

**ANALISIS DAERAH RAWAN TSUNAMI DAN
PERHITUNGAN SELISIH WAKTU TIBA GELOMBANG
TSUNAMI DAN GELOMBANG SEISMİK SEBAGAI UPAYA
MITIGASI BENCANA TSUNAMI
STUDI KASUS: TSUNAMI BANYUWANGI 03 JUNI 1994**

SKRIPSI

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

oleh:

**INTAN WIDYA PRATIWI
105090300111002**



**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN
ALAM
UNIVERSITAS BRAWIJAYA MALANG
2014**

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



Halaman ini sengaja dikosongkan

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

**ANALISIS DAERAH RAWAN TSUNAMI DAN
PERHITUNGAN SELISIH WAKTU TIBA GELOMBANG
TSUNAMI DAN GELOMBANG SEISMİK SEBAGAI UPAYA
MITIGASI BENCANA TSUNAMI**

STUDI KASUS: TSUNAMI BANYUWANGI 03 JUNI 1994

oleh:

**INTAN WIDYA PRATIWI
105090300111002**

**Setelah dipertahankan di depan Majelis Penguji
pada tanggal ...
dinyatakan memenuhi syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana Sains dalam bidang Fisika**

Pembimbing I

Pembimbing II

Drs. A. M. Juwono, M.Sc.
NIP. 19600421 1988 02 1001


Novita Hendrastuti, S.Si
NIP. 19801111 2006 04 2003

Mengetahui,
Ketua Jurusan Fisika
Fakultas MIPA Universitas Brawijaya

Drs. Adi Susilo, Ph.D
NIP. 19631227 1991103 1 002

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

Halaman ini sengaja dikosongkan



LEMBAR PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Intan Widya Pratiwi
NIM : 105090300111002
Jurusan : Fisika
Penulis Skripsi berjudul : **Analisis Daerah Rawan Tsunami Dan Perhitungan Selisih Waktu Tiba Gelombang Tsunami dan Gelombang Seismik Sebagai Upaya Mitigasi Bencana Tsunami, Studi Kasus: Tsunami Banyuwangi 3 Juni 1994**

dengan ini menyatakan bahwa:

1. Isi dari skripsi yang saya buat adalah benar-benar karya saya sendiri dan tidak menjiplak karya orang lain. Karya-karya dari penulis-penulis yang tersebut dalam skripsi ini, dan tercantum dalam Daftar Pustaka, digunakan semata-mata sebagai acuan/referensi.
2. Apabila di kemudian hari ternyata skripsi yang saya tulis terbukti hasil jiplakan, maka saya bersedia menanggung segala risiko yang akan saya terima

Demikian pernyataan ini dibuat dengan segala kesadaran

Malang, 05 Desember 2014
Yang menyatakan,

(Intan Widya Pratiwi)
NIM.105090300111002

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT atas limpahan rahmat serta hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Analisis Daerah Rawan Tsunami dan Perhitungan Selisih Waktu Tiba Gelombang Tsunami dan Gelombang Seismik Sebagai Upaya Mitigasi Bencana Tsunami, Studi kasus: Tsunami Banyuwangi 3 Juni 1994 sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana sains dalam bidang Fisika.

Penulis menyadari bahwa selesainya skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak, maka penulis menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Kedua orang tua, ayahanda Basri, Ibunda Sunarmi, kakak tercinta Aditya Purnomo, kakak ipar Titin. Terimakasih atas semua bentuk perhatian, semangat, dan juga materiil serta keikhlasan doa yang selalu dipanjatkan untuk penulis.
2. Bapak Adi Susilo selaku Ketua Jurusan Fisika atas ijin pelaksanaan skripsi yang telah diberikan.
3. Bapak Dadang Permana selaku Kepala BMKG Tretes atas kesempatan yang diberikan pada penulis untuk melaksanakan penelitian di kantor pengamatan BMKG Trestes.
4. Bapak Alamsyah Juwono selaku pembimbing 1 atas segala arahan, masukan, perhatian, dan juga kesabaran yang telah diberikan kepada penulis selama pengerjaan dan penyusunan skripsi ini.
5. Bapak Nugraha Priyalaksana atas ijin yang diberikan dalam proses pengolahan data serta ijin menginap di rumah dinas kantor BMKG Tretes.
6. Mbak Novita Hendrastuti selaku pembimbing 2 atas segala kesabaran, perhatian dan juga ilmu yang telah diberikan selama proses pengolahan dan analisis data di kantor BMKG Tretes.
7. Mas Tri Deni Rachman dan mas Muhajir atas segala perhatian dan juga ilmu baru yang diberikan selama proses pengolahan dan analisis data.
8. Bapak Ibu Dosen Jurusan Fisika FMIPA Universitas Brawijaya atas didikannya selama kuliah.

9. Keluarga Bali serta saudara – saudara tercinta Ninis, mbak Shinta, Bagus, Fariski, Eko yang selalu memberikan semangat, perhatian dan keikhlasan doa.
10. Keluarga Banyuwangi atas segala bentuk perhatian dan doanya.
11. Temen – temen seperjuangan di BMKG Tretes Riska, Kuni, dan Nisa terimakasih atas segala bentuk perhatian dan juga keikhlasan untuk selalu direpotkan penulis dalam pengerjakan skripsi ini.
12. Maysa sekeluarga dan Alif Intan sekeluarga terimakasih atas segala bentuk perhatian, keikhlasan untuk menampung penulis selama ini, dan terimakasih sudah menjaga pertemanan kita selama ini.
13. Violetta, Qomar, Kating, Galuh, Fio, Putri, terimakasih atas semua bentuk perhatian dan juga menjadi teman untuk refreshing.
14. Keluarga, teman-teman Fisika 2010, adik tingkat, dan juga kakak tingkat Fisika FMIPA Universitas Brawijaya atas kebersamaan dan motivasi yang telah diberikan kepada penulis selama pelaksanaan penelitian dan penyusunan skripsi.
15. Ibu Lia dan Bapak Giri, Ibu dan Bapak kost Jln. Gajayana 601A, terimakasih atas segala perhatian, doa, dan juga sudah sabar menampung penulis.
16. Barisan para mantan yang tidak bisa disebutkan satu persatu, terimakasih sudah pernah singgah dihati penulis, doa, perhatian, dan juga meluangkan banyak waktu untuk penulis.
17. Sony Hartanto, Widya Adi Suryanata, Rizky Akbar terimakasih atas bentuk perhatian, kesabarannya, serta telah banyak meluangkan waktu untuk menemani hari-hari penulis.
18. Bang Ali, Cak Juma', Mas Feri, Roni, dan semua group parkir dan CS terimakasih atas perhatian, semangat, dan sudah ikhlas menghibur penulis.
19. Teman-teman di BMKG Bali mas Rudi, Yuda, Hari, dan Riza atas segala bentuk perhatian yang selalu diberikan kepada penulis.
20. Teman-temanku yang tidak bisa penulis sebutkan satu persatu, terimakasih atas segala bentuk perhatian, motivasi, serta doa sehingga penulis bisa menyelesaikan skripsi ini.

Serta banyak pihak yang tidak bisa penulis sebutkan satu-persatu. Karena terlalu banyak pihak yang berkontribusi dalam hal pengerjaan tugas akhir ini. Semoga Allah memberikan balasan atas kebaikan kalian semua.

Penulis menyadari bahwa pada skripsi ini masih terdapat kekurangan mengingat keterbatasan kemampuan penulis. Saran dan kritik sangat penulis harapkan guna melengkapi skripsi ini dan menjadikannya lebih baik.

Akhir kata, penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat dan berguna bagi kita semua.

Malang, 05 Desember 2014

Penulis



UNIVERSITAS BRAWIJAYA

Halaman ini sengaja dikosongkan



ABSTRAK

Pada tahun 1994 terjadi tsunami besar di Selatan pesisir Jawa, tepatnya di daerah Banyuwangi yang merupakan tsunami terbesar dalam sejarah tsunami di daerah Banyuwangi. Hal ini dikarenakan pesisir selatan Jawa merupakan zona subduksi yang merupakan dampak dari pergerakan lempeng Indo-Australia yang bergerak relatif ke utara menyusup ke bawah lempeng Eurasia yang bergerak relatif ke Selatan. Gempa-gempa besar pada zona subduksi ini umumnya berpotensi menimbulkan tsunami. Proses pengolahan data dilakukan dengan menggunakan *software* WinITDB di mana data yang digunakan adalah dari hasil penelitian ilmuwan Jepang yang bernama Tanioka dan Kenji Satake dalam karyanya yang berjudul "*Tsunami Generation by Horizontal Displacement of Ocean Bottom*". Hasil dari pengolahan dengan *software* ini adalah waktu tiba gelombang tsunami dan ketinggian gelombang tsunami (*run-up*). Dari hasil penelitian, selisih waktu tiba gelombang tsunami dan gelombang seismik pada daerah penelitian, yaitu di Kecamatan Pesanggaran Kabupaten Banyuwangi, adalah antara 23-30 menit. Dari hasil selisih yang cukup lama ini dimungkinkan untuk dilakukan upaya mitigasi. Hasil *run-up* gelombang tsunami digunakan untuk pembuatan peta kerawanan. Hasil dari peta kerawanan tsunami dan perhitungan selisih gelombang tsunami dan gelombang seismik dijadikan sebagai masukan awal pada Pemerintah Daerah Banyuwangi, yaitu kantor Badan Penanggulangan Bencana Daerah (BPBD). Masukan tersebut digunakan untuk peringatan dini (*early warning*) sebagai upaya mitigasi bencana tsunami untuk meminimalisir korban jiwa.

Kata Kunci: Banyuwangi, Tsunami, Subduksi, *Run-up*, *Software* WinITDB, waktu tiba gelombang seismik dan gelombang tsunami, dan Mitigasi Bencana.

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



Halaman ini sengaja dikosongkan

ABSTRACT

A large tsunami had occurred in 1994, in the South coast of Java, in Banyuwangi region. It was the largest tsunami ever seen in Banyuwangi. This was considered to be caused by the fact that the south coast of Java is a subduction zone. This subduction zone was caused by movement of Indo-Australia plates, which moves and infiltrates into under the Eurasia plates. Big earthquakes, which occur in subduction zone, in general, potentially trigger tsunami. In analysing the 1994 Banyuwangi tsunami, data was taken from the research results of Japanese scientists named Tanioka and Satake Kenji in a paper with a title of "*Tsunami Generation by Horizontal Displacement of Ocean Bottom*", and was processed using the WinITDB software. The results of this data processing were the time arrivals of tsunami wave and heights of tsunami wave (*run-up*). The results of data processing were the arrival time differences between tsunami wave and seismic wave, in the research area that was in subdistrict of Pesanggaran Banyuwangi regency, which are between 23 up to 30 minutes. These relatively long times enable us to do a mitigation process, and model the run-up results in order to produce a vulnerability map. Result of the vulnerability map and calculation of the different arrival times of the tsunami and the seismic wave are used as an initial suggestion to government office of regional disaster management agency (BPBD) for an early warning system construction, as mitigation effort for tsunami disaster to minimize casualties.

Keyword: Banyuwangi, Tsunami, Subduction, Run-up, WinITDB Software, Time Arrival of Seismic Wave and Tsunami Wave, and Mitigate.

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI	ii
LEMBAR PERNYATAAN	iv
KATA PENGANTAR	vii
ABSTRAK	xi
ABSTRACT	xii
DAFTAR ISI	xv
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR TABEL	xix
DAFTAR LAMPIRAN	xixi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah.....	4
1.4 Tujuan.....	4
1.5 Manfaat.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Gelombang Seismik	7
2.1.1 Gelombang Permukaan (<i>Surface Wave</i>).....	7
2.1.2 Gelombang Badan (<i>Body Wave</i>)	8
2.2 Teori Gempabumi.....	10
2.3 Proses Terjadinya Gempabumi	11
2.4 Patahan (<i>Sesar</i>).....	12
2.5 Teori Tsunami	17
2.6 Penentuan Daerah Rawan Tsunami.....	23
	xv

BAB III METODELOGI.....	27
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	27
3.2 Data Penelitian	27
3.3 Perangkat yang Digunakan.....	27
3.4 Langkah Penelitian	28
3.4.1 Pengumpulan Data	28
3.4.2 Pengolahan Data.....	28
3.4.3 Interpretasi Data	30
3.4.4 Diagram Alir.....	30
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	33
4.1 Hasil Analisa Tsunami	33
4.1.1 Analisa Parameter Tsunami.....	33
4.1.2 Hasil Analisa <i>Software</i> WinITDB	36
4.1.3 Hasil Perhitungan Selisih Gelombang Seismik dan Gelombang Tsunami	39
4.1.4 Hasil Perhitungan Ketinggian Tsunami (<i>Run-up</i>)	43
4.1.5 Analisa Daerah Rawan Tsunami Di Sepanjang Pesisir Jawa.....	46
4.2 Analisa Tsunami Dengan Kondisi Tektonik Daerah Penelitian.....	49
4.3 Mitigasi Bencana Tsunami	53
BAB V PENUTUP.....	57
5.1 Kesimpulan.....	57
5.2 Saran.....	57
DAFTAR PUSTAKA	58
LAMPIRAN.....	61

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1: Gelombang Love	7
Gambar 2. 2: Gelombang Rayleigh	8
Gambar 2. 3: Gelombang Primer	9
Gambar 2. 4: Gelombang Sekunder	10
Gambar 2. 5: Sumber Mekanisme Gempa	11
Gambar 2. 6: Sesar Naik (<i>Trust Fault</i>)	13
Gambar 2. 7: Sesar Turun (<i>Normal Fault</i>)	13
Gambar 2. 8: Sesar Mendatar (<i>Strike Slip Fault</i>)	14
Gambar 2. 9: <i>Oblique Fault</i>	14
Gambar 2. 10: Parameter Orientasi Bidang Sesar	15
Gambar 2. 11: Patahan Naik di Dasar Laut	16
Gambar 2. 12: Patahan Turun di Dasar Laut	17
Gambar 2. 13: Mekanisme Tsunami	18
Gambar 2. 15: Perbandingan Kecepatan Gelombang Tsunami dan Kedalaman Laut	20
Gambar 2. 16: Terjadinya perubahan dasar laut.....	21
Gambar 2. 17: Terjadinya penurunan air laut secara tiba-tiba	21
Gambar 2. 18: Gelombang tsunami menjalar ke daratan	22
Gambar 2. 19: Gelombang tsunami menghantam pesisir.....	22
Gambar 3. 1: Diagram Alir Penelitian.....	31
Gambar 3. 2: Diagram Alir <i>Software WinITDB</i>	32
Gambar 4. 1: Data Bathimetri dengan <i>Focal Mekanism</i>	34
Gambar 4. 2: Perbandingan <i>Waveforms</i> yang dihitung di daerah Prigi, Trianggulasari, dan Bandialit	34
Gambar 4. 3: Peta Seismisitas Jawa Timur 1994	35
Gambar 4. 4: Penjalaran waktu tiba gelombang tsunami	37
Gambar 4. 5: Hasil <i>run-up</i> tsunami Kecamatan Pesanggaran	44
Gambar 4. 6: Perbandingan <i>run-up</i> tsunami hasil WinITDB dan NGDC	45

Gambar 4. 7: Peta kerawanan tsunami sepanjang Pesisir Jawa.....	46
Gambar 4. 8: Data bencana tsunami Banyuwangi 1994	48
Gambar 4. 9: Bangunan-bangunan yang rusak akibat tsunami Banyuwangi 1994.....	48
Gambar 4. 10: Peta daerah penelitian dengan Digital Elevation Model	50
Gambar 4. 11: Peta penggunaan lahan daerah penelitian.....	51
Gambar 4. 12: Peta daerah rawan penggenangan akibat tsunami	52
Gambar 4. 13: Permukiman Desa Pancer.....	54



DAFTAR TABEL

Tabel 4. 1: Nama daerah dan waktu tiba gelombang tsunami.....	38
Tabel 4. 2: Hasil perhitungan penjalaran gelombang tsunami	39
Tabel 4.3: Selisih waktu penjalaran gelombang tsunami dan gelombang seismik.....	41
Tabel 4. 4: Hasil katalog <i>run-up</i> dari <i>software</i> WinITDB.....	44
Tabel 4. 5: Data katalog tsunami pada NGDC	44
Tabel 4. 6: Data bencana tsunami Di Banyuwangi	47



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1: Penjalaran Gelombang Tsunami Banyuwangi 03 Juni 1994	61
Lampiran 2: Katalog Run-up Hasil Software winITDB.....	62
Lampiran 3: Jeffreys Near Earthquake Table.....	63
Lampiran 4: Data Seismisitas Selatan Pesisir Jawa Tahun 1994	65
Lampiran 5: Data Run-up Banyuwangi 03 Juni 1994	69
Lampiran 6: Data Waktu Tiba Gelombang Tsunami	71
Lampiran 7: Hasil Perhitungan Gelombang Tsunami dan Gelombang Seismik.....	79



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan negara kepulauan yang terletak pada koordinat 6° LU – 11° LS dan 95° BT – 141° BT. Indonesia berada pada wilayah jalur gempa aktif yang dapat menyebabkan terjadinya tsunami. Salah satu wilayah di Indonesia yang rawan terhadap terjadinya tsunami adalah pesisir Selatan pantai Jawa. Secara geologis, pesisir Selatan pantai Jawa berada di jalur subduksi atau pertemuan dua lempeng besar yang saling bertumbukan, yaitu lempeng Eurasia dan lempeng Indo-Australia. Dalam kurun 17 tahun telah terjadi 2 kali tsunami yang cukup besar di Selatan Jawa, yaitu tsunami Banyuwangi-Jawa Timur pada tahun 1994, dan tsunami Pangandaran-Jawa Barat pada tahun 2006 (Natawidjaja dkk., 2009).

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. Gelombang itu timbul karena adanya sumber gempa (*focus*). Gempabumi bisa terjadi pada sumber gempa yang dangkal maupun dalam. Gempabumi dengan sumber gempa yang dangkal (≤ 60 km) jauh lebih berbahaya dibandingkan dengan sumber gempa yang dalam. Gempabumi ini dapat menyebabkan kerusakan yang sangat besar dan dapat memicu terjadinya tsunami. Gempabumi terjadi karena pergerakan tiba-tiba pada bidang patahan aktif sebagai proses pelepasan energi kinetik yang terkumpul secara perlahan-lahan dalam jangka waktu yang lama. Gempa yang menyebabkan tsunami merupakan gempabumi lambat, dengan gelinciran sepanjang patahannya dan gerakannya lebih lambat daripada yang terjadi pada gempabumi biasa. Peristiwa terakhir seperti terjadi pada tahun 1996 (Chimbote, Peru) dan tahun 1994 (Banyuwangi, Jawa Timur).

Tsunami paling sering terjadi disebabkan oleh gempa bumi. Tetapi dapat juga disebabkan oleh tanah longsor, letusan gunung berapi, dan tumbukan benda langit. Dari berbagai penyebab tsunami di atas, gempa bumi merupakan penyebab utama terjadinya gelombang tsunami. Terjadinya tsunami akibat gempa bumi, karena adanya pergeseran tektonik di bawah laut yang terjadi di sepanjang daerah subduksi. Lempeng kerak bumi (*crustal blocks*) yang terdorong ke atas dan ke bawah memberi energi potensial pada massa air sehingga terjadi perubahan yang signifikan pada permukaan air laut di daerah yang terkena. Energi yang dilepas ke dalam massa air itu menyebabkan timbulnya tsunami, yakni energi memancar menjauh dari daerah sumbernya dalam bentuk gelombang air berperiode panjang.

Banyak ilmuwan yang tertarik untuk meneliti tsunami di Indonesia. Menurut Budiman (2008), Indonesia merupakan salah satu negara yang memiliki tingkat kegempaan tinggi di dunia. Dibandingkan dengan gempa di Amerika Serikat, maka Indonesia memiliki frekuensi gempa 10 kali lipatnya. Gempa – gempa tersebut sebagian besar berpusat di dasar Samudra Hindia dan beberapa di antaranya mengakibatkan tsunami di Pulau Jawa. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui *run-up* gelombang tsunami dan kondisi morfologi daerah yang sering terkena dampak tsunami. Sedangkan kondisi morfologi tersebut digunakan untuk menghitung genangan (*innudation*) air yang masuk ke permukiman dan juga untuk mengetahui daerah rawan tsunami. Untuk mengetahui itu semua peneliti harus mengetahui parameter-parameter gempa bumi yang akan dijadikan acuan untuk perhitungan *run-up* gelombang tsunami. Selain itu, peneliti juga harus mengetahui beberapa aspek tentang kondisi morfologi daerah yang diteliti. Sebagai contoh, apakah daerah yang diteliti berupa permukiman, persawahan, perbukitan, atau hutan. Kondisi morfologi suatu daerah mempengaruhi besar kecilnya risiko tsunami.

Penelitian yang penulis lakukan adalah untuk mengetahui daerah rawan tsunami, di mana daerah rawan tsunami tersebut dipengaruhi oleh kondisi morfologinya. Sedangkan hasil *run-up* gelombang tsunami dan selisih kecepatan gelombang seismik dan tsunami digunakan untuk upaya mitigasi. Hasil dari *software* winITDB ini, yang dilakukan di daerah penelitian, dapat digunakan sebagai informasi awal untuk kesiapsiagaan masyarakat menghadapi bencana tsunami.

Pemodelan numerik yang digunakan untuk melakukan simulasi pemodelan tsunami dibuat dengan menggunakan *software* WinITDB. *Software* ini dapat digunakan untuk melakukan pemodelan tsunami sehingga bisa memberikan informasi tentang daerah mana saja yang akan terimbas tsunami, dan berapa *run-up* yang dihasilkan ketika terjadi tsunami. Oleh karenanya, data hasil dari penggunaan *software* WinITDB ini bisa dibuat sebagai acuan untuk informasi peringatan dini tentang tsunami. Model numerik ini dapat diawali dengan menciptakan skenario kasus terburuk dari sumber penyebab tsunami. Pemodelan numerik ini bertujuan sebagai peringatan dini bagi masyarakat ketika akan terjadi bencana tsunami.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang dikaji dalam penelitian ini adalah:

1. Mengetahui selisih waktu tiba gelombang tsunami dengan waktu tiba gelombang seismik.
2. Penentuan daerah rawan tsunami berdasarkan *run-up* gelombang tsunami.
3. Mengetahui *Run-up* tsunami berdasarkan *software* winITDB.
4. Bagaimana mempelajari kondisi tektonik daerah penelitian yang berkaitan dengan tsunami.
5. Bagaimana upaya mitigasi ketika terjadi tsunami.

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah yang dikaji pada penelitian ini meliputi:

1. Data lapangan yang digunakan adalah data dari hasil penelitian ilmuwan dari Jepang bernama Kenji Satake dan data dari Stasiun Geofisika Tretes.
2. Daerah yang dibahas hanya meliputi daerah di Kecamatan Pesanggaran, Kabupaten Banyuwangi.
3. Penentuan daerah rawan tsunami berdasarkan dari hasil ketinggian gelombang tsunami (*Run-up*) dari hasil *software* winITDB.
4. Hasil *run-up* tsunami berasal dari katalog *software* WinITDB, dan bukan dari hasil perhitungan manual.
5. Parameter yang digunakan adalah parameter tsunami Banyuwangi 1994.
6. Penelitian ini tidak membahas analisa patahan (*sesar*).

1.4 Tujuan

Tujuan dilakukan penelitian ini adalah:

1. Mengetahui daerah rawan tsunami, mengetahui penjaralan gelombang tsunami, dan juga untuk mengetahui *run-up* tsunami pada daerah yang terimbas tsunami.
2. Mengetahui seberapa akuratnya *software* WinITDB yang digunakan untuk menghitung *run-up* tsunami, dengan cara membandingkan nilai dari data *run-up* dari NGDC.
3. Mengetahui berapa selisih waktu tiba gelombang tsunami dengan gelombang seismik.
4. Mengetahui ciri-ciri kondisi tektonik yang rawan akan tsunami.
5. Membuat upaya mitigasi sebagai peringatan dini (*early warning*) bagi penduduk di pesisir pantai.

1.5 Manfaat

Manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Sebagai informasi tambahan tentang tsunami kepada pemerintah, mahasiswa, serta masyarakat umum, khususnya masyarakat yang tinggal di dekat pesisir pantai, sebagai sistem peringatan dini.
2. Sebagai masukan awal untuk pemerintah agar dapat membuat zona peta rawan tsunami untuk mengurangi dampak dari bahaya tsunami.



UNIVERSITAS BRAWIJAYA

Halaman ini sengaja dikosongkan



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

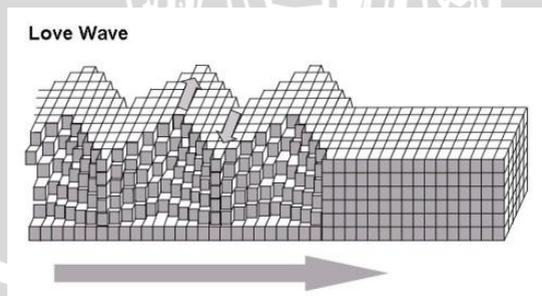
2.1 Gelombang Seismik

Gelombang seismik merupakan gelombang elastis yang terjadi karena pelepasan energi dari sumber gempa yang dipancarkan ke segala arah. Gelombang seismik dapat diklasifikasikan menjadi dua kelompok, yaitu gelombang permukaan (*Surface Wave*) dan gelombang badan (*Body Wave*) (Afnimar, 2009).

2.1.1 Gelombang Permukaan (*Surface Wave*)

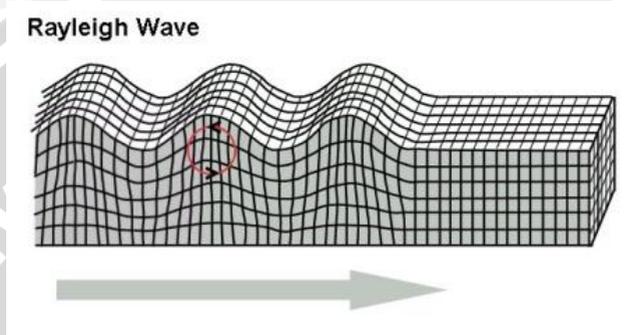
Gelombang permukaan merupakan gelombang kompleks dengan frekuensi rendah dan amplitudo besar yang menjalar pada *freesurface*. Kecepatan penjarangan gelombang permukaan ini sekitar 500-600 m/s. Gelombang permukaan ini dibedakan menjadi dua, yaitu gelombang Love dan gelombang Rayleigh.

Gelombang Love merupakan gelombang permukaan yang menjalar dalam bentuk gelombang transversal. Kecepatan penjarangan gelombang Love tergantung pada panjang gelombangnya yang bervariasi sepanjang penjarannya. Rambatan gelombang Love lebih cepat dibandingkan rambatan gelombang Rayleigh sehingga gelombang Love akan sampai di seismograf lebih dahulu dibandingkan gelombang Rayleigh. Gelombang Love dapat dilihat pada Gambar 2. 1:



Gambar 2. 1: Gelombang Love (Shearer, 2009)

Gelombang Rayleigh merupakan gelombang permukaan yang gerakan partikel mediumnya merupakan kombinasi partikel gelombang primer dan gelombang sekunder. Bentuk penjalaran dari gelombang Rayleigh dapat dilihat pada Gambar 2. 2:



Gambar 2. 2: Gelombang Rayleigh (Shearer, 2009)

2.1.2 Gelombang Badan (*Body Wave*)

Gelombang badan merupakan gelombang yang merambat di interior Bumi (di dalam Bumi). Berdasarkan cara perambatannya gelombang badan dibedakan menjadi dua, yaitu gelombang primer dan gelombang sekunder (Afnimar, 2009).

Gelombang primer adalah gelombang yang bersifat kompresional, karena pada umumnya energinya lebih banyak ditransfer melalui proses kompresi, dan merupakan gelombang longitudinal di mana arah pergerakan partikel medium sejajar dengan arah perambatannya. Gelombang primer mempunyai waktu tiba paling awal, sehingga pada seismograf gelombang primer terekam sebagai gelombang seismik yang pertama datang. Gelombang ini dapat merambat pada medium padat dan cair, dengan kecepatan berkisar 8,5 km/sekon (di lapisan dalam Bumi) sampai 6 km/sekon (di kerak Bumi). Persamaan kecepatan gelombang primer dapat dilihat pada persamaan 2.1, sedang arah perambatannya dapat dilihat pada Gambar 2. 3:

$$v_p = \frac{\lambda + 2\mu}{\rho} = \frac{k_s + \frac{4}{3}\mu}{2a} \quad 2.1$$

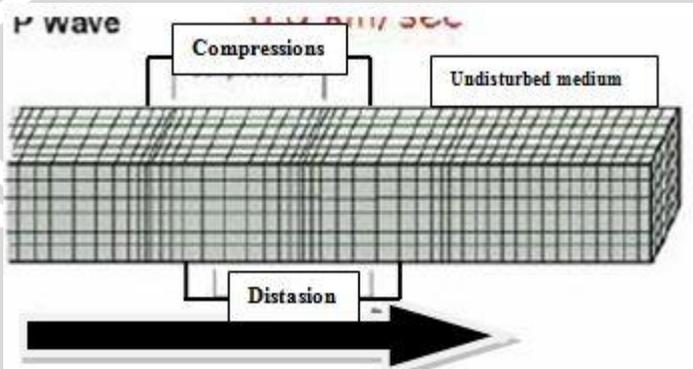
di mana:

K_S = Modulus Bulk (N/m^2)

μ = Rigiditas (Modulus Geser) (N/m^2)

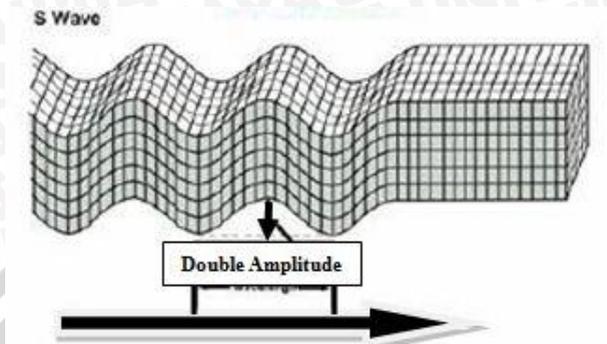
ρ = Densitas (kg/m^3)

λ = Konstanta Lamé (N/m^2)



Gambar 2. 3: Gelombang Primer (Shearer, 2009)

Gelombang sekunder adalah gelombang transversal di mana arah pergerakan partikelnya tegak lurus terhadap arah penjalaran gelombangnya. Gelombang sekunder hanya dapat merambat pada medium padat saja. Kecepatan gelombang sekunder lebih rendah dari gelombang primer yaitu, $2/3$ dari kecepatan gelombang primer atau 4-6 km/sekon. Sehingga pada seismograf gelombang sekunder merupakan gelombang yang tiba setelah gelombang primer. Persamaan dari gelombang sekunder dapat dilihat pada Persamaan 2.2 dan penjalaran gelombang sekunder dapat dilihat pada Gambar 2. 4:



Gambar 2. 5: Gelombang Sekunder (Shearer, 2009)

$$v_s = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}} \quad 2.2$$

di mana:

μ =Rigiditas (N/m²)

ρ =Densitas (Kg/m³)

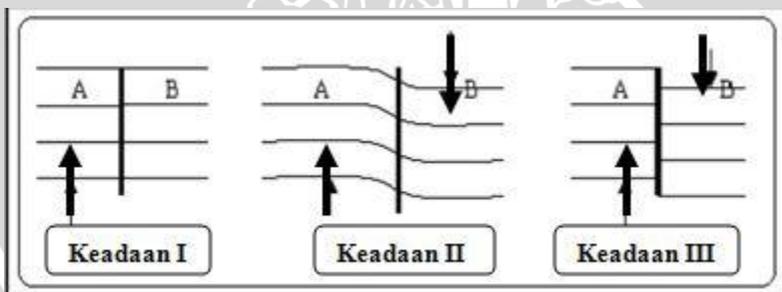
2.2 Teori Gempabumi

Gempabumi tektonik merupakan salah satu akibat dari pergerakan lempeng yang polanya saling bertabrakan (*konvergen*). Adapun syarat terjadinya gempabumi di antaranya adalah adanya penimbunan tegangan secara perlahan pada batas pertemuan lempeng, dengan batuan yang harus cukup kuat untuk menimbun energi. Apabila persyaratan tersebut terpenuhi, maka akan terjadi akumulasi energi sampai batas elastisitas batuan tercapai. Setelah batas elastisitas batuan terlewati, akan terjadi hentakan energi secara tiba –tiba yang disebut dengan Gempabumi Tektonik (Hamilton, 1979). Gelombang dari gempa akan memancar ke segala arah, tidak hanya melewati permukaan bumi melainkan juga melalui bagian dalam bumi. Bahkan seringkali gelombang tersebut melewati inti bumi. Tempat di mana pergeseran atau patahan lapisan batuan tersebut terjadi, biasanya disebut dengan Hiposenter. Sedangkan titik di permukaan bumi yang tegak lurus dengan Hiposenter disebut dengan Episenter.

2.3 Proses Terjadinya Gempabumi

Gempabumi tektonik terjadi karena adanya proses pergerakan lempeng yaitu berupa tumbukan, pelipatan, pergeseran, ataupun penyusupan, yang berpengaruh terhadap media yang mengalami proses tersebut. Pada daerah pertemuan lempeng akan timbul suatu tegangan yang diakibatkan oleh tumbukan dan gesekan antar lempeng, serta oleh sifat-sifat elastisitas batuan. Tegangan pada batuan akan terkumpul terus-menerus, sehingga akan sampai pada titik patah batuan, di mana pada saat tersebut energi yang terkumpul selama terjadi proses tegangan akan dilepaskan. Proses tersebut akan mengakibatkan terjadinya gempabumi.

Teori Reid (1982) menjelaskan tentang mekanisme terjadinya gempabumi, yang dikenal sebagai "*Elastic Rebound Theory*". Dijelaskan dalam teori ini, bahwa gempabumi terjadi pada daerah deformasi di mana terdapat dua gaya yang bekerja dengan arah yang berlawanan pada batuan kulit bumi. Energi yang tersimpan selama proses deformasi berbentuk elastis *strain* dan akan terakumulasi sampai melampaui daya dukung maksimum batuan, hingga akhirnya menimbulkan rekahan atau patahan. Pada saat terjadi rekahan atau patahan tersebut, energi yang tersimpan sebagian besar akan dilepaskan dalam bentuk gelombang ke segala arah, baik dalam bentuk gelombang transversal maupun gelombang longitudinal.



Gambar 2. 6: Sumber Mekanisme Gempa (Reid, 1982).

Keadaan I, ditunjukkan pada Gambar 2. 6, yaitu suatu lapisan yang belum mengalami perubahan struktur geologi. Karena di dalam bumi terjadi gerakan yang terus-menerus, maka akan timbul *stress* yang lama-kelamaan akan terakumulasi dan mampu merubah struktur geologi dari lapisan batuan.

Pada keadaan II nampak suatu lapisan batuan yang telah mendapatkan *stress*, di mana telah terjadi perubahan struktur geologis. Untuk daerah A bekerja *stress* ke atas, sedangkan untuk daerah B bekerja *stress* ke bawah. Proses ini berjalan terus sampai lapisan batuan sudah tidak mampu lagi untuk menahan *stress*, dan mengalami patahan (sesar) yang disertai pergerakan atau perpindahan yang tiba-tiba. Getaran akibat pergerakan tiba-tiba inilah yang disebut gempa bumi.

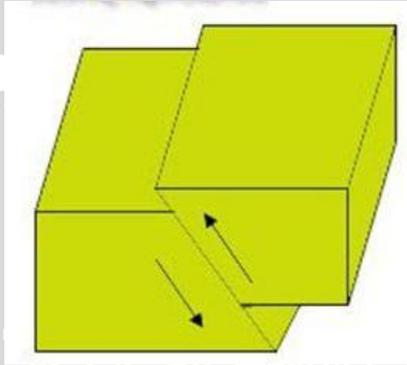
Keadaan III menunjukkan lapisan batuan yang sudah patah, karena adanya pergerakan yang tiba-tiba dari batuan tersebut. Setelah pergerakan berhenti, karena energi *stress* sudah terlepas, terjadi kestabilan seperti semula. Akibat gaya luar (misal dari tumbukan lempeng) yang terus bekerja, *stress* akan mulai terhimpun kembali. Demikian seterusnya. Teori Reid ini dikenal dengan nama “Elastic Rebound Theory”.

2.4 Patahan (Sesar)

Sesar adalah suatu rekahan pada batuan di mana bagian yang dipisahkan oleh rekahan ini bergerak satu terhadap lainnya. Terdapat tiga jenis sesar, yaitu sesar turun, sesar naik, dan sesar mendatar. Selain ketiga jenis sesar tersebut, dikenal pula sesar yang merupakan kombinasi antara sesar naik/turun dengan sesar mendatar, yang disebut dengan sesar *oblique (oblique fault)*. Jika seseorang melihat suatu sesar maka dua bagian yang harus dipahami adalah *foot wall* serta *hanging wall*. Adapun yang dimaksud dengan *foot wall* adalah bagian yang terletak di bawah bidang sesar, sedangkan *hanging wall* bagian yang di atas sesar.

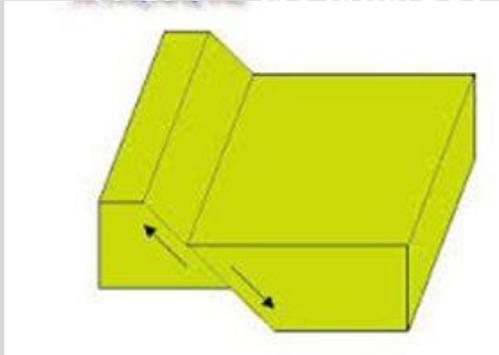
Gempabumi umumnya diakibatkan oleh deformasi batuan yang terjadi di sepanjang sesar. Berdasarkan gaya yang bekerja, sesar dibagi menjadi 4 yaitu:

1. Sesar Naik (*Reverse Fault* atau *Trust Fault*) yaitu sesar di mana *hanging wall* bergerak relatif naik terhadap *foot wall*. Sesar ini disebabkan oleh naiknya batuan penumpu akibat kedua sisinya bergerak saling mendorong, seperti ditunjukkan oleh Gambar 2.6.



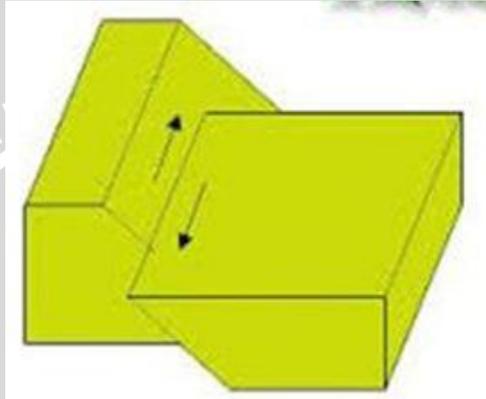
Gambar 2. 7: Sesar Naik (Trust Fault) (Ginanjari, 2007)

2. Sesar Turun (*Normal Fault*) yaitu sesar di mana *hanging wall* bergerak relatif turun terhadap *foot wall*. Sesar ini disebabkan oleh merosotnya batuan penumpu di kedua sisi yang saling menjauh, seperti ditunjukkan oleh Gambar 2. 8.



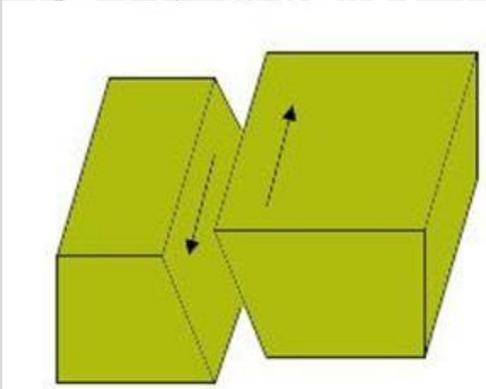
Gambar 2. 8: Sesar Turun (Normal Fault) (Ginanjari, 2007)

3. Sesar Mendatar (*Strike Slip Fault*) yaitu sesar dengan arah gerakan relatif mendatar satu sama lainnya. Sesar mendatar terjadi apabila kedua batuan pada sesar bergerak saling bergeser horizontal, seperti ditunjukkan oleh Gambar 2. 9.



Gambar 2. 9: Sesar Mendatar (*Strike Slip Fault*) (Ginanjari, 2007)

4. *Oblique Fault* adalah kombinasi antara sesar naik/turun dengan sesar mendatar, seperti ditunjukkan oleh Gambar 2. 10.



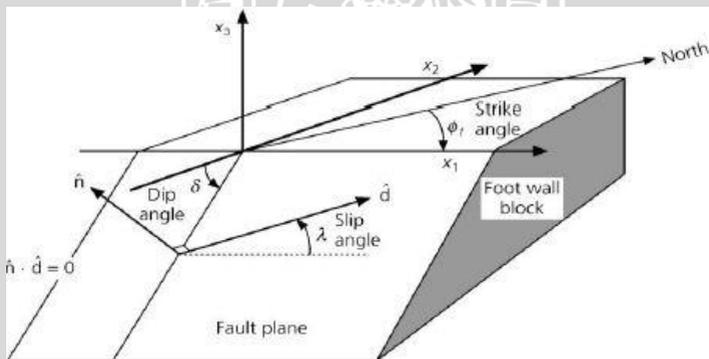
Gambar 2. 10: *Oblique Fault* (Ginanjari, 2007)

Gerakan bidang sesar dapat dibedakan menjadi tiga macam yaitu:

1. *Dip Slip* yaitu pergerakan sesar terjadi dalam arah sejajar dengan sudut kemiringan sesar.
2. *Strike Slip* yaitu pergerakan sesar terjadi dalam arah sejajar dengan sudut *strike*.
3. Kombinasi *Dip Slip* dan *Strike Slip* (diagonal) yang merupakan sesar bergerak secara diagonal.

Gambar 2. 11 menampilkan orientasi bidang sesar yang terdiri atas *strike*, *dip*, dan *rake* dalam sistem koordinat (x,y,z). Inti dari studi mekanisme sumber gempa bumi ini pada dasarnya adalah penentuan orientasi bidang sesar dengan parameter (Harmadhoeni, 2011) sebagai berikut:

1. *Strike* (Φ) yaitu sudut yang dibentuk antara jurus sesar dengan arah utara diukur secara jarum jam ($0^{\circ} \leq \Phi \leq 360^{\circ}$).
2. *dip* (δ) yaitu sudut yang dibentuk oleh bidang sesar dengan bidang horisontal yang diukur dari permukaan horisontal ($0^{\circ} \leq \delta \leq 90^{\circ}$).
3. *Rake* atau Slip angle (λ) yaitu sudut yang dibentuk oleh arah *strike* dengan arah *slip* (arah gerak *hanging wall*), ($-180^{\circ} \leq \lambda \leq 180^{\circ}$), jika patahannya berupa *Trust Fault* $\lambda > 0^{\circ}$, sedang jika patahannya *Normal Fault*, maka $\lambda < 0^{\circ}$.

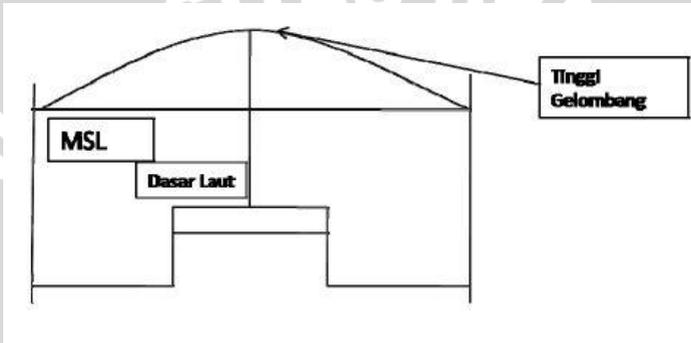


Gambar 2. 11: Parameter Orientasi Bidang Sesar (Imamura et al, 2006)

Tsunami dapat disebabkan oleh dua hal, yaitu patahan naik di dasar laut dan juga patahan turun di dasar laut. Berdasarkan penyebab terjadinya tsunami, patahan dibedakan menjadi dua yaitu:

1. Patahan Naik di Dasar Laut

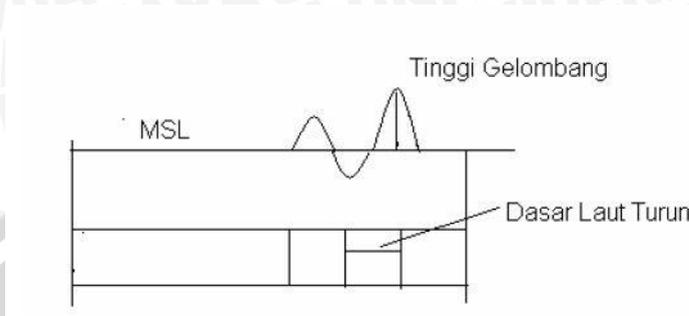
Apabila tsunami disebabkan oleh patahan naik maka permukaan air di atas episenter tiba-tiba terangkat ke atas dan menjaral keseluruh arah penjalaran, seperti pada Gambar 2. 12.



Gambar 2. 12: Patahan Naik di Dasar Laut
(Ibrahim dan Subardjo, 2004)

2. Patahan Turun di Dasar Laut

Apabila penyebab tsunami adalah patahan normal (turun) maka permukaan air di atas permukaan episenter turun sesuai dengan ketinggian perubahan dasar laut. Kemudian kembali untuk mencapai keseimbangan. Dari sini maka terjadi tumbukan partikel air yang menimbulkan energi yang cukup besar untuk mendorong permukaan air ke segala arah dan lebih cepat dari biasanya, yang terlihat seperti pada Gambar 2. 13.



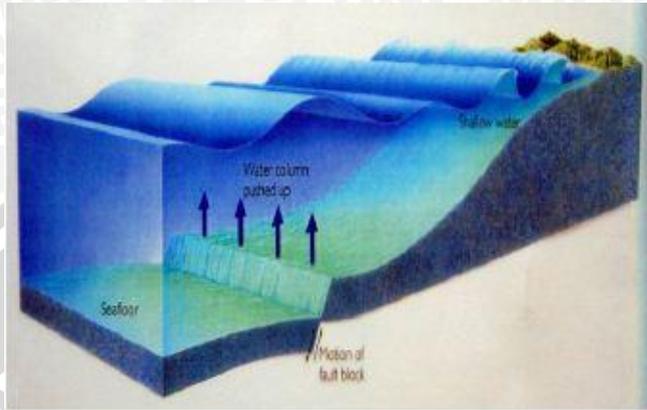
Gambar 2. 13: Patahan Turun di Dasar Laut
(Ibrahim dan Subardjo, 2004)

2.5 Teori Tsunami

Tsunami berasal dari bahasa Jepang yaitu dari kata Tsu dan Nami. Tsu berarti pelabuhan dan nami berarti gelombang. Istilah tersebut kemudian dipakai oleh masyarakat untuk menunjukkan adanya gelombang laut besar yang disebabkan oleh gempa bumi. Lebih tepatnya, tsunami diartikan sebagai gelombang laut yang terjadi secara mendadak yang disebabkan karena terganggunya kestabilan air laut yang diakibatkan oleh gempa bumi tektonik.

Tsunami ditimbulkan oleh adanya perubahan bentuk (deformasi) pada dasar lautan, terutama perubahan permukaan dasar lautan arah vertikal. Deformasi arah vertikal adalah deformasi dasar laut yang dapat membangkitkan tsunami. Perubahan pada dasar lautan tersebut akan diikuti dengan perubahan permukaan lautan yang mengakibatkan timbulnya penjalaran gelombang air laut secara serentak tersebar ke seluruh penjuru mata angin. Hal ini yang disebut dengan mekanisme tsunami yang dapat dilihat pada

Gambar 2. 14.



Gambar 2. 14: Mekanisme Tsunami
(Yeats dan Alen, 1997)

Tsunami dapat dibangkitkan oleh berbagai gangguan tiba-tiba yang terjadi di dasar laut, di antaranya adalah gempa bumi tektonik, aktivitas gunung api bawah laut, runtuhannya dekat pantai, ledakan nuklir di bawah laut, dan akibat ledakan nuklir di bawah laut. Dari penyebab tsunami tersebut di atas, gempa bumi tektonik merupakan sebab utama gelombang tsunami. Besar kecilnya gelombang tsunami sangat ditentukan oleh karakteristik gempa bumi yang memicunya.

Secara singkat, tsunami dapat dideskripsikan sebagai gelombang laut dengan periode panjang yang ditimbulkan oleh suatu gangguan impulsif yang terjadi pada medium laut. Periode gelombang tsunami berkisar antara 10–60 menit. Gelombang tsunami yang ditimbulkan oleh gaya impulsif ini bersifat “Transien” atau gelombang yang bersifat sesaat. Gelombang semacam ini berbeda dengan gelombang-gelombang laut lainnya yang lebih bersifat kontinu, seperti gelombang permukaan yang ditimbulkan oleh gaya seret angin, atau gelombang pasang surut yang ditimbulkan oleh gaya tarik benda angkasa. Selain bersifat transien, gelombang tsunami juga bersifat dispersif, artinya periodenya berubah terhadap jarak sumber gangguan impulsif. Gelombang yang menjalar di daerah yang masih dekat daerah sumber mempunyai periode lebih kecil dibandingkan dengan gelombang tsunami yang telah menjalar jauh dari sumber. Bagian terbesar sumber gangguan

impulsif yang menimbulkan tsunami dahsyat adalah gempabumi yang terjadi di dasar laut. Tetapi tidak semua gempabumi yang episenternya berada di laut dapat menyebabkan tsunami (Imamura *et al*, 2006).

Gempabumi yang dapat menyebabkan terjadinya tsunami mempunyai persyaratan karakteristik, yaitu:

- Magnitudo gempanya (M) ≥ 6.5 SR.
- Kedalaman gempanya (h) dangkal ≤ 60 Km.
- Pusat gempanya merupakan *normal fault* (sesar turun) atau *thrust fault* (sesar naik).

Daerah yang berpotensi tsunami antara lain:

- Daerah pantai yang berhadapan dengan patahan aktif.
- Daerah pantai yang berbentuk teluk (*konvergen*).
- Daerah pantai dengan kelandaian rendah.
- Daerah pantai dengan perbedaan kedalaman yang mencolok.

Jika jenis patahannya adalah *strike fault* (sesar yang bergeser) maka kecil kemungkinannya menimbulkan tsunami karena air laut tidak mengalami usikan yang berarti.

Dari jenis-jenis patahan di atas, *thrust fault* (sesar naik) dapat menimbulkan tsunami yang lebih berbahaya karena gerakan patahannya melawan gravitasi, sehingga memerlukan energi yang besar. Gempa yang terjadi di dasar laut tadi harus bisa merobek dasar laut untuk dapat menimbulkan tsunami. Jika tidak terjadi robekan maka sulit atau kecil kemungkinan untuk terjadi tsunami.

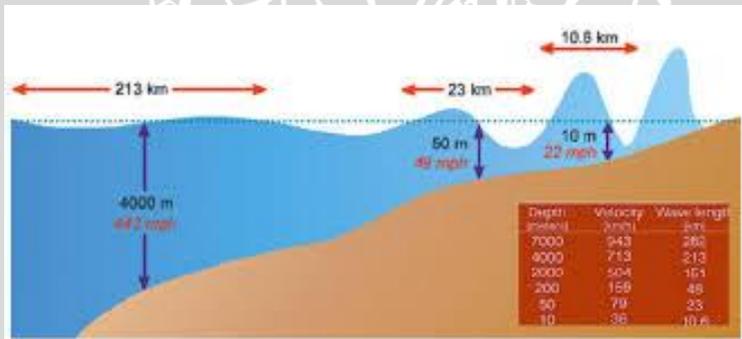
Semua persyaratan tersebut di atas harus dipenuhi supaya dapat menyebabkan terjadinya tsunami.

Periode tsunami bervariasi mulai dari dua menit hingga lebih dari satu jam. Panjang gelombangnya sangat besar, yaitu antara 100km-200km. Kecepatan gelombang tsunami dipengaruhi langsung oleh kedalaman lokasinya. Semakin dangkal kedalaman air kecepatannya semakin menurun, namun ketinggian gelombang akan meningkat. Hal itu dimungkinkan, karena aliran energi pada gelombang tsunami yang bergantung pada tinggi dan kecepatan gelombang. Jadi, ketika semakin mendekati daratan, daratan berperan sebagai kompresor energi yang menekan air ke atas. Akibatnya, kecepatan gelombang berkurang hingga 10 kali lipat dari kecepatan awal, namun ketinggian gelombang meningkat hingga puluhan kali lipat dari ketinggian awal (Natawidjaja dkk, 2009).

Tsunami sebagian besar disebabkan oleh permukaan air laut yang naik turun secara mendadak, maka air yang di atasnya akan mengalami gangguan/usikan. Gangguan tersebut berupa suatu gelombang yang menyebar ke segala arah. Kecepatan gelombang tsunami tergantung pada kedalaman laut. Adapun penjalaran gelombang tsunami, akan dijelaskan seperti di bawah ini:

1. Penjalaran Gelombang Tsunami

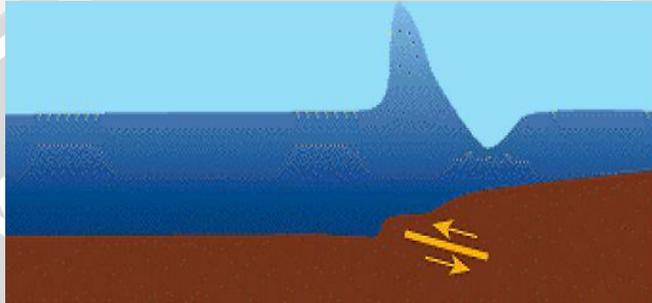
Kecepatan gelombang tsunami berkaitan erat dengan kedalaman laut. Kecepatan gelombang tsunami di kedalaman yang lebih dangkal lebih lambat dibandingkan kecepatan gelombang tsunami di dasar laut yang lebih dalam. Berkurangnya kecepatan tsunami, berbanding terbalik dengan tinggi gelombang tsunami yang semakin bertambah ketika memasuki daratan pesisir. Sebagai contoh, gempa bumi yang menyebabkan tsunami pada kedalaman laut 4000 meter, gelombang tsunami tersebut merambat dengan kecepatan 713 km/jam. Sementara pada kedalaman 50 meter, kecepatan gelombang tsunami adalah 79 km/jam. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 2. 15.



Gambar 2. 15: Perbandingan Kecepatan Gelombang Tsunami dan Kedalaman Laut (Natawidjaja dkk, 2009)

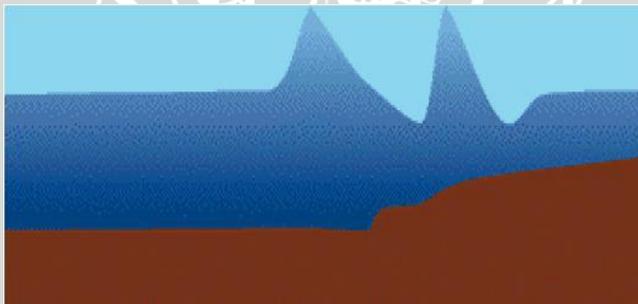
Mekanisme penjalaran tsunami disebabkan oleh 4 faktor yaitu terjadinya perubahan dasar laut, terjadinya penurunan air laut secara tiba-tiba, gelombang tsunami menjalar ke daratan, dan gelombang tsunami menghantam pesisir. Mekanisme penjalaran gelombang tsunami dapat digambarkan sebagai berikut:

1. Terjadi perubahan dasar laut vertikal akibat gempa bumi, tanah longsor, maupun gunung meletus, seperti ditunjukkan dalam Gambar 2. 16.



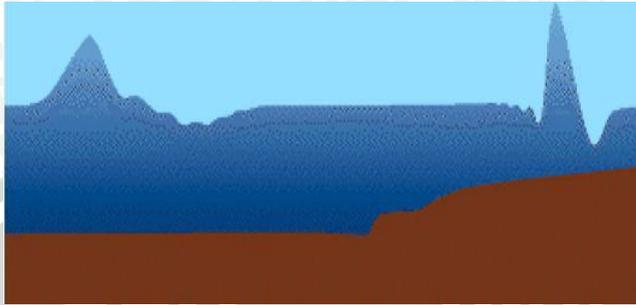
Gambar 2. 16: Terjadinya perubahan dasar laut (Lida dan Iwasaki, 1983)

2. Terjadi penurunan air laut secara tiba-tiba dalam jumlah yang besar sebelum naik kembali secara tiba-tiba, dan menimbulkan gelombang tsunami, seperti ditunjukkan dalam Gambar 2. 17:



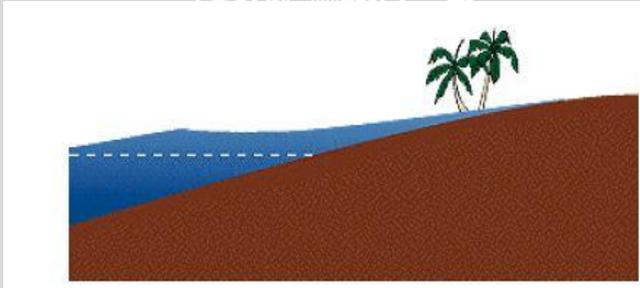
Gambar 2. 17: Terjadinya penurunan air laut secara tiba-tiba (Lida dan Iwasaki, 1983)

3. Gelombang tsunami menjaral ke arah daratan dengan kecepatan tinggi dan mengalami pembesaran amplitudo selama proses penjalarannya, seperti ditunjukkan dalam Gambar 2. 18:



Gambar 2. 18: Gelombang tsunami menjalar ke daratan (Lida dan Iwasaki, 1983)

4. Gelombang tsunami menghantam pesisir pantai dan menimbulkan kerusakan, seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 2. 19:



Gambar 2. 19: Gelombang tsunami menghantam pesisir (Lida dan Iwasaki, 1983)

Sedangkan sifat-sifat penjalaran gelombang tsunami, menurut (Eisner, 2005), adalah sebagai berikut:

1. Gelombang Tsunami yang ditimbulkan oleh gaya impulsif bersifat transien, yaitu bahwa gempa yang terjadi di dalam perut bumi akan mengakibatkan munculnya tekanan ke arah vertikal sehingga dasar lautan akan naik dan turun dalam rentang waktu yang singkat.
2. Pergerakan partikel air melibatkan seluruh volume dari dasar laut hingga ke permukaan.
3. Merupakan gelombang berperiode panjang yaitu 10–60 menit dengan panjang gelombang ± 100 km.

4. Kecepatan dan tinggi gelombang tsunami akan bertambah jika melewati pantai berbentuk teluk.
5. Tsunami, seperti halnya gelombang perairan dangkal, akan mengalami proses-proses seperti pembiasan, pendangkalan, dan pemantulan ketika memasuki perairan pantai.

2.6 Penentuan Daerah Rawan Tsunami

Berdasarkan formulasi risiko tsunami di suatu daerah tertentu (Puspito, 1998) dinyatakan bahwa besaran risiko bencana tsunami adalah rasio antara kepadatan penduduk dengan kerentanan lingkungan yang merupakan suatu kemungkinan dampak negatif yang dapat timbul ketika bahaya tsunami terjadi.

Penentuan daerah rawan tsunami (Sudrajat, 1994) dapat dilakukan dengan melihat kejadian sebelumnya atau melihat besarnya gempa yang sering terjadi di daerah tersebut. Tingkat kerusakan bencana tsunami ditentukan oleh beberapa faktor, antara lain:

1. Faktor geologis dan seismisitas, yang meliputi episenter, bathimetri, pergeseran lempeng tektonik, yang dapat menentukan arah dan besar gelombang tsunami.
2. Morfologi pantai, meliputi geometrik kelandaian dan jenis litologi (batuan pembentuk pantai) serta tata pengolahan lahan.
3. Vegetasi penutup dan lingkungan pantai.
4. Penataan lokasi permukaan dan bangunan lainnya.
5. Kesiapsiagaan masyarakat dalam menghadapi bencana ini.

Terdapat beberapa penentuan tentang daerah rawan tsunami (Prasetyo, 2008) dalam tiga permasalahan yaitu:

1. Topografi pada pantai lepas mempengaruhi besarnya gelombang yang akan mencapai bibir pantai. Gelombang tsunami akan lebih besar dan tinggi pada kondisi pantai yang dangkal dan relatif landai dibandingkan dengan kondisi pantai yang dalam dan curam.
2. Pantai yang berada pada patahan aktif akan mempengaruhi besarnya gelombang yang mencapai pantai. Sehingga dampak tsunami yang ditimbulkan juga akan besar.

3. Pada teluk yang terkena tsunami maka muka air akan naik dan akan terjadi resonansi serta interferensi sehingga pengaruhnya akan lebih besar.

Gelombang pasang akibat tsunami, bila bergerak ke pantai, dapat mengakibatkan tinggi gelombang tersebut bertambah besar. Perubahan gelombang tsunami menjadi tinggi tersebut sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor (Puspito, 1998). Adapun faktor-faktor yang mempengaruhi perubahan gelombang tsunami adalah sebagai berikut:

1. Geometri Pantai

Pantai yang memanjang tanpa lekukan mempunyai tinggi gelombang lebih rendah bila dibandingkan dengan pantai berteluk. Pada pantai berteluk, gelombang tsunami bertambah cepat, besar, dan tinggi karena memiliki kemiringan yang relatif rendah 3^0 hingga 5^0 akan mengalami jangkauan tsunami yang lebih kuat dan jauh mencapai daratan, dibandingkan dengan daerah yang memiliki kemiringan yang lebih curam.

2. Kelandaian Pantai

Ada dua jenis kelandaian yang mencolok, yaitu pantai landai, pantai terjal, dan pantai dalam. Gelombang tsunami yang tiba pada pantai yang relatif landai akan semakin membesar dibandingkan pantai yang relatif dalam serta terjal.

3. Kekasaran Pantai

Ditinjau dari sifat kekerasan suatu pantai, di mana dapat dibedakan dua jenis yaitu pantai kasar dan pantai halus. Pantai kasar dapat diartikan pantai yang berbukit-bukit, berbatu, berkarang, dan atau ditutupi oleh vegetasi yang bervariasi sehingga bersifat kasar. Tipe pantai seperti ini dapat meredam energi gelombang tsunami. Sedangkan pantai halus tersusun oleh endapan aluvial pantai dari pasir sedang hingga halus, dan tidak ditumbuhi oleh tanaman bersifat pantai kasar. Pantai berpasir halus akan menimbulkan gelombang tsunami yang lebih besar.

4. Pantai dengan muara sungai

Pada umumnya pantai di sini terjadi proses sedimentasi dari daratan melalui sungai. Sedimentasi itu sendiri adalah masuknya muatan sendimen ke dalam suatu lingkungan perairan tertentu

melalui media air dan diendapkan di dalam lingkungan tersebut. Sedimentasi yang terjadi di lingkungan pantai menjadi persoalan apabila terjadi di lokasi yang terdapat aktifitas manusia yang membutuhkan kondisi perairan seperti sungai. Sedimentasi menyebabkan pendangkalan sungai. Hal itu terjadi karena ketinggian sedimentasi mengurangi kedalaman dari air sungai, sehingga pendangkalan sungai bisa mengakibatkan meluapnya air sungai jika terdapat debit air yang melebihi daya tampung aliran sungai. Sehingga banyak dijumpai adanya tunggul alam di sekitar muara sungai. Tunggul alam ini biasanya ditumbuhi vegetasi yang lebat. Tunggul alam dan vegetasi berperan besar dalam mereduksi energi gelombang tsunami yang melanda kampung sekitar muara.



UNIVERSITAS BRAWIJAYA

Halaman ini sengaja dikosongkan



BAB III

METODELOGI

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan mulai 10 Februari 2014 sampai 30 April 2014. Tempat pelaksanaannya adalah di stasiun Geofisika Kelas II Tretes, Jalan Raya Ledug No.64 Prigen, Pasuruan 67157, Jawa Timur.

3.2 Data Penelitian

Pada penelitian ini jenis data yang digunakan adalah data sekunder, yang merupakan hasil pencatatan di stasiun Geofisika Tretes dan data hasil penelitian seorang peneliti dari Jepang yang bernama Satake dan Tanioka (Satake dan Tanioka, 1999) dalam karya mereka yang berjudul "*Tsunami Generation by Horizontal Displacement of Ocean Bottom*". Sedangkan data gempabumi yang digunakan sebagai penelitian adalah gempabumi Banyuwangi yang terjadi di daerah Banyuwangi pada 03 Juni 1994.

Data yang diperlukan dalam penelitian ini berupa parameter-parameter gempabumi, yang terdiri atas kedalaman gempa (*depth*), kekuatan gempa (*magnitudo*), waktu terjadinya gempabumi (*origin time*), dan koordinat pusat gempa (*epicenter*).

3.3 Perangkat yang Digunakan

Perangkat yang digunakan untuk penelitian ini terdiri atas perangkat keras (*hardware*) dan perangkat lunak (*software*). Adapun perangkat keras (*hardware*) yang digunakan berupa sebuah laptop atau komputer yang memiliki sistem operasi Windows 7. Sedangkan perangkat lunak (*software*) yang digunakan adalah *software* WinITDB, Microsoft Excel, Note ++, dan Arcgis 10.

3.4 Langkah Penelitian

3.4.1 Pengumpulan Data

Data yang dikumpulkan merupakan data sekunder dari gempabumi Banyuwangi. Data ini diperoleh dari hasil penelitian seorang peneliti yang bernama (Satake dan Tanioka, 1999). Selain itu juga, data juga diperoleh dari hasil pencatatan di stasiun Geofisika Tretes.

3.4.2 Pengolahan Data

Pengolahan data pada penelitian ini adalah dengan memasukan parameter-parameter gempabumi ke dalam *software* WinITDB. Adapun parameter-parameter yang dimasukan pada *software* WinITDB adalah waktu terjadinya gempabumi, koordinat pusat gempabumi, dan kekuatan gempabumi. Tujuan pengolahan data dengan menggunakan *software* WinITDB adalah untuk mengetahui waktu tiba gelombang tsunami, daerah terimbas tsunami, dan tinggi gelombang tsunami.

Perhitungan kecepatan gelombang tsunami yang digunakan dalam *software* WinITDB berdasarkan teori yang diperoleh dari (Lay and Wallace, 1995) yang dirumuskan dengan persamaan 3.1:

$$v = \sqrt{gh} \quad 3.1$$

di mana:

v = Kecepatan Gelombang tsunami (m/s)

g = Percepatan gravitasi Bumi (10 m/s^2)

h = Kedalaman Laut (m)

Untuk mempermudah perhitungan kecepatan gelombang tsunami maka kecepatan gelombang diwakili dengan kecepatan rata-ratanya, yang ditunjukkan dengan rumus pada persamaan 3.2.

$$v = \frac{\int_0^x v \, dx}{x} \quad 3.2$$

Dalam prakteknya, perhitungan dengan persamaan 3.2 dapat disederhanakan menjadi:

$$v = \frac{v x_1 \cdot \Delta x + v x_2 \cdot \Delta x + \dots + v x_n \cdot \Delta x}{n-1} \quad 3.3$$

$$v = (v_0 + v_1 + v_2 + v_3 + v_n) \frac{\Delta x}{n-1} \quad 3.4$$

$$v = \frac{v(x)}{n-1} \quad 3.5$$

Untuk mengetahui jarak titik episenter ke titik pengamatan digunakan perhitungan dengan rumus segitiga bola yaitu:

$$\cos \Delta = \sin \phi_e \sin \phi_p + \cos \phi_e \cos \phi_p \cos (\lambda_p - \lambda_e) \quad 3.6$$

di mana:

ϕ_e = Lintang posisi episenter

ϕ_p = Lintang posisi kota pengamatan

λ_e = Bujur posisi episenter

λ_p = Bujur posisi kota pengamatan

Jarak yang didapatkan dari persamaan 3.6 masih dalam satuan derajat, sehingga harus dikonversi dalam bentuk Km. Hasil dari jarak tersebut harus dikalikan dengan 111,11 agar menjadi satuan kilometer (Km). Dengan didapatkan kecepatan rata-rata gelombang tsunami (v), maka waktu penjalaran gelombang tsunami dapat diketahui melalui persamaan 3.7 dengan rumus:

$$t = \frac{v}{s}$$

3.7

di mana:

t = Waktu tempuh (sekon)

s = Jarak episenter ke daerah yang diteliti (meter)

v = Kecepatan rata-rata (m/s)

Sedangkan kecepatan gelombang seismik diambil dari tabel Jeffrey-Bullens, tabel ini digunakan untuk gempa dangkal. Tabel Jeffrey-Bullens dapat dilihat di lampiran.

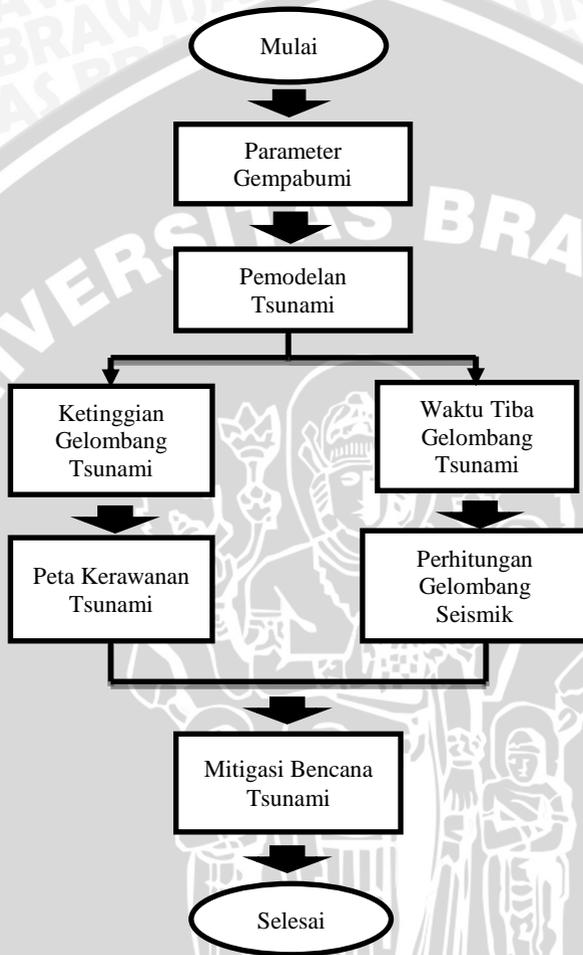
Hasil perhitungan waktu tempuh penjaralan gelombang tsunami yang langsung didapatkan dari katalog *software* WinITDB bisa pula dihitung secara manual dengan menggunakan persamaan 3.7. Untuk itu haruslah terlebih dahulu dihitung jarak episenter ke daerah yang diteliti dengan menggunakan persamaan 3.6 dan dihitung kecepatan penjaralan gelombang tsunami dengan menggunakan persamaan 3.2. Sedangkan untuk hasil *run-up* tsunami sendiri diperoleh dari katalog *software* WinITDB.

3.4.3 Interpretasi Data

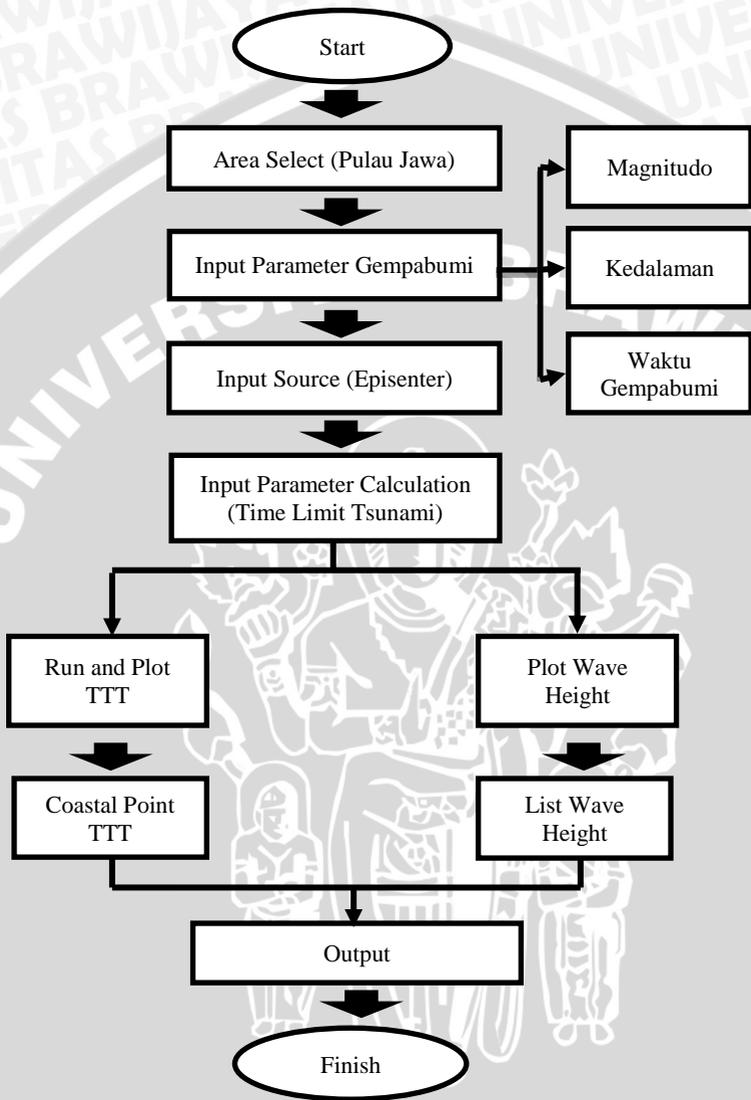
Hasil yang diperoleh dari *software* WinITBD dan perhitungan secara manual akan menghasilkan selisih waktu tiba gelombang tsunami dan gelombang seismik. Selisih waktu tiba itu akan digunakan sebagai waktu untuk peringatan dini (*early warning*) bagi masyarakat di daerah pesisir. Selain itu juga, dihasilkan ketinggian gelombang tsunami (*run-up*) yang akan digunakan sebagai parameter untuk menentukan daerah rawan tsunami. Hasil dari pengamatan penulis tentang daerah rawan tsunami ini yang akan dibandingkan dengan kondisi geologi daerah yang diamati.

3.4.4 Diagram Alir

3.4.5 Keseluruhan prosedur tentang penelitian tsunami disajikan pada Gambar 3. 1, sedangkan prosedur pengolahan data dengan menggunakan *software* WinITDB disajikan pada Gambar 3.2



Gambar 3. 1: Diagram Alir Penelitian



Gambar 3. 2: Diagram Alir *Software WinITDB*

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Analisis Tsunami

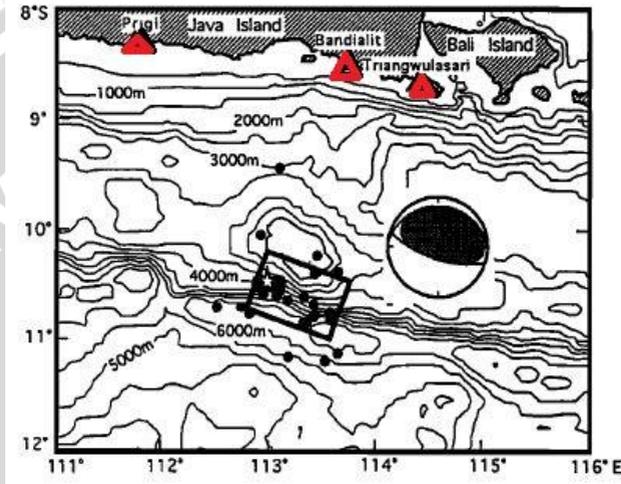
4.1.1 Analisis Parameter Tsunami

Secara geografis, Kabupaten Banyuwangi terletak di ujung timur Pulau Jawa pada koordinat antara $7^{\circ}34'-8^{\circ}46'$ LS dan $113^{\circ}53'-114^{\circ}38'$ BT. Tsunami besar terjadi pada 03 Juni 1994 di daerah Banyuwangi, yaitu di Kecamatan Pesanggaran. Terjadinya tsunami disebabkan oleh dua parameter yaitu parameter gempabumi dan parameter sesar. Parameter gempa dan parameter sesar sudah diteliti sebelumnya oleh seorang peneliti dari Jepang (Tsuji, 1995). Dalam penelitian ini penulis hanya menggunakan parameter-parameter tersebut sebagai acuan untuk menganalisis tsunami yang terjadi di Banyuwangi tersebut.

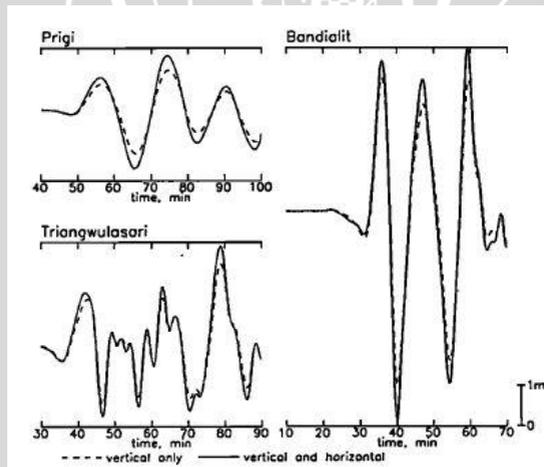
Adapun parameter-parameter gempabumi yang menyebabkan terjadinya tsunami Banyuwangi 1994 adalah waktu kejadian gempabumi (*origin time*) pukul 18:17:34 UTC, kekuatan gempabumi (*magnitudo*) 7.8 SR, koordinat pusat gempa (*epicenter*), yang terletak pada koordinat 10.477°S dan 112.835°E , dan kedalaman gempabumi (*depth*) 18 km. Sedangkan hasil hitungan dari parameter sesarnya didapatkan panjang sesar 90 km dan lebar sesar 60 km, dengan tipe sesar naik (*Thrust Fault*) yang dapat dilihat pada Gambar 4. 1 (*strike*= 280° , *dip*= 15° , *rake*= 90°) (Tsuji, 1995).

Simbol segitiga pada Gambar 4. 1 menunjukkan lokasi di mana gelombang tsunami dihitung di tiga daerah yaitu Bandialit, Prigi, dan Triangwulasari. Selain itu, pada Gambar 4. 1 juga terlihat bahwa jenis sesar yang terjadi pada tsunami Banyuwangi adalah jenis sesar naik, yang disimbolkan dengan bola fokus. Sedangkan untuk episenternya diberi tanda dengan simbol bintang, yang berada di dalam kotak.

Hasil perbandingan *waveforms* di ketiga daerah yang mencatat hasil perkiraan *run-up* tsunami ditunjukkan pada Gambar 4. 2. Adapun hasil perkiraan ketinggian gelombang tsunami (*run-up*) yaitu 3-4 meter di lokasi Prigi, 4-5 meter di lokasi Triangwulasari, dan 5-10 meter di lokasi Bandialit (Tsuji, 1995).



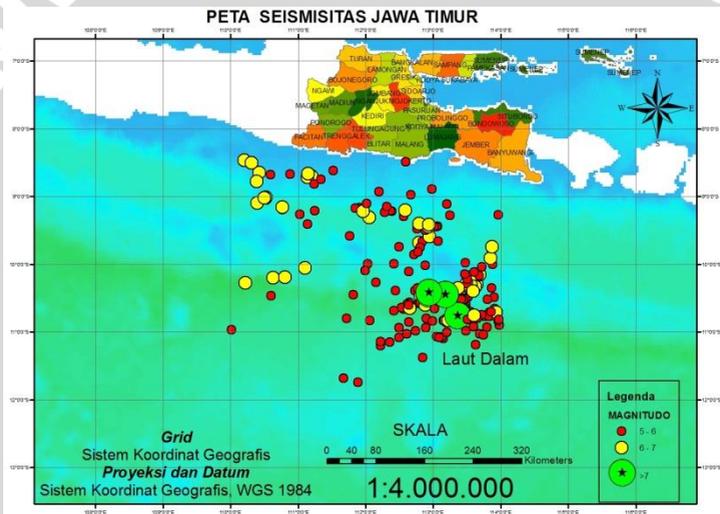
Gambar 4. 1: Data Bathimetri dengan Focal Mekanism (Tsuji, 1995).



Gambar 4. 2: Perbandingan Waveforms yang dihitung di daerah Prigi, Triangwulasari, dan Bandialit (Tsuji, 1995).

Pada tahun 1994 terdapat banyak kejadian gempa bumi di Selatan pesisir selatan Jawa. Akan tetapi tidak semua gempa bumi menimbulkan dampak tsunami. Adapun karakteristik gempa bumi yang menyebabkan tsunami adalah:

1. Magnitudo gempanya (M) ≥ 6.5 SR.
2. Kedalaman gempanya (h) dangkal ≤ 60 km.
3. Pusat gempanya adalah sesar turun (*Normal Fault*) atau sesar naik (*Thrust Fault*).
4. Morfologi pantai biasanya berbentuk teluk, berada pada patahan aktif, dan dengan kelandaian rendah.



Gambar 4. 3: Peta Seismisitas Jawa Timur 1994

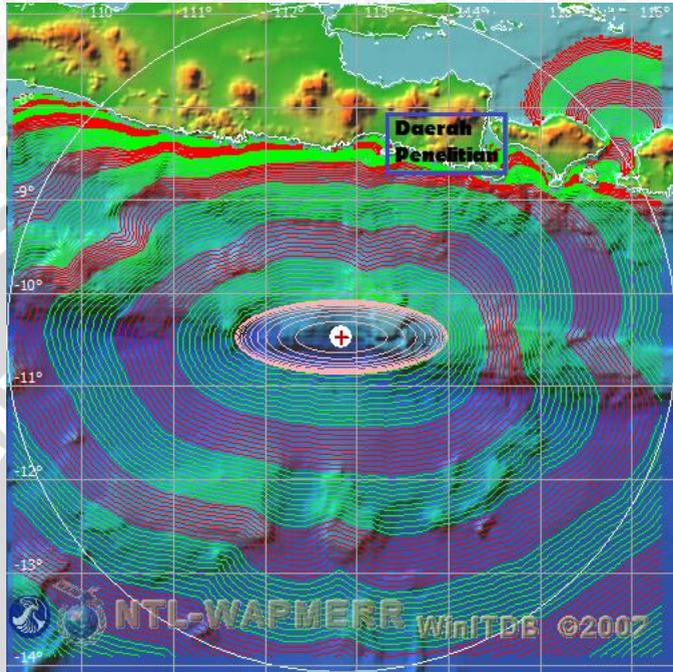
Gempabumi Banyuwangi 1994 memenuhi syarat karakteristik seperti yang ditulis di atas, sehingga gempa bumi Banyuwangi merupakan salah satu gempa bumi sebagai pembangkit tsunami. Gempabumi ini merupakan gempa bumi dangkal yaitu dengan kedalaman episenter 18 km sehingga menimbulkan kerusakan parah dan juga menelan korban yang sangat banyak.

4.1.2 Hasil Analisa *Software* WinITDB

Simulasi pemodelan tsunami Banyuwangi 1994 dilakukan dengan menggunakan *software* WinITDB. *Software* ini merupakan *software* integrasi data gempa bumi dan tsunami, yang memuat tampilan katalog gempa, katalog tsunami, analisis gempa atau tsunami, dan pemodelan tsunami. Peta atau map yang digunakan pada aplikasi ini cukup bagus karena peta atau map pada aplikasi ini sudah dilengkapi dengan data bathimetri dan akan secara otomatis menyesuaikan data ketinggian daerah yang akan dijadikan model simulasi. Aplikasi ini juga dapat menampilkan lempeng (*plate*) yang memudahkan untuk membantu plot gempa. Sebagai contohnya tsunami Pangandaran 2006 yang disimulasikan dengan *software* WinITDB yang bisa menghasilkan waktu tiba gelombang tsunami dan ketinggian gelombang tsunami (*run-up*).

Hasil *running* dari *software* WinITDB menghasilkan *run-up* tsunami yang sudah otomatis terhitung dari *software* WinITDB tersebut, sedangkan untuk waktu tiba gelombang tsunami akan berbeda-beda hasilnya tergantung pada lokasi episenter yang dimasukkan. Ketika dimasukkan posisi episenter pada titik koordinat 10.477°S dan 112.835°E terlihat penjaralan gelombang tsunami di daerah-daerah sepanjang pesisir Jawa dan Bali, seperti terlihat pada

Gambar 4. 4, yang didapat untuk waktu *running* satu jam. Alasan penulis menggunakan waktu *running* satu jam adalah bahwa secara teori periode gelombang tsunami menjalar selama 10-60 menit.



Gambar 4. 4: Penjalaran waktu tiba gelombang tsunami

Hasil running yang diatur dengan waktu satu jam menghasilkan penjalaran gelombang tsunami disepanjang pesisir Jawa sampai ke daerah Bali, akan tetapi penulis membatasi daerah yang akan dibahas pada pembahasan ini yaitu daerah-daerah yang ada di Banyuwangi. Daerah-daerah tersebut, beserta waktu tiba penjalaran gelombang tsunaminya disajikan pada Tabel 4.1.

Tabel 4. 1: Nama daerah dan waktu tiba gelombang tsunami

No	Nama Pantai	Waktu Tiba Gelombang (sekon)
1	Grajagan	1256
2	Silirsetopan	1256
3	Roworante	1365
4	Sarongan	1459
5	Sukomade	1483
6	Pesanggaran	1637
7	Pulau Merah	1667
8	Lampon	1785
9	Banyubiru	3495
10	Banyuwangi	3495
11	Banyuwedang	3495
12	Cadikusuma	3495
13	Cupel	3495
14	Dadapan	3495
15	Gilimanuk	3495
16	Giri	3495
17	Kalipuro	3495
18	Ketapang	3495
19	Sebani	3495

Seperti nampak pada Tabel 4.1, tsunami Banyuwangi yang tercepat terjadi di daerah pantai Grajagan, dengan waktu penjaralan gelombang tsunami 1256 sekon (20,93 menit) yang selanjutnya diikuti penjaralan gelombang tsunami di 18 daerah di Kabupaten Banyuwangi, dengan waktu tempuh paling lambat berada di daerah Sebani dengan waktu tempuh 3495 sekon (58,25 menit). Sedangkan untuk daerah penelitian sendiri yaitu daerah Sarongan dengan waktu penjaralan gelombang tsunami 1459 sekon (24,31 menit), daerah Sukomade waktu penjaralan gelombang tsunami 1483 sekon (24,72 menit), daerah Pesanggaran waktu penjaralan gelombang tsunami sebesar 1637 sekon (27,28 menit), daerah Pulau Merah dengan

waktu penjalaran gelombang tsunami 1667 (27,78 menit), dan yang terakhir adalah daerah Lampon dengan waktu penjalaran gelombang tsunami 1785 sekon (29,75 menit).

4.1.3 Hasil Perhitungan Selisih Gelombang Seismik dan Gelombang Tsunami

Tabel 4. 2: Hasil perhitungan penjalaran gelombang tsunami

No	Nama Daerah	Waktu (t) (sekon)	Kecepatan (v) (m/s)	Jarak (s) (meter)
1	Grajanan	1256	207	260974
2	Silirsetopan	1256	201	252744
3	Roworante	1365	167	228369
4	Sarongan	1459	169	247367
5	Sukomade	1483	167	247945
6	Pesanggaran	1637	149	245458
7	Pulau Merah	1667	147	246403
8	Lampon	1783	139	248411
9	Banyubiru	3495	87	304983
10	Banyuwangi	3495	86	303276
11	Banyuwedang	3495	92	323174
12	Candikusuma	3495	87	305876
13	Cupel	3495	86	303264
14	Dadapan	3495	85	298026
15	Gilimanuk	3495	89	311988
16	Giri	3495	86	303880
17	Kalipuro	3495	87	306661
18	Ketapang	3495	88	310352
19	Sebani	3495	89	313134

*S adalah jarak antara episenter ke pantai yang diteliti.

Hasil perhitungan penjalaran gelombang tsunami di daerah – daerah Banyuwangi dapat dilihat pada Tabel 4. 2. Penelitian ini hanya membahas daerah di Kecamatan Pesanggaran saja yaitu di daerah Lampon, Sarongan, Sukamade, Pulau Merah, dan juga Pesanggaran, sesuai dengan Tabel 4. 2. Daerah Sarongan mempunyai jarak 247367 meter dari pusat gempa ke bibir pantai dengan kecepatan 169 m/s dan waktu penjalaran gelombang tsunami yang dibutuhkan untuk mencapai bibir pantai adalah 1459 sekon. Daerah Sukamade mempunyai jarak 247495 meter dari pusat gempa ke bibir pantai dengan kecepatan 167 m/s dan waktu penjalaran gelombang tsunami yang dibutuhkan untuk mencapai bibir pantai adalah 1483 sekon. Daerah Pesanggaran yang mempunyai jarak 245458 meter dari pusat gempa ke bibir pantai dengan kecepatan 149 m/s dan waktu penjalaran gelombang tsunami yang dibutuhkan adalah 2357 sekon, daerah Pulau Merah yang mempunyai jarak 246403 meter dari pusat gempa ke bibir pantai dengan kecepatan 147 m/s dan waktu penjalaran gelombang tsunami yang dibutuhkan adalah 1667 sekon. Dan yang terakhir adalah daerah Lampon mempunyai jarak 248411 meter dari pusat gempa ke bibir pantai dengan kecepatan 139 m/s dan waktu penjalaran gelombang tsunami yang dibutuhkan untuk mencapai bibir pantai adalah 1785 sekon.

Tabel 4.3: Selisih waktu penjalaran gelombang tsunami dan gelombang seismik

No	Nama Daerah	Waktu Penjalaran Gelombang Tsunami (sekon)	Waktu Penjalaran Gelombang Seismik (sekon)	Selisih Waktu Penjalaran (sekon)
1	Grajagan	1256	36,9	1219
2	Silirsetopan	1256	35,9	1220
3	Roworante	1365	32,7	1332
4	Sarongan	1459	35,2	1423
5	Sukomade	1483	35,3	1447
6	Pesanggaran	1637	34,9	1602
7	Pulau Merah	1667	35,1	1631
8	Lampon	1785	35,3	1749
9	Banyubiru	3495	42,6	3452
10	Banyuwangi	3495	42,3	3452
11	Banyuwedang	3495	44,9	3450
12	Candikusuma	3495	42,7	3452
13	Cupel	3495	42,3	3452
14	Dadapan	3495	41,7	3453
15	Gilimanuk	3495	43,5	3451
16	Giri	3495	42,4	3452
17	Kalipuro	3495	42,8	3452
18	Ketapang	3495	43,3	3451
19	Sebani	3495	43,6	3451

Selisih waktu tiba gelombang tsunami dan gelombang seismik dapat dilihat pada Tabel 4.3. Ternyata selisih waktu antara penjalaran gelombang seismik dengan gelombang tsunami cukup lama, yaitu berkisar antara 20-57 menit. Daerah Sarongan mempunyai waktu penjalaran gelombang tsunami sebesar 1459 sekon, sedangkan waktu penjalaran gelombang seismik sebesar 35,2 sekon, sehingga dapat dihitung selisih antara kedua penjalaran gelombang tsunami dan seismik sebesar 1423 sekon (23,7 menit). Daerah Sukamade

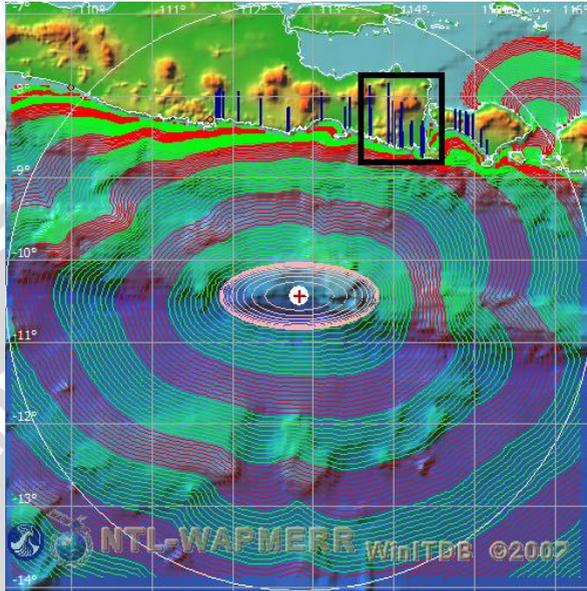
mempunyai waktu penjalaran gelombang tsunami sebesar 1483 sekon, sedangkan waktu penjalaran gelombang seismik sebesar 35,3 sekon, sehingga dapat dihitung selisih antara kedua penjalaran gelombang tsunami dan seismik sebesar 1447 sekon (24,1menit). Daerah Pesanggaran yang mempunyai waktu penjalaran gelombang tsunami sebesar 1637 sekon, sedangkan waktu penjalaran gelombang seismik sebesar 34,9 sekon, sehingga dapat dihitung selisih antara kedua penjalaran gelombang tsunami dan seismik sebesar 1602 sekon (26,7 menit). Daerah Pulau Merah mempunyai waktu penjalaran gelombang tsunami sebesar 1667 sekon, sedangkan waktu penjalaran gelombang seismik sebesar 35,1 sekon, sehingga selisih antara kedua penjalaran gelombang tsunami dan seismik sebesar 1631 sekon (27,2 menit). Dan untuk daerah terakhir adalah daerah Lampon mempunyai waktu penjalaran gelombang tsunami sebesar 1785 sekon, sedangkan waktu penjalaran gelombang seismik sebesar 35,3 sekon, sehingga dapat dihitung selisih antara kedua penjalaran gelombang tsunami dan seismik sebesar 1749 sekon (29,2 menit), Kelima daerah yang diteliti mempunyai selisih waktu penjalaran gelombang tsunami dan seismik antara 23-30 menit. Sehingga waktu tersebut yang dapat digunakan masyarakat di Kecamatan Pesanggaran untuk melakukan evakuasi jika terjadi tsunami. Hal ini menunjukkan bahwa setelah dirasakan adanya gempa, masyarakat di pesisir pantai masih mempunyai cukup waktu untuk melakukan evakuasi sebagai tindakan penyelamatan. Ketika terjadi gempabumi, BMKG (Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika) membutuhkan waktu 5 menit untuk menganalisis di mana episenter gempabuminya, dan 10 menit digunakan untuk menginformasikan kepada pemerintah daerah setempat. Pemerintah setempat kemudian dapat melakukan evakuasi terhadap masyarakat yang mungkin terkena dampak tsunami, terutama masyarakat di pesisir pantai. Berdasarkan sejarah peristiwa tsunami yang ada di Indonesia, dapat diasumsikan bahwa kejadian gempabumi yang disertai dengan gelombang tsunami dapat terjadi kembali dalam waktu yang cukup lama ke depan. Untuk mengkondisikan hal tersebut di masa yang akan datang, kiranya pemerintah daerah dapat menyediakan tempat pengungsian yang aman agar penduduk terhindar dari terjangan gelombang tsunami. Selain itu juga diperlukan sosialisasi yang

cukup untuk masyarakat di pesisir pantai tentang peristiwa gelombang tsunami.

Untuk daerah penelitiannya, yaitu di Kecamatan Pesanggaran Pesanggaran Banyuwangi, waktu tiba gelombang tsunami di bibir pantai Pancar adalah pada menit ke 26,7 (1637 sekon). Sedangkan gelombang seismik tiba pada detik ke 34,9. Sehingga dapat dilihat bahwa selisih dari waktu tiba gelombang tsunami dan gelombang seismik adalah sebesar 1602 sekon (26,7 menit). Selisih waktu tersebut, harus dikurangi dengan waktu yang dibutuhkan BMKG sebesar 15 menit untuk menganalisis dan menginformasikan akan adanya tsunami kepada pihak pemerintah daerah. Sehingga terdapat total waktu yang tersisa selama 12 menit yang dapat digunakan pemerintah daerah untuk melakukan upaya evakuasi penduduk di sekitar pesisir pantai. Karena di daerah sekitar pantai Pancar belum terdapat bangunan anti tsunami yang bisa digunakan masyarakat pesisir pantai untuk menyelamatkan diri dalam waktu sekitar 12 menit, akibatnya tsunami Banyuwangi banyak menelan korban jiwa di daerah Pancar.

4.1.4 Hasil Perhitungan Ketinggian Tsunami (*Run-up*)

Hasil perhitungan ketinggian gelombang tsunami (*run-up*) di daerah Banyuwangi didapatkan dari *software* WinITDB. Kejadian tsunami Banyuwangi ini sebelumnya sudah pernah diteliti oleh para peneliti, sehingga para peneliti membuat sebuah *software* yang memuat semua even gempa bumi dan juga tsunami yang ada di Indonesia, dan salah satunya di Banyuwangi. Adapun hasil *run-up* dapat dilihat pada Gambar 4. 5 yang ditandai dengan bentuk kotak, sedangkan rincian daerah yang terimbas tsunami di daerah Kecamatan Pesanggaran berdasarkan katalog *software* WinITDB, dapat dilihat ada Tabel 4. 6.



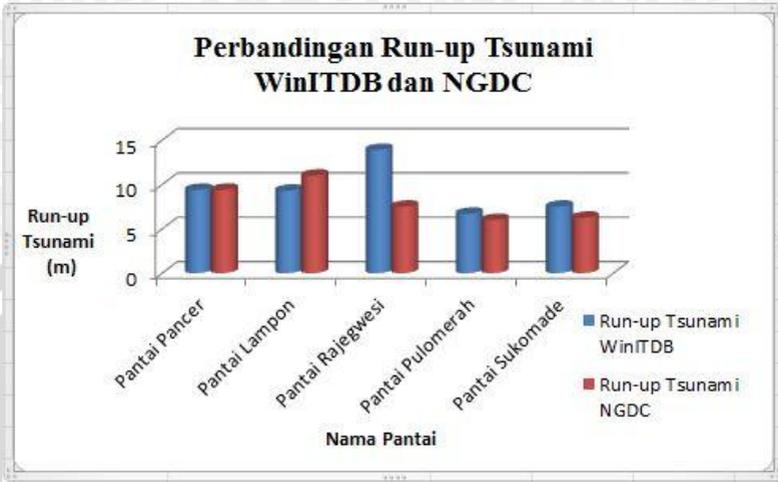
Gambar 4. 5: Hasil *run-up* tsunami Kecamatan Pesanggaran

Tabel 4. 4: Hasil katalog run-up dari software WinITDB

No	Nama Pantai	<i>Run-Up</i> Tsunami (m)
1	Pantai Pancer	9,4
2	Pantai Lampon	9,3
3	Pantai Rajegwesi	13,9
4	Pantai Pulomerah	6,7
5	Pantai Sukomade	7,5

Tabel 4. 5: Data katalog tsunami pada NGDC

No	Nama Pantai	<i>Run-Up</i> Tsunami (m)
1	Pantai Pancer	9,4
2	Pantai Lampon	11,0
3	Pantai Rajegwesi	7,5
4	Pantai Pulomerah	6,0
5	Pantai Sukomade	6,3

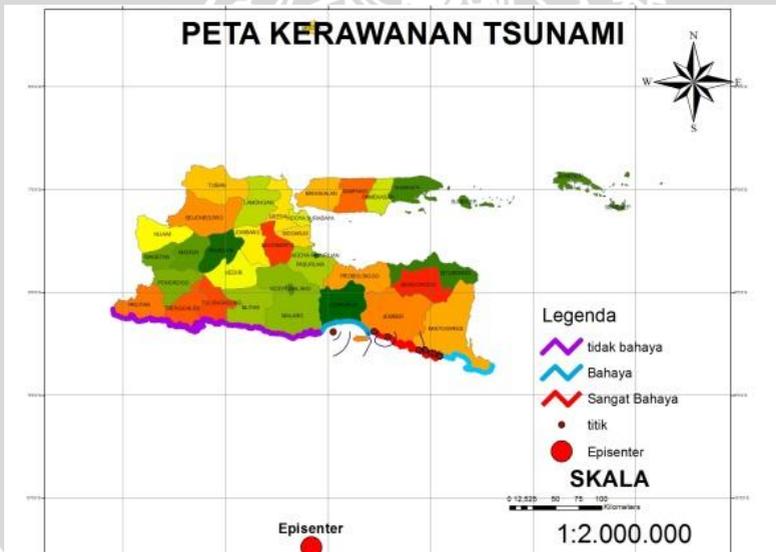


Gambar 4. 6: Perbandingan run-up tsunami hasil WinITDB dan NGDC

Perbandingan antara *run-up* dari hasil *software* WinITDB dengan penelitian dari NGDC (*Nasional Geophysical Data Center*) menunjukkan hasil yang tidak jauh berbeda. Hal ini menandakan bahwa hasil *run-up* yang dihasilkan oleh *software* WinITDB bisa digunakan sebagai acuan untuk *early warning*. Dapat dilihat pada Gambar 4. 6 bahwa grafik silindris berwarna biru menunjukkan *run-up* hasil dari katalog *software* WinITDB, sedangkan grafik silindris berwarna merah merupakan hasil dari katalog tsunami di NGDC. Dari hasil *run-up* yang dihasilkan dari dua sumber yang berbeda, *run-up* tsunami yang didapatkan dari katalog *software* WinITDB tidak jauh berbeda dengan hasil katalog tsunami di NGDC. Dari kelima pantai yang terimbas tsunami di Kecamatan Pesanggaran-Banyuwangi, hanya di Pantai Rajegwesi yang menunjukkan hasil *run-up* yang jauh berbeda dengan hasil katalog tsunami NGDC. Perbedaan hasil yang didapatkan oleh kedua sumber, yaitu NGDC dan *software* winITDB dikarenakan perhitungan *run-up* didasarkan pada morfologi pantai dan juga bathimetri.

4.1.5 Analisa Daerah Rawan Tsunami Di Sepanjang Pesisir Jawa

Peta kerawanan tsunami yang ditunjukkan pada Gambar 4. 7 dapat memperlihatkan daerah-daerah yang terimbas tsunami akibat dari kejadian tsunami Banyuwangi 1994. Garis merah pada peta menunjukkan daerah yang sangat bahaya terhadap tsunami, yaitu daerah sebelah selatan kota Banyuwangi tepatnya Kecamatan Pesanggaran sampai ke daerah Jember. Garis biru menunjukkan daerah yang berbahaya akibat tsunami, yaitu daerah Banyuwangi bagian timur dan daerah sebelah selatan Jember, seperti Lumajang, Probolinggo, dan Malang. Yang terakhir, garis berwarna ungu yang merupakan daerah yang dianggap tidak bahaya. Adapun daerah yang tidak berbahaya akibat tsunami adalah daerah sebelah selatan daerah Kabupaten Malang.



Gambar 4. 7: Peta kerawanan tsunami sepanjang Pesisir Jawa

Peta kerawanan tsunami akibat tsunami Banyuwangi 1994 dapat dilihat pada Gambar 4. 7. Peta kerawanan tsunami berdasarkan *run-up* tsunami yang dihasilkan oleh *software* WinITDB.

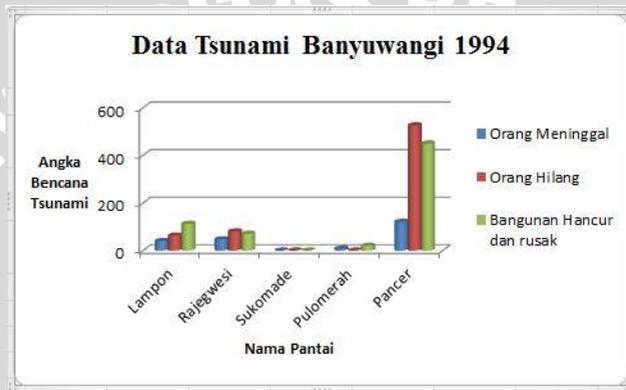
Gambar 4. 7 menunjukkan peta kerawanan tsunami sepanjang pesisir selatan Jawa. Garis merah pada peta kerawanan menunjukkan tsunami yang sangat berbahaya, yaitu di daerah Banyuwangi Selatan sampai Jember Selatan. Karena pada penelitian ini dibahas tentang kerawanan tsunami di daerah Banyuwangi tepatnya di Kecamatan Pesanggaran, maka dapat dilihat pada Tabel 4. 6 daerah-daerah di Kecamatan Pesanggaran yang diterjang gelombang tsunami, yang mengakibatkan kerusakan bangunan dan mengakibatkan meninggal dan hilangnya banyak penduduk di Kecamatan Pesanggaran.

Tabel 4. 6: Data bencana tsunami Di Banyuwangi (NGDC)

Nama Pantai	Orang Meninggal	Orang Hilang	Bangunan Hancur dan rusak
Lampon	40	63	112
Rajegwesi	47	80	71
Sukomade	0	0	0
Pulomerah	8	0	20
Pancer	121	526	450

Dari hasil dari katalog NGDC pada Gambar 4. 8 dapat dilihat bahwa daerah Pancer merupakan daerah terparah yang terkena dampak tsunami, yaitu dengan jumlah orang yang meninggal sebanyak 121 jiwa, orang hilang sebanyak 526 jiwa, dan bangunan-bangunan rusak serta hancur sebanyak 450 bangunan, seperti yang dapat dilihat pada Tabel 4. 6. Banyaknya korban jiwa maupun bangunan rusak pada daerah Pancer dikarenakan pemukiman masyarakat nelayan daerah Pancer hanya berjarak 50 meter dari bibir pantai Pancer. Daerah Sukamade adalah daerah yang tidak mengalami korban jiwa maupun bangunan yang rusak, dikarenakan pemukiman di daerah Sukamade jauh dari bibir pantai Sukamade sehingga gelombang tsunami tidak sampai menerjang pemukiman yang ada di daerah itu. Tsunami Banyuwangi menyebabkan bangunan-bangunan yang ada di sekitar pesisir pantai rata dengan tanah, serta banyak korban jiwa yang meninggal, ataupun juga

hilang. Hal itu juga dikarenakan bangunan yang didirikan oleh penduduk sekitar pesisir merupakan bangunan semi permanen, sehingga ketika terjadi tsunami, bangunan tersebut langsung rata dengan tanah, seperti dapat dilihat pada Gambar 4. 9 . Banyaknya korban jiwa yang meninggal saat tsunami banyuwangi 1994 dikarenakan tidak ada jalur evakuasi yang memadai di daerah pesisir pantai Pancer tersebut.



Gambar 4. 8: Data bencana tsunami Banyuwangi 1994 (NGDC)



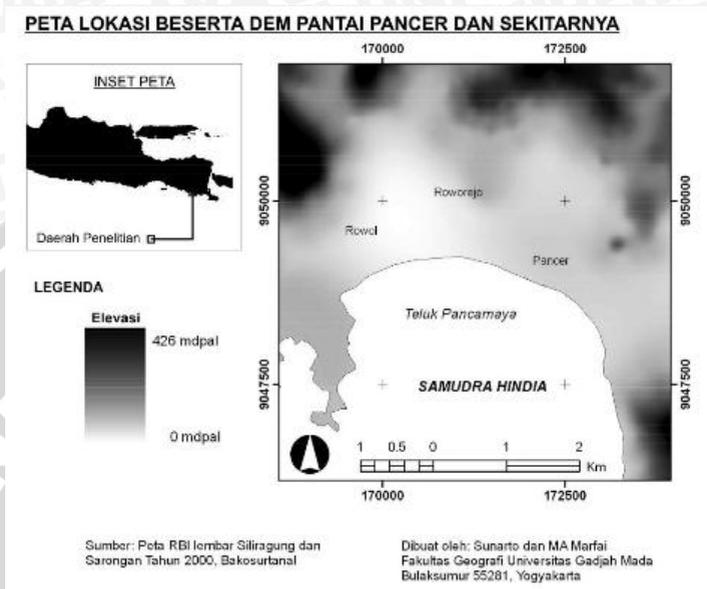
Gambar 4. 9: Bangunan-bangunan yang rusak akibat tsunami Banyuwangi 1994

4.2 Analisis Tsunami Dengan Kondisi Tektonik Daerah Penelitian

Secara geografis, Kabupaten Banyuwangi terletak diujung timur Pulau Jawa yang berada dikoordinat antara $7^{\circ}34' - 8^{\circ}46'$ LS dan $113^{\circ}53' - 114^{\circ}38'$ BT. Luas Kabupaten Banyuwangi $5.782,50 \text{ km}^2$, secara topografi memiliki daerah dengan ketinggian bervariasi dari 0 hingga lebih dari 2000 m dpl. Umumnya daerah bagian selatan, barat, dan utara merupakan daerah pegunungan. Sementara daerah dataran rendah terbentang dari bagian selatan hingga utara. Berdasarkan penggunaan lahannya, Kabupaten Banyuwangi terdiri dari 31,72% kawasan hutan, sisanya digunakan antara lain untuk permukiman, sawah, ladang, dan tambak.

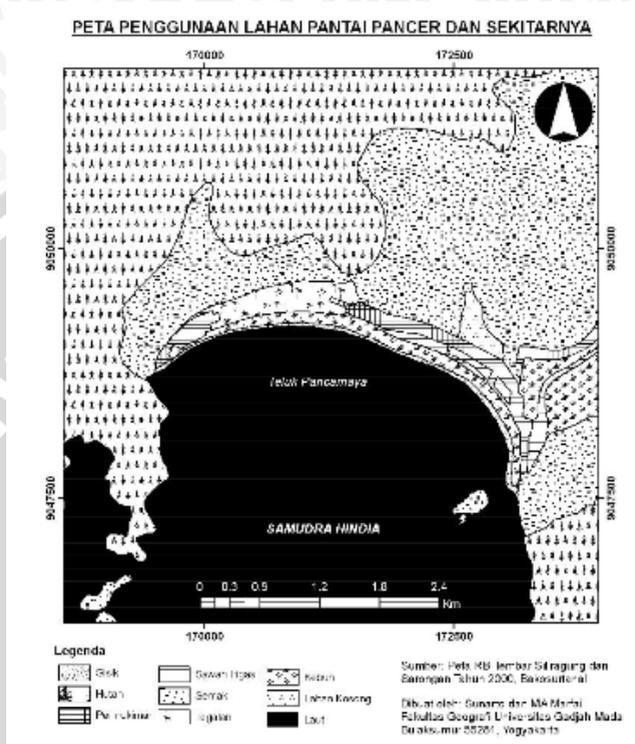
Tsunami Banyuwangi 03 Juni 1994 terjadi di Kecamatan Pesanggaran. Kecamatan Pesanggaran itu sendiri di bagi menjadi 5 Desa, yaitu Desa Sarongan, Desa Pesanggaran, Desa Sumbermulyo, Desa Kandangan, dan Desa Sumberagung. Desa Sumberagung di pantai Pancer merupakan daerah strategis karena berada di kawasan dengan topografi datar. Daerah Pancer dihuni oleh 4500 jiwa yang sebagian besar bermata pencaharian sebagai nelayan. Daerah ini secara geomorfologi adalah daerah teluk dengan topografinya di sekitar yang berbukit. Kebanyakan pertumbuhan permukiman masyarakat Pancer berada pada daerah dengan topografi datar di kawasan teluk.

Kejadian tsunami di Banyuwangi pada tahun 1994 mengakibatkan kerusakan parah di daerah sepanjang pantai Pancer, Desa Sumberagung, Banyuwangi. Menurut data Badan Litbang Departemen Pekerjaan Umum, yang dikutip oleh Prasetyo (2008), kejadian tsunami tahun 1994 di wilayah pesisir bagian selatan Jawa Timur telah mengakibatkan korban meninggal dunia sebanyak 377 jiwa, mengakibatkan orang hilang sebanyak 15 jiwa, dan orang yang mengalami luka-luka sebanyak 789 orang. Sementara itu, kerusakan fisik rumah mencapai 992 rumah, dengan katagori rusak ringan hingga rusak berat, dan mengakibatkan hilangnya 340 perahu nelayan.



Gambar 4. 10: Peta daerah penelitian dengan Digital Elevation Model (Marfai dkk, 2008)

Daerah penelitian dapat dilihat pada Gambar 4. 10, yang secara geomorfologi berada di daerah teluk dengan topografi di sekitarnya yang berbukit. Pertumbuhan permukiman terkonsentrasi pada daerah dengan topografi datar di kawasan teluk. Permukiman juga berada pada beting gesik yang relatif datar dan merupakan daerah terbuka sehingga sangat rentan terhadap hembasan gelombang tsunami. Morfologi beting gesik berada pada jarak antara 200 meter–300 meter dari pantai. Topografi kawasan teluk Pancer secara umum terdiri dari dua unit morfologi yang berbeda, yaitu dataran dengan elevasi 0-50 meter dan perbukitan dengan elevasi lebih dari 50 meter (Marfai dkk, 2008).



Gambar 4. 11: Peta penggunaan lahan daerah penelitian (Marfa'i dkk, 2008)

Penggunaan lahan di daerah penelitian, yang terlihat pada Gambar 4. 11, antara lain, adalah sebagai daerah wisata, seperti, misalnya, teluk Pancamaya (Pantai Pancer), pantai Pulau Merah, pantai Lampon, pantai Rajegwesi, dan pantai Sukomade. Pantai-pantai ini memiliki kesamaan sifat, antara lain, tersusun oleh endapan pasir berwarna putih. Pantai-pantai tersebut selain merupakan tempat wisata juga sebagai lokasi mata pencarian para nelayan. Terlihat pada peta, penggunaan lahan daerah Pancer, bahwa pemukiman masyarakat Pancer hanya berada 50 meter dari bibir pantai. Sedangkan bangunan-bangunan, yang didirikan masyarakat Pancer sebagai tempat tinggal, hanya bersifat sementara. Hal ini dikarenakan lahan yang digunakan masyarakat Pancer bukan lahan milik perseorangan melainkan lahan milik perhutani.

Peta daerah rawan genangan akibat tsunami dapat dilihat pada Gambar 4. 12. Dari Gambar 4.12 tersebut, dapat dilihat bahwa daerah rawan genangan tsunami berada di daerah Pancer. Permukiman di daerah Pancer berjarak 50 meter dari bibir pantai, sedangkan genangan air sampai 200 meter dari bibir pantai. Hal ini menyebabkan air masuk ke permukiman dan menyebabkan kerusakan bangunan serta banyaknya korban meninggal. Untuk daerah Rajegwesi dan Lampon juga jatuh banyak korban jiwa dikarenakan kedua daerah tersebut memiliki topografi datar sehingga tidak ada tempat yang dapat digunakan untuk menyelamatkan diri. Selanjutnya, untuk daerah Pulau Merah, dan juga Sukomade, hampir tidak ada korban jiwa. Hal ini dikarenakan pemukiman masyarakat berada agak jauh dari bibir pantai, sehingga genangan air tidak sampai masuk ke pemukiman warga.

Dengan menggunakan analisis model elevasi, seperti pemanfaatan garis kontur dan titik ketinggian, kawasan rawan genangan akibat bencana dapat diidentifikasi. Data elevasi medan dalam bentuk *digital elevation model* (DEM) juga dapat dimanfaatkan untuk melakukan pemetaan genangan di kawasan pesisir (Marfai dkk, 2008).

4.3 Mitigasi Bencana Tsunami

Dalam upaya mitigasi bencana di daerah Pancer dan sekitarnya, perlu dibuatkan tempat perlindungan sementara untuk menyelamatkan diri apabila terjadi tsunami. Dari hasil survey yang dilakukan oleh penulis, permukiman penduduk Pancer hanya berjarak 50 meter dari pesisir pantai. Bangunan-bangunan yang didirikan merupakan bangunan yang semi permanen. Permukiman penduduk Pancer dapat dilihat pada Gambar 4. 13.



Gambar 4. 13: Permukiman Desa Pancer

Dilihat dari pola permukiman penduduknya, sebaiknya pemerintah daerah membangun tempat perlindungan sementara di daerah Pancer, yaitu dengan mendirikan bangunan anti tsunami untuk meminimalisir korban jiwa jika terjadi bencana serupa. Daerah Pancer untuk saat ini sudah mempunyai tanda peringatan yang dipasang di pesisir pantai sebagai tanda peringatan apabila akan terjadi tsunami. Akan tetapi tanda peringatan saja tidak cukup untuk menghindari tsunami. Pemerintah daerah seharusnya membangun bangunan yang tinggi dan juga kokoh yang tidak hancur jika diterjang oleh gelombang tsunami. Bangunan tersebut harus bisa dijangkau oleh penduduk dalam waktu kurang lebih 15 menit, sehingga penduduk daerah Pancer tidak merasa bingung ataupun panik ketika menyelamatkan diri dari ancaman gelombang tsunami.

Upaya mitigasi bencana tsunami dapat dilakukan dengan cara struktural dan non struktural. Keduanya meletakkan manusia atau masyarakat sebagai fokus upaya mitigasi tersebut. Eisner (2005) menguraikan tujuh prinsip dasar dari mitigasi bencana tsunami yang dikaitkan dengan usaha pengurangan jumlah korban jiwa. Ketujuh prinsip tersebut adalah:

1. Mengetahui tingkat risiko komunitas terhadap tsunami, gempa bumi, dan kerentanan tanah.
2. Menghindari pendirian bangunan baru di kawasan yang berpotensi mengalami rambatan gelombang tsunami.
3. Mengkaji secara seksama cara membangun di daerah yang diduga dapat mengalami rambatan gelombang tsunami.
4. Membangun bangunan dengan desain yang mempertimbangkan kerusakan akibat tsunami.
5. Melindungi bangunan yang telah ada dengan cara retrofit dan penataan ulang lahan.
6. Memberikan perhatian khusus terhadap infrastruktur dan fasilitas kritis lainnya untuk mengurangi kerusakan akibat tsunami.
7. Membuat perencanaan evakuasi.

Bencana tsunami sering sekali tidak disadari oleh masyarakat pesisir pantai. Untuk mengurangi terjadinya korban jiwa ketika tsunami terjadi, diperlukan peta jalur evakuasi. Permana (2007) menyarankan langkah-langkah menyusun dan merancang peta jalur evakuasi seperti berikut:

1. Jalur evakuasi dirancang menjauhi garis pantai dan aliran sungai, dengan memprioritaskan penduduk dari kawasan awas dan waspada.
2. Jalur evakuasi dirancang untuk tidak melintasi sungai atau jembatan.
3. Supaya tidak terjadi penumpukan massa, atau penduduk yang akan menyelamatkan diri, maka dibuat beberapa jalur evakuasi, terutama untuk daerah pantai yang terbuka tanpa pepohonan tertutup (mangrove dan cemara pantai), atau tanpa batu karang ataupun gumpul pasir.
4. Di daerah berpenduduk padat, dirancang jalur evakuasi berupa sistem blok yang dibatasi oleh aliran sungai, di mana pergerakan massa setiap blok tidak bercampur dengan massa dari blok lainnya untuk menghindari kemacetan.
5. Di daerah yang landai, di mana tempat tinggi cukup jauh, dibuat sistem kawasan aman sementara berupa bangunan-

bangunan yang direkomendasikan aman sebagai tempat evakuasi sementara.

6. Dalam setiap jalur evakuasi diperlukan rambu-rambu evakuasi untuk memandu pengunjung menuju tempat aman.
7. Tersedianya tempat akhir evakuasi di tempat yang aman dan mudah di jangkau. Tempat evakuasi bisa berupa lapangan, gedung pertemuan, tempat ibadah, atau tempat terbuka lainnya.

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan beberapa hal, yaitu:

1. Parameter gempa bumi Banyuwangi 03 Juni 1994 yang menyebabkan tsunami adalah yang menghasilkan magnitudo 7,8 SR, kedalaman 18 km, episenter pada koordinat $7^{\circ}34' - 8^{\circ}46' \text{ LS}$ dan $113^{\circ}53' - 114^{\circ}38' \text{ BT}$, dan terjadi pada 18:17:34 UTC. Sedangkan untuk parameter sesar, sesarnya termasuk sesar naik (*Thrust Fault*) dengan $\text{strike}=280^{\circ}$, $\text{dip}=15^{\circ}$, $\text{rake}=90^{\circ}$.
2. Pantai Sarongan mempunyai waktu penjaralan gelombang tsunami tercepat yaitu 1459 sekon.
3. Selisih waktu tiba gelombang tsunami dan waktu tiba gelombang seismik di Kecamatan Pesanggaran berkisar antara 23-30 menit.
4. Hasil penentuan ketinggian gelombang tsunami (*Run-up*) dari katalog *software* WinITDB dan data katalog NGDC hampir sama.
5. Hasil penelitian menunjukkan bahwa korban jiwa terbanyak terjadi di Pantai Pancer, Kecamatan Pesanggaran, dikarenakan pantai Pancer berbentuk teluk dengan dataran rendah.

5.2 Saran

Sebagai bagian dari peringatan dini (*early warning*) sebaiknya dilakukan lagi perhitungan tentang genangan (*innudation*) akibat tsunami. Sehingga penduduk di Kecamatan Pesanggaran, khususnya daerah Pancer, disarankan untuk membangun rumah yang berjarak minimal 300 meter dari bibir pantai untuk mengantisipasi akan datangnya tsunami lagi.

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

Halaman ini sengaja dikosongkan



DAFTAR PUSTAKA

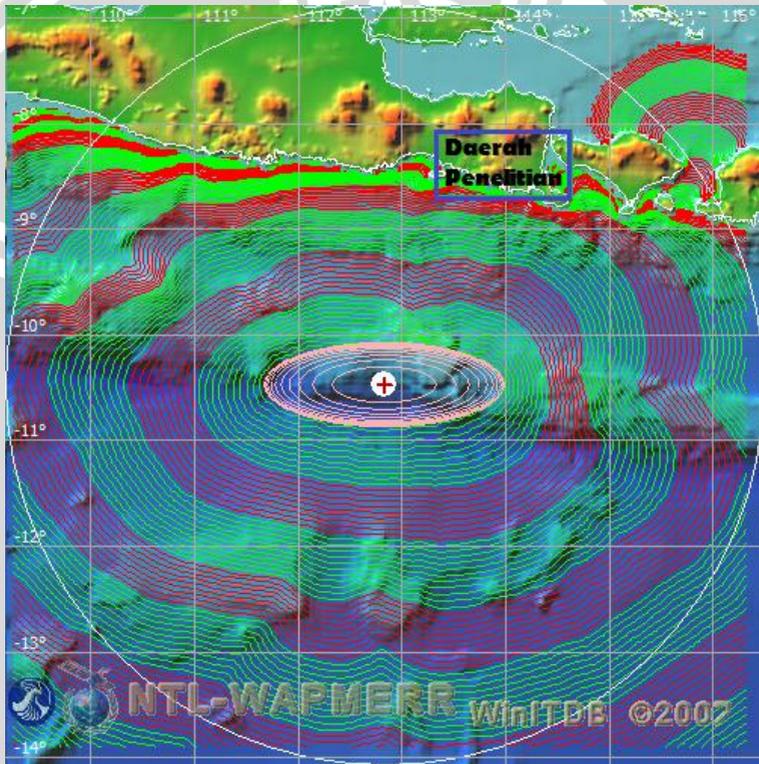
- Afnimar. (2009). *Seismology*. Bandung : ITB Press.
- Budiman. (2008). *Hidup Akrab dengan Tsunami*. Bogor. Penerbit Buku Ilmiah Populer.
- Eisner, R. K. (2005). *Planning for Tsunami*. Reducing Fugture Losses Through Mitigation Natural Hazardz 35, 155-162.
- Ginancar. (2007). *Memahami Konsep Tektonik dan Mekanisme Gempa*. Jakarta : BMKG.
- Hamilton, W., (1979). *Tectonic of the Indonesia Region*. Washington DC, US Government Printing Office.
- Harmadhoni, D., (2011). *Analisis Mekanisme Fokus Gempa di Blitar-Jawa-Timur 17 Mei 2011*. Skripsi, Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Jakarta.
- Ibrahim, G., dan Subardjo. (2004). *Pengetahuan Seismologi*. Jakarta : Badan Meteorologi dan Geofisika.
- Imamura, F., Yalciner., Ahmet Cevdet., Ozyurt., Gulizar. (2006). *Tsunami Modeling Manual DRRC (Disaster Control Research Center)*. Tohoku University, Japan.
- Kanamori, H. (1972). *Mechanism of tsunamis earthquake, Physics of the Earth and Planetary Inteiors* 6, 246-259.
- Lida, K. and T. Iwasaki (1983). *Tsunamis Their Science and Engineering*. Tokyo. Terra Scienrific Publishing Company.
- Marfai MA., King L., Singh LP., Mardiatno D., Sartohadi J., Sri Hatmoko D., Dewi A. (2008). *Natural Hazards in Central Java Province, Indonesia, an overview*, Enviromental Geology, 56, 335-351, doi 10.1007/s00254-007-1169-9.
- Natawidjaja, D. H., Laatief, H., Sunandar. (2009). *Studi Gempa dan Tsunami di Indonesia Terkait Aset Pertamina . PPKPL : ITB*.
- NGDC. *Nasional Geoscience Data Center*. Dipetik mei 21, 2014, dari NOAA Center for Tsunami Research: <http://www.ngdc.noaa.gov/hazard/tsu.shtml>
- Permana, H., (2007). *Pedoman Pembuatan Jalur Evakuasi Bencana Tsunami*. Kementrian RISTEK.

- Prasetyo, K., (2008). *Aksiologis Pendidikan Geografi dalam Penanggulangan Bencana (Belajar dari Peristiwa Bencana Tsunami di Pantai Selatan Jawa Timur Tahun 1994)*, Fakultas Geografi UGM, Dalam Rini Rachmawati, Andri Kurniawan, Erlis Saputra, dan Radtya Jati (eds) 2008, Proceeding Filsafat Sains Geografi, 12 Juli 2008.
- Puspito, N. T., (1998). *Tsunami di Indonesia, Seismological and Disaster Prevevition Studies*. Kobe-Japan, Proceeding of the Asia-Pacific Workshop on Reaserch coalition for Urban Earthquake Disaster Management.
- Reid, H. (1982). *Elastic Rebound Theory of Earthquake*. *BSSA*, 11, 98-100.
- Satake, K., and Tanioka, Y., (1999). *Source of Tsunami and Tsunamigenic Earthquake in Subduction Zones, Pure and Applied Geophysics*, 154, 467-483.
- Shearer. (2009). *Introduction on Seismology*. Cambridge, Cambridge University Press.
- Sudrajat, A., (1994). *Sekilas Tentang Tsunami Dan Upaya Penanggulangan Bahaya Tsunami*, Bandung.
- Thorne Lay and Terry C Wallace (1995). *Modern Global Seismology*, California, Academic Press.
- Tsuji, Y. E., (1995). *Field survey of the east Java earthquake and tsunami of June 3, 1994*, *Pure Appl, Pure Appl, Geophys*, 144, 839-854.
- Yeats, R. S., and Alen, C. R., (1997). *The Geology of Earthquake*, Oxford University Press, hal 567.

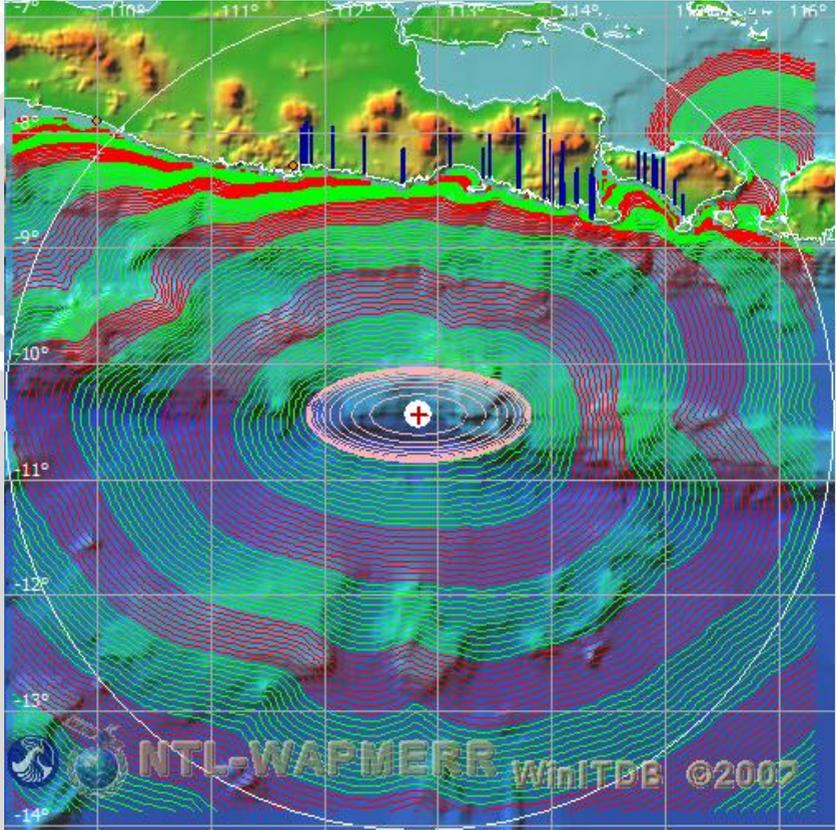
LAMPIRAN

Lampiran 1

Penjalaran gelombang tsunami Banyuwangi 03 Juni 1994



Katalog run-up hasil software WinITDB



Lampiran 3

JEFFREYS' NEAR-EARTHQUAKE TABLE

S-P Sekon	Jarak km	P-H Sekon	S-P Sekon	Jarak Km	P-H Sekon
5	21	6.5	37	351	48.6
6	36	8.0	38	361	49.8
7	48	9.6	39	371	51.1
8	60	11.0	40	381	52.4
9	70	12.3	41	391	53.7
10	80	13.8	42	401	55.0
11	90	15.1	43	410	56.2
12	100	16.3	44	420	57.5
13	110	17.6	45	430	58.8
14	120	18.8	46	440	1:00.0
15	130	20.1	47	450	1:01.2
16	140	21.4	48	460	1:02.6
17	150	22.7	49	470	1:03.9
18	160	23.9	50	480	1:05.2
19	170	25.2	51	491	1:06.5
20	180	26.5	52	501	1:07.7
21	190	27.8	53	511	1:09.9
22	201	29.1	54	521	1:10.3
23	211	30.4	55	531	1:11.6
24	221	31.8	56	541	1:12.9
25	231	33.1	57	551	1:14.2
26	241	34.4	58	561	1:15.4
27	251	35.7	59	571	1:16.7
28	261	37.0	1:00	581	1:17.9
29	271	38.2	1:01	591	1:19.2
30	281	39.5	1:02	601	1:20.4
31	291	40.8	1:03	611	1:21.7
32	301	42.1	1:04	621	1:23.0
33	311	43.4	1:05	631	1:24.2
34	321	44.7	1:06	641	1:25.5
35	331	46.0	1:07	651	1:26.7
36	341	47.3	1:08	661	1:28.0

S-P Sekon	Jarak Km	P-H Sekon	S-P Sekon	Jarak km	P-H Sekon
1:09	672	1:29.4	1:41	997	2:10.2
1:10	682	1:30.7	1:42	1007	2:11.5
1:11	692	1:32.0	1:43	1018	2:12.8
1:12	702	1:33.2	1:44	1028	2:14.0
1:13	713	1:34.6	1:45	1038	2:15.3
1:14	723	1:35.9	1:46	1048	2:16.5
1:15	733	1:37.2	1:47	1058	2:17.8
1:16	743	1:38.5	1:48	1068	2:19.0
1:17	753	1:39.8	1:49	1078	2:20.3
1:18	764	1:41.1	1:50	1089	2:21.6
1:19	774	1:42.4	1:51	1099	2:22.9
1:20	784	1:43.6	1:52	1109	2:24.1
1:21	796	1:45.0	1:53	1120	2:25.4
1:22	806	1:46.3	1:54	1130	2:26.7
1:23	816	1:47.6	1:55	1141	2:28.0
1:24	826	1:48.8	1:56	1151	2:29.3
1:25	836	1:50.1	1:57	1161	2:30.6
1:26	846	1:51.3	1:58	1171	2:31.0
1:27	856	1:52.6	1:59	1182	2:33.1
1:28	866	1:53.8	2:00	1194	2:34.4
1:29	876	1:55.0			
1:30	886	1:56.3			
1:31	896	1:57.6			
1:32	906	1:58.9			
1:33	917	2:00.2			
1:34	927	2:01.5			
1:35	937	2:02.7			
1:36	947	2:04.0			
1:37	957	2:05.2			
1:38	967	2:06.5			
1:39	977	2:07.7			
1:40	987	2:08.9			

Lampiran 4

Data seismisitas Selatan pesisir Jawa Tahun 1994

Tahun	Jam	Menit	Detik	Lintang	Bujur	Kedalaman	Ms
1994	19	29	9,9	-6,7	130,7	33	5,3
1994	2	56	58	-11	116,2	33	5,1
1994	20	5	19	5,6	130,7	33	5
1994	8	36	7,1	5,6	130,9	56	5,1
1994	23	41	43	-10	118,9	25	5,2
1994	19	11	9,6	-9,8	112,8	53	5
1994	5	41	56	-8,2	120	33	5
1994	14	53	42	-6,2	130,1	33	5
1994	0	2	36	-7,2	108,5	33	5
1994	15	10	48	-8,5	118,2	33	5,1
1994	14	5	54	-12	117,5	33	5,1
1994	4	29	21	-9,5	112,9	33	5,2
1994	8	37	48	-9,4	113	33	5
1994	9	16	50	-9,4	113	33	5,2
1994	23	41	44	-8,2	124,8	33	5,4
1994	4	38	33	-8,2	124,8	25	5,5
1994	4	44	12	-8,1	124,8	33	5,5
1994	6	2	35	-5	132	23	5,2
1994	3	40	34	-5	131,4	35	5,1
1994	18	17	34	-10	112,8	18	7,8
1994	2	55	18	-10	112,8	23	5,1
1994	4	54	50	-10	113	42	5,6
1994	5	10	7,6	-10	113,5	33	5
1994	10	14	39	-11	112,7	33	5,1
1994	12	33	23	-10	113,1	33	5,4
1994	13	39	24	-9,4	114,3	33	5,4
1994	15	18	36	-12	111,9	33	5,1
1994	16	33	11	-9,4	113	28	5,3
1994	18	16	19	-10	113	40	5,6
1994	18	54	47	-11	113	33	5,1
1994	21	6	60	-10	112,9	25	6,6

1994	21	19	50	-11	112,9	33	5,3
1994	21	21	9,5	-10	112,9	43	5,9
1994	21	57	30	-11	112,8	33	5,2
1994	21	59	45	-11	113	33	5,3
1994	23	2	0,6	-10	113,6	23	5,6
1994	23	42	31	-10	112,8	32	5,5
1994	0	57	51	-11	113,4	11	6,5
1994	5	17	18	-11	112,9	40	5,3
1994	5	54	29	-11	113,2	32	5,4
1994	11	18	53	-11	113,3	30	5,2
1994	11	36	36	-11	113,2	34	5,6
1994	12	4	28	-11	113,6	28	5,7
1994	14	57	60	-11	112,9	33	5,4
1994	20	9	35	-11	113,2	30	5,7
1994	1	45	2,2	-10	113,4	25	6,1
1994	5	32	34	-11	113,5	39	5,2
1994	5	56	45	-11	113,5	33	5,6
1994	6	20	59	-10	112,9	32	5,4
1994	10	10	26	-6,5	112,9	33	5,2
1994	17	51	57	-11	112,7	39	5,6
1994	18	30	15	-11	112,4	35	5,2
1994	19	35	41	-11	112,4	41	5
1994	20	11	14	-10	114,2	33	5,1
1994	1	8	31	-11	113,3	34	5,5
1994	2	18	37	-11	113,4	21	5,1
1994	2	23	34	-11	112,5	33	5
1994	4	55	12	-11	112,5	43	5,3
1994	5	32	55	-11	112,6	20	5,5
1994	6	20	21	-11	113,1	33	5,2
1994	7	40	37	-11	113,2	38	5,3
1994	8	18	11	-11	113,2	41	5,1
1994	10	14	11	-11	112,6	35	5,3
1994	12	14	14	-11	112,6	33	5
1994	4	42	53	-9,7	113,1	33	5,2
1994	16	25	29	-11	113,6	53	5,2

1994	22	0	4,6	-11	113,1	33	5,4
1994	19	19	58	-11	112,7	37	5,1
1994	16	37	47	-10	113,6	33	5,8
1994	1	16	50	-11	113,2	33	5
1994	1	40	25	-11	112,2	42	5
1994	19	11	17	-10	112,7	28	5,3
1994	19	17	52	-10	113,5	33	5,4
1994	21	59	23	-11	112,7	33	5,1
1994	1	35	21	-10	112,8	33	5,2
1994	1	47	19	-11	112,8	33	5,3
1994	2	14	42	-11	113	33	5,1
1994	8	3	24	-11	112,1	33	5
1994	13	53	7,6	-11	112,6	34	5,3
1994	6	49	31	-11	113,6	27	5
1994	21	4	9,4	-10	113,5	23	5,7
1994	21	10	6,2	-10	113,6	33	5,8
1994	21	50	55	-11	112,9	33	5,1
1994	22	48	28	-10	113,6	25	5,6
1994	1	48	19	-11	113,4	30	5,1
1994	2	35	28	-11	113,3	32	5,1
1994	14	54	56	-11	113,4	25	5,1
1994	15	20	51	-11	113,5	27	5,2
1994	16	0	42	-10	113,5	33	5,1
1994	6	18	45	-9,4	113,1	28	5,1
1994	9	22	57	-10	113,7	19	6,2
1994	9	50	23	-10	113,7	28	5,5
1994	10	28	51	-10	113,8	28	6,1
1994	12	10	57	-11	113,4	24	5,2
1994	13	53	53	-10	112,4	31	5
1994	12	48	46	-11	113,5	33	5
1994	22	38	19	-10	113,6	46	5,6
1994	3	20	46	-9,5	112,8	33	5,3
1994	12	57	1,3	-10	113,5	33	5,3
1994	13	50	38	-11	113,5	19	5,1
1994	19	11	55	-11	112,6	33	5,1

1994	6	14	36	-11	113,3	33	5
1994	3	33	17	-11	113,7	33	5,1
1994	14	45	17	-11	112,6	33	5,1
1994	4	48	31	-11	112,5	33	5,1
1994	22	40	25	-6,2	105,4	33	5
1994	5	24	21	-9,7	112,5	33	5,4
1994	16	33	60	-9,6	112,9	33	5,6
1994	15	52	44	-9,7	112,8	23	5,3
1994	21	57	27	-11	113,3	34	6
1994	0	45	31	-11	113,1	10	5
1994	1	46	33	-10	113,6	33	5,7
1994	7	37	53	-10	117	48	5,1
1994	1	9	36	-9,9	112,7	23	5,1
1994	22	15	38	-6,3	131,6	33	6,2
1994	13	15	31	-11	113,6	33	5,4
1994	5	52	28	-10	120	25	5,7
1994	21	57	56	-9,2	111,9	57	5,2
1994	8	53	49	-11	112,9	33	5,2
1994	18	48	25	-11	113,4	33	5
1994	11	30	15	-8,9	106,5	33	5,9
1994	18	3	24	-7,7	130,1	33	5,2
1994	12	9	40	-6,2	104,9	24	5,6
1994	23	26	38	-8,3	116,8	33	5
1994	20	42	21	-9,2	106,8	33	5,4
1994	10	9	45	-10	122,6	33	5
1994	8	43	2,1	-7,5	129,6	33	5,4
1994	14	52	53	-10	119,2	25	5,9

Lampiran 5

Data run-up tsunami Banyuwangi 03 Juni 1994

Area	Tempat	Lintang	Bujur	Tinggi
Bali	Antor	-8,52	114,99	4,09
Bali	Pakutatan	-8,43	114,82	2,8
Bali	Pengraguan	-8,46	114,90	3,2
Bali	Rambutsiwi	-8,40	114,76	2,7
Bali	Soka	-8,52	114,99	3,7
Bali	Surabraton	-8,47	114,93	2,6
Bwi	Plengkung	-8,69	114,37	4
Bwi	Grajanan	-8,59	114,22	2,5
Bwi	Grajanan	-8,60	114,22	2,29
Bwi	Grajanan	-8,60	114,22	4,09
Bwi	Lampon	-8,61	114,08	3,8
Bwi	Lampon	-8,61	114,08	5,4
Bwi	Lampon	-8,61	114,08	1,3
Bwi	Lampon	-8,60	114,09	9,3
Bwi	Pancer	-8,59	114,00	9,4
Bwi	Pancer	-8,58	114,00	6,7
Bwi	Pancer	-8,58	114,00	5,7
Bwi	Pancer	-8,58	114,00	6,3
Bwi	Pancer	-8,59	114,00	7,5
Bwi	Pancer	-8,58	114,00	6,7
Bwi	Purwoasri	-8,61	114,11	1,3
Bwi	Rajekwesi	-8,55	113,94	5
Bwi	Rajekwesi	-8,55	113,94	7,5

Bwi	Rajekwesi	-8,55	113,93	13,9
Bwi	Rajekwesi	-8,55	113,93	4,2
Bwi	Purwa	-8,73	114,35	4,2
Bwi	Purwa	-8,73	114,34	5,09
Bwi	Purwa	-8,73	114,34	5,5
Bwi	Purwa	-8,74	114,35	4,4
Bwi	Purwa	-8,73	114,34	5,6
Bwi	Purwa	-8,73	114,34	5,3
Bwi	Trianggul	-8,65	114,36	4,9
Bwi	Trianggul	-8,65	114,36	3,6
Jember	Bandialit	-8,48	113,71	9,9
Jember	Bandialit	-8,48	113,71	6
Jember	Bandialit	-8,48	113,71	5,9
Jember	Bandialit	-8,48	113,71	4,59
Jember	Bandialit	-8,48	113,71	11,2
Jember	Besini	-8,38	113,46	5,9
Jember	Geten	-8,38	113,40	3,1
Lumajang	Bambangan	-8,28	113,10	4,59
Malang	Ngliyep	-8,35	112,35	4,3
Malang	Sempu	-8,42	112,69	2,7
Malang	Sendanbru	-8,41	112,71	3,6
Malang	Sendanbru	-8,43	112,68	3,6
Malang	Sendanbru	-8,43	112,68	3,4
Tl.Agung	Brumburn	-8,26	111,83	4,8
Tl.Agung	Brumburn	-8,26	111,83	3,7
Tl.Agung	Brumburn	-8,26	111,83	3,8
Tl.Agung	Gerangan	-8,25	111,84	5,5
Tl.Agung	Gerangen	-8,25	111,84	5,4
Tl.Agung	Gerangen	-8,25	111,83	4,59
Tl.Agung	Popoh	-8,25	111,81	2,9
Tl.Agung	Popoh	-8,26	111,80	3,9

Tl.Agung	Sidem	-8,25	111,80	3,1
Tl.Agung	Sine	-8,26	111,88	4,2
Tl.Agung	Sine	-8,26	111,88	3,5

Lampiran 6

Data waktu tiba gelombang tsunami

*Tanda Merah Menyatakan Daerah Di Banyuwangi

Daerah	Tempat	Lintan g	Bujur	TTT
Indonesia	Grajagan	-8,58	114,22	0:20:56
Indonesia	Silirsetopan	-8,6	114,12	0:20:56
Indonesia	Sarongan	-8,55	113,95	0:24:32
Indonesia	Sukomade	-8,55	113,87	0:24:72
Indonesia	Pesanggaran	-8,59	114	0:27:28
Indonesia	Pulau Merah	-8,60	114	0:27:78
Indonesia	Lampon	-8,62	114,08	0:29:72
Indonesia	Kuta	-8,92	116,28	0:30:41
Indonesia	Yosowilangun	-8,27	113,27	0:30:57
Indonesia	Pulukan	-8,42	114,82	0:31:54
Indonesia	Kencong	-8,28	113,37	0:32:12
Indonesia	Pelilit	-8,78	115,62	0:32:18
Indonesia	Tanglad	-8,78	115,58	0:32:18
Indonesia	Dampar	-8,3	113,05	0:32:22
Indonesia	Jurangklampok	-8,27	113,12	0:32:22
Indonesia	Kajaran	-8,28	113,07	0:32:22
Indonesia	Legongjambe	-8,27	113,15	0:32:22
Indonesia	Tatar	-9,05	117	0:33:13
Indonesia	Batunadeg	-8,75	115,5	0:33:46
Indonesia	Ketewel	-8,63	115,28	0:33:46
Indonesia	Lebih	-8,58	115,35	0:33:46
Indonesia	Siyut	-8,57	115,37	0:33:46

Indonesia	Toyapakeh	-8,68	115,48	0:33:50
Indonesia	Joketro	-8,28	111,45	0:34:22
Indonesia	Klatingunging	-8,58	115,05	0:34:22
Indonesia	Yehembang	-8,4	114,75	0:34:25
Indonesia	Labuhanpon	-8,75	115,88	0:34:45
Indonesia	Pelangang	-8,77	115,92	0:34:45
Indonesia	Kebonagung	-8,22	111,13	0:35:04
Indonesia	Puger	-8,37	113,47	0:35:19
Indonesia	Gumukmas	-8,32	113,4	0:35:33
Indonesia	Karangturi	-8,28	111,57	0:35:49
Indonesia	Munjungan	-8,32	111,58	0:35:49
Indonesia	Sampalan	-8,68	115,57	0:35:52
Indonesia	Sejorong	-9,03	116,8	0:36:13
Indonesia	Sekongkang	-8,97	116,77	0:36:13
Indonesia	Seseh	-8,63	115,12	0:37:15
Indonesia	Kusamba	-8,57	115,45	0:37:50
Indonesia	Padang	-8,53	115,5	0:37:50
Indonesia	Ampenan	-8,57	116,08	0:38:45
Indonesia	Midang	-8,53	116,1	0:38:45
Indonesia	Manggis	-8,5	115,52	0:39:00
Indonesia	Garantah	-9,05	117,13	0:39:15
Indonesia	Garantahbawah	-9,07	117,12	0:39:15
Indonesia	Lampui	-8,98	117,27	0:39:15
Indonesia	Lebah	-9	117,35	0:39:15
Indonesia	Benoa	-8,77	115,22	0:39:17
Indonesia	Bualu	-8,8	115,22	0:39:17
Indonesia	Denpasar	-8,65	115,22	0:39:17
Indonesia	Jimbaran	-8,77	115,17	0:39:17
Indonesia	Kedonganan	-8,75	115,17	0:39:17
Indonesia	Kuta	-8,73	115,17	0:39:17
Indonesia	Sanur	-8,68	115,25	0:39:17
Indonesia	Tuban	-8,73	115,18	0:39:17

Indonesia	Prampuan	-8,63	116,08	0:39:28
Indonesia	Lajor	-8,5	116,07	0:39:31
Indonesia	Mangsit	-8,48	116,05	0:39:31
Indonesia	Ngadirojo	-8,23	111,32	0:40:39
Indonesia	Panggul	-8,25	111,45	0:41:01
Indonesia	Gebang	-8,1	110,52	0:41:07
Indonesia	Pawenang	-8,42	116,1	0:41:11
Indonesia	Pasirombo	-8,18	110,7	0:41:21
Indonesia	Kemiri	-8,25	111,92	0:41:22
Indonesia	Lembar	-8,73	116,08	0:41:32
Indonesia	Girikerto	-8,07	110,43	0:43:03
Indonesia	Kalak	-8,2	110,92	0:43:11
Indonesia	Sarangburung	-8,2	110,77	0:43:11
Indonesia	Amed	-8,33	115,65	0:43:46
Indonesia	Culik	-8,35	115,62	0:43:46
Indonesia	Karangasem	-8,45	115,62	0:43:46
Indonesia	Tanjung	-8,37	116,15	0:44:05
Indonesia	Blongas	-8,87	116,05	0:44:22
Indonesia	Awang	-8,9	116,4	0:44:27
Indonesia	Bumbang	-8,92	116,38	0:44:27
Indonesia	Kubu	-8,27	115,57	0:44:58
Indonesia	Cereweh	-8,87	116,83	0:45:52
Indonesia	Mendaya	-8,38	114,68	0:46:12
Indonesia	Prancat	-8,4	114,62	0:46:12
Indonesia	Salangan	-8,25	116,3	0:46:18
Indonesia	Flying	Fish	Cov	-10,42
Indonesia	Meret	-7,93	110,15	0:47:15
Indonesia	Tianyar	-8,2	115,5	0:47:27
Indonesia	Gretek	-8,15	115,42	0:48:18
Indonesia	Bibis	-8,1	110,48	0:49:13
Indonesia	Galur	-7,95	110,23	0:49:17
Indonesia	Tegalan	-8	110,27	0:49:17

Indonesia	Desaanuar	-8,23	116,43	0:49:21
Indonesia	Labuhancarik	-8,23	116,42	0:49:21
Indonesia	Labu	Lalar	-8,8	116,82
Indonesia	Pambang	-8,73	116,55	0:49:50
Indonesia	Senande	-8,77	116,5	0:49:50
Indonesia	Tejakula	-8,13	115,33	0:50:07
Indonesia	Beburung	-8,27	116,48	0:50:15
Indonesia	Jambu	-8,7	118,03	0:50:19
Indonesia	Labu	Jontal	-8,72	117,85
Indonesia	Labu	Ujung	-8,7	117,77
Indonesia	Teluksantong	-8,72	117,9	0:50:19
Indonesia	Kubutambahan	-8,08	115,23	0:51:41
Indonesia	Kelapagenep	-7,8	108,28	0:51:55
Indonesia	Singkil	-7,8	108,32	0:51:55
Indonesia	Ciherang	-7,78	108,22	0:52:26
Indonesia	Labuhanhaji	-8,7	116,57	0:52:28
Indonesia	Bugkulan	-8,08	115,17	0:52:58
Indonesia	Dorokarunggu	-8,68	118,17	0:53:14
Indonesia	Doromata	-8,77	118,22	0:53:14
Indonesia	Sakambangan	-7,68	107,85	0:53:36
Indonesia	Sadatau	-7,7	107,83	0:54:01
Indonesia	Sangsit	-8,08	115,13	0:54:12
Indonesia	Galuwatu	-9,57	118,95	0:54:22
Indonesia	Sondo	-8,75	118,68	0:54:27
Indonesia	Wilamaci	-8,73	118,72	0:54:27
Indonesia	Bondokodi	-9,58	119	0:54:33
Indonesia	Menangalaku	-9,6	119,02	0:54:33
Indonesia	Labuhanpandan	-8,38	116,72	0:54:36
Indonesia	Labuhanpandan	-8,4	116,7	0:54:36
Indonesia	Lepeloang	-8,3	116,65	0:54:36
Indonesia	Sungian	-8,35	116,68	0:54:36
Indonesia	Owimbai	-8,78	118,78	0:54:40

Indonesia	Buleleng	-8,1	115,08	0:55:31
Indonesia	Singaraja	-8,13	115,08	0:55:31
Indonesia	Cogot	-7,88	110,03	0:55:47
Indonesia	Glagah	-7,9	110,07	0:55:47
Indonesia	Endeh	-8,82	116,85	0:55:52
Indonesia	Karanganyar	-7,75	108,05	0:56:13
Indonesia	Bangbayang	-7,67	107,77	0:56:22
Indonesia	Pameungpeuk	-7,63	107,72	0:56:22
Indonesia	Cioleng	-7,72	107,93	0:56:35
Indonesia	Cipari	-7,72	107,95	0:56:35
Indonesia	Suma	-9,43	119,03	0:56:39
Indonesia	Ambal	-7,8	109,73	0:56:42
Indonesia	Mirit	-7,8	109,77	0:56:42
Indonesia	Lambatama	-9,63	119,03	0:56:43
Indonesia	Pradapare	-9,67	119,03	0:56:43
Indonesia	Petanahan	-7,77	109,58	0:57:06
Indonesia	Cimari	-7,57	107,62	0:57:08
Indonesia	Bajo	-8,47	118,68	0:57:09
Indonesia	Bangkulua	-8,68	118,22	0:57:09
Indonesia	Bima	-8,47	118,72	0:57:09
Indonesia	Doro	Kessi	-8,57	118,2
Indonesia	Dorobanggo	-8,57	118,3	0:57:09
Indonesia	Dorokempo	-8,55	118,25	0:57:09
Indonesia	Huu	-8,78	118,38	0:57:09
Indonesia	Kahale	-9,68	119,12	0:57:10
Indonesia	Ubuoleta	-9,73	119,23	0:57:21
Indonesia	Kelanir	-8,67	116,82	0:57:27
Indonesia	Pringgabaya	-8,57	116,63	0:57:27
Indonesia	Piju	-8,78	116,52	0:57:30
Indonesia	Sunut	-8,87	116,55	0:57:30
Indonesia	Manukangga	-10,23	120,35	0:57:33
Indonesia	Genggalo	-9,47	119,03	0:57:35

Indonesia	Cipandak	-7,48	107,28	0:57:37
Indonesia	Watukarere	-9,77	119,37	0:57:42
Indonesia	Bakurejo	-8,38	114,32	0:57:45
Indonesia	Cidaun	-7,48	107,35	0:57:45
Indonesia	Muncar	-8,43	114,33	0:57:45
Indonesia	Penyenger	-8,45	117,08	0:57:56
Indonesia	Adipala	-7,67	109,15	0:58:01
Indonesia	Jepara	-7,67	109,23	0:58:01
Indonesia	Karangpakis	-7,7	109,33	0:58:01
Indonesia	Tambakmulyo	-7,75	109,48	0:58:01
Indonesia	Labu	Bur	-8,38	117,12
Indonesia	Utan	-8,42	117,15	0:58:06
Indonesia	Banyubiru	-8,35	114,57	0:58:15
Indonesia	Banyuwangi	-8,22	114,37	0:58:15
Indonesia	Banyuwedang	-8,15	114,58	0:58:15
Indonesia	Candikesuma	-8,3	114,52	0:58:15
Indonesia	Cupel	-8,37	114,57	0:58:15
Indonesia	Dadapan	-8,25	114,33	0:58:15
Indonesia	Gilimanuk	-8,18	114,45	0:58:15
Indonesia	Giri	-8,2	114,35	0:58:15
Indonesia	Kalipuro	-8,17	114,35	0:58:15
Indonesia	Ketapang	-8,15	114,38	0:58:15
Indonesia	Sebani	-8,12	114,38	0:58:15
Indonesia	Sugo	-8,08	114,4	0:58:15
Indonesia	Banjar	-8,2	114,97	0:58:16
Indonesia	Baing	-10,22	120,55	0:58:18
Indonesia	Labu	Mapin	-8,53	116,93
Indonesia	Lombok	-8,52	116,67	0:58:22
Indonesia	Alas	-8,52	117,02	0:58:24
Indonesia	Katewela	-9,38	119,33	0:58:24
Indonesia	Tegallengah	-8,2	114,88	0:58:25
Indonesia	Cikiruh	-7,53	107,5	0:58:29

Indonesia	Praikalogu	-9,75	119,42	0:58:33
Indonesia	Cikembulang	-7,68	108,63	0:58:42
Indonesia	Kalipucang	-7,65	108,73	0:58:42
Indonesia	Waikelo	-9,4	119,23	0:58:42
Indonesia	Weetebula	-9,4	119,22	0:58:42
Indonesia	Badas	-8,47	117,38	0:58:51
Indonesia	Labu	Pumi	-8,48	117,37
Indonesia	Labu	Ree	-8,43	117,27
Indonesia	Riu	-8,43	117,28	0:58:51
Indonesia	Omatena	-9,88	119,78	0:58:55
Indonesia	Cilacap	-7,72	109,02	0:59:02
Indonesia	Sidanegara	-7,72	109	0:59:02
Indonesia	Pemang	-8,48	117,07	0:59:06
Indonesia	Cikaret	-7,42	106,57	0:59:09
Indonesia	Pato	Pedu	-8,42	117,25
Indonesia	Sindangbarang	-7,45	107,13	0:59:10
Indonesia	Tipar	-7,45	107,2	0:59:10
Indonesia	Bubunan	-8,2	114,92	0:59:12
Indonesia	Buniayu	-7,75	108,1	0:59:12
Indonesia	Cidadap	-7,77	108,13	0:59:12
Indonesia	Karendi	-9,4	119,43	0:59:17
Indonesia	Tengairi	-9,73	119,55	0:59:17
Indonesia	Banjargondol	-8,17	114,72	0:59:19
Indonesia	Grogkak	-8,18	114,78	0:59:19
Indonesia	Sumurbungkar	-7,17	115,8	0:59:22
Indonesia	Kambaru	-9,93	119,9	0:59:23
Indonesia	Tandulujangga	-9,95	119,95	0:59:23
Indonesia	Lalindi	-10,2	120,17	0:59:24
Indonesia	Ciawitali	-7,67	108,77	0:59:27
Indonesia	Manuakalada	-9,4	119,55	0:59:28
Indonesia	Batukaras	-7,75	108,48	0:59:32
Indonesia	Ciambayat	-7,8	108,4	0:59:32

Indonesia	Cibenda	-7,68	108,52	0:59:32
Indonesia	Madasari	-7,78	108,48	0:59:32
Indonesia	Sindangsari	-7,82	108,43	0:59:32
Indonesia	Lailunggi	-10,17	120,12	0:59:34
Indonesia	Wahang	-10,1	120,03	0:59:34
Indonesia	Wahang	-10,08	120,03	0:59:34
Indonesia	Laiwila	-10,2	120,65	0:59:35
Indonesia	Lakadale	-10,17	120,72	0:59:35
Indonesia	Matawai	-10,13	120,72	0:59:35
Indonesia	Bojongterong	-7,42	106,9	0:59:36
Indonesia	Cigebang	-7,43	106,98	0:59:36
Indonesia	Cijarian	-7,45	107,03	0:59:36
Indonesia	Rawauncal	-7,43	106,77	0:59:36
Indonesia	Cibeber	-7,32	106,42	0:59:38
Indonesia	Cipinang	-7,28	106,42	0:59:38
Indonesia	Simpang	-7,35	106,45	0:59:38
Indonesia	Ujunggenteng	-7,37	106,4	0:59:38
Indonesia	Bajo	-8,6	119,02	0:59:41
Indonesia	Bugis	-8,55	119,02	0:59:41
Indonesia	Gerampi	-8,78	118,87	0:59:41
Indonesia	Karumbu	-8,73	118,87	0:59:41
Indonesia	Nggelu	-8,72	119,1	0:59:41
Indonesia	Rompo	-8,72	118,82	0:59:41
Indonesia	Sape	-8,57	118,98	0:59:41
Indonesia	Sumi	-8,63	119	0:59:41
Indonesia	Praigaga	-9,75	119,62	0:59:48

Lampiran 7

Hasil perhitungan gelombang tsunami dan gelombang seismik

Nama Daerah	Waktu Tsunami (Detik)	Jarak (meter)	Kecepatan (m/s)	Waktu seismik (Detik)	selisih (Detik)
Grajagan	1256	260974	207	36,99	1219
Silirsetopan	1256	252744	201	35,93	1220
Sarungan	1459	247367	169	35,23	1423
Sukomade	1483	247945	167	35,3	1447
Pesanggaran	1637	245458	149	34,9	1602
Pulau Merah	1667	246403	147	35,1	1631
Lampon	1785	248411	139	35,3	1749
Banyubiru	3495	304983	87	42,62	3452
Banyuwangi	3495	303276	86	42,39	3452
Banyuwedang	3495	323174	92	44,98	3450
Candikesuma	3495	305876	87	42,73	3452
Cupel	3495	303264	86	42,39	3452
Dadapan	3495	298026	85	41,71	3453
Gilimanuk	3495	311988	89	43,53	3451
Giri	3495	303880	86	42,47	3452
Kalipuro	3495	306661	87	42,84	3452
Ketapang	3495	310352	88	43,32	3451
Sebani	3495	313134	89	43,68	3451