasi di pinggir pantai (lihat gambar 5) dan waktu tempuhnya sebagai berikut:

Tabel 7. Pencatatan tinggi tsunami dan waktu tempuhnya skenario 5

Point	TTT (menit)	Tmax (m)	Waktu (menit)
1	29.2	6.22	31.9
2	29.6	7.22	31.5
3	29.5	7.01	31.9
4	29.6	6.39	31.8

Dari hasil pacu model tsunami skenario 5, selama 1 jam dihasilkan peta rendaman tsunami sebagai berikut:

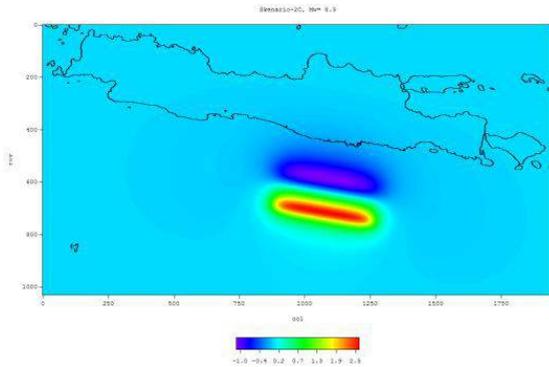


Gambar 14. Peta Rendaman Tsunami Skenario 5.

Dari gambar 14. terlihat bahwa ketinggian maksimum tsunami di daratan mencapai 7.6 m dan melimpas sampai daratan sejauh kurang lebih 800 m.

3.6. Skenario 6

Dalam skenario ini diasumsikan bahwa gempa berkekuatan $M_w = 8.0$ terjadi di posisi 9.8610 LS, 110.9050 BT. menghasilkan ketinggian muka air pada saat awal terjadinya gempa seperti pada gambar di bawah ini:



Gambar 15. Kondisi awal tinggi muka air ketika terjadi gempa skenario 6

Dari gambar 15. diperoleh informasi bahwa air laut di sekitar terjadinya gempa akan naik setinggi 2.6 m di atas permukaan laut dan turun 1.2 m di bawah permukaan laut.

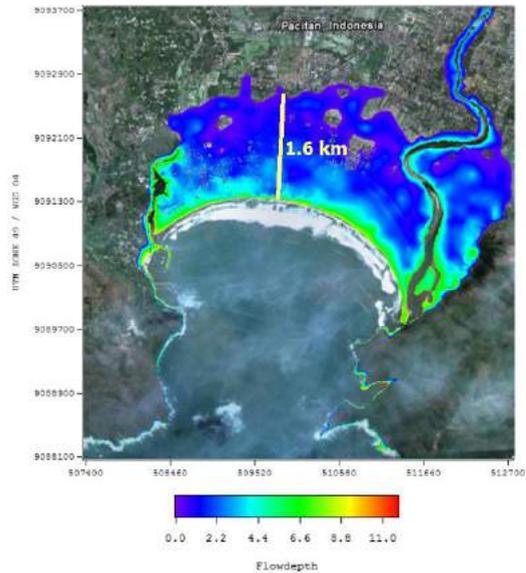
Dari hasil pencatatan ketinggian tsunami di 4 (empat) titik observasi di pinggir pantai (lihat gambar 4) dan waktu tempuhnya sebagai berikut:

Tabel 8. Pencatatan tinggi tsunami dan waktu tempuhnya skenario 6

Point	TTT (menit)	Tmax (m)	Waktu (menit)
1	28.7	8.40	32.3
2	29.1	8.46	30.9
3	29.0	8.32	31.3
4	29.0	7.85	32.1

Dari hasil pacu model tsunami skenario 6, selama 1 jam dihasilkan peta rendaman tsunami sebagai berikut:

Dari gambar 16. terlihat bahwa ketinggian maksimum tsunami di daratan mencapai 11 m dan melimpas sampai daratan sejauh kurang lebih 1.6 km.



Gambar 16. Peta Rendaman Tsunami Skenario 6.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Dari hasil analisis gempa dan simulasi model tsunami di kawasan Teluk Teleng, Pacitan, dapat disimpulkan dan disarankan sebagai berikut:

4.1. Kesimpulan

- Berdasarkan data historis dan analisis gempa bahwa kawasan Teluk Teleng sangat rawan terhadap bencana gempa dan tsunami.
- Dari hasil simulasi tsunami dengan variasi skenario kekuatan magnitude gempa $M_w = 7.7$, $M_w = 8.0$ dan 8.3 diperoleh hasil bahwa waktu tiba tsunami adalah kurang lebih 29 menit sampai 35 menit. Ketinggian maksimum gelombang tsunami sampai di pinggir pantai mencapai kurang lebih 4.5 meter sampai 25 m. Tsunami melimpas sampai daratan bisa mencapai 0.4 km sampai 3.8 km.

4.2. Saran

- Karena kawasan Teluk Teleng rawan terhadap gempa dan tsunami maka disarankan bahwa bangunan yang ada di kawasan tersebut harus tahan terhadap gempa dan tsunami.
- Masyarakat di kawasan itu harus selalu waspada terhadap ancaman gempa dan tsunami
- Mitigasi dapat dilakukan dengan penanaman vegetasi pantai, pembuatan jalur evakuasi yang efektif dan pembangunan shelter.
- Peta rendaman dari hasil pemodelan tsunami ini dapat dijadikan sebagai pedoman untuk pembuatan jalur evakuasi serta pengembangan kawasan Teluk Teleng.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih disampaikan kepada BAKOSURTANAL yang telah memberikan data batimetri dan topografi untuk kepentingan pemodelan tsunami ini, dan para pimpinan BPDP-BPPT yang telah memberi dukungan dalam pembuatan tulisan ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Fujii, Y., and K. Satake (2006), *Source of the July 2006 West Java tsunami estimated from tide gauge records*, *Geophysycal Research Letters*, Vol. 33, L24317, doi: 10.1029/2006GL028049, 2006
- Heri, A., et al (2008), *Lesson from July 17, 2006 South of Java Earthquake : A Note for INA_TEWS*, *International Conference on Tsunami Warning (ICTW)*, Bali, Indonesia, November 12-14, 2008
- Kongko, W., Torsten, S.(2010), *The Java Tsunami Model: Using Highly-Resolved Data to Model the Past Event and to Estimate the Future Hazard*, *proceedings of the International Conference on Coastal Engineering*, No. 32(2010), Shanghai, China. Paper: management.26. Retrieved from <http://journals.tdl.org/ICCE/>

Nanis, SN.(2011), *Modelling Tsunami & Inundation Analysis based on Simplified Source Description – Case Study of 11 March 2011 Tohoku, Japan Earthquake*, A Master Thesis, Euro Hydro-Informatics and Water Management

Abercrombie, R.E.,M. Antolik, K. Felzer, and G. Ekstrom(2001), *The 1994 Jawa tsunami earthquake: Slip over a subducting seamount*, *J. Geophys. Res.*, 106(B4), 6595 – 6608

Ammon, C.J., H. Kanamori, T. Lay, and A.A. Velaso (2006), *The 17 July 2006 Java tsunami earthquake*, *Geophys. Res. Lett.*, 33, L24308, doi: 10.1029/2006GL028005

Hamzah Latief, (2006), *Study on tsunamis and their mitigation by using a green belt in Indonesia*, *Tohoku University, Sendai, Japan, Dissertation of Doctor Philosophy*

Laporan Akhir: "Mitigasi Bencana dengan Soft Struktur", Departemen Kelautan dan Perikanan, Direktorat Jenderal Kelautan, Pesisir dan Pulau-pulau Kecil. (2007)

