SIMULASI TSUNAMI MENGGUNAKAN TUNAMI – N2 UNTUK IDENTIFIKASI SEBARAN DAERAH TERIMBAS TSUNAMI SEBAGAI SARANA MITIGASI (STUDI KASUS: UTARA JAWA TIMUR - BALI)

SKRIPSI

BRAWIUAL Oleh: **FATKHUR ROHIM** 0410930014-93



JURUSAN FISIKA FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM UNIVERSITAS BRAWIJAYA **MALANG** 2009

SIMULASI TSUNAMI MENGGUNAKAN TUNAMI – N2 UNTUK IDENTIFIKASI SEBARAN DAERAH TERIMBAS TSUNAMI SEBAGAI SARANA MITIGASI (STUDI KASUS: UTARA JAWA TIMUR - BALI)

SKRIPSI

Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains dalam bidang Fisika

> Oleh: FATKHUR ROHIM 0410930014-93



JURUSAN FISIKA FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM UNIVERSITAS BRAWIJAYA MALANG 2009

LEMBAR PENGESAHAN

SIMULASI TSUNAMI MENGGUNAKAN TUNAMI – N2 UNTUK IDENTIFIKASI SEBARAN DAERAH TERIMBAS TSUNAMI SEBAGAI SARANA MITIGASI (STUDI KASUS: UTARA JAWA TIMUR - BALI)

Oleh: FATKHUR ROHIM 0410930014-93

Setelah dipertahankan di depan Majelis Penguji pada tanggaldan dinyatakan memenuhi syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains dalam Bidang Fisika

Telah diperiksa dan disahkan oleh:

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Drs. Adi Susilo, M.Si., Ph.D. NIP. 131 960 447

Ariska Rudyanto, S.Si., MDM. NIP. 120 157 464

Mengetahui, Ketua Jurusan Fisika Fakultas MIPA Universitas Brawijaya

Drs. Adi Susilo, M.Si., Ph.D. NIP. 131 960 447

LEMBAR PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Fatkhur Rohim NIM : 0410930014-93

Jurusan : Fisika

Penulisan Tugas Akhir Berjudul:

SIMULASI TSUNAMI MENGGUNAKAN TUNAMI – N2 UNTUK IDENTIFIKASI SEBARAN DAERAH TERIMBAS TSUNAMI SEBAGAI SARANA MITIGASI (STUDI KASUS: UTARA JAWA TIMUR - BALI)

Dengan ini menyatakan bahwa:

- 1. Isi dari Tugas Akhir yang saya buat adalah benar-benar karya sendiri dan tidak menjiplak karya orang lain, selain nama-nama yang termaktub di isi dan tertulis di daftar pustaka dalam Tugas Akhir ini.
- 2. Apabila dikemudian hari ternyata Tugas Akhir yang saya tulis terbukti hasil jiplakan, maka saya bersedia menanggung segala resiko yang akan saya terima.

Demikian penyataan ini saya buat dengan segala kesadaran.

Malang, 30 Maret 2009 Yang Menyatakan,

Fatkhur Rohim 0410930014-93

ABSTRAK

SIMULASI TSUNAMI MENGGUNAKAN TUNAMI – N2 UNTUK IDENTIFIKASI SEBARAN DAERAH TERIMBAS TSUNAMI SEBAGAI SARANA MITIGASI (STUDI KASUS: UTARA JAWA TIMUR - BALI)

Fatkhur Rohim 0410930014-93

Tsunami adalah fenomena alam yang menyatakan suatu gelombang laut yang terjadi akibat gempabumi (tektonik, vulkanik, benda angkasa yang jatuh) di dasar laut. Tsunami mempunyai tinggi gelombang maksimum yang mencapai pantai sekitar 4 – 24 meter. Tsunami dapat menyebabkan banyaknya kerusakan termasuk mengancam keselamatan jiwa manusia dan material yang berada di sekitarnya. Salah satu cara untuk mengurangi efek dari tsunami adalah dengan mengantisipasi bencana yaitu dengan simulasi tsunami.

Data yang digunakan adalah data yang berasal dari studi literatur dari *database-online* USGS dan Global CMT untuk data seismisitas serta WinITDB dan NOAA untuk data tsunami. Dalam penelitian ini menggunakan TUNAMI – N2 yang dilengkapi dengan kode TUNAMI yang digunakan untuk mensimulasikan tsunami sehingga dapat digunakan untuk mengidentifikasi seberapa besar sebaran daerah yang terimbas tsunami di utara Jawa Timur - Bali.

Hasil yang didapatkan dari TUNAMI – N2 berupa tampilan simulasi yaitu deformasi area, *run up* maksimum secara regional dan sebaran gelombang tsunami yang akan mengimbas daerah-daerah yang berada di area Jawa Timur – Bali.

Kata kunci: Tsunami, deformasi area, run up, TUNAMI - N2
(Tohuku University's Numerical Analysis Model for
Investigation of Near-field tsunamis No.2), Kode
TUNAMI (Tohuku University's Numerical Analysis
Model for Investigation).

ABSTRACT

TSUNAMI SIMULATION USING TUNAMI – N2 TO IDENTIFY AFFECTED AREA BY TSUNAMI AS MITIGATION (CASE STUDI: NORTHERN EAST JAVA - BALI)

Fatkhur Rohim 0410930014-93

Tsunami is a natural phenomena, that form as heavy sea wave that are caused by earthquake (tectonic, volcanic, downfall of space things) in sea bed. Tsunami has elevation range between 4 - 24 meters. Tsunami could cause larger damages including human life and material thing. One of the ways to decrease the tsunami effects is to anticipate the disaster by tsunami simulation.

Data that is used in this study are secondary data which are from USGS and Global CMT to get seismic data and WinITDB and NOAA to get tsunami data. In this research, I use TUNAMI – N2 that consists of TUNAMI code which used tsunami simulation so it can be used to identify how big affected area at northern East Java – Bali.

The obtained simulation result from TUNAMI – N2 is deformation, maximum regional run up and spreading tsunami wave that will affect area located in northern East Java – Bali.

Keywords: Tsunami, deformation, run up, TUNAMI - N2 (Tohuku University's Numerical Analysis Model for Investigation of Near-field tsunamis No.2), TUNAMI (Tohuku University's Numerical Analysis Model for Investigation) Code.

KATA PENGANTAR

لِسُ مِ ٱللَّهِ ٱلزَّكِي ٱلزَّكِي ۗ يُ

Alhamdulillahi Robbil'alamin, Puji syukur kehadirat Allah SWT yang telah memberikan curahan ilmu, rahmat dan hidayahNya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan judul "SIMULASI TSUNAMI MENGGUNAKAN TUNAMI — N2 UNTUK IDENTIFIKASI SEBARAN DAERAH TERIMBAS TSUNAMI SEBAGAI SARANA MITIGASI (STUDI KASUS: UTARA JAWA TIMUR - BALI)".

Tugas akhir ini disusun guna memenuhi persyaratan dalam meraih gelar Sarjana Sains (S.Si) dalam bidang Fisika di Fakultas MIPA Universitas Brawijaya Malang.

Selesainya laporan ini juga berkat adanya bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak. Karena itu, penulis sampaikan penghargaan dan ucapan terima kasih kepada :

- 1. Kedua orang tua penulis, H. Abdul Fatah dan Hj. Rodliyah (Almh), Hj. Rusminah, kakak, adik serta Ulil tercinta yang telah memberikan semangat dan doa restunya demi kelancaran dalam menuntut ilmu.
- 2. Bapak Drs. Adi Susilo, M.Si., Ph.D., selaku Ketua Jurusan Fisika dan Dosen Pembimbing I yang telah bersedia meluangkan waktunya dan selalu memberikan perhatian dalam membimbing penulis.
- 3. Bapak Ariska Rudyanto, S.Si., MDM., selaku Pembimbing II yang telah banyak memberikan arahan dan bimbingan selama penyusunan tugas akhir ini.
- 4. Bapak Petrus Demon Sili, S. IP., selaku Kepala Stasiun BMKG Tretes yang telah memberi kesempatan kepada penulis untuk melakukan penelitian ini.
- 5. Bapak Ir. D.J. Djoko H.S., M.Phil., Ph.D., selaku Dosen Penasehat Akademik yang telah meluangkan waktu dan sabar memberikan masukan serta motivasi kepada penulis untuk menyelesaikan tugas akhir ini.
- 6. Bapak Hariyanto, S.si., dan Bagus Haryo W. K., S. P., serta segenap staf Badan Meteorologi dan Geofisika Tretes yang

- telah banyak membantu dalam kelancaran urusan akademik penulis.
- 7. Bapak Drs. Arinto Yudi P. W., M.Sc., Ph.D., Bapak Ir. Wiyono, M.Si., dan Bapak Chomsin S. Widodo, S.Si., M.Si., Bapak Gancang Saroja, S.Si selaku dosen penguji, terima kasih atas kritik dan sarannya.
- 8. Bapak dan Ibu dosen, seluruh karyawan dan laboran Jurusan Fisika Universitas Brawijaya, atas ilmu, bimbingan dan bantuannya selama ini kepada penulis.
- 9. Teman-teman Fisika khususnya Angkatan 2004, terima kasih untuk semua hal yang sudah dibagi bersama-sama.
- 10. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu, terima kasih atas segala dukungannya.

Penulis yakin bahwa dalam penulisan tugas akhir ini masih jauh untuk dikatakan sempurna sehingga saran dan kritik pembaca sangat penulis harapkan. Akhirnya semoga tugas akhir ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca, khususnya mahasiswa Fisika Fakultas Ilmu Matematikan dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Brawijaya.

Malang, 30 Maret 2009

Penulis

DAFTAR ISI

	H	Ialaman
HAI	LAMAN JUDUL	i
LEN	MBAR PENGESAHAN	iii
LEN	MBAR PERNYATAAN	iv
ABS	STRAK	v
ABS	STRACT	vi
KA	STRACT ΓΑ PENGANTAR	vii
DAI	FTAR ISI	ix
DAI	FTAR TABEL	xi
DAI	FTAR GAMBAR	xii
DAI	FTAR LAMPIRAN	xiii
DAI	A DENDAMM LINE (COLOR)	
BAI 1.1	B I PENDAHULUAN Latar Belakang Rumusan Masalah	1
1.1	Dumusan Masalah	1 2
1.2	Rumusan Wasalah	2
	Batasan Masalah Tujuan Penelitian	3
1.4 1.5	Manfaat Penelitian	3
1.5	Maniaat Penentian	3
BAF	B II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1	Pengertian Gempabumi Pengertian Tsunami	5
2.2	Pengertian Tsunami	5
2.3	Penyebab Terjadinya Tsunami	5
2.4	Penyebab Terjadinya TsunamiKarakteristik Tsunami	7
2.5	Hubungan Magnitudo dan Kecepatan dengan	
	Kedalaman	8
2.6	KedalamanKlasifikasi Tsunami	9
2.7	Konsep Umum Tektonik Wilayah Utara Jawa Timur – B	ali 10
2.8	Teori Deformasi	14
2.9	Model Patahan dan Penentuan Parameter	14
DAI	B III METODOLOGI	
3.1	Waktu dan Tempat Penelitian	17
3.2	Alat dan Bahan Penelitian	17
3.2	3.2.1 Alat-alat Penelitian	17
	5.2.1 Alat-alat Pellelltiali	1 /

3.2.2 Bahan-bahan Penelitian	17
3.3 Tahapan Penelitian	18
3.3.1 Studi Literatur	18
3.3.2 Penentuan Parameter Gempa	19
3.3.3 Sumber Tsunami	20
3.3.4 Kode TUNAMI – N2	22
3.3.5 Daerah Yang Terimbas Tsunami	23
3.3.6 Tinggi Run Up	23
3.3.6 Tinggi Run Up 3.3.7 Analisis	24
0/ 05/10/04	
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1 Analisis Hasil	27
4.1 Aliansis Hasti	27
4.2.1 Case 1	27
4.2.1 Case 1	32
4.2.2 Case 2	37
4.2.3 Case 3 4.2.4 Case 4	41
4.3 Antisipasi Terhadap Ancaman Tsunami	48
4.5 Antisipasi Ternadap Ancaman Tsunami	40
BAB V PENUTUP	S .
5.1 Kesimpulan	51
5.2 Saran	52
DAFTAR PUSTAKA	53
LAMPIRAN-LAMPIRAN	55
20 7 1 1 2 B	

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Skala Magnitudo Tsunami	9
Tabel 3.1	Data Sumber Tsunami	2.1



Halaman

DAFTAR GAMBAR

	Talaman
Gambar 2.1 Seismisitas Bali dan sekitarnya	13
Gambar 2.2 Jaringan Pemantauan Gempabumi di Bali	
Gambar 2.3 Parameter Patahan	15
Gambar 3.1 Peta Daerah Rawan Tsunami di Indonesia	18
Gambar 3.2 Studi Area untuk Simulasi Tsunami	19
Gambar 3.3 Diagram Alir Simulasi Tsunami	- 25
Gambar 4.2.1 Hasil Case 1	27
Gambar 4.2.1 (a) Tampilan Deformasi	28
Gambar 4.2.1 (b) Sebaran Tsunami	
Gambar 4.2.1 (c) Run up maksimum Tsunami	
Gambar 4.2.2 Hasil Case 2	
Gambar 4.2.2 (a) Tampilan Deformasi	33
Gambar 4.2.2 (b) Sebaran Tsunami	33
Gambar 4.2.2 (c) Run up maksimum Tsunami	36
Gambar 4 2 3 Hasil Case 3	37
Gambar 4.2.3 (a) Tampilan Deformasi	(38
Gambar 4.2.3 (b) Sebaran Tsunami	38
Gambar 4.2.3 (c) Run up maksimum Tsunami	41
Gambar 4.2.4 Hasil <i>Case 4</i>	41
Gambar 4.2.4 (a) Tampilan Deformasi	42
Gambar 4.2.4 (b) Sebaran Tsunami	43
Gambar 4.2.4 (c) Run up maksimum Tsunami	46

DAFTAR LAMPIRAN

	Hala	ıman
Lampiran 1	Data-data	55
Lampiran 2	Daftar Istilah	61
Lampiran 3	Langkah-langkah Menjalankan Simulasi	63
Lampiran 4	Daftar Tampilan Gambar Hasil Simulasi Program	
	TUNAMI – N2	64





BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Letak geografis Indonesia yang membujur dari 94° – 141° BT dan 6° LU – 11° LS merupakan negara kepulauan dengan tingkat kegempaan tinggi karena terletak pada pertemuan tiga lempeng tektonik yang bergerak satu sama lainnya. Ketiga lempeng tektonik tersebut adalah lempeng Eurasia, lempeng Indo-Australia dan lempeng Pasifik. Pergerakan relatif ketiga lempeng ini merupakan penyebab utama aktifitas gempabumi di Indonesia. Kondisi lingkungan alam ini membuat Indonesia sering dilanda bencana gempabumi, bahkan yang berimbas terjadi tsunami.

Gempa merupakan pergeseran tiba-tiba dari lapisan tanah di bawah permukaan bumi. Ketika pergeseran itu terjadi, timbul getaran yang disebut gelombang gempa atau gelombang seismik. Getaran itu timbul karena adanya retakan atau dislokasi dari lapisan batuan serta terjadinya pelepasan energi yang terakumulasi selama kurun waktu tertentu. Gelombang ini menjalar melalui fokus gempa ke segala arah di dalam bumi. Ketika gelombang ini mencapai permukaan bumi, getarannya bisa merusak dan apabila pusat gempa (hypocenter) semakin dangkal maka penyebaran intensitas gempa di permukaan bumi akan semakin cepat dengan daerah yang mengalami kerusakan juga semakin luas.

Tsunami adalah suatu gelombang laut yang terjadi secara mendadak yang disebabkan karena terganggunya kestabilan air laut yang diakibatkan oleh gempabumi baik tektonik ataupun vulkanik, longsoran dan jatuhan meteor yang terjadi di dasar laut.

Pada penelitian ini, tsunami yang dibahas adalah tsunami yang berindikasi terjadi di daerah utara pulau Bali, Jawa Timur dan sekitarnya yang diperoleh dari data-data seismisitas yang berasal dari USGS dan Global CMT Harvard (http://www.globalcmt.org), data-data tsunami yang berasal dari WinITDB dan NOAA (http://ngdc.noaa.gov/hazard/tsu_db.shtml) serta didukung oleh konsep umum tektonik dari daerah utara pulau Bali, Jawa Timur dan sekitarnya.

Menurut penelitian dan sumber data yang terkumpul, baik data yang berasal dari data seismisitas, data tsunami dan konsep umum

tektonik daerah utara Jawa Timur - Bali dan sekitarnya, diduga daerah utara Jawa Timur - Bali dan sekitarnya yang terletak pada koordinat 112^0-116^0 BT dan -9^0--6^0 LS pernah terjadi tsunami. Hal ini ditandai dan dibuktikan dengan adanya patahan di Singaraja—Bali dan patahan yang berada di perairan Sumenep—Madura.

Sistem simulasi bagaikan jantung dari sistem peringatan dini tsunami. Karena tidak adanya observasi laut yang langsung, terusmenerus dan mencakup secara global, maka seluruh alat sensor menghasilkan informasi yang sifatnya garis besar. Sistem simulasi ini mengevaluasi informasi yang bersifat garis besar tersebut untuk menghasilkan gambaran lengkap atas situasi yang terjadi. Selain untuk proses peringatan, hasil-hasil simulasi seperti misalnya petapeta genangan (inundasi) juga dapat digunakan untuk perencanaan dan mitigasi. Melalui simulasi juga dapat ditentukan zona-zona rawan bencana dan infrastruktur yang rentan pun dapat diidentifikasi.

Dari uraian di atas, penulis tertarik untuk mempelajari dan membuktikan bahwa tsunami tidak hanya terjadi di daerah selatan pulau Bali, Jawa Timur dan sekitarnya tetapi tsunami juga bisa terjadi di daerah utara pulau Bali, Jawa Timur dan sekitarnya.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan pada penelitian ini meliputi:

- 1. Bagaimana mengidentifikasi bentuk simulasi tsunami yang disebabkan oleh gempabumi tektonik?.
- 2. Bagaimana memprediksi daerah-daerah yang berpotensi rawan terhadap bencana tsunami setelah di daerah utara Jawa Timur Bali $(112^0 116^0 \, \text{BT} \, \text{dan} \, 6^0 9^0 \, \text{LS})$?.

1.3 Batasan Masalah

Pada penelitian yang dilakukan ini, permasalahan yang timbul dibatasi pada:

- 1. Gempa yang menimbulkan tsunami dan daerah yang terindikasi terimbas tsunami.
- 2. Kerawanan yang dimaksud adalah tingkat resiko terjangan tsunami terhadap penutup lahan, jika suatu saat terjadi tsunami.

- 3. Daerah yang dianalisis, berada di utara pulau Bali, Jawa Timur dan sekitarnya yang mengindikasikan terjadi tsunami.
- 4. Data yang digunakan dalam kasus ini adalah data yang diperoleh dari USGS, Global CMT Harvard, NOAA dan WinITDB.

1.4 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk:

- Mengidentifikasi bentuk simulasi tsunami yang disebabkan oleh gempabumi tektonik di utara Jawa Timur – Bali dan sekitarnya.
- 2. Memprediksi daerah-daerah yang berpotensi rawan terhadap bencana tsunami di utara pulau Bali, Jawa Timur, dan sekitarnya $(112^0 116^0 \, \text{BT} \, \text{dan} \, 6^0 9^0 \, \text{LS})$.

1.5 Manfaat Penelitian

Hasil kajian ini diharapkan dapat menambah pengetahuan tentang tsunami yang terjadi akibat gempabumi tektonik. Selain itu, daerah sebaran yang berpotensi terimbas oleh tsunami dapat diketahui serta dapat dijadikan referensi untuk membuat zona rawan tsunami dan titik evakuasinya pada tiap-tiap daerah yang berada di dekat pantai utara Bali, Jawa Timur dan sekitarnya.

JERSITAS BRAWIUPLA Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian Gempabumi

Gempabumi (tektonik) adalah suatu gejala alam yang terjadi karena adanya tumbukan, gesekan ataupun regangan antara dua lempeng tektonik atau lebih. Akibat tumbukan tersebut terjadilah pengumpulan/akumulasi energi dalam bentuk stress dan strain pada tempat pada pertemuan antar lempeng-lempeng tektonik tersebut. Pengumpulan energi itu berlangsung terus-menerus hingga mencapai batas maksimum kemampuan suatu batuan menahannya, sebelum energi terakumulasi tersebut dilepaskan secara mendadak dalam bentuk goncangan atau getaran yang merambat ke segala arah sampai ke permukaan bumi (Santoso, 2002).

2.2 Pengertian Tsunami

Tsunami merupakan istilah dari bahasa Jepang yang terdiri dari dua kata, yaitu Tsu dan Nami. Tsu berarti Pelabuhan dan Nami adalah gelombang besar. Lebih tepatnya, tsunami diartikan sebagai suatu gelombang laut yang terjadi secara mendadak yang disebabkan karena kestabilan air laut terganggu akibat gempabumi (tektonik, vulkanik, benda angkasa jatuh) di dasar laut (Pasaribu, 2005).

Dapat dikemukan bahwa tidak semua gempabumi di dasar laut menimbulkan tsunami. Begitu juga dari pengalaman membuktikan bahwa tanpa adanya gempa bumi di dasar laut tsunami bisa saja terjadi. Seperti yang terjadi pada tahun 1976 di Larantuka dan Pantai Padang pada tahun 1980.

Pada masa sekarang, penggunaan istilah tsunami meluas pada gelombang besar yang tidak hanya disebabkan oleh gempabumi tetapi juga disebabkan oleh letusan gunung berapi, longsoran dan lain-lain (Harsanugraha dan Julzarika, 2008).

2.3 Penyebab Terjadinya Tsunami

Tsunami paling sering disebabkan oleh gempabumi, tetapi dapat pula disebabkan oleh tanah longsor, letusan gunung berapi, dan sangat jarang oleh meteor atau benturan lain di permukaan lautan. Tsunami

terjadi terutama karena adanya pergeseran tektonik di bawah laut yang disebabkan oleh gempa bumi di pusat yang dangkal sepanjang daerah subduksi. Lempeng kerak bumi (crustal blocks) yang terdorong ke atas dan ke bawah memberi energi potensial pada Massa air sehingga terjadi perubahan drastik pada permukaan air laut di daerah yang terkena. Energi yang dilepas ke dalam massa air itu menyebabkan timbulnya tsunami – yakni energy yang memancar menjauh dari daerah sumbernya dalam bentuk gelombang berperiode panjang.

Tsunami terjadi karena adanya gangguan impulsif terhadap air laut akibat terjadinya perubahan bentuk dasar laut secara tiba-tiba. Ini terjadi karena tiga sebab, yaitu: gempabumi, letusan gunung api dan longsoran (*land slide*) yang terjadi di dasar laut. Dari ketiga penyebab tsunami, gempabumi merupakan penyebab utama. Besar kecilnya gelombang tsunami sangat ditentukan oleh karakteristik gempabumi yang menyebabkannya.

Bagian terbesar sumber gangguan implusif yang menimbulkan tsunami dahsyat adalah gempa bumi yang terjadi di dasar laut. Walaupun erupsi vulkanik juga dapat menimbulkan tsunami dahsyat, seperti letusan gunung Krakatau pada tahun 1883.

Gempabumi di dasar laut ini menimbulkan gangguan air laut, yang disebabkan berubahnya profil dasar laut. Profil dasar laut ini umumnya disebabkan karena adanya gempabumi tektonik yang bisa menyebabkan gerakan tanah tegak lurus dengan permukaan air laut atau permukaan bumi. Apabila gerakan tanah horizontal dengan permukaan laut, maka tidak akan terjadi tsunami.

Apabila gempa terjadi didasar laut, walaupun gerakan tanah akibat gempa ini horizontal, tetapi karena energi gempa besar, maka dapat meruntuhkan tebing-tebing (bukit-bukit) di laut, yang dengan sendirinya gerakan dari runtuhan ini adalah tegak lurus dengan permukaan laut. Sehingga walaupun tidak terjadi gempa bumi tetapi karena keadaan bukit/tebing laut sudah labil, maka gaya gravitasi dan arus laut sudah bisa menimbulkan tanah longsor dan akhirnya terjadi tsunami. Hal ini pernah terjadi di Larantuka tahun 1976 dan di Padang tahun 1980.

Gempa-gempa yang paling mungkin dapat menimbulkan tsunami adalah :

1. Gempabumi yang terjadi di dasar laut.

- 2. Kedalaman pusat gempa kurang dari 60 km.
- 3. Magnitudo gempa lebih besar dari 6,0 Skala Richter.
- 4. Jenis pensesaran gempa tergolong sesar naik atau sesar turun. Gaya-gaya semacam ini biasanya terjadi pada zona bukaan dan zona sesar.

(Anonymous, 2008^a)

2.4 Karakteristik Tsunami

Secara garis besar tsunami dapat diartikan sebagai gelombang laut dengan periode yang ditimbulkan oleh suatu gangguan implusif yang terjadi pada medium laut. Periode gelombang tsunami berkisar antara 10 - 60 menit.

Gangguan pembangkit tsunami biasanya berasal dari berbagai sumber, misalnya gempabumi, erupsi vulkanik atau *land slide* yang terjadi di dasar laut. Gelombang yang disebabkan oleh gaya implusif bersifat *transien* atau gelombang yang bersifat sesaat. Gelombang ini berbeda dengan gelombang-gelombang laut lain yang bersifat kontinyu, seperti gelombang permukaan laut yang ditimbulkan oleh tiupan angin atau gelombang pasang laut yang disebabkan gaya tarik benda angkasa.

Selain bersifat *transien*, gelombang tsunami juga bersifat *dispersive*, artinya periodenya berubah terhadap jarak sumber gangguan implusif. Gelombang tsunami yang menjalar dekat dengan daerah sumber gempa, mempunyai periode lebih kecil dibandingkan dengan gelombang tsunami yang menjalar jauh dari sumber.

Besar kecilnya tsunami yang yang terjadi selain tergantung pada bentuk morfologis pantai, juga dipengaruhi oleh karakteristik sumber gangguan impulsif yang ditimbulkannya. Karakteristik gelombang tsunami meliputi energi, magnitudo, kedalaman pusat gempa, mekanisme fokus dan luas *rupture area*.

Dalam penjalarannya ke pantai dari sumber gangguan implusif, gelombang tsunami akan mengalamai tranformasi tinggi, panjang, kecepatan ataupun arah gelombang. Transformasi disebabkan adanya perubahan kedalaman laut yang dilalui tsunami, atau tsunami melintasi alur yang lebih sempit seperti selat, sungai atau teluk.

2.5 Hubungan Magnitudo dan Kecepatan dengan Kedalaman

Dari hasil penellitian gelombang-gelombang tsunami yang terjadi di Jepang, Iida menurunkan hubungan empiris antara magnitudo ambang dengan kedalaman pusat gempa yang berpotensi menimbulkan tsunami, yaitu :

$$Mm = 6.3 + 0.005 D \tag{2.1}$$

Dimana:

Mm = magnitudo minimum atau ambang gempa (skala Richter) yang berpotensi menimbulkan tsunami

D = kedalaman pusat gempa.

Dari hubungan empiris tersebut terlihat bahwa mengitudo minimum gempabumi yang memungkinkan terjadinya tsunami adalah 6,3 SR. Dan gempa-gempa dangkal yang lebih berpotensi untuk menimbulkan gelombang tsunami. Di Jepang rata-rata kedalaman maksimumnya sekitar 80 km.

Apabila sebagian besar laut naik turun secara mendadak, maka air di atasnya akan mengalami gangguan berupa suatu geombang yang menyebar ke segala arah. Kecepatan gelombang ini tergantung dari kedalaman laut dan percepatan gravitasi bumi.

Rumus sederhana dari kecepatan gelombang tsunami adalah:

$$V = \sqrt{gh} \tag{2.2}$$

Dimana:

V = kecepatan gelombang (m/s)

 $g = percepatan gravitasi (m/s^2)$

h = kedalaman perairan (m)

Di tengah lautan di mana kedalaman laut cukup besar, maka kecepatan gelombang juga besar, demikian pula periode gelombang, sedangkan amplitudonya kecil dan panjang gelombangnya bisa mencapai puluhan kilometer.

Jika gelombang mendekati pantai dimana kedalaman laut berkurang, kecepatan gelombangnya pun semakin kecil, tetapi diimbangi dengan berkurangnya periode gelombang dan bertambahnya amplitudo (tinggi gelombang), sesuai dengan hukum Kekekalan Energi (Pasaribu, 2005).

2.6 Klasifikasi Tsunami

Tsunami sering kali menyebabkan kerusakan yang sangat besar. Apabila tsunami melintasi alur yang sempit dan dangkal maka tinggi gelombang tsunami akan mengalami perbesaran yang merupakan fungsi dari perubahan kedalaman dan lebar alur yang dilewati. Tsunami mempunyai panjang gelombang yang besar sampai mencapai 100 km berbentuk ellips dengan amplitudo sekitar 5 meter.

Kecepatan penjalaran tsunami di laut berkisar antara 50 - 1000 km/jam. Kecepatan ini berkaitan dengan kedalaman laut. Pada dasarnya bila kedalaman laut berkurang setengahnya, maka kecepatan berkurang tiga perempatnya. Sedangkan tinggi gelombang tsunami justru akan bertambah jika mendekati pantai, karena adanya perubahan kedalaman laut yang dilalui tsunami. Tinggi tsunami mencapai maksimum pada daerah pantai yang landai dan berlekuk seperti teluk atau muara sungai, maka gelombang tsunami akan mencapai puluhan meter (Sahala dan Stewart, 1984).

Iida membuat klasifikasi dari tsunami berdasarkan ukuran gelombangnya sebagai berikut :

Tabel 2.1 Skala Magnitudo Tsunami

Magnitudo (M)	Ketinggian (h)	Kerusakan
0		Sangat Kecil
1	2 -	Kecil
2	4 – 6	Menengah
3	10 – 30	Besar
4	>30	Sangat Besar

Ukuran sangat kecil biasanya tidak terasa tetapi masih dapat diamati. Ukuran kecil mulai terasa dan sangat besar mulai merusak. Berdasarkan klasifikasi itu, Iida mengamati hubungannya dengan gempabumi dan memperoleh hubungan linear antara magnitude gempabumi dengan besaran tsunami.

Gempa bumi dengan magnitudo 7 Skala Richter dapat menimbulkan tsunami dalam skala 0 sedangkan magnitudo gempa 8 dapat menghasilkan skala 1 sampai 2 dan gempa 8 sampai 9 bisa menghasilkan tsunami yang dahsyat dapat mencapai skala 3.

Gempabumi bermagnitudo kurang dari 7 pada umumnya tidak menghasilkan tsunami yang merusak dan berskala minus.

Hubungan empiris antara magnitudo tsunami dengan magnitudo gempabumi yang menimbulkannya diturunkan oleh Iida sebagai berikut: (Pasaribu, 2005)

$$m = 2,661 M - 16,44 \tag{2.3}$$

Dimana:

m = magnitudo tsunami dalam skala Immamura. M = magnitudo gempa bumi dalam Skala Richter.

2.7 Konsep Umum Tektonik Wilayah Utara Jawa Timur - Bali

Pulau Jawa terbentuk oleh geoantiklinal yaitu pengangkatan daratan yang disebabkan oleh adanya subduksi lempeng bumi di sebelah selatan Jawa. Sedangkan daerah geosinklin terletak di sebelah utara dan selatan Pulau Jawa.

Ditinjau dari segi tektonik, lempeng Indo -Australia dan lempeng Eurasia ini bertemu di sepanjang barat Sumatra, selatan Jawa, selatan Nusa Tenggara, dan berakhir di Laut Banda. Subduksi lempeng Indo-Australia dibawah lempeng Eurasia di selatan pulau Jawa tersebut hampir berarah tegak lurus badan pulau dan dapat dianggap sebagai penyebab timbulnya sistim sesar disepanjang Pulau Jawa.

Pergerakan sesar Baribis dan sesar-sesar sekitarnya di Jawa bagian barat yang menerus ke arah timur (jalur Kendeng dan jalur Randu Blatung) merupakan wilayah-wilayah potensial gempabumi merusak di daratan Pulau Jawa. Keadaan tektonik yang demikian menyebabkan Pulau Jawa menjadi salah satu wilayah dengan aktivitas seismik yang cukup tinggi.

Pada Zaman Tertier Eoceen daerah geosinklin tergenang oleh air laut oleh mencairnya es di kedua kutub Bumi. Sehingga hanya daerah geoantiklin saja yang muncul di permukaan.

Pada Zaman Tertier Mioceen endapan-endapan gamping masih terbentuk diselingi batuan vulkanik dari aktifitas gunung api sehingga pada beberapa tempat lebih banyak terdapat fasies gunung api. Disepanjang tepi-tepi pegunungan selatan Pulau Jawa terbentuk endapan klastika vulkanik dari Zaman Tertier Plioceen sedangkan di sebelah utara pulau, pengendapan laut dalam geosinklin berjalan terus dengan pembentukan napal-napal globegerina dan batu gamping.

Fasies gampingan dapat kita temui sepanjang Pulau Jawa bagian utara, di pegunungan Kendeng dan di dekat Semarang hingga Rembang. Di bagian tengah pulau yaitu pada daerah cekungan antar gunung sebagian besar tertutup oleh endapan Aluvium dari Zaman Kwarter.

Tektonik Pulau Jawa didominasi oleh subduksi dari lempeng Australia ke arah Utara - Barat Laut di bawah lempeng Sunda dengan kecepatan relatif sekitar 6 cm/tahun (Kusnandar, 2007).

Secara geografis Provinsi Bali terletak pada 8°3'40" - 8°50'48" Lintang Selatan dan 114°25'53" - 115°42'40" Bujur Timur. Relief dan topografi Pulau Bali di tengah-tengah terbentang pegunungan yang memanjang dari barat ke timur.

Bali merupakan daerah pegunungan dan perbukitan yang meliputi sebagian besar wilayah. Relief Pulau Bali merupakan rantai pegunungan yang memanjang dari barat ke timur. Di antara pegunungan itu terdapat gunung berapi yang masih aktif, yaitu Gunung Agung (3.142 m) dan Gunung Batur (1.717 m). Beberapa gunung yang tidak aktif lainnya mencapai ketinggian antara 1.000 - 2.000 m.

Rantai pegunungan yang membentang di bagian tengah Pulau Bali menyebabkan wilayah ini secara geografis terbagi menjadi dua bagian yang berbeda, yaitu Bali Utara dengan dataran rendah yang sempit dari kaki perbukitan dan pegunungan dan Bali Selatan dengan dataran rendah yang luas dan landai. Ditinjau dari kemiringan lerengnya, Pulau Bali sebagian besar terdiri atas lahan dengan kemiringan antara 0 - 2 % sampai dengan 15 - 40 %. Selebihnya adalah lahan dengan kemiringan di atas 40 %.

Struktur geologi regional Bali dimulai dengan adanya kegiatan di lautan selama kala Miosen Bawah yang menghasilkan batuan lava bantal dan breksi yang disisipi oleh batu gamping.

Di bagian selatan terjadi pengendapan oleh batu gamping yang kemudian membentuk Formasi Selatan. Di jalur yang berbatasan dengan tepi utaranya terjadi pengendapan sedimen yang lebih halus. Pada akhir kala Pliosen, seluruh daerah pengendapan itu muncul di atas permukaan laut. Bersamaan dengan pengangkatan, terjadi

pergeseran yang menyebabkan berbagai bagian tersesarkan satu terhadap yang lainnya. Umumnya, sesar ini terbenam oleh bahan batuan organik atau endapan yang lebih muda.

Selama kala Pliosen, di lautan sebelah utara terjadi endapan berupa bahan yang berasal dari endapan yang kemudian menghasilkan Formasi Asah. Di barat laut sebagian dari batuan muncul ke atas permukaan laut. Sementara ini semakin ke barat pengendapan batuan karbonat lebih dominan. Seluruh jalur itu pada akhir Pliosen terangkat dan tersesarkan.

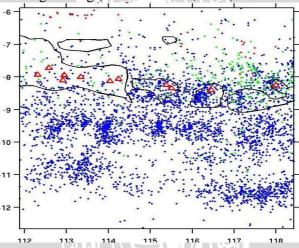
Kegiatan gunung api lebih banyak terjadi di daratan, yang menghasilkan gunung api dari barat ke timur. Seiring dengan terjadinya dua kaldera, yaitu mula-mula kaldera Buyan-Bratan dan kemudian kaldera Batur, Pulau Bali masih mengalami gerakan yang menyebabkan pengangkatan di bagian utara. Akibatnya, Formasi Palasari terangkat ke permukaan laut dan Pulau Bali pada umumnya mempunyai penampang Utara-Selatan yang tidak simetris. Bagian selatan lebih landai dari bagian Utara.

Stratigrafi regional berdasarkan Peta Geologi Bali, geologi Bali tergolong masih muda. Batuan tertua kemungkinan berumur Miosen Tengah.

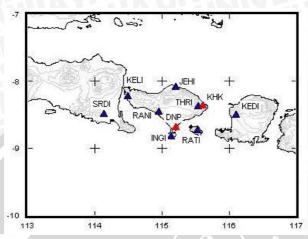
Morfologi wilayah Bali terdiri dari daerah dataran rendah pantai, sungai, rawa, danau, dataran vulkanik, serta dataran sedimen yang berbentuk landai dengan kemiringan 0 - 5 % dan ketinggian berkisar 0 - 25 m di atas permukaan laut. Kondisi morfologi ini mempunyai tingkat erosi permukaan yang kecil, dan beberapa tempat merupakan daerah abrasi serta proses pengendapan aktif, terutama di daerah Teluk Benoa, Singaraja, dan Gilimanuk. Dataran Alivium Danau yang berketinggian antara 1.000 - 1.230 meter di atas permukaan laut merupakan daerah rawan untuk pergerakan tanah seperti longsor atau runtuhan tanah dan batuan dari tebing di sekitarnya (Alawiyin, 2008).

Secara tektonik, Bali berada di wilayah busur Sunda bagian timur, membentang dari selat Sunda ke timur hingga pulau Sumba. Busur Sunda bagian timur memiliki beberapa karakteristik, yaitu penunjaman lempeng tektonik, busur gunung berapi dan jalur gempa bumi. Distribusi gempa di wilayah ini mencapai kedalaman 650 km namun pada kedalaman 300-500 km terdapat jeda aktivitas seismik (seimic gap).

Seismisitas Bali cukup rapat karena dipengaruhi aktivitas penunjaman lempeng Indo-Australia di sebelah selatan dan *Flores back arc thrust fault* di sebelah utara, sehingga daerah ini termasuk daerah rentan terhadap bahaya gempa. Hasil pemantauan Badan Meteorologi dan Geofisika (BMG) pada wilayah 112°-118° BT dan 6°-12° LS, enam tahun terakhir setelah dipasang jaringan seismograf Bali dan sekitarnya yang dikenal dengan jaringan seismograf regional III, menunjukkan jumlah yang cukup besar sekitar 5186 gempa dengan M<5 dan 848 gempa dengan M>5. Gambar 2.1 dan 2.2 memperlihatkan sebaran gempa bumi dan sensor jaringan seismograf regional III yang terdiri atas 8 seismometer telemetri perioda pendek yang tersebar di Bali (6 sensor), Lombok (1 sensor), Jawa Timur (1 sensor) dan 2 stasiun Geofisika, yakni di Denpasar (DNP) dan Kahang-kahang (Wandono dkk., 2004).



Gambar 2.1 Seismisitas di Bali dan sekitarnya dari katalog USGS. Titik warna biru, hijau dan merah masing-masing menunjukan lokasi gempa dengan keadalaman < 180 km, 180-360 km dan 360-600 km.



Gambar 2.2 Jaringan pemantau gempa bumi di Bali dan sekitarnya terdiri atas 8 sensor telemetri (segitiga biru) dan 2 stasiun Geofisika berpenghuni (segitiga merah).

2.8 Teori Deformasi

Deformasi yaitu perubahah fisik rupa bumi atau batuan karena pengaruh tekanan, longsor, kegiatan gunungapi, atau gerakan tektonik yang dapat dipantau dengan peralatan elektronik atau manual. Karena deformasi batuan dapat terlipat, terpatahkan dan atau mengalami kerusakan fisik seperti retak (Wahyuancol, 2008).

Peralatan elektronik berupa tiltmeter, EDM (Electronic distance Measurement), GPS (Global Positioning System), sedangkan peralatan manual menggunakan theodolit dan water tube untuk pemantauan gunungapi adan pergerakan tanah.

2.9 Model Patahan dan Penentuan Parameter

Simulasi tsunami, perlu adanya penentuan parameter patahannya. (Manshinha, Smylie dan Okada dalam Satake, 2002). Kelakuan dari struktur geologi dapat digambarkan melalui sejumlah angka. Dua di antara angka-angka itu adalah apa yang disebut strike dan dip. Garis *strike* adalah garis horisontal dari suatu bidang. *Strike* dari suatu bidang, pada suatu lokasi adalah sudut yang dibentuk oleh garis strike pada bidang tersebut dengan arah utara. Dengan kata lain,

strike adalah sudut yang dibentuk oleh garis horisontal pada bidang dengan arah utara.

Strike sering digambarkan melalui perjanjian kuadran. Dalam sistem ini, arah dibagi menjadi empat kuadran (NE, SE, NW, dan SW).

Dip yang sebenarnya (true dip) dari suatu bidang adalah sudut antara bidang tersebut dan suatu bidang horisontal, diukur pada suatu bidang vertikal tertentu. Bidang vertikal tersebut adalah bidang yang memiliki arah tegak lurus pada garis strike. Dip yang sebenarnya selalu merupakan sudut yang paling curam yang terbentuk pada bidang. Arah true dip adalah azimuth yang tepat tegak lurus terhadap strike. Sudut dip yang diukur pada sebarang bidang vertikal yang tidak selalu tegak lurus garis strike disebut dip nyata (apparent dip). Hal ini dapat dilihat pada Gambar 2.3 (Immamura et al., 2006).

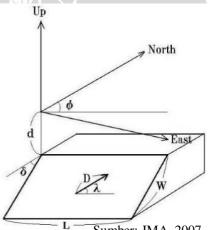
Keterangan:

d : Depth

L : Fault length
W : Fault width
D : Slip amount

 λ : Slip angle (Rake angle)

 δ : Dip angle ϕ : Strike angle



Sumber: JMA, 2007

Gambar 2.3 Parameter Patahan

Parameter patahan yang secara spesifik digunakan adalah seismic moment (Mo), Length (L), width (W), depth (d) strike angle, dip angle, slip (rake) angle and slip amount (D). Untuk mendapatkan nilai dari L, W dan D dapat menggunakan rumus:

$$LogL(km) = 0.5M - 1.9$$
 (2.4)

$$LogW(km) = 0.5M - 2.1$$
 (2.5)

$$W = \frac{L}{2} \tag{2.6}$$

$$LogD(m) = 0.5M - 3.3$$
 (2.7)

Dimana:

L (Fault Length) : Panjang patahan (km) W (Fault Width) : Lebar patahan (km)

M (Magnitude) : Magnitudo

: Besarnya pergeseran akibat patahan (m) D (Slip amount)

Dengan asumsi bahwa harga dari rigidity/kekakuan (µ) sama dengan 2.0*10¹² Newton/m², Sedangkan untuk menghitung dari harga Mo adalah seperti persamaan di bawah ini: (Utsu et al., 2001)

$$M_{O} = \mu LWD \tag{2.8}$$

$$Log(M_0) = 1.5 * Mw + 9.1$$
 (2.9)

Dimana:

L (Fault Length) : Panjang patahan (m) W (Fault Width) : Lebar patahan (m)

: Magnitudo Mw

D (Slip amount) : Besarnya pergeseran akibat patahan (m)

: Kekerasan/kekakuan suatu benda μ (Regidity)

 $M_{\rm o}$: Momen gempabumi (N/m)

BAB III METODOLOGI

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan mulai bulan Oktober 2008 – Maret 2009 dan dianalisis di Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika Klas II Tretes, Jalan Sedap Malam No. 9 Pos No. 1 Prigen, BAWA Pasuruan 67157 Jawa Timur.

3.2 Alat dan Bahan Penelitian

3.2.1 Alat-alat penelitian

Pada penelitian ini, penulis menggunakan Komputer Lenovo untuk menganalisis data dengan spesifikasi:

- 1. prosesor Intel[®] Pentium[®] Dual 1.60 GHz
- 2. memori 1.0 GB
- 3. harddisk 80 GB
- 4. sistem operasi Windows XP2
- 5. Program General Mapping Tolls (GMT)
- 6. Program TUNAMI N2
- 7. Program CYGWIN
- 8. Program NetCDF
- 9. Program GFortran

3.2.2 Bahan-bahan penelitian

Pada penelitian ini, data yang digunakan adalah data sekunder dari database-online, Adapun data-datanya sebagai berikut :

- 1. Data Seismisitas dari United State Geological Survey (USGS) dan Global CMT Harvard di www.globalcmt.org.
- 2. Data Tsunami dari Integrated Tsunami DataBase for the World Ocean for Wondows 95, 98, NT 4.0 2000 and XP dan National Oceanic and Athmosperic Administration (NOAA) di www.ngdc.noaa.gov/hazard/tsu db.shtml.
- 3. Data Batimetri dari General Bathymetric Chart of the Ocean (GEBCO) di www.ngdc.noaa.gov/mgg/gebco.

3.3 Tahapan Penelitian

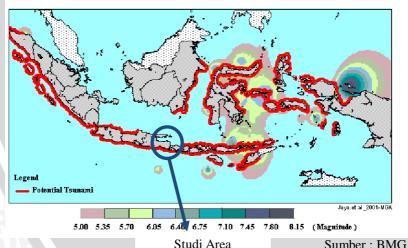
3.3.1 Studi Literatur

Pada penelitian ini, daerah yang merupakan kajian penelitian adalah wilayah utara Jawa Timur – Bali yang area tersebut tidak diberi garis merah pada daerah yang berpotensi terjadi tsunami diIndonesia yang mempunyai koordinat $112^0 - 116^0$ BT dan $6^0 - 9^0$ LS, dimana tsunami yang dikaji bersifat paleotsunami (tsunami yang terjadi pada zaman dahulu sebelum adanya catatan sejarah atau tidak ada laporan pengamatan tertulis).

Peneitian paleotsunami ini didasarkan pada identifikasi, pemetaan, dan bukti-bukti berupa endapan-endapan tsunami yang ditemukan di daerah-daerah pantai, dan korelasinya dengan endapan-endapan serupa yang ditemukan di tempat lain secara lokal, regional, atau di seberang ceruk-ceruk samudra.

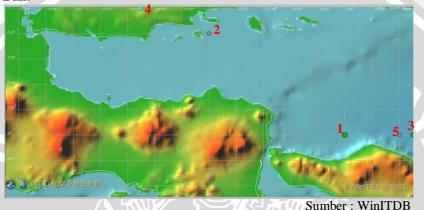
Adapun studi area dalam simulasi tsunami dapat dilihat pada Gambar 3.1

THE POTENTIAL ZONE OF TSUNAMI MAP



Gambar 3.1 Area yang dibundari dengan warna biru adalah studi area yang berindikasi terjadinya tsunami

Jika daerah tersebut diperbesar maka dapat dilihat bahwa pada studi area yang menggunakan data winITDB terjadi gempabumi di wilayah tersebut yang berindikasi tsunami sebanyak 5 gempabumi yang berada di laut Jawa, pulau Madura dan laut Bali. Gempa-gempa tersebut terjadi pada tahun 1815 di Laut Bali, 1843 di Laut Jawa, 1857 di Laut Jawa - Flores, 1889 di Pulau Madura dan 1917 di Laut Bali.



Gambar 3.2 Angka warna merah yang menunjukkan lokasi gempabumi yang menimbulkan tsunami wilayah utara Jawa Timur – Bali

Adapun tahapan pertama adalah menggabungkan studi literatur yang sudah ada yaitu data-data *online* yang berasal dari USGS dan Global CMT untuk data seismisitas, WinITDB dan NOAA untuk data tsunami serta dilihat juga konsep tektonik wilayah utara Jawa Timur - Bali. Dari data-data tersebut, akan digabungkan dan ditentukan parameter-parameter gempa yang berindikasi terjadi tsunami.

3.3.2 Penentuan Parameter Gempa

Dari studi literatur, telah didapatkan parameter gempa yang memenuhi sayarat terjadinya tsunami. Parameter-parameter gempa tersebut meliputi koreksi garis lintang (*latitude*) dan koreksi garis bujur (*longitude*) yang digunakan untuk membatasi area mana yang akan diplot sehingga dapat ditemukan sumber tsunami dan area yang terimbas tsunami. Parameter selanjutnya adalah magnitudo yang

digunakan untuk menentukan seberapa besar gempa tersebut dapat menimbulkan tsunami. Sehingga magnitudo untuk gempa yang berindikasi terjadinya tsunami yaitu di atas 6 SR. Parameter terakhir yang digunakan yaitu kedalaman. Parameter ini menggunakan data batimetri dari GEBCO.

Gempa-gempa yang paling mungkin dapat menimbulkan tsunami adalah:

- 1. Gempabumi yang terjadi di dasar laut.
- 2. Kedalaman pusat gempa kurang dari 60 km.
- 3. Magnitudo gempa lebih besar dari 6,0 Skala Richter.
- 4. Jenis pensesaran gempa tergolong sesar naik atau sesar turun. Gaya-gaya semacam ini biasanya terjadi pada zona bukaan dan zona sesar.

Dari data-data tersebut dapat ditentukan sumber tsunami yang merupakan titik terjadinya tsunami yang digunakan sebagai acuan untuk menentukan sebaran daerah yang akan terimbas tsunami.

3.3.3 Sumber Tsunami

Dari studi literatur dan parameter gempa dapat ditentukan sumber tsunami yang merupakan titik acuan untuk menentukan daerah-daerah manakah yang akan dibuat sebagai daerah yang terimbas tsunami.

Simulasi tsunami ini berada pada koordinat $112^0-116^0\,$ BT dan $6^0-9^0\,$ LS yang berada di utara Jawa Timur – Bali dengan mensimulasikan 2 sumber tsunami yang ada di utara Bali dengan koordinat $115.2^0\,$ BT dan $8^0\,$ LS dan di perairan Sumenep dengan koordinat $114^0\,$ BT dan $7.2^0\,$ LS. Dipilihnya lokasi ini karena di 2 lokasi ini menunjukkan adanya patahan yang berada di Singaraja dan di perairan Sumenep. Selain itu, tersedianya data-data historis.

Penentuan sumber tsunami untuk simulasi ini merupakan pemilihan data dari data-data historis yang diperoleh dari WinITDB, NOAA, USGS, dan Global CMT, dimana pemilihan ini berdasarkan pada besar magnitudo, lokasi gempabumi tektonik yang sesuai pada studi area, dan kedalaman. Hasil dari pemilihan data historis yang digunakan dalam simulasi dapat dilihat pada Tabel 3.1

Tabel 3.1 Data Parameter yang digunakan sebagai sumber tsunami

SUB	LONG	LAT	DEPTH	Mag	Strike	Dip	Rake	Length
FAULTS	COF	COF	COF			N.H.		(km)
	(°E)	(S°)	(km)				124	
1 (*)	115.2	8	20	7.0	280	45	90	39.81
2 (*)	114	7.2	20	6.5	280	45	90	22.39
3 (*)	115.2	8	20	7.5	280	45	90	70.79
4 (*)	114	7.2	20	7.0	280	45	90	39.81
5	110	9.3	20	7.0	280	45	90	39.81
6	110	9.3	20	7.5	280	45	90	70.79
7	110	9.3	30	7.0	280	45	90	39.81
8	110	9.3	30	7.5	280	45	90	70.79
9	109.5	9.8	20	7.0	280	45	90	39.81
10	109.5	9.8	20	7.5	280	45	90	70.79

(Lanjutan Tabel 3.1)

Width							LONG	LAT
(km)	(m)	TLC (km)	from N	X	LON	LAT	TLC (°E)	TLC (°E)
19.91	1.26	3.06	10	10.46	-0.05	-0.08	115.15	7.92
11.19	0.71	0	10	5.88	-0.03	-0.04	113.97	7.16
35.40	2.24	0	10	18.59	-0.09	-0.14	115.11	7.86
19.91	1.26	0 8	10	10.46	-0.05	-0.08	113.95	7.12
19.91	1.26	3.06	10	10.46	-0.05	-0.08	109.95	9.22
35.40	2.24	-10.12	10	18.59	-0.09	-0.14	109.91	9.16
19.91	1.26	13.06	10	10.46	-0.05	-0.08	109.95	9.22
35.40	2.24	-0.12	10	18.59	-0.09	-0.14	109.91	9.16
19.91	1.26	3.06	10	10.46	-0.05	-0.08	109.45	9.72
35.40	2.24	-10.12	10	18.59	-0.09	-0.14	109.41	9.66

(*) Data yang digunakan dalam simulasi tsunami

Keterangan:

 $\begin{array}{ll} \text{Log Length} &= 0.5 \text{ Mag} - 1.9 \\ \text{Width} &= \text{Length} / 2 \\ \text{Log Slip} &= 0.5 \text{ Mag} - 3.3 \end{array}$

Depth (TLC) = Depth (COF) - (width * sin (dip angle))

3.3.4 Kode TUNAMI – N2

TUNAMI (*Tohoku University's Numerical Analysis Model for Investigation*) merupakan model analisis numerik dari Universitas Tohoku untuk investigasi. Investigasi ini dimaksudkan adalah investigasi dalam mensimulasaikan tsunami. Analisis numerik ini menjelaskan kode TUNAMI – N2 (Immamura et al., 2006)

TUNAMI – N2 digunakan dalam simulasi tsunami ini karena simulasi tsunami yang dilakukan adalah tsunami yang bersifat lokal, dimana tsunami dari suatu sumber yang letaknya tidak jauh dan dampak destruktifnya terbatas hanya pada pantai dalam radius 100 km dari sumber.

Ketika data yang dibutuhkan sudah didapatkan, maka prosesing data dapat dilakukan dengan menggunakan kode TUNAMI. Struktur dari *Directory* dalam program ini adalah *Setting*, *Bathymathry*, *outpoint*, dan *case*. Adapun kode-kode yang digunakan dibagi menjadi 2 bagian antara lain:

- 1. Deform_v1.f (simulasi deformasi area) berfungsi untuk menghitung perubahan bentuk (deformasi area) dari dasar laut yang disebabkan oleh patahan. Input data yang diperlukan adalah :
 - a. ./def.set
 - b. ./fault.set
 - c. ./setting/defdimension.set
 - d. ./setting/position.set
 - e. ./depth1.grd

Output dari pengoprasian diatas adalah ./deform1.grd, yang mana output ini menjadi input pada program utama untuk menghitung sebaran tsunami.

Pada simulasi deformasi area, yang perlu diubah adalah bagian b (fault.set) sedangkan yang lainnya disesuaikan dengan bawaan programnya.

Besarnya penurunan area atau kenaikan area dapat dilihat dari kontur yang dihasilkan dikalikan skala yang dipakai dalam simulasi deformasi. Untuk skala deformasi pada $case\ 1=0.1$ m, $case\ 2=0.05$ m, $case\ 3=0.4$ m dan $case\ 4=0.05$ m. Semakin besar skalanya, maka akan semakin sedikit jumlah kontur dan akan semakin rapat kontur yang terlihat. Kontur warna merah menunjukkan kenaikan area dan biru menunjukkan penurunan area.

- 2. Tsunamicode_v2_2.f (simulasi tsunami) merupakan program utama untuk menghitung sebaran tsunami. Adapun input utama file dalam program ini adalah;
 - f. ./sime.set
 - g. ../setting/dimension.set
 - h. ../setting/boundary.set
 - i. ../setting/outpoint.set
 - j. ../setting/dephtdata.set
 - k. ./depth.grd

Output dari pengoprasian ini adalah berupa ./point.dat, ./elf***.grd dan ./max.grd. yang mana dalam input yang disebutkan diatas terdapat beberapa bagian yang tidak perlu untuk dilakukan pengaturan yaitu pada kalimat yang dicoret.

Untuk simulasi tsunami, hal yang perlu diubah adalah bagian a (simu.set) sedangkan yang lainnya menyesuaikan dengan bawaan programnya.

Penggunaan kode TUNAMI – N2 pada Windows Xp ini memerlukan Cygwin. Cygwin merupakan kompailer program Unix pada sistem opreasi Windows.

3.3.5 Daerah Yang Terimbas Tsunami

Target area merupakan area yang terimbas tsunami hasil dari simulasi. Hal ini bisa dilihat dari pergerakan gelombang tsunami yang mengimbas pada area tersebut. Pada kasus ini, tsunami terjadi di laut Bali dan laut Madura, maka hal ini akan memberikan dampak bahwa area Jawa Timur – Bali (tapal kuda) akan terimbas akan tsunami yang apabila tsunami terjadi di kedua perairan laut tersebut.

3.3.6 Tinggi Run Up (Kenaikan Air)

Tinggi *run up* (kenaikan air) merupakan kenaikan yang dicapai oleh air laut diukur secara relatif terhadap datum (suatu tingkat yang diketahui) seperti tinggi rata-rata permukaan laut, air terendah rata-rata, atau tinggi permukaan laut pada saat terjadinya tsunami, dan idealnya diukur pada satu titik yang merupakan maksimum lokal dari banjir bandang secara horizontal.

Tinggi gelombang tsunami yang mencapai bibir pantai yang paling dekat pada daerah yang terimbas tsunami. Dengan simulasi ini, akan dapat ditentukan seberapa besar tinggi gelombang tsunami yang mengimbas daerah-daerah yang berada pada area Jawa Timur – Bali (tapal kuda). Dengan ditentukannya daerah-daerah/area yang terimbas tsunami, maka dapat ditentukan pula tinggi *run up* yang mengimbas daerah tersebut.

Perlu diketahui hasil *run up* pada setiap daerah yang terimbas berbeda-beda. Hal ini disebabkan belum ditentukannya titik-titik daerah yang paling berpotensi rawan terimbas tsunami. Hal ini bias dilihat dari berbagai segi, yaitu:

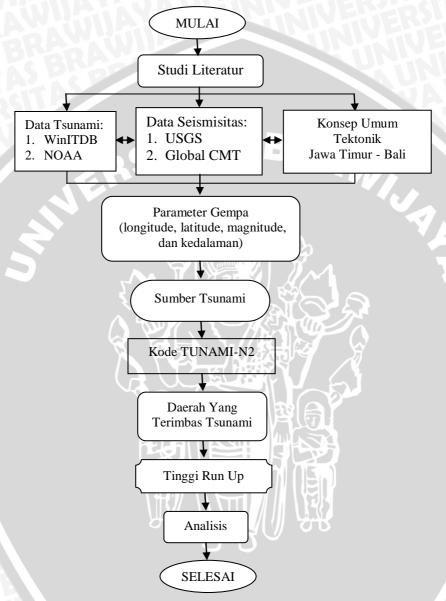
- 1. Daerah yang paling dekat dengan pantai
- 2. Daerah yang merupakan pusat dari kegiatan masyarakat (sosial, ekonomi, politik, budaya)
- 3. Konsep tektonik daerah yang terimbas.
- 4. Jumlah penduduk.

Setelah melihat dari berbagai segi tadi, telah didapatkan daerah-daerah yang menjadi target tsunami dan koordinatnya, namun, pada kasus ini belum ditentukan koordinat area yang paling dominan terimbas tsunami.

3.3.7 Analisis

Pada penelitian ini akan dilihat hasil dari program TUNAMI – N2 yang dibantu dengan kode TUNAMI sehingga dapat menghasilkan tampilan simulasi berupa deformasi area, tinggi *run up* maksimum secara regional dan sebaran gelombang tsunami yang akan mengimbas daerah-daerah yang berada di area Jawa Timur – Bali (Tapal Kuda) serta membandingkan hasil dari simulasi tsunami tahun 1857 (Jawa Timur) dan 1857 (Laut Bali) dengan simulasi tsunami yang akan datang.

Untuk lebih jelasnya, tahapan penelitian ini dapat dilihat pada diagram alir simulasi tsunami seperti Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Diagram alir penelitian tentang simulasi tsunami



BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisis Hasil

Hasil dari simulasi tsunami ini adalah dengan menampilkan bentuk deformasi area, *run up* maksimum secara regional dan sebaran gelombang tsunami yang akan mengimbas daerah-daerah yang berada di area Jawa Timur – Bali (Tapal Kuda) serta membandingkan hasil dari simulasi tsunami tahun 1857 (Jawa Timur - Kalianget) dan 1857 (Laut Bali) dengan simulasi tsunami yang dilakukan melalui pendekatan data sejarah sebagai sarana mitigasi.

Ada 4 kasus dalam penelitian ini, yaitu *case 1* dan *case 2* yang merupakan simulasi dengan menggunakan data historis serta *case 3* dan *case 4* adalah simulasi tsunami yang dilakukan melalui pendekatan data sejarah. *Case 1* dan *case 2* akan mempunyai perbedaan berupa lokasi gempa yang terjadi, magnitudo yang digunakan dan parameter-parameter lain (kedalaman, parameter patahan dan lain-lain). Pada *case 3* dan *case 4* lokasi gempa sama dengan *case 1* dan *case 3*, namun yang membedakan adalah magnitudo gempa, kedalaman dan parameter-parameter yang lain. Lihat Tabel 3.1

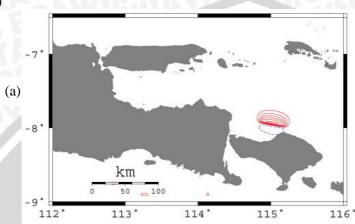
Case 1 berada di utara pulau Bali, case 2 berada di wilayah laut Madura, sedangkan case 3 dan case 4 merupakan case dari simulasi tsunami yang merujuk pada case 1 dan case 2, dimana case 3 dan case 4 merupakan case simulasi tsunami yang digunakan sebagai sarana mitigasi jika terjadi gempabumi yang menimbulkan tsunami.

4.2 Pembahasan

4.2.1 Case 1

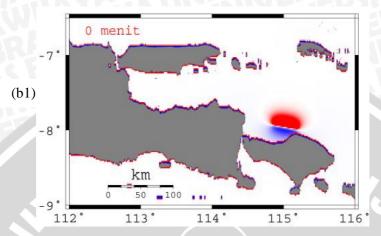
Pada *case 1* merupakan lokasi gempabumi yang menimbulkan tsunami yang berada di utara Bali pada tahun 1815 dengan koordinat 115.2° BT dan 8° LS, magnitudo 7 SR, kedalaman 3,6 km. Parameter tersebut merupakan data berdasarkan historis. Dari data historis ini menghasilkan berupa penurunan area dan kenaikan area (deformasi area) yang bisa menimbulkan tsunami. Penurunan area ini sebesar

0,1 meter dan kenaikan area sebesar 0,6 meter. Lihat Gambar 4.2.1 (a)



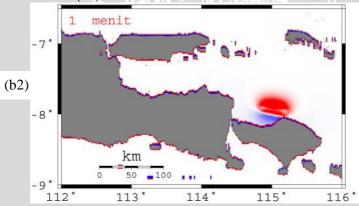
Gambar 4.2.1 (a) Hasil tampilan berupa deformasi area yang menunjukkan adanya penurunan area sebesar 0,1 meter (garis biru) dan peningkatan area sebesar 0.6 meter (garis merah) di bawah laut.

Snapshot simulasi tsunami memberikan gambaran tentang sebaran tsunami, dimana terdapat 180 sebaran dalam waktu 180 menit. Sebaran ini di mulai dari 0 menit di sebaran tsunami ke 0 sampai ke 180 menit di sebaran tsunami ke 180. Sebaran tsunami ke 0 pada 0 menit menunjukkan area yang terimbas masih berada pada laut utara Pulau Bali dan belum mengimbas wilayah Bali bagian utara. Namun, pada ke 0 menit inilah terjadi tinggi tsunami maksimum yang berada di perairan utara Bali. Tinggi maksimum pada sebaran tsunami ke 0 ini sekitar sebesar 0, 5 meter. Lihat Gambar 4.2.1 (b1)



Gambar 4.2.1 (b1) Tampilan sebaran tsunami ke 0 pada 0 menit

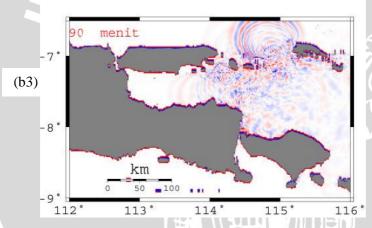
Sebaran tsunami ke 1 pada 1 menit menunjukkan bahwa gelombang tsunami menjalar hampir ke wilayah utara Bali, tepatnya daerah yang pertama akan terimbasa adalah daerah tepi pantai Singaraja. Pada menit ke 1 ini, terjadi pula tinggi gelombang tsunami maksimum, yaitu sebesar \pm 0, 5 meter. Hal ini bisa dilihat pada Gambar 4.2.1 (b2)



Gambar 4.2.1 (b2) Tampilan sebaran tsunami ke 1 pada 1 menit

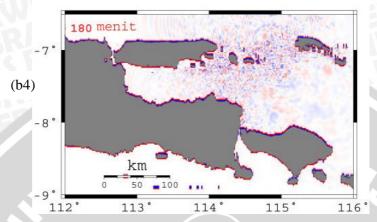
Pada menit ke 90 dan sebaran tsunami ke 90, gelombang tsunami diprediksi sudah mengimbas wilayah Bali bagian utara baik di daerah pantai maupun yang di daratan dan sudah masuk ke area yang padat penduduk. Selain wilayah utara Bali, gelombang tsunami

juga mungkin mengimbas pada utara Jawa Timur dan selatan Madura, bahkan mungkin sampai pada pulau-pulau kecil yang berada di utara Bali. Di menit dan sebaran tsunami ini, gelombang tsunami diprediksi masih menerjang pulau-pulau di dekat Madura dan utara Bali dan dirasa gelombang tsunami itu hanya berputar-putar atau bergeliat di wilayah tersebut. Hal ini disebabkan gelombang tsunami mengenai pulau-pulau kecil yang berada di utara Bali yang mana pulau-pulau tersebut saling memantulkan gelombang tsunami sehingga gelombang tsunami masih terperangkap dan masih mengimbas pulau-pulau tersebut, hal ini biasanya disebut dengan resonansi tsunami yaitu pantulan dan gangguan terus-menerus atas gelombang-gelombang dari tepi pelabuhan atau teluk sempit yang dapat menyebabkan peningkatan ketinggian gelombang, dan memperpanjang durasi ketinggian gelombang dari suatu tsunami. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 4.2.1 (b3)



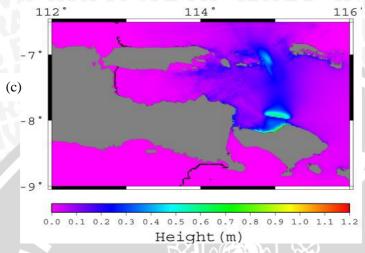
Gambar 4.2.1 (b3) Sebaran tsunami ke 90 pada 90 menit

Pada menit ke 180 di sebaran yang ke 180, gelombang tsunami diprediksi masih mengimbas wilayah Bali bagian utara, Jawa Timur bagian utara dekat Bali, Madura bagian selatan, pulau-pulau yang dekat dengan Madura dan pulau-pulau di utara Bali dengan intensitas dan tinggi gelombang tsunami yang sudah tidak begitu besar. Akan tetapi, gelombang tsunami masih bergerak di sekitar pulau-pulau yang berada di dekat Madura dan pulau-pulau di utara Bali. Lihat Gambar 4.2.1 (b4)



Gambar 4.2.1 (b4) Sebaran tsunami ke 180 pada 180 menit

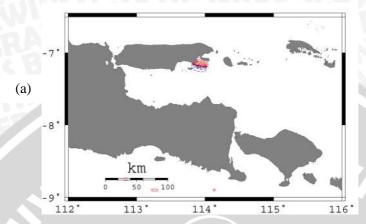
Run up maksimum ini berada pada 3 tempat, yaitu perairan utara Bali, daratan utara Bali dan berada di dekat pulau-pulau sekitar Madura. Tinggi maksimum pertama di perairan utara Bali yaitu ketika pertama kali tsunami terjadi atau pada 0 menit sampai 2 menit. Sedangkan tinggi maksimum kedua yang terjadi di daratan utara Bali pada 8 menit sampai 12 menit. Hal ini kemungkinan mengimbas daerah di Bali meliputi: Singaraja, Kubutambahan, Buleleng, Seririt, Jinengdalem, Banjar, Gilimanuk. Daerah Singaraja merupakan daerah yang paling parah jika terimbas tsunami karena run up tsunami terjadi di wilayah tersebut. Run up di wilayah tersebut sebesar \pm 0,5 meter – 0,85 meter. Adapun kemungkinan gelombang tsunami yang mengimbas wilayah Jawa Timur dan Madura meliputi: Banyuwangi, Probolinggo, sedangkan untuk wilayah Sidoarjo dan Surabaya akan terimbas tsunami, namun dengan intensitas yang kecil. Di wilayah Madura dan pulau-pulau di sekitanya yang mungkin terimbas tsunami meliputi: Sampang, Pamekasan, Galis, Prenduan, Bluto, Djate, Sumenep, Kalianget, Gulukguluk, Djangdjangan, Puteran, Budan, Gedugan, Banraas. Sedangkan pulaupulau di utara Bali yang mungkin terimbas gelombang tsunami Sokaramme, Sonok, Gajam, Grajam, Djoengkat, Brakas, Goa-Daja, Ardjasa, Songai, Tambajangan, Kajuwaru. Peristiwa ini dapat dilihat pada Gambara 4.2.1 (c)



Gambar 4.2.1 (c) Hasil keluaran dari tinggi maksimum dengan M = 7 SR pada perairan, daratan dan utara laut Bali

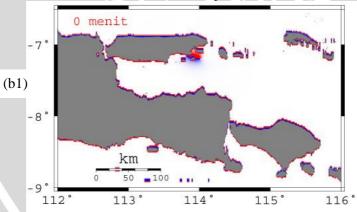
4.2.2 Case 2

Case 2 merupakan simulasi tsunami dengan lokasi gempabumi yang menimbulkan tsunami yang berada di Laut Bali pada tahun 1843 dengan koordinat 114⁰ BT dan 7.2⁰ LS, magnitudo 6 SR, kedalaman 0 km. Parameter tersebut merupakan data historis. Hasil deformasi area menunjukkan bahwa penurunan area ini sebesar 0,15 meter dan ditandai dengan garis biru dan kenaikan area sebesar 0,3 meter dan ditandai dengan garis merah. Lihat Gambar 4.2.2 (a)



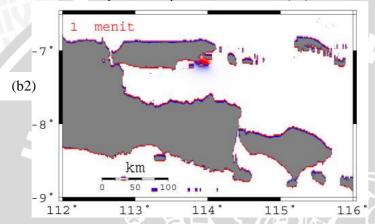
Gambar 4.2.2 (a) Hasil tampilan berupa deformasi area yang menunjukkan adanya penurunan area sebesar 0,15 meter (garis biru) dan peningkatan area sebesar 0,3 meter (garis merah) di bawah laut.

Snapshot dari simulasi tsunami case 2 memberikan gambaran tentang sebaran tsunami di selatan Madura yang tidak terlalu besar untuk sebaran ke 0 pada 0 menit. Sebaran tsunami ini masih bergeliat di perairan Madura di dekat kalianget dan terus mendekat ke daratan Madura. Tinggi maksimum pada sebaran tsunami ke 0 ini sekitar sebesar 0, 5 meter. Hal ini bisa dilihat pada Gambar 4.2.2 (b1)



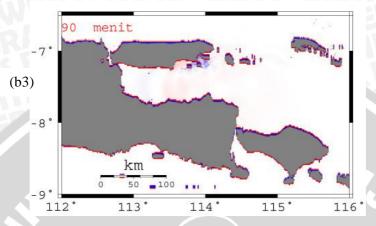
Gambar 4.2.2 (b1) Tampilan sebaran tsunami ke 0 pada 0 menit

Pada sebaran tsunami ke 1 pada 1 menit ini, daerah yang terimbas tsunami masih daerah sekitar kalianget dan pulau-pulau kecil di sekitar Madura. Hal ini disebabkan gelombang tsunami tidak bisa bebas bergerak dan menyebar ke laut lepas karena terhalang/terperangkap oleh pulau-pulau yang berada di sekitar Madura. Daerah ini juga masih merupakan daerah *run up* maksimum tsunami. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 4.2.2 (b2)



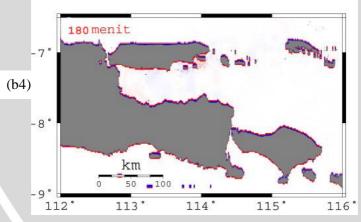
Gambar 4.2.2 (b2) Tampilan sebaran tsunami ke 1 pada 1 menit

Sebaran tsunami ke 90 di 90 menit, tsunami diprediksi sudah mengimbas daerah pantai di utara Jawa Timur dan sekitarnya. Yang terjadi pada sebaran di menit ini, tsunami sudah tidak terlalu parah mengimbas daerah-daerah yang ada di utara Jawa Timur namun, kemungkinan sebaran tsunami sudah mengimbas di daerah daratan wilayah Madura. Sebelum sebaran pada menit ini, gelombang tsunami mungkin telah mengimbas Situbondo, Probolingo, Pasuruan, Sidoarjo, Surabaya meski kekuatan tsunami di daerah ini tidak terlalu besar. Sedangkan di daerah Bali tidak terimbas tsunami yang diakibatkan tsunami yang terjadi di perairan Madura. Lihat Gambar 4.2.2 (b3)



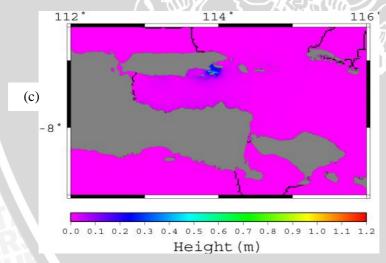
Gambar 4.2.2 (b3) Sebaran tsunami ke 90 pada 90 menit

Snapshot ke 180 pada 180 menit menunjukkan bahwa sebaran tsunami yang terjadi di utara Jawa Timur sudah tidak terlalu besar bahkan dirasa sudah tidak ada meski riak gelombang tsunami mungkin masih sedikit terjadi di wilayah Pasuruan, Sidoarjo dan Surabaya, akan tetapi, gelombang tsunami masih ada di perairan Kalianget. Pada menit ini, tsunami diprediksi sudah masuk pada area perkotaan yang padat penduduk. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 4.2.2 (b4)



Gambar 4.2.2 (b4) Sebaran tsunami ke 180 pada 180 menit

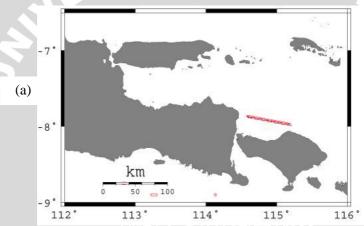
Tinggi run up tsunami maksimum pada case 1 sangat kecil dan hanya mencakup di wilayah selatan Madura saja, yaitu di Kalianget, Sumenep dan sekitarnya. Tinggi maksimum itu terjadi pada ke 0 menit sampai ke 10 menit. Kalianget dan Sumenep merupakan daerah yang paling parah jika terimbas tsunami. Hal ini disebabkan daerah tersebut berhadapan langsung dengan tsunami. Tinggi maksimum di daerah tersebut sebesar $\pm 0.4 - 0.5$ meter. Selain kedua daerah tersebut, daerah yang diprediksi terimbas tsunami adalah: Paradaan, Saroka, Bluto, Puteran, Djangdjangan, Bundan, Gedugan, Djate, Sampang, Pamekasan dan pula-pulau kecil lainnya yang dekat dengan sumber tsunami. Sedangkan di wilayah Jawa Timur mungkin akan terimbas tsunami juga meskipun tidak terlalu besar imbasan yang di timbulkan dari gelombang tsunami tersebut. Daerah-daerah yang diprediksikan terimbas untuk wilayah Jawa Timur adalah: Porong-Kedungpandan, Kraton, Gadingrejo, Kota Pasuruan, Penunggul, Tongas, Sumberasih, Bayeman, Probolinggo, Mayangan, Dringu, Paiton dan daerah di sekitar pantai wilayah utara Jawa Timur.



Gambar 4.2.2 (c) Hasil keluaran dari tinggi maksimum dengan M = 6 SR pada selatan Madura

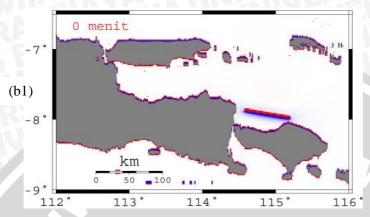
4.2.3 Case 3

Case 3 merupakan simulasi tsunami yang merujuk pada case 1. Yang membedakan dari case ini dengan case 1 adalah magnitudo dan kedalaman yang berbeda. Lokasi gempabumi yang menimbulkan tsunami ini berada di utara Bali dengan koordinat 115.2° BT dan 8° LS, magnitudo 7.5 SR, kedalaman 0 km. Case 3 ini mengasilkan berupa penurunan dan kenaikan area (deformasi area) yang bisa menimbulkan tsunami. Penurunan area ini sebesar 0,1 m yang ditandai dengan garis biru dan kenaikan area sebesar 0,6 m dan ditandai dengan garis merah. Lihat Gambar 4.1.3 (a)



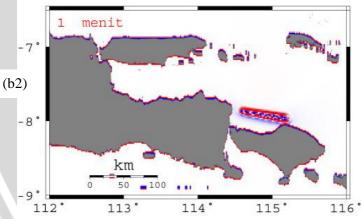
Gambar 4.2.3 (a) Hasil tampilan berupa deformasi area yang menunjukkan adanya penurunan area sebesar 0,4 meter (garis biru) dan peningkatan area 1,2 meter (garis merah) di bawah laut.

Sebaran tsunami ini terdapat 180 sebaran dalam waktu 180 menit. Sebaran ini di mulai dari 0 menit di sebaran tsunami ke 0 sampai ke 180 menit di sebaran tsunami ke 180. Sebaran tsunami ke 0 pada 0 menit menunjukkan area yang diprediksi terimbas masih berada pada laut utara Pulau Bali dan belum mengimbas wilayah Bali bagian utara. Namun, pada ke 0 menit ini, terjadi tinggi tsunami maksimum yaitu sekitar sebesar 0, 5 meter. Lihat Gambar 4.2.3 (b1)



Gambar 4.2.3 (b1) Tampilan sebaran tsunami ke 0 pada 0 menit

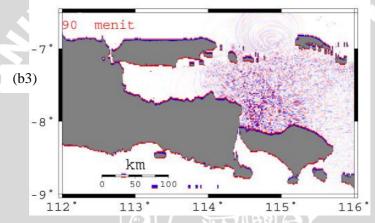
Sebaran tsunami ke 1 pada 1 menit menunjukkan bahwa gelombang tsunami menjalar hampir ke wilayah utara Bali, tepatnya daerah yang pertama akan diprediksi terimbas adalah daerah tepi pantai Singaraja. Pada menit ke 10 ini, terjadi pula tinggi gelombang tsunami maksimum, yaitu sebesar \pm 0,5 meter. Hal ini bisa dilihat pada Gambar 4.2.3 (b2)



Gambar 4.2.3 (b2) Tampilan sebaran tsunami ke 1 pada 1 menit

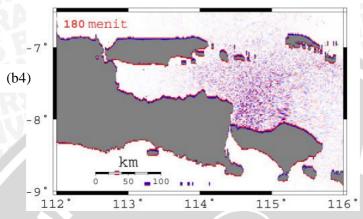
Pada menit ke 90 dan sebaran tsunami ke 90, gelombang tsunami diprediksi sudah mengimbas wilayah Bali bagian utara baik di daerah pantai maupun yang di daratan dan mungkin sudah masuk ke area perkotaan yang padat penduduk. Selain wilayah utara Bali,

gelombang tsunami juga diprediksikan akan mengimbas wilayah utara Jawa Timur dan selatan Madura, bahkan sampai pada pulaupulau kecil yang berada di utara Bali. Di menit dan sebaran tsunami ini, gelombang tsunami masih menerjang pulau-pulau di dekat Madura dan utara Bali dan dirasa gelombang tsunami itu hanya berputar-putar di wilayah tersebut. Hal ini disebabkan gelombang tsunami mengenai pulau-pulau kecil yang berindikasi pulau-pulau tersebut saling memantulkan gelombang tsunami sehingga gelombang tsunami masih mengimbas pulau-pulau tersebut. Hal ini biasanya disebut dengan resonansi tsunami. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 4.2.3 (b3)



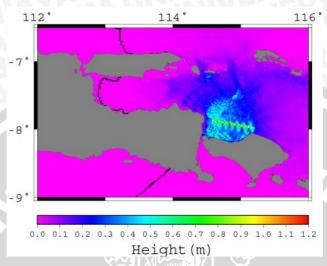
Gambar 4.2.3 (b3) Sebaran tsunami ke 90 pada 90 menit

Sebaran yang ke 180 dan menit ke 180, gelombang tsunami diprediksi masih mengimbas wilayah Bali bagian utara, Jawa Timur bagian utara dekat Bali, Madura bagian selatan, pulau-pulau yang dekat dengan Madura dan pulau-pulau di utara Bali dengan intensitas dan tinggi gelombang tsunami yang sudah tidak begitu besar. Akan tetapi, gelombang tsunami masih bergerak di sekitar pulau-pulau yang berada di dekat Madura dan pulau-pulau di utara Bali. Lihat Gambar 4.2.3 (b4)



Gambar 4.2.3 (b4) Sebaran tsunami ke 180 pada 180 menit

Run up maksimum ini berada pada 2 tempat, yaitu perairan utara Bali dan pulau-pulau sekitar Madura. Run up maksimum pertama di peraiaran utara Bali yaitu ketika kali pertama tsunami terjadi atau pada 0 menit sampai 20 menit dengan ketinggian gelombang sebesar ± 0,67 m - 1,2 m. Hal ini kemungkinan mengimbas daerah di Bali meliputi: Singaraja, Kubutambahan, Buleleng, Seririt, Jinengdalem, Banjar, Gilimanuk. Adapun gelombang tsunami yang kemungkinan mengimbas wilayah Jawa Timur dan Madura meliputi: Banyuwangi, Probolinggo, Wongsorejo, Bajulmati, Pasuruan, sedangkan untuk wilayah Sidoarjo dan Surabaya kemungkinan akan terimbas tsunami, namun dengan intensitas yang kecil dan masih berada pada kisaran pantai. Di wilayah Madura dan pulau-pulau di sekitanya yang diprediksi terimbas tsunami meliputi: Sampang, Tambakan, Pamekasan, Sumenep, Kalianget, Djangdjangan, Puteran, Banraas. Sedangkan tinggi maksimum yang ketiga berada di pulau-pulau di utara Bali dengan tinggi gelombang maksimum sebesar ± 0,45 m - 0,5 m. Pulau-pulau itu diantaranya adalah: Sokaramme, Sonok, Katupat, Goa-Daja, Tambajangan, dan sekitarnya. Lihat Gambar 4.2.3 (c)

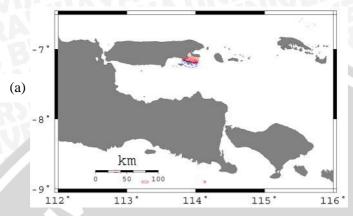


Gambar 4.2.3 (c) Hasil keluaran dari tinggi maksimum dengan M = 7.5 SR pada perairan, daratan dan utara laut Bali

Pada *case 3* ini tidak jauh berbeda dengan *case 1*, yang membedakan adalah deformasi area yang dihasilkan, dan tinggi *run up* maksimum yang terjadi. Pada *case 3* tinggi *run up* maksimum lebih besar dibandingkan *case 1*. Hal ini disebabkan berbedanya magnitudo dan kedalaman yang digunakan dalam simulasi. Meskipun hasilnya berbeda, imbasan gelombang tsunami ke daerah-daerah yang terimbas hampir sama besar.

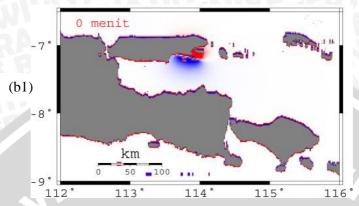
4.2.4 Case 4

Pada *case 4* merupakan simulasi tsunami pembanding yang dilakukan dengan menngunakan pendekatan data historis dari *case 1*. Lokasi gempabumi yang menimbulkan tsunami pada *case* ini berada di Laut Madura dengan koordinat 114^0 BT dan 7.2^0 LS, magnitudo 6.5 SR, kedalaman 0 km. Hasil Penurunan area tersebut sebesar \pm 0,15 meter yang ditandai dengan garis biru. Sedangkan kenaikan area ditandai dengan garis merah menghasilkan sebesar \pm 0,3 meter. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 4.2.4 (a)



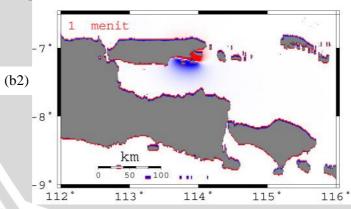
Gambar 4.2.4 (a) Hasil tampilan berupa deformasi area yang menunjukkan adanya penurunan area sebesar 0,15 meter (garis biru) dan peningkatan area sebesar 0,3 meter (garis merah) di bawah laut

Snapshot melalui pendekatan case 2 pada ke 0 menit yaitu, sebaran tsunami yang berada di perairan Madura merupakan run up maksimum dan diprediksi hampir menuju daratan Madura yaitu Kalianget dan sekitarnya. Run up maksimum yang terjadi sebesar ± 0,45 sampai 0, 55 meter. Sebaran tsunami ini masih bergeliat di perairan Madura, hal ini disebabkan gelombang tsunami tidak bisa bergerak bebas ke laut lepas dan terhalang/terperangkap oleh pulaupulau yang berada di sekitar Madura. Hal ini biasanya disebut resonansi tsunami yaitu pantulan dan gangguan terus-menerus atas gelombang-gelombang dari tepi pelabuhan atau teluk sempit yang dapat menyebabkan peningkatan ketinggian gelombang, dan memperpanjang durasi ketinggian gelombang dari suatu tsunami. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 4.2.4 (b1)



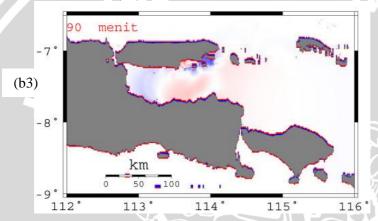
Gambar 4.2.4 (b1) Tampilan sebaran tsunami ke 0 pada 0 menit

Sebaran tsunami ke 1 pada 10 menit menjelaskan bahwa kemungkinan daerah yang terimbas tsunami masih daerah sekitar Kalianget dan pulau-pulau kecil di sekitar Madura. Hal ini disebabkan gelombang tsunami tidak bisa bebas bergerak dan menyebar ke laut lepas karena terhalang oleh pulau-pulau yang berada di sekitar Madura. Daerah ini juga masih merupakan daerah run up maksimum tsunami. Namun, sebaran tsunami pada menit ini diprediksi sudah mulai menerjang daratan Madura. Akan tetapi, belum dapat ditentukan seberapa besar terjangan gelombang tsunami tersebut secara pasti yang mengimbas wilayah Madura. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 4.2.4 (b2)



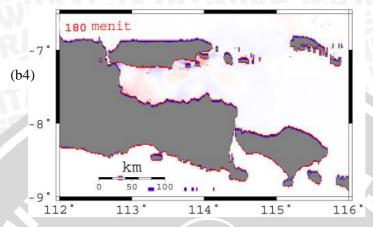
Gambar 4.2.4 (b2) Tampilan sebaran tsunami ke 1 pada 1 menit

Snapshot ke 90 di 90 menit, tsunami kemungkinan sudah mengimbas daerah di utara Jawa Timur dan sekitarnya. Yang terjadi pada sebaran pada menit ini, tsunami sudah tidak terlalu parah mengimbas daerah-daerah yang ada di utara Jawa Timur namun sebaran tsunami kemungkinan sudah mengimbas daratan padat penduduk di Madura tepatnya di Sumenep. Sebelum sebaran di menit ini, gelombang tsunami telah mengimbas Situbondo, Probolingo, Pasuruan, Sidoarjo, Surabaya meski kekuatan tsunami di daerah ini tidak terlalu besar. Sedangkan di daerah Bali tidak terimbas tsunami. Lihat Gambar 4.2.4 (b3)



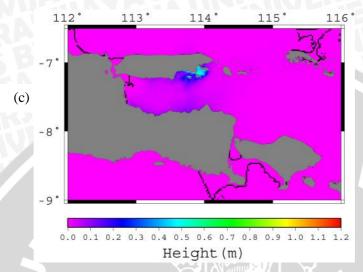
Gambar 4.2.4 (b3) Sebaran tsunami ke 90 pada 900 menit

Snapshot ke 180 pada 180 menit menunjukkan bahwa sebaran tsunami yang terjadi di utara Jawa Timur diprediksi sudah tidak terlalu besar bahkan dirasa sudah tidak ada, akan tetapi, kemungkinan riak gelombang tsunami masih sedikit terjadi di wilayah Pasuruan, Sidoarjo dan Surabaya. Akan tetapi, gelombang tsunami masih ada di perairan Kalianget. Pada menit ini, tsunami sudah masuk pada area perkotaan yang padat penduduk. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 4.2.4 (b4)



Gambar 4.2.4 (b4) Sebaran tsunami ke 180 pada 180 menit

Tinggi run up tsunami maksimum pada case 4 lebih besar dibandingkan dengan case 2 dan hanya mencakup di wilayah selatan Madura saja, yaitu di Kalianget, Sumenep dan sekitarnya. Tinggi maksimum itu terjadi pada ke 0 menit sampai ke 100 menit. Kalianget dan Sumenep merupakan daerah yang paling parah jika terimbas tsunami. Hal ini disebabkan daerah tersebut berhadapan langsung dengan tsunami. Tinggi maksimum di daerah tersebut sebesar $\pm 0.4 - 0.5$ meter. Selain kedua daerah tersebut, daerah yang mungkin terimbas tsunami adalah: Paradaan, Saroka, Bluto, Puteran, Djangdjangan, Bundan, Gedugan, Djate, Sampang, Pamekasan dan pula-pulau kecil lainnya yang dekat dengan sumber tsunami. Sedangkan di wilayah Jawa Timur yang mungkin akan terimbas tsunami juga meskipun tidak terlalu besar imbasan yang ditimbulkan dari gelombang tsunami tersebut. Daerah-daerah yang diprediksi terimbas untuk wilayah Jawa Timur adalah: Porong-Kedungpandan, Kraton, Gadingrejo, Kota Pasuruan, Penunggul, Tongas, Sumberasih, Bayeman, Probolinggo, Mayangan, Dringu, Paiton dan daerah di sekitar pantai wilayah utara Jawa Timur. Lihat Gambar 4.2.4 (c)



Gambar 4.2.4 (c) Hasil keluaran dari tinggi maksimum dengan M = 6.5 SR pada selatan Madura

Case 4 ini tidak jauh berbeda dengan case 2, yang membedakan adalah tinggi run up maksimum yang terjadi. Pada case 4 tinggi run up maksimum lebih besar dibandingkan case 2. Hal ini disebabkan berbedanya magnitudo dan kedalaman yang digunakan dalam simulasi ini. Meskipun hasilnya berbeda, imbasan gelombang tsunami ke daerah-daerah yang terimbas hampir sama besar.

Pada kasus simulasi ini, belum bisa dicari waktu terjadinya tsunami setelah gempa terjadi sehingga belum bisa menentukan jenis tsunaminya, apakah termasuk jenis tsunami jarak dekat (lokal), tsunami jarak menengah atau tsunami jarak jauh.

Jika tsunami yang terjadi adalah tsunami jarak dekat maka tsunami terjadi 0-30 menit setelah gempa. Jarak pusat gempa ke lokasi ini sejauh 200 km. Tanda-tanda sebelum terjadi tsunami adalah getaran kuat dan sering diikuti oleh pasang surut air laut.

Jika tsunami yang terjadi adalah jarak menengah maka tsunami terjadi 30 menit - 2 jam setelah gempa. Jarak pusat gempa ke lokasi ini sejauh 200 km sampai 1000 km. sistem peralatan mungkin lebih banyak berperan karena getaran tidak terlalu keras.

Jika tsunami yang terjadi adalah jarak jauh maka tsunami terjadi lebih dari 2 jam setelah gempa. Jarak lokasi daerah ini dari pusat gempa lebih dari 1000 km, karena itu kecil kemungkinan 46

daerah ini merasakan gempa. Namun masih mungkin terjadi pasang surut sebelum gelombang tsunami datang.

Dalam simulasi ini tinggi *run up* yang dihasilkan ± 1 meter. Meskipun begitu, simulasi tsunami tetap perlu dilakukan karena tinggi run up tersebut hanya terjadi di perairan utara Bali dan di perairan Sumenep saja. Tinggi run up ini belum di ketahui secara pasti di daratannya karena belum ditentukannya outpoint dari sebaran tsunaminya (sebaran tsunami hanya pada sekitar pantainya saja). Selain itu, gelombang tsunami ini berbeda dengan gelombang laut yang disebabkan oleh angin. Karena gelombang laut akibat angin biasanya periodenya pendek, sekitar ± 2 - 25 detik. Sedangkan gelombang tsunami periodenya lebih panjang, sekitar $\pm 5 - 60$ menit, dimana ketinggian gelombang di laut dalam ± 1 meter tetapi di pantai bisa mencapai ± 30 meter. Hal ini disebabkan gelombang air adalah gerakan setempat tegak lurus (vertikal) mendekati pantai yang lebih dangkal dasarnya, tinggi gelombangnya menjadi terdongkrak naik dan menciptakan dinding air yang menhantam pantai dengan keras.

Selain tidak bisa ditentukannya waktu datang tsunami, tinggi run up pada setiap titik-titik yang terimbas tsunami juga belum bisa ditentukan. Hal ini karena program yang digunakan masih perlu adanya perubahan. Jika run up pada setiap titik-titik daerah yang terimbas tsunami diketahui maka akan dapat digunakan sebagai rujukan untuk antisipasi terhadapa ancaman tsunami. Dan dengan adanya run up yang diketahui maka akan dapat ditentukan hubungan amplitudo dengan waktu.

Hasil *case 1* dan *case 2* merupakan simulasi tsunami yang dilakukan berdasarkan data historis gempabumi yang menimbulkan tsunami di utara Bali dan di Laut Madura. Di kedua daerah tersebut pernah terjadi gempabumi yang menimbulkan tsunami sebanyak 5 kali dalam kurun waktu 100 tahunan, yaitu sekitar tahun 1800an sampai 1900an.

Terjadinya peristiwa gempabumi yang menimbulkan tsunami di utara Jawa Timur – Bali yang disimulasikan dalam *case 1* dan *case 2*, maka dilakukan simulasi tsunami yang menggunakan pendekatan dari kedua *case* tersebut yang menghasilkan *case 3* dan *case 4* dengan membedakan magnitudo dan kedalamannya sebagai sarana mitigasi kedepan apabila tsunami terjadi di utara Jawa Timur -

Bali. Hasil dari keempat *case* ini menunjukkan bahwa daerah utara Jawa Timur dan Bali dapat dijadikan sebagai zona rawan tsunami.

Dari peristiwa gempabumi yang terjadi di utara Jawa Timur -Bali, dapat dinyatakan bahwa pada kurun waktu ± 100 tahun yaitu dari tahun 1800an sampai 1900an terjadi peristiwa tektonik di kedua daerah tersebut, yaitu 1815 di perairan Bali yang mempunyai M sebesar 7,5 SR dan tinggi tsunami 1,5 meter, 1843 di perairan Jawa, 1857 di perairan Bali, 1889 di daratan Madura dan 1917 di perairan Bali, sedangkan pada rentang waktu 1900an sampai 2000an atau ± 92 tahun tidak pernah terjadi aktivitas tektonik yang mengakibatkan yang berindikasi gempabumi tsunami. Hal ini bersifat mengkhawatirkan, dimana dalam rentang waktu yang cukup lama vaitu ± 92 tahun aktivitas tektonik utara Jawa Timur – Bali menyimpan energi yang cukup besar. Sehingga anabila ketidakstabilan tektonik utara Jawa Timur - Bali terjadi, maka gempabumi dengan magnitudo besar yang dapat memicu tsunami mungkin akan terjadi.

Oleh karena itu, dengan adanya simulasi ini data peristiwa gempabumi 1843 di perairan sumenep dan 1815 di perairan Bali bagian utara dapat dikonstruksi ulang guna mencari informasi sebaran gelombang tsunami pada waktu itu dan berbekal data tersebut, maka dapat dilakukan simulasi tsunami dengan melakukan pendekatan data yang sudah ada guna membantu proses mitigasi di daerah penelitian. Hasil dari keempat simulasi ini menunjukkan perairan Madura khususnya sumenep dan perairan Bali bagian utara khusunya Singaraja merupakan daerah rawan tsunami.

4.3 Antisipasi Terhadap Ancaman Tsunami

Secara teori, tsunami lebih mudah untuk diprediksi dibandingkan gempabumi. Tenggang waktu terjadinya gempabumi dan tibanya tsunami di pantai memungkinkan untuk dapat menganalisis karakteristik dari gempabumi tersebut.

Tempo 20 – 30 menit, dapat ditentukan apakah sutu gempabumi dapat menyebabkan tsunami atau tidak. Informasi tersebut dapat disampaikan kepada masyarakat sebelum gelombang-gelombang tersebut menerjang pantai.

Karena terbatasnya fasilitas komunikasi, sangat mungkin terjadi informasi belum sampai sementara gelombang tsunami telah menyapu pantai. Hal inilah yang melandasi adanya sistem peringatan dini (*Tsunami Warning System*), untuk itu diperlukan adanya alternatif untuk mengatasi kesulitan tersebut. Langkah-langkah yang diambil meliputi :

- 1. Adanya identifikasi daerah rawan tsunami.
- 2. Penyuluhan kepada penduduk dan aparat terkait di daerah rawan tsunami.
- 3. Proteksi daerah pantai diantaranya membuat jalur hijau sejauh 200 meter dari garis pantai yang berfungsi sebagai penahan gelombang dan melestarikan kelestarian batu karang yang sekaligus berfungsi sebagai pemecah gelombang.
- 4. Menetapkan letak pemukiman berada di belakang jalur hijau sehingga terlindung dari ancaman gelombang, kalaupun terpaksa dibangun di dekat pantai, rumah yang baik adalah rumah panggung dengan bagian bawah kosong sehingga memungkinkan air laut untuk terus melewatinya.
- 5. Membuat dasar hukum yang kuat guna upaya pengaturan tata guna lahan yang terletak pada daerah pantai.





BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Penelitian tentang simulasi tsunami utara Jawa Timur - Bali untuk mengidentifikasi sebaran daerah yang terimbas ini mempunyai beberapa kesimpulan sebagai berikut:

- Bentuk simulasi tsunami yang diidentifikasi menghasilkan deformasi area, sebaran gelombang yang mengimbas dan *run* up maksimum secara regional di wilayah utara Jawa Timur – Bali.
 - a. Deformasi area, baik penurunan dan penaikan area yang dihasilkan pada *case 1* sebesar 0,1 m dan 0,6 m, *case 2* sebesar 0,15 m dan 0,3 m, *case 3* sebesar 0,4 m dan 1,2 m serta *case 4* sebesar 0,15 m dan 0,3 m.
 - b. Sebaran gelombang tsunami yang terjadi di utara Bali dan selatan Madura kemungkinan akan mengimbas pada daerah-daerah pantai utara Jawa Timur – Bali sendiri serta daerah pantai dari pulau-pulau yang berada di utara Bali dan selatan Madura.
 - c. Run up maksimum yang diperoleh pada case 1 sebesar \pm 0,5 m 0,85 m, case 2 sebesar \pm 0,4 m 0,5 m, case 3 sebesar \pm 0,45 m 0,8 m dan case 4 sebesar \pm 0,4 m 0,5 m.
- 2. Daerah-daerah yang diprediksi berpotensi rawan terhadap bencana tsunami yang terjadi di daerah utara Jawa Timur Bali jika daerah tersebut terjadi tsunami, yaitu pantai dari daerah-daerah yang meliputi: Singaraja, Seririt, Gilimanuk, Banyuwangi, Situbondo, Probolinggo, Pasuruan, Sidoarjo, Surabaya, Pamekasan, Sampang, Sumenep dan pulau-pulau kecil yang berada di sekitar Madura dan di utara Bali yaitu: Djate, Bundan, Gedugan, Djangdjangan, Puteran, Banraas, Sokaramme, Sonok, Grajam, Gajam, Katupat, Djoengkat, Brakas, Goa-Daja, Ardjasa, Songai, Tambajangan, Kajuwaru dan sekitarnya atau daerah yang paling dekat dengan sumber tsunami.

5.2 Saran

Sebaiknya program GMT dijalankan pada program Linux untuk mendapatkan hasil tampilan yang lebih baik dari bentuk sebaran gelombang tsunami. Perlu adanya penentuan tinggi *run up* secara pasti pada setiap titik-titik daerah yang rawan tsunami di utara Jawa Timur Bali sehingga dapat ditentukan titik aman (jalur evakuai) untuk menghindari bahaya gelombang tsunami apabila terjadi tsunami di Jawa Timur – Bali.



DAFTAR PUSTAKA

- Alawiyin, Sabab, 2008. *Perjalanan di Bali*. http://kutai82. blogspot.com/2008/12/perjalanan-di-bali.html, tanggal akses: 05 Februari 2009
- Anonymous, 2008^a. *Tsunami*. http://disaster.elvini.net/ tsunami.cgi, tanggal akses: 05 Maret 2008
- GEBCO (General Bathymetric Chart of the Ocean), 2008. *Bahymetry Data*. www.ngdc.noaa.gov/mgg/gebco
- BMG (Badan Meteorologi dan Geofisika), 2008. *Peta Potensi Tsunami*. http://www.bmg.go.id. tanggal akses: 05 Maret 2008
- Global CMT Catalog, 2009. *Seismic Database*. http://www.globalcmt.org/cgi-bin/globalcmt-cgi, tanggal akses: 15
 Januari 2009
- Harsanugraha, K., Wawan, dan Julzarika, Atriyon, 2008. Analisa Pemodelan Tsunami dengan Pembuatan Peta Kerawanan dan Jalur Evakuasi dari Turunan SRTM90 (Studi Kasus: Kota Padang). PIT MAPIN XVII. Bandung
- Imamura, F., Yalciner, A.C., Ozyurt, G., 2006. *Tsunami Modeling*. DCRC (Disaster Control Research Center). Tohuku University. Japan
- JMA (Japan Meteorological Agency), 2007 Edition. *Draf of Manual on Operating Systems for Tsunami Warning Service*.

 Japan
- Kusnandar, Edy, 2007. Studi Atenuasi Intensitas Gempa Terhadap Jarak Berdasarkan Data Makroseismik (Studi kasus: Gempabumi Yogyakarta Tanggal 26 Mei 2006). http://bbmgwil2.bmg.go.id/publikasi.php?kat=2, tanggal akses: 05 Februari 2009

- NOAA (Natinal Oceanic and Atmospheric Administration), 2009, *Tsunami Catalogs*. http://ngdc.noaa.gov/ hazard/tsu _db.shtml, tanggal akses: 15 Januari 2009
- Pasaribu, Robert, 2005. *Tsunami, Penyebab dan Akibatnya*. Badan Meteorologi dan Geofisika. Jakarta
- Sahala, H., Ir., M.Sc., dan Stewart, M., E., PhD., 1984. *Pengantar Oceanografi*. Universitas Indonesia Press. Jakarta
- Santoso, Djoko, 2002. *Pengantar Teknik Geofisika*. Institut Teknologi Bandung (ITB). Bandung
- Satake, Kenji, 2002. Tsunamis-International Handbook of Earthquake and Engineering Seismology. Vol II. Tsukuba. Japan
- USGS (United State Geological Survey), 2009. *Seismic Database*. http://www.usgs.gov, tanggal akses: 15 Januari 2009
- Utsu, T., E., Shima, Yoshii, T., and Yamashina, K., 2001. *Encyclopedia of Earthquake*. 2nd Edition. Asakura. Japan
- Wahyuancol, 2008. *Batuan 2 (perubahan)*. http://wahyuancol. wordpress.com/2008/11/21/perubahan-batuan/, tanggal akses: 05 Februari 2009
- Wandono, Widiyantoro, S., Ibrahim, G., Soewono, E., 2004. *Analisis Hubungan Frekuensi-Magnitudo Gempa Bumi di Bali dan Sekitarnya*. Jurnal Matematika dan Sains. Institut Teknologi Bandung. Bandung
- WinITDB, 2007. Integrated Tsunami Database for the World Ocean.
 Tsunami Laboratory. ICMMG SD RAS. Novosibirsk.
 Russia

Lampiran 1 Data-data Lampiran 1.1 Data Seismisitas dari USGS



NEIC: Earthquake Search Results

U. S. GEOLOGICAL SURVEY UAKEDATABASE

EARTHQ

FILE CREATED: Wed Mar 4 01:49:15 2009

Geographic Grid Search Earthquakes = 92

Latitude: 7.000S - 8.500S

Longitude: 115.500E - 113.000E

Catalog Used: PDE

Data Selection: Historical & Preliminary Data

				// // // //	- 917'/		
YEAR	MO	DA	ORIG TIME	LAT	LONG	DEP	MAG
1975	12	28	152450.80	-7.98	115.07	196	5.9
1976	07	14	071324	-8.17	114.89	40	6.5
1976	07	1 4	102345.80	-8.13	114.86	33	5.9
1976	08	08	051341.60	-8.25	115.00	33	-
1977	01	26	131129.80	-8.22	115.19	33	5.2
1981	10	23	152144.17	-8.37	115.34	33	4.3
1982	07	13	054643.01	-8.43	115.24	139	5.1
1984	08	03	224116.40	-7.85	114.76	38	5.1
1986	12	22	201136.06	-8.43	115.34	33	4.3
1989	01	31	164028.27	-7.96	115.36	228	4.7
1989	05	19	193745.50	-8.49	114.63	141	4.9
1992	03	30	134217.14	-8.35	114.73	17	5.2
1994	10	22	232104.36	-8.28	114.90	178	4.5
1995	10	31	131113.13	-8.25	114.78	53	3.7
1995	12	02	085243.45	-8.13	114.93	33	4.0
1996	04	07	052416.34	-8.01	114.95	208	3.5
1996	05	17	023832.59	-8.06	115.28	100	4.0

1996	06	18	091542.69	-8.01	114.64	33	4.1
1996	06	19	120705.88	-8.26	114.67	33	4.6
1997	01	09	133202.39	-8.29	114.86	33	3.8
1997	02	04	061027.81	-7.83	115.14	203	4.6
1998	01	26	110405.29	-8.12	114.91	33	- 0
1998	01	26	135745.97	-8.22	114.94	28	3.7
1998	01	26	140410.07	-8.16	114.88	10	-
1998	02	22	061854.30	-8.31	114.95	2	-
1998	11	06	160340.33	-8.47	115.10	100	_
1998	11	06	202238.14	-8.48	115.27	200	1.
1998	11	27	192102.27	-8.22	115.25	24	4.4
1998	11	27	193920.01	-8.23	115.19	10	3.5
1998	11	27	194340.66	-8.23	115.19	10	3.1
1998	11	27	194522.94	-8.23	115.20	10	3.4
1998	12	04	150717.10	-8.14	115.20	15	-
1999	10	31	022304.80	-8.29	115.20	27	3.7
1999	11	07	185911	-7.95	115.00	80	-
1999	11	08	072419.60	-8.28	115.20	133	
2000	01	17	085923.70	-8.13	115.40	165	75
2000	01	18	162135.80	-8.09	115.50	161	
2001	06	26	080853.80	-7.61	114.83	2	\mathcal{A}
2001	06	26	111458.30	-7.83	114.83	8	Y
2002	03	30	072048.44	-8.30	115.18	33	\ -
2004	01	22	184356.40	-8.50	114.81	160	0.0
2004	02	19	052546.20	-7.80	115.37	222	4.3
2004	03	20	174226	-8.24	115.21	15	3.6
2004	07	04	222537.50	-8.16	114.78	112	-
2004	08	17	155553.10	-8.07	115.49	33	3.3
2007	11	28	124038.33	-8.29	114.56	10	4.1
2008	05	11	170847.19	-7.94	115.02	35	3.5
2008	11	14	113714.82	-8.01	115.28	35	3.8

Lampiran 1.2

(Data Seismisitas dari Global CMT wilayah utara Jawa Timur–Bali) Global CMT Catalog

Search criteria:

Result

071476A BALI ISLAND REGION

Date: 1976/7/14 Centroid Time:7:13:30.3 GMT

Lat= -8.14 Lon= 114.89

Depth= 28.4 Half duration= 4.2

Centroid time minus hypocenter time: 6.3

Moment Tensor: Expo=25 5.430 -5.380 -0.060 -3.400 0.680 0.760

Mw = 6.5 mb = 6.2 Ms = 6.5 Scalar Moment = 6.47e + 25

Fault plane: strike=96 dip=29 slip=87 Fault plane: strike=280 dip=61 slip=92

022403C BALI SEA

Date: 2003/2/24 Centroid Time: 10:39:44.1 GMT

Lat= -7.15 Lon= 114.16

Depth= 43.3 Half duration= 0.9

Centroid time minus hypocenter time: 0.9

Moment Tensor: Expo=23 3.600 -3.640 0.036 -4.460 0.707 2.340

Mw = 5.1 mb = 5.1 Ms = 4.8 Scalar Moment = 6.2e+23

Fault plane: strike=135 dip=24 slip=121 Fault plane: strike=282 dip=69 slip=77

200709091836A BALI SEA

Date: 2007/9/9 Centroid Time: 18:36:34.5 GMT

Lat= -7.92 Lon= 114.24

Depth= 14.9 Half duration= 0.7

Centroid time minus hypocenter time: -3.1

Moment Tensor: Expo=23 -0.011 -1.870 1.880 -0.370 1.240 1.220

Mw = 4.9 mb = 4.8 Ms = 0.0 Scalar Moment = 2.58e + 23

Fault plane: strike=63 dip=61 slip=4 Fault plane: strike=331 dip=87 slip=151





Lampiran 1.3
(Data Tsunami dari NOAA wilayah utara Jawa Timur-Bali)

No.	Tgl/Bln/Thn	Long	Lat	M	Location
1	13/05/1815	115.5	-8.0	7.0	Bali Sea
2	25/07/1856	116.0	-8.5) L	Java-Flores Sea
3	23/11/1889	113.5	-7.0	6.0	Java
4	21/01/1917	116.0	-7.0	6.6	Bali Sea



Lampiran 1.4

(Data Tsunami dari WinITDB Wilayah Utara Jawa Timur - Bali)

							AUG
	Location	Bali Sea	Java Sea	Java-Flores Sea	Madura Island	Bali Sea	BAWI
	Height (km)	200	200	200	200	200	, 4
	Width (km)	200	200	200	200	200	
	Ms	7.5	9	7	9	6.5	
Į	I	1.5		2	1	•	
	BuoT	114.9925	114.0011	115.5017	113.4961	115.3917	
	Lat	-7.9944	-7.2067	-7.9897	-6.9881	-7.9989	
	Tgl/Bln/Thn	22/11/1815	07/02/1843	13/05/1857	23/11/1889	21/01/1917	
	No.	1	2	3	4	5	

112* 50 113° km Jawa Laut Madura Samudera Indonesia 114 115. 116.

Lampiran 1.5 (Data Batimetri Wilayah Utara Jawa Timur - Bali)

200

3 X

500

700

Lampiran 1.6 (Data Simulasi Tsunami Wilayah Utara Jawa Timur - Bali)

LAI	TLC	(E)	7.92	7.16	7.86	7.12	9.22	9.16	9.22	9.16	9.72	9.66
LONG	TLC	(E)	115.15	113.97	115.11	113.95	109.95	106.01	109.95	106.91	109.45	109.41
	LAT		-0.08	-0.04	-0.14	-0.08	-0.08	-0.14	-0.08	-0.14	-0.08	-0.14
CHANGE	NOI		-0.05	-0.03	-0.09	-0.05	-0.05	-0.09	-0.05	-0.09	-0.05	-0.09
	×		10.46	5.88	18.59	10.46	10.46	18.59	10.46	18.59	10.46	18.59
angle	from	Z	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
DEPTH	TLC	(km)	3.06	0	0	0	3.06	-10.12	13.06	-0.12	3.06	-10.12
Slip	Ħ		1.26	0.71	2.24	1.26	1.26	2.24	1.26	2.24	1.26	2.24
Width	km		19.91	11.19	35.40	19.91	16.91	35.40	16.91	35.40	19.91	35.40
Length	km		39.81	22.39	70.79	39.81	39.81	70.79	39.81	70.79	39.81	70.79
Rake			06	90	90	90	06	06	06	06	96	96
Dip			45	45	45	45	45	45	45	45	45	45
Strike			280	280	280	280	280	280	280	280	280	280
Mag			7	6.5	7.5	7	7	7.5	7	7.5	7	7.5
DEPTH	COF	(km)	20	20	20	20	20	20	30	30	20	20
LAT	COF	S)	8	7.2	8	7.2	9.3	9.3	9.3	9.3	8.6	8.6
LONG	COF	(E)	115.2	114	115.2	114	110	110	110	110	109.5	109.5
SUB	FAULTS		1	2	3	4	9	9	7	8	6	10

Lampiran 2

Daftar Istilah

Lat (G. Lintang) : Garis khayal yang melingkari bumi, sejajar

dengan garis khatulistiwa, baik yang ada di selatan (garis lintang selatan) maupun di utara

(garis lintang utara)

Long (G. Bujur) : Garis khayal yang ditarik dari kutub utara ke

kutub selatan

Long COF: Garis Bujur COF (Center Of Fault)
Lat COF: Garis Lintang COF (Center Of Fault)
Depth COF: Kedalaman COF (Center Of Fault)
Long TLC: Garis bujur TLC (Top Left Corner)
Lat TLC: Garis Lintang TLC (Top Left Corner)

Depth TLC : Kedalam TLC (Top Left Corner)

I (Intensitas) : Besaran yang menyatakan ukuran kerusakan

yang terjadi akibat gempa bumi, yang merupakan pengaruh langsung terhadap

manusia dan lingkungannya

M (Magnitudo) : Besaran yang menyatakan kekuatan gempa

yang diperoleh dari hasil pencatatan

seismograph, dimana ukuran kekuatan gempa

dinyatakan dengan Skala Richter (SR)

Ms (M *surface*) : Magnitudo gelombang permukaan

Width : Lebar patahan Length : Panjang patahan

Strike : Sesar yang arah jurusnya sejajar dengan jurus

batuan sekitarnya

Dip : Jurus dari sesar searah dengan kemiringan

lapisan batuan sekitarnya

Slip : Pergeseran yang diakibatkan oleh patahan

Rake : Sudut antara garis khayal yang

menghunbungkan titik-titik pelengkungan maksimum pada setiap permukaaan lapisan dari setiap struktur lipatan) hingga bidang/garis

horizontal yang diukur pada permukaan.

Lampiran 3

Langkah – Langkah Menjalankan Simulasi Tsunami

Langkah-langkah simulasi tsunami pada program TUNAMI –N2:

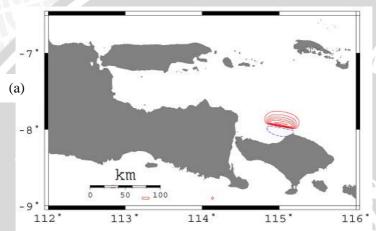
- 1. Open Singular CAS → Start X-Server
- 2. Open Cygwin-X → Xterm
- 3. Ketik pwd/home/Lenovo
- 4. Ketik ls

GMT T-Course TA examples seismisitas xemacs-21.4.20.exe.stuckdump

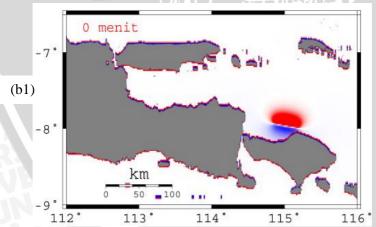
- 5. Ketik cd TA/java2006/case* (case* = case1, case2, case3, case4)
- 6. Ketik ls untuk melihat file
- 7. Ketik make deform
- 8. Ketik ./deform.exe
- 9. Untuk melihat hasil deform, ketik job.plt_deform
- 10. Ketik make tsunami
- 11. Ketik ./tsunami.exe
- 12. Data akan diproses
- 13. Untuk melihat hasil dari tsunami, ketik ls job*
- 14. Untuk melihat hasil keseluruhan, ketik ./job.plt_snap_all
- 15. Untuk memperoleh hasil tinggi tsunami maksimum, ketik job.plt max1.

Lampiran 4

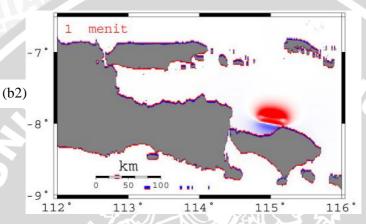
Daftar Tampilan Gambar Hasil Simulasi TUNAMI -N2



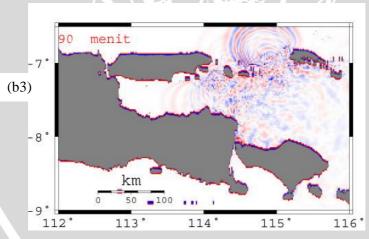
Gambar 4.1 (a) Hasil tampilan berupa deformasi area yang menunjukkan adanya penurunan area sebesar 0,1 meter (garis biru) dan peningkatan area sebesar 0.6 meter (garis merah) di bawah laut.



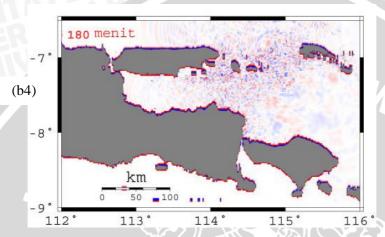
Gambar 4.1 (b1) Tampilan sebaran tsunami ke 0 pada 0 menit



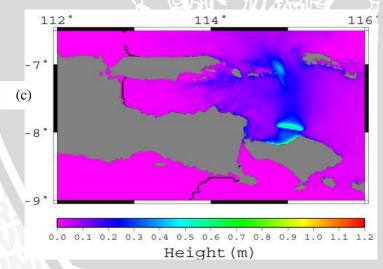
Gambar 4.1 (b2) Tampilan sebaran tsunami ke 1 pada 1 menit



Gambar 4.1 (b3) Sebaran tsunami ke 90 pada 90 menit



Gambar 4.1 (b4) Sebaran tsunami ke 180 pada 180 menit

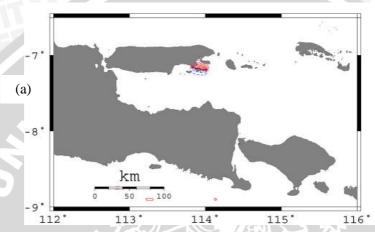


Gambar 4.1 (c) Hasil keluaran dari tinggi maksimum dengan M = 7 SR pada perairan, daratan dan utara laut Bali

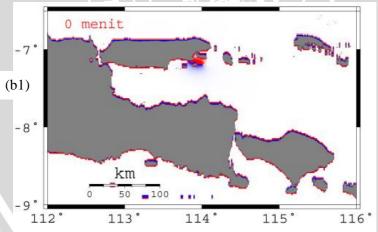
Lampiran 4.2

Case 2

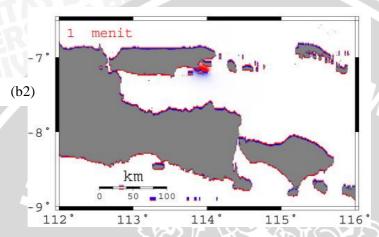
(114⁰ BT dan 7.2⁰ LS, magnitudo 6 SR, kedalaman 0 km)



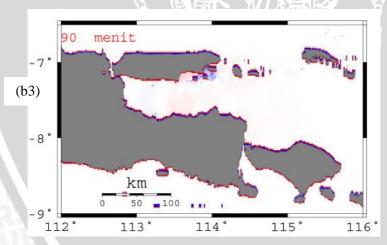
Gambar 4.2 (a) Hasil tampilan berupa deformasi area yang menunjukkan adanya penurunan area sebesar 0, 15 meter (garis biru) dan peningkatan area sebesar 0, 3 meter (garis merah) di bawah laut.



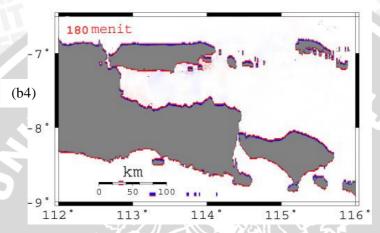
Gambar 4.2 (b1) Tampilan sebaran tsunami ke 0 pada 0 menit



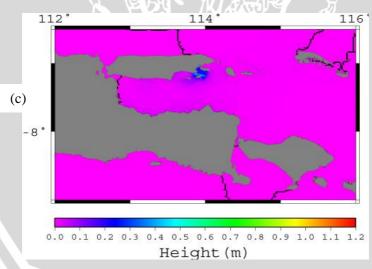
Gambar 4.2 (b2) Tampilan sebaran tsunami ke 1 pada 1 menit



Gambar 4.2 (b3) Sebaran tsunami ke 90 pada 90 menit



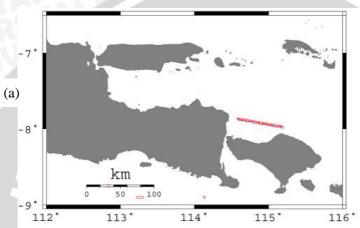
Gambar 4.2 (b4) Sebaran tsunami ke 180 pada 180 menit



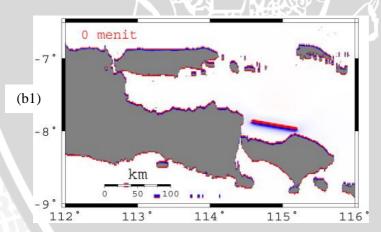
Gambar 4.2 (c) Hasil keluaran dari tinggi maksimum dengan M = 6 SR yang sampai pada selatan Madura

Lampiran 4.3

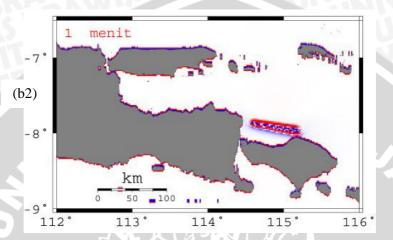
Case 3 (115.2° BT dan 8° LS, magnitudo 7.5 SR, kedalaman 0 km)



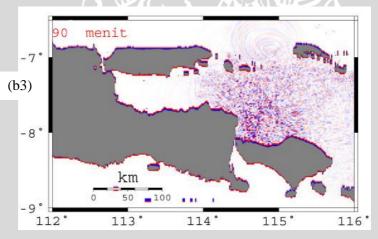
Gambar 4.3 (a) Hasil tampilan berupa deformasi area yang menunjukkan adanya penurunan area sebesar 0,4 meter (garis biru) dan peningkatan area 1,2 meter (garis merah) di bawah laut.



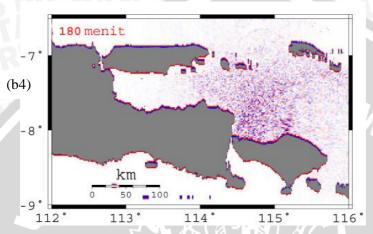
Gambar 4.3 (b1) Tampilan sebaran tsunami ke 0 pada 0 menit



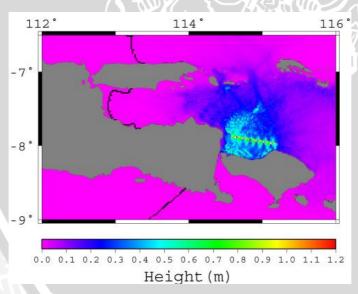
Gambar 4.3 (b2) Tampilan sebaran tsunami ke 1 pada 1 menit



Gambar 4.3 (b3) Sebaran tsunami ke 90 pada 90 menit



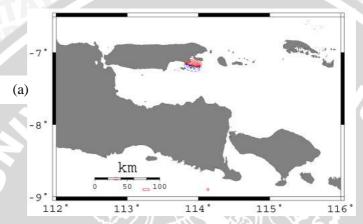
Gambar 4.3 (b4) Sebaran tsunami ke 180 pada 180 menit



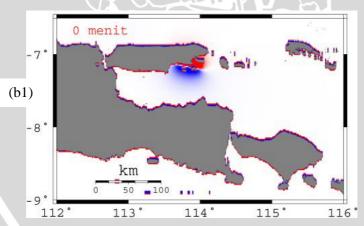
Gambar 4.3 (c) Hasil keluaran dari tinggi maksimum dengan M = 7.5 SR yang sampai pada utara laut Bali

Lampiran 4.4 Case

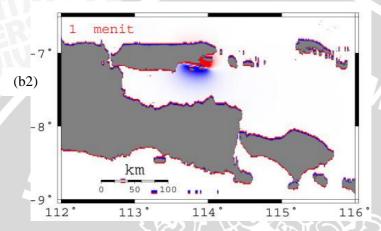
(114° BT dan 7.2° LS, magnitudo 6,5 SR, kedalaman 0 km)



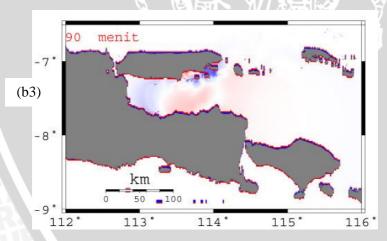
Gambar 4.4 (a) Hasil tampilan berupa deformasi area yang menunjukkan adanya penurunan area sebesar 0,15 meter (garis biru) dan peningkatan area sebesar 0,3 meter (garis merah) di bawah laut



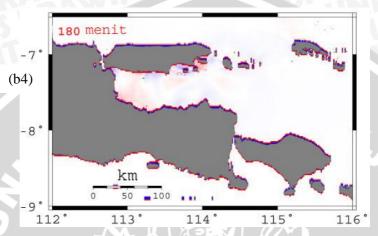
Gambar 4.4 (b1) Tampilan sebaran tsunami ke 0 pada 0 menit



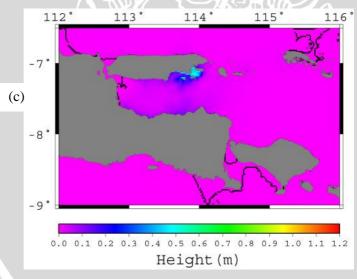
Gambar 4.4 (b2) Tampilan sebaran tsunami ke 1 pada 1 menit



Gambar 4.4 (b3) Sebaran tsunami ke 90 pada 90 menit



Gambar 4.4 (b4) Sebaran tsunami ke 180 pada 180 menit



Gambar 4.4 (c) Hasil keluaran dari tinggi maksimum dengan M = 6.5 SR yang sampai pada selatan Madura

