



THESIS - MO142528

PEMODELAN MITIGASI BENCANA TSUNAMI DI PANTAI LOSARI

Andi Mega Mustika Natsir ST.

04111550052002

DOSEN PEMBIMBING:

Dr.Eng. Kriyo Sambodho, S.T., M.Eng

R. Haryo Dwito A., S.T., M.Eng., Ph.D

PROGRAM MAGISTER
TEKNIK MANAJEMEN PANTAI
PROGRAM STUDI TEKNOLOGI KELAUTAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOVEMBER
SURABAYA

2018

LEMBAR PENGESAHAN

Thesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar

Magister Teknik (M.T.)

di

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

Andi Mega Mustika Natsir

NRP. 04111550052002

Tanggal Ujian : 15 Januari 2018

Periode Wisuda : Maret 2018

Disetujui oleh :

1. Dr. Eng. Kriyo Sambodho, S.T., M.Eng
NIP. 19740127 199903 1 002

(Pembimbing I)

2. R. Haryo Dwito A., S.T., M.Eng., Ph.D
NIP. 19680810 199512 1 001

(Pembimbing II)

3. Drs. Mahmud Musta'in, M.Sc., Ph.D
NIP. 19610805 198910 1 001

(Penguji I)

4. Dr. Ir. Wahyudi
NIP. 19601214 198903 1 001

(Penguji II)

5. Suntoyo, S.T., M.Eng., Ph.D
NIP. 19710723 199512 1 001

(Penguji III)

Dekan Fakultas Teknologi Kelautan

Prof. Ir. Daniel M. Rosyid, Ph.D.

NIP : 19610702 198803 1 003



KATA PENGANTAR

Assalamu'alaykum Warahmatullahi Wabarakatuh

Puji Syukur penulis panjatkan hanya untuk Allah SWT atas rasa syukur yang tiada hingga penulis haturkan hanya kepada-Nya yang telah begitu baik memberikan segala yang penulis butuhkan dalam kehidupan ini. Terima kasih atas berkah dan Anugrah yang Engkau berikan kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan penyusunan tesis yang berjudul **“Pemodelan Mitigasi Bencana Tsunami di Pantai Losari.”**.

Penulis menyadari bahwa keberhasilan penyusunan tesis ini tidak terlepas dari bantuan berbagai pihak, baik secara langsung maupun tidak langsung. Kesempatan ini, penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Terima kasih kepada keluarga besarku, H.Andi Muh. Natsir (Etta), Hj.Andi Hasniaty (Puang Ibu), Andi Dian Sry Rezki (Puang Sry), Azwar Hayat (Kak Azwar), Andi Paramitha (Puang Mitha), Andi Rian Kurniawan (Puang Rian), Andi Mannappaki (Andi Aki), serta Om-om, tante-tante, sepupu (Andi Mashita) dan keponakan-keponakanku (Ryoichi, Alfatih, dan Khaira) yang senantiasa selalu memberikan dukungan, doa, kasih sayang, bantuan dan semangat yang tiada henti-hentinya kepada penulis. Ucapan terima kasih ini tidak akan cukup untuk membalas semua yang kalian berikan kepada penulis.
2. Bapak Dr.Eng. Kriyo Sambodho, S.T., M.Eng dan R. Haryo Dwito A., S.T., M.Eng., Ph.D. selaku dosen pembimbing dalam studi ini yang telah memberikan bimbingan dan meluangkan waktunya untuk penulis.
3. Bapak Drs. Mahmud Musta'in, M.Sc., Ph.D., Dr. Ir. Wahyudi dan Suntoyo, S.T., M.Eng., Ph.D. selaku tim penguji yang telah menyempatkan waktunya untuk memeriksa tesis ini dan memberikan masukan yang sangat positif kepada penulis sehingga penulisan tesis ini menjadi jauh lebih baik.
4. Bapak Dr.Eng. Achmad Yasir Baeda, ST., MT. selaku dosen pembimbing dari luar ITS dan orang tua yang baik untuk penulis. Terima kasih banyak

untuk semua pemikiran, waktu, bimbingan, saran, perhatian, nasehat dan ilmu pengetahuan yang beliau berikan kepada penulis.

5. Andi Patriadi, ST., MT., selaku suami yang selalu memberikan dukungannya. Terima kasih atas segala yang diberikan kepada penulis. Semoga pendidikan S3nya diberikan kelancaran dan kemudahan oleh Allah SWT. Amiin.
6. Dedek yang masih dalam perut ibu, terima kasih sayang sudah menjadi penyemangat terbesar penulis. Kamu anugrah terbaik dan terindah yang Allah berikan kepada penulis. Sampai ketemu 2 bulan lagi ☺.
7. Teman-Teman Pascasarjana Teknik Kelautan Nurul Fatimah Yunita (Kak Ita), Muh. Aldhiansyah RF (Aldhi), Thesyandra M.A.R (Tessa), Reza, Yani, Winda, Fyan, Rino, Kak Devi dan Mas Christoffel yang telah bersedia selalu direpotkan, membantu, sharing ilmu serta keceriaan dan perhatian diberikan kepada penulis.
8. Bapak Robi dari BVMBG yang telah meluangkan waktunya mengajarkan beberapa software kepada penulis.
9. Bapak Dwi dari NASDEC yang telah bersedia meluangkan waktunya untuk membantu menginstallkan software kepada penulis. Terima kasih atas pertolongannya.
10. Bapak miftah selaku staf pascasarjana teknik kelautan ITS yang telah bersedia membantu dan memberikan waktunya kepada penulis selama proses perkuliahan.

Penulis menyadari bahwa karya ini masih jauh dari kesempurnaan, untuk itu dengan segala kerendahan hati penulis mengharapkan kritikan yang sifatnya membangun guna perbaikan dan penyempurnaan tesis ini. Semoga tesis ini dapat bermanfaat bagi semua pihak yang memerlukannya dan menjadi suatu karya yang memberikan dampak positif. Amin Yaa Rabbal Alamin.

Wassalamu'alaykum Warahmatullahi Wabarakatuh

Surabaya, 15 Januari 2018

Penulis

PEMODELAN MITIGASI BENCANA TSUNAMI DI PANTAI LOSARI

Nama : Andi Mega Mustika Natsir
NRP : 04111550052002
Pembimbing I : Dr.Eng. Kriyo Sambodho, S.T., M.Eng
Pembimbing II : R. Haryo Dwito A., S.T., M.Eng., Ph.D

ABSTRAK

Pantai Losari yang merupakan salah satu waterfront dan pusat perindustrian dan pertokoan dari Kota Makassar, juga merupakan pantai yang secara langsung berhadapan dengan bagian Selatan dari Selat Makassar. namun juga cukup riskan untuk mendapatkan ancaman tsunami dari kegiatan seismik di Selat Makassar bagian Selatan. Tsunami terjadi pada dasarnya akibat bergeraknya patahan/rekahan vertikal memanjang kerak bumi sehingga air laut terhisap masuk dalam patahan dan kemudian terlempar kembali setelah patahan mencapai keseimbangan. Olehnya sebagai tindakan preventif, diperlukan rancangan mitigasi bencana tsunami terutama di lokasi pantai Losari Makassar yang di harapkan dapat menghasilkan sesuatu hasil positif bagi pembangunan dan keselamatan serta dapat mengurangi kerugian besar disekitar wilayah pantai Losari yang akan rawan tsunami. Penelitian ini menyajikan metode numerik yang digunakan untuk melihat penjalaran tsunami di Pantai Losari dengan menggunakan perangkat lunak SiTProS yang digunakan untuk menciptakan peta penjalaran tsunami dalam menghadapi berbagai skenario gempa. Kesuksesan mitigasi tsunami yang akan datang tergantung pada pemodelan tsunami untuk setiap daerah pesisir di Pulau Sulawesi itu sendiri. Hasil penelitian dalam bentuk skema mitigasi tsunami akan secara khusus berlaku untuk daerah yang bersangkutan dan pada akhirnya akan memudahkan proses evakuasi bencana tsunami yang akan datang di daerah tersebut.

Kata Kunci : penjalaran, run up, inundasi, SiTPros, evakuasi

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

MODELING OF TSUNAMI DISASTER MITIGATION IN LOSARI BEACH

Name : Andi Mega Mustika Natsir
Registration ID : 04111550052002
Supervisor I : Dr.Eng. Kriyo Sambodho, S.T., M.Eng
Supervisor II : R. Haryo Dwito A., S.T., M.Eng., Ph.D

ABSTRACT

Losari Beach is one of the waterfront and industrial and shopping centers of Makassar City. It also a beach that directly face to face with the southern part of Makassar Strait. This makes Losari Beach also quite risky to get the threat of a tsunami from the seismic activity in the southern part of Makassar Strait. Tsunami occurs due to sea water sucked into fault or vertical fissures on undersea crust and then thrown back after fracturing achieved balance condition. As a preventive action, the tsunami disaster mitigation design is needed especially in Losari beach of Makassar. We expected this study may produce positive results for the construction and safety in Losari Beach area that prone to tsunamis. This works presented the numerical method used to simulate and to see tsunami propagation on Losari beach. SiTProS software was used to create the mapping of tsunami propagation with a variety of earthquake scenarios. The successful rate of tsunami mitigation will depend on tsunami modeling for each coastal region on the island of Sulawesi itself. Research results in the form of tsunami mitigation schemes will specifically apply to certain area. It will ultimately facilitate the process of evacuation to tsunami disaster prevention in that area.

Keywords: propagation, run up, inundation, SiTProS, evacuation

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR ISI

Halaman Judul	
Lembar Pengesahan	
Kata Pengantar	i
Abstrak	iii
Daftar Isi	vii
Daftar Tabel	ix
Daftar Gambar	xi
Bab I Pendahuluan	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	6
1.3 Batasan Masalah	6
1.4 Tujuan Penelitian	7
1.5 Manfaat Penelitian	7
Bab II Landasan Teori	9
2.1 Konsep Tsunami	9
2.1.1 SiTPros	18
2.1.1.1 Fault Model	18
2.1.1.2 Ocean Bathymetri	23
2.1.1.3 Tsunami Propagation	23
2.1.1.4 Run Up	25
2.2 Konsep Mitigasi Secara Umum	26
2.2.1 Mitigasi Bencana yang Efektif	27
2.2.2 Mitigasi Bencana Berbasis Masyarakat	29
2.2.3 Konsep Mitigasi Bencana Tsunami	30
2.2.4 Mitigasi Bencana Fisik (Struktural) dan Non Fisik (Non Struktural)	31
Bab III Metodologi Penelitian	35
3.1 Tahapan Pengerjaan	35
3.2 Lokasi Penelitian	38
3.3 Pemodelan Tsunami	38
3.3.1 Region Setting	39
3.3.2 Parameter Setting	39
3.3.3 Warning Info Setting	40

3.3.4	Data Faktor Pembangkit Tsunami	41
Bab IV	Hasil dan Pembahasan	43
4.1	Visualisasi Tsunami	43
4.1.1	Validasi	43
4.2	Estimasi Waktu Kedatangan Tsunami	44
4.2.1	Estimasi Waktu Kedatangan Tsunami berdasarkan Earthquake Line	45
4.2.2	Grafik Tinggi Gelombang Tsunami pada Pantai Losari Makassar	50
4.2.3	Perhitungan Run Up Tsunami di Pantai Losari	54
4.2.4	Perhitungan Inundasi Tsunami di Pantai Losari	57
4.2.5	Grafik hubungan jarak maksimum inundasi dan moment magnitude pada tiap titik pembangkit earthquake line di Pantai Losari	59
4.3	Penentuan Skema mitigasi bencana tsunami pada Pantai Losari	59
4.3.1	Menentukan lokasi evakuasi mitigasi bencana tsunami	64
4.3.2	Menentukan alur evakuasi mitigasi bencana tsunami	66
4.3.3	Kecepatan evakuasi dan jarak tempuh evakuasi	67
4.3.4	Kecepatan berlari penduduk dengan daya tampung gedung pada saat evakuasi	71
Bab V	Kesimpulan dan Saran	73
5.1	Kesimpulan	73
5.2	Saran	74
Referensi	75
Lampiran	79

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	Data Pembangkit Tsunami	41
Tabel 4.1	Hasil Perhitungan Mean Relative Error	44
Tabel 4.2	Simulasi waktu kedatangan Tsunami	50
Tabel 4.3	Immamura-lida	54
Tabel 4.4	Manning Equation Hills dan Mader (1997)	57
Tabel 4.5	Batas Kelurahan pantai Losari	60
Tabel 4.6	Kecepatan lari penduduk berdasarkan tingkat usia penduduk	63

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR GAMBAR

- Gambar 1.1 Peta Sesar Gempa di Pulau Sulawesi menurut Earthquake+
- Gambar 1.2 Pusat gempa di perairan Pulau Sulawesi sejak 1900-2017
- Gambar 2.1 Pusat Gempa dan Tsunami Pengadaran, 2006 (Fitra Rifwan, 2012)
- Gambar 2.2 Pusat gempa bumi di lepas pantai Sumatra Utara dan negara-negara (warna kuning) yang terkena dampak Tsunami Samudra Hindia 26 Desember 2004 (Fitra Rifwan, 2012)
- Gambar 2.3 Perbandingan kecepatan dan tinggi gelombang tsunami di laut dengan berbagai kedalaman (Rangkuman Istilah Tsunami UNESCO, 2007)
- Gambar 2.4 Struktur proses terjadinya tsunami
- Gambar 2.5 Proses terjadinya Stike Dip
- Gambar 2.6 Proses terjadinya Dip Slip
- Gambar 2.7 Proses terjadinya patahan Oblique
- Gambar 2.8 Parameter-parameter untuk Fault Model
- Gambar 2.9 Wilayah Pemodelan pada peta ETOPO2
- Gambar 2.10 Kecepatan penjalaran gelombang tsunami terhadap kedalaman (sumber : www.ecmwf.org)
- Gambar 2.11 Siklus pengurangan resiko berbasis masyarakat (Sari, 2011)
- Gambar 3.1 Tsunami modelling workflow
- Gambar 3.2 Diagram Alir Penelitian
- Gambar 3.3 Lokasi Pengamatan
- Gambar 3.4 Pantai Losari
- Gambar 3.5 Region Setting pada program SiTProS
- Gambar 3.6 Parameter Setting pada program SiTProS
- Gambar 3.7 Warning Info pada program SiTProS
- Gambar 4.1 Output setting pada program SiTProS

- Gambar 4.2 Jarak pusat gempa menuju pantai losari
- Gambar 4.3 Hasil Visualisasi Program SiTProS berupa Frame dengan pembangkit Earthquake Line I
- Gambar 4.4 Hasil Visualisasi Program SiTProS berupa Frame dengan pembangkit Earthquake Line II
- Gambar 4.5 Hasil Visualisasi Program SiTProS berupa Frame dengan pembangkit Earthquake Line III
- Gambar 4.6 Hasil Visualisasi Program SiTProS berupa Frame dengan pembangkit Earthquake Line IV
- Gambar 4.7 Tinggi Gelombang Tsunami Scenario I
- Gambar 4.8 Tinggi Gelombang Tsunami Scenario II
- Gambar 4.9 Tinggi Gelombang Tsunami Scenario III
- Gambar 4.10 Tinggi Gelombang Tsunami Scenario IV
- Gambar 4.11 Grafik hubungan antara X_{maks} dan M_w
- Gambar 4.12 Area Pantai Losari
- Gambar 4.13 Daerah-daerah yang diterjang oleh tsunami (sumber, google earth)
- Gambar 4.14 Peta kecamatan Ujung Pandang
- Gambar 4.15 Peta bangunan yang mencakup tinggi untuk evakuasi
- Gambar 4.16 Peta lokasi genangan tsunami
- Gambar 4.17 Lokasi skenario zona bahaya tsunami di titik A
- Gambar 4.18 Lokasi skenario zona bahaya tsunami di titik B (RS. Stella Maris)
- Gambar 4.19 Lokasi skenario zona bahaya tsunami di titik B (Hotel Mercure)
- Gambar 4.20 Lokasi skenario zona bahaya tsunami di titik B (Hotel Arya Duta)
- Gambar 4.21 Lokasi skenario zona bahaya tsunami di titik B
- Gambar 4.22 Lokasi skenario zona bahaya tsunami di titik C
- Gambar 4.23 Lokasi skenario zona bahaya tsunami di titik D

B A B I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Tsunami adalah salah satu jenis bencana yang terjadi dengan tingkat frekuensi kejadian yang cukup rendah, akan tetapi menyebabkan kerusakan yang luas dan hilangnya nyawa, dan menimbulkan dampak kerugian keuangan yang besar, sosial serta lingkungan yang berlangsung selama bertahun-tahun. Sebuah tsunami terbentuk dari serangkaian gelombang panjang yang disebabkan oleh perpindahan volume air yang besar dan terjadi dengan cepat. Tsunami juga dipicu oleh gempa bumi bawah laut, letusan gunung berapi, tanah longsor, atau dengan dampak meteor. Tsunami dapat digolongkan menjadi tsunami lokal dan tsunami jauh. Tsunami lokal terjadi dengan cepat, dan sedikit peringatan. Sedangkan tsunami jauh mungkin perjalanannya selama berjam-jam sebelum mengenai garis pantai. Pada kasus tsunami kecepatan rambat air dapat mencapai ratusan kilometer perjamnya. Antara terjadinya gempa dan tsunami ada jeda waktu yang dapat digunakan untuk memberikan peringatan dini pada masyarakat. Untuk itu perlu dilakukan Mitigasi Tsunami untuk memberi peringatan dini sebelum terjadinya bencana.

Tsunami yang datang menuju perairan dangkal dekat garis pantai, kecepatannya akan berkurang dan panjang gelombangnya menurun, sedangkan tingginya secara signifikan akan meningkat. Bentuk garis pantai, layout dasar laut dan datangnya gelombang merupakan peranan penting dalam suatu kekuatan gelombang untuk merusak atau menghancurkan pantai. Gelombang mungkin kecil di satu lokasi pesisir dan jauh lebih besar di lokasi lain. Pengaruh teluk, inlet, aliran sungai, lembah lepas pantai, pulau-pulau, dan bangunan pengendali banjir, semuanya mengambil kontribusi terhadap kerusakan lebih besar dan kemungkinan yang diprediksikan.

Kepulauan Indonesia merupakan salah satu wilayah dengan tatanan tektonik paling kompleks dan aktif di dunia. Interaksi kompleks antara tiga lempeng besar, yaitu Lempeng Eurasia, Lempeng Indo-Australia, dan Pasifik telah menyebabkan

kepulauan Indonesia mempunyai aktivitas gempa yang sangat tinggi. Masyarakat pesisir terkadang memiliki tingkat kesadaran yang rendah dan kesiapan akan terjadinya bencana tsunami.

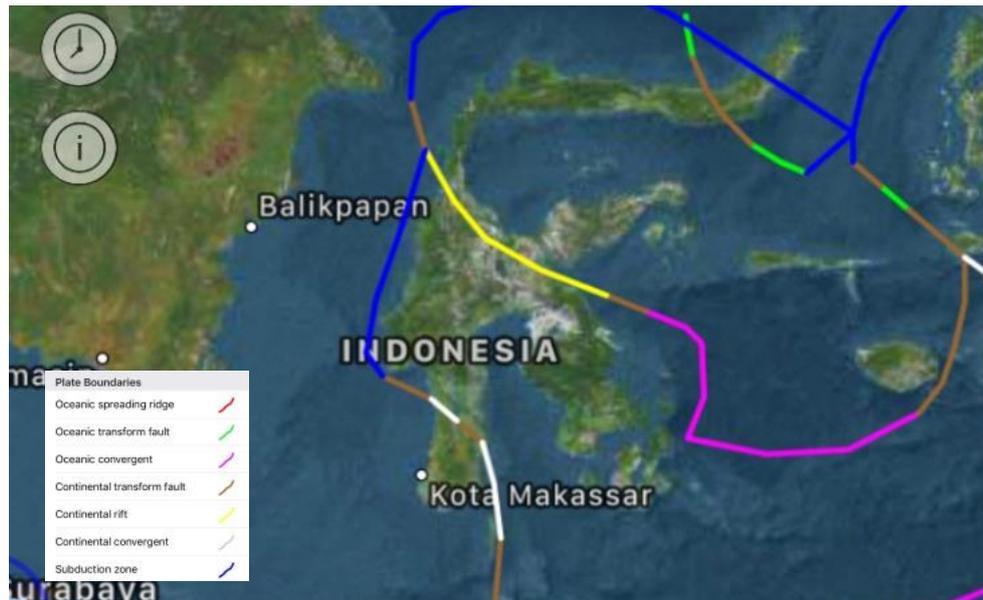
Potensi yang cukup besar terhadap ancaman bahaya dari bencana alam ini disertai dengan situasi dan kondisi yang cukup rentan akibat dari kompleksitas pesatnya pertumbuhan wilayah pesisir yang seringkali mengabaikan aspek-aspek mitigasi bencana alam dalam proses pembangunannya. Pembangunan wilayah pesisir umumnya belum memperhatikan tingkat kepadatan pemukiman di daerah rawan tsunami, infrastruktur dan sarana prasarana di daerah rawan tsunami, akses transportasi untuk evakuasi maupun penyelamatan serta akses komunikasi, tingkat pemahaman masyarakat tentang mitigasi bencana tsunami, dan kemampuan pemerintah serta masyarakat pada umumnya untuk melakukan respon terhadap bencana tsunami sehingga mampu mengurangi dampak kerusakannya.

Daerah pantai selalu menjadi lokasi favorit untuk pemukiman manusia karena menyediakan peluang bisnis dan pekerjaan dalam alur perdagangan laut. Sebagai hasil dari pembangunan berkelanjutan kota-kota pesisir, menjadi semakin banyaknya ancaman dari bahaya tsunami terhadap masyarakat dan asetnya. Sebagai langkah awal untuk meningkatkan pemahaman kita tentang bagaimana tsunami terjadi di dekat pantai dan pesisir. Oleh karena itu, tanggung jawab utama dari insinyur untuk mengidentifikasi bagaimana tsunami berinteraksi dengan pesisir dan merancang struktur pertahanan pesisir dan bangunan yang kuat.

Prediksi tsunami yang akurat hanya mungkin dapat dilakukan dengan menentukan *run up* tsunami dan limpasannya, yang memerlukan investigasi dari bukti geologi, dampak tsunami masa lalu, dan sumber-sumber potensial. Synolakis et al. (n.d.) menyatakan bahwa “kesalahan dalam perhitungan kemungkinan limpasan/genangan dapat menimbulkan kerugian finansial yang besar, atau dalam evakuasi yang tidak diperlukan pada area yang lebih besar dibandingkan dengan yang sudah pasti akan lebih mengurangi resiko yang terjadi, bahkan pada wilayah yang secara tidak langsung terpengaruhi.”. dalam penelitian ini, akan menggunakan metode numerik yang sangat akurat dari literatur untuk memprediksi propagasi tsunami dan limpasannya.

Menurut Prof Rossetto, hanya sedikit pemahaman bagaimana tsunami terjadi di dekat pantai dan kita sedikit mengetahui tentang bagaimana tsunami berinteraksi dengan struktur. Hal ini karena tsunami merupakan peristiwa langka, sehingga data pengamatan yang kurang. Model numerik di sisi lain, diyakini bisa memprediksi bagaimana tsunami merambat dari sumber patahan atau gempa ke garis pantai. Namun, model ini dapat menemukan ketika tsunami menghantam garis pantai dan menggenangi suatu dataran akibat proses fluida yang kompleks, sehingga diperlukan untuk mensimulasikannya. Rossetto et al. (2011), oleh karena itu, dilakukan simulasi fisik dari tsunami melalui studi eksperimental skala Model. Kemudian, Charvet et al. (2013) melakukan program percobaan skala besar untuk mengembangkan persamaan run-up untuk propagasi gelombang panjang.

Setelah terjadinya kejadian tsunami Aceh pada tahun 2004, masyarakat Indonesia sudah mulai mengenal akan bahaya tsunami. Pemerintah dan rakyat Indonesia juga semakin sadar akan ancaman tsunami dan menyadari kebutuhan akan langkah-langkah mitigasi untuk meminimalkan korban jiwa serta kerugian finansial yang disebabkan oleh tsunami.



Gambar 1.1 Peta Sesar Gempa di Pulau Sulawesi menurut Earthquake+

Secara umum, ada beberapa batas lempeng utama di seputar Indonesia yang melibatkan empat lempeng utama :

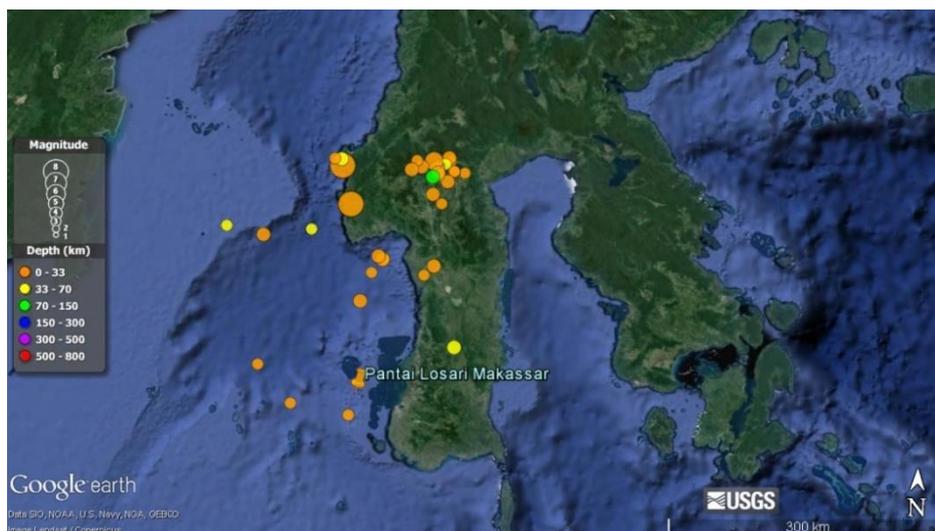
- Lempeng indo-Australia yang bertemu dengan Lempeng Eurasian.
- Lempeng Indo-Australia yang bertemu dengan Lempeng Pasifik.
- Lempeng Pasifik yang bertemu dengan Lempeng Filipina.

Tsunami di Indonesia hampir selalu terjadi di daerah yang berhadapan dengan pertemuan lempeng. Daerah rawan tsunami berdasarkan pertemuan lempeng tektonik di Indonesia adalah sebagai berikut (Pusat Gempa Nasional, 2001 dalam Kodoatie, 2006) :

- Sepanjang Pantai Barat Sumatra dari Aceh sampai Lampung.
- Sepanjang Pantai Selatan Jawa dari Banten sampai Banyuwangi.
- Sepanjang Pantai Selatan Bali.
- Sepanjang Pantai Selatan NTB.
- Sepanjang Pantai Utara dan Pantai Selatan NTT.
- Hampir seluruh Pantai Sulawesi.
- Seluruh Pantai Kepulauan Maluku.
- Pantai di Kepala Burung Papua dan Pantai Bagian Utara Papua.
- Sebagian Pantai Kalimantan Timur dan Kalimantan Selatan.

Untuk menjadi perhatian hampir semua pantai tersebut kecuali pantai-pantai di Kalimantan Timur, Kalimantan Selatan serta sebagian pantai di Sulawesi berhadapan dengan pertemuan lempeng tektonik yang bisa menimbulkan gempa besar dengan Skala Richter lebih besar dari 9 sehingga potensi tsunami yang dihasilkan juga besar.

Pulau Sulawesi merupakan salah satu pulau yang paling aman dalam rangkaian kepulauan Indonesia disebabkan karena letaknya yang secara tidak langsung berada di antara 2 samudra, yaitu Samudra Pasifik dan Samudra Hindia. Sulawesi terbagi atas 6 provinsi dan memiliki beberapa pulau kecil , yang membuatnya menjadi salah satu dari pulau terbesar di Indonesia yang memiliki garis pantai yang panjang.



Gambar 1.2 . Pusat gempa di perairan Pulau Sulawesi sejak 1900-2017

Akan tetapi, ini juga bermakna bahwa Pulau Sulawesi rentan akan bahaya bencana di laut, seperti tsunami yang terjadi karena adanya gempa bumi yang berpusat di laut. Sebagai tambahan, pergeseran dari lempeng Pasifik menuju Barat dan lempeng Hindia-Australia ke Utara membuat Pulau Sulawesi semakin rentan untuk kejadian gempa bumi. Dari pertengahan tahun 1970 hingga sekarang, Pulau Sulawesi dikelilingi oleh beberapa lempeng tektonik kecil dan besar yang telah menyebabkan gempa bumi sebanyak 270 kali dengan kekuatan di atas 5.0 magnitudo. Wilayah yang sangat berpotensi adalah di daerah utara lengan Pulau Sulawesi, khususnya di daerah pantai utara, selatan, dan timur.

Pantai Losari yang merupakan salah satu waterfront dari Kota Makassar, juga merupakan pantai yang secara langsung berhadapan dengan bagian Selatan dari Selat Makassar. Walau hal ini sangat baik untuk bidang pariwisata, namun juga cukup riskan untuk mendapatkan ancaman tsunami dari kegiatan seismik di Selat Makassar bagian Selatan. Olehnya sebagai tindakan preventif, diperlukan rancangan mitigasi bencana tsunami terutama di lokasi pantai Losari Makassar yang di harapkan dapat menghasilkan sesuatu hasil positif bagi pembangunan dan keselamatan disekitar wilayah pantai Losari yang akan rawan tsunami.

Mitigasi meliputi segala tindakan yang mencegah bahaya, mengurangi kemungkinan terjadinya bahaya, dan mengurangi daya rusak suatu bahaya yang tidak dapat dihindarkan. Mitigasi adalah dasar manajemen situasi darurat. Mitigasi dapat

didefinisikan sebagai “aksi yang mengurangi atau menghilangkan resiko jangka panjang bahaya bencana alam dan akibatnya terhadap manusia dan harta-benda”. Mitigasi adalah usaha yang dilakukan oleh segala pihak terkait pada tingkat negara, masyarakat dan individu

Salah satu usaha mitigasi terhadap bencana tsunami adalah dengan cara melakukan prediksi dengan menggunakan metode pemodelan numerik. Hasil pemodelan dapat diterapkan untuk daerah pesisir di Pulau Sulawesi. Hasil penelitian dalam bentuk skema mitigasi tsunami akan secara khusus berlaku untuk daerah yang bersangkutan dan pada akhirnya akan memudahkan respon proses pencegahan bencana tsunami yang akan datang di daerah tersebut.

Mengacu pada permasalahan-permasalahan tersebut, maka dilakukanlah penelitian berupa pemodelan Gelombang Tsunami khususnya pada Pantai Losari Makassar. pemodelan tersebut akan dilakukan dengan menggunakan software untuk menganalisis Tsunami, yakni SiTProS.

I.2 Rumusan Masalah

Untuk memahami masalah ini, diperlukan beberapa data atau info yang rinci mengenai jumlah penduduk di sekitar Pantai Losari, data bangunan, data waktu rata-rata manusia beraktivitas, data tsunami, serta lokasi pantai yang akan dijangkau oleh tsunami tersebut. Gejala ini dapat diamati dalam penelitian, sehingga menimbulkan permasalahan yaitu :

- a) Bagaimana penjalaran tsunami di Pantai Losari
- b) Bagaimana run up tsunami di Pantai Losari
- c) Bagaimana mitigasi pada saat terjadi tsunami di Pantai Losari.

I.3 Batasan Masalah

Yang menjadi batasan dalam penelitian ini adalah :

- a) Model pembangkitan, penjalaran serta run up tsunami diselesaikan dengan menggunakan software SiTProS.
- b) Data batimetri dan topografi digunakan data dari peta ETOPO2.

- c) Pemodelan dilakukan dengan mempertimbangkan jumlah kelurahan/kecamatan di sekitar Pantai Losari.
- d) Dengan mengasumsikan data magnitude di atas 5.0 SR (*Skala Rither*) untuk mensimulasi keadaan yang sebenarnya apabila terjadi tsunami di Pantai Losari.

I.4 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk :

- a) Memberikan gambaran tentang mekanisme pembangkitan, penjalaran serta run up tsunami di Pantai Losari, dimana hal tersebut adalah salah satu daerah upaya mitigasi terhadap bencana tsunami.
- b) Mendapatkan gambaran run up tsunami di Pantai Losari.
- c) Membuat peta kebencanaan pada daerah Pantai Losari terhadap tsunami.

I.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah :

- a) Untuk memberikan informasi kepada masyarakat maupun pemerintah kota, mengenai seberapa banyak waktu yang didapatkan untuk melakukan evakuasi penduduk sebelum gelombang tsunami menerjang Pantai Losari.
Untuk mempersiapkan jalur evakuasi dan lokasi aman saat terjadi tsunami di Pantai Losari.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

B A B II

LANDASAN TEORI

II.1 Konsep Tsunami

Tsunami berasal dari kata jepang yang terdiri dari 2 huruf kanji yang artinya, “Tsu” yang berarti pelabuhan dan “Nami” yang berarti gelombang. Secara harfiah yang memiliki arti gelombang besar atau tinggi yang menghantam pelabuhan/pantai. Tsunami terjadi karena adanya perubahan atau perpindahan massa air secara tiba-tiba yang dipicu oleh perubahan vertikal permukaan bumi, gempa tektonik yang memiliki kekuatan besar, tanah longsor, letusan gunung api dasar laut, serta akibat jatuhnya meteor di laut.

Tsunami terjadi pada dasarnya akibat Bergeraknya patahan/rekahan vertikal memanjang sehingga air laut terhisap masuk dalam patahan dan kemudian terlempar kembali setelah patahan mencapai keseimbangan.

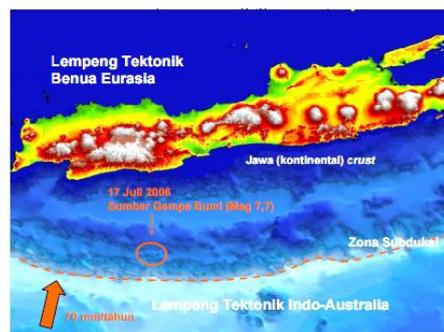
Gelombang tsunami dapat merambat ke segala arah. Kekuatan yang terkandung dalam gelombang tsunami tetap terhadap fungsi ketinggian dan kelajuannya. Di laut dalam gelombang tsunami dapat merambat dengan kecepatan 500-1000 km per jam.

Ketinggian gelombang di laut dalam berkisar 1 meter. Ketika mendekati pantai kecepatan gelombang tsunami menurun berkisar 30 km per jam, namun ketinggiannya meningkat hingga mencapai ketinggian puluhan meter dan menghantam bibir pantai hingga masuk sampai puluhan kilo meter.

a. Karakteristik Tsunami

Berbagai jenis tsunami dapat dibedakan menurut energi dan jarak yang ditempuh sebelum menjangkau pantai. Dampak merusak yang ditimbulkan tsunami lokal hanya terbatas di pantai yang dekat dengan pusat gempa bumi. Tsunami lokal mempunyai waktu tempuh yang sangat pendek dan tiba dalam hitungan menit di pantai. Tsunami jenis ini ditimbulkan oleh

gempa lokal (atau tanah longsor bawah laut) yang menimbulkan dampak pada satu kawasan yang sangat terbatas. Namun demikian, tsunami jenis ini tetap bisa menimbulkan kerusakan. Sebuah contoh tentang tsunami lokal di Indonesia yang hanya berdampak pada daerah yang berada dekat dengan pusat gempa adalah tsunami lokal yang dipicu oleh gempa bumi di selatan Pulau Jawa pada 17 Juli 2006. Tsunami ini dikenal dengan nama Tsunami Pangandaran, menghantam sejumlah kabupaten di Jawa Barat dan Jawa Tengah, menghancurkan prasarana dan menelan korban jiwa hampir 700 orang.



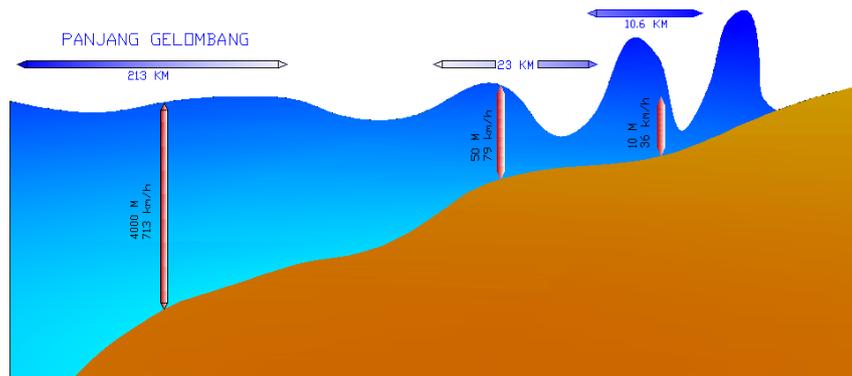
Gambar 2.1 Pusat Gempa dan Tsunami Pangandaran, 2006 (Fitra Rifwan, 2012)

Sebuah tsunami jauh (atau lintas samudra) bisa mencapai pantai beberapa jam setelah pemicunya terjadi di lokasi yang sangat jauh. Tsunami yang terjadi di seluruh lautan bisa berdampak pada keseluruhan lautan dan diakibatkan oleh gempa bumi besar. Tsunami di Aceh merupakan tsunami jauh yang melintasi Samudra Hindia dan menyebabkan kerusakan bukan saja di Indonesia namun juga di Thailand, Malaysia, Srilangka, India dan pantai-pantai Timur Afrika.



Gambar 2.2 Pusat gempa bumi di lepas pantai Sumatra Utara dan negara-negara (warna kuning) yang terkena dampak Tsunami Samudra Hindia 26 Desember 2004 (Fitra Rifwan, 2012)

Seperti yang telah kita bahas di atas, Indonesia berada di dekat batas-batas lempeng tektonik (konvergen) atau dalam zona penunjaman dan sering mengalami gempa bumi yang berpotensi untuk menghasilkan tsunami. Dekatnya jarak antar pulau-pulau di Indonesia dan adanya sumber-sumber potensi gempa bumi ini menjadikan tsunami lokal sebagai ancaman utama tsunami bagi garis pantai Indonesia. Sebuah tsunami menjalar keluar dari tempat awal dan timbul dalam bentuk rangkaian gelombang. Kecepatan tsunami tergantung pada kedalaman air. Di perairan dalam, seperti misalnya yang berada jauh dari pantai, gelombang tsunami akan menjalar dengan cepat. Ketika air mulai dangkal, yaitu ketika semakin mendekati pantai, kecepatan gelombang tsunami juga akan berkurang. Di laut dalam, gelombang tsunami dapat bergerak dengan kecepatan 500 hingga 1.000 km per jam, sama cepatnya dengan pesawat terbang. Mendekati pantai, tsunami akan berkurang kecepatannya hingga hanya beberapa puluh km per jam. Namun demikian, kecepatan air mendekati dan menggenangi pantai masih lebih cepat dari kecepatan manusia untuk berlari.



Gambar 2.3 Perbandingan kecepatan dan tinggi gelombang tsunami di laut dengan berbagai kedalaman (Rangkuman Istilah Tsunami UNESCO, 2007)

Ketinggian gelombang tsunami juga tergantung pada kedalaman perairan. Gelombang tsunami yang hanya setinggi satu meter atau kurang dari itu di laut dalam bisa menjadi puluhan meter ketika menjangkau pantai. Tidak seperti gelombang laut yang didorong oleh angin yang hanya merupakan gejala di permukaan laut, energi gelombang tsunami bisa menjalar dari permukaan hingga ke dasar lautan. Ini bisa terjadi karena gelombang tsunami

dipicu oleh gempa bumi di dasar laut yang menggerakkan keseluruhan tubuh air di seluruh lautan tersebut. Mendekati pantai, energi ini terkonsentrasi pada arah vertikal karena berkurangnya kedalaman air dan pada arah horisontal dengan memendeknya panjang gelombang karena berkurangnya kecepatan gelombang.

Akibatnya, gelombang akan naik secara dramatis ketika mencapai perairan dangkal. Panjang gelombang tsunami lebih besar daripada panjang gelombang laut secara normal. Panjang gelombang juga bisa dijelaskan sebagai periode gelombang yang menunjukkan waktu siklus satu gelombang tunggal, yaitu waktu yang diperlukan mulai dari datangnya satu puncak gelombang hingga puncak gelombang berikutnya. Karena panjang gelombang tsunami sangat panjang, periode tsunami bisa berkisar mulai dari sekedar hitungan menit hingga satu jam atau lebih. Hal lain yang sangat penting diingat adalah bahwa tsunami bukan berupa satu gelombang tunggal namun merupakan rangkaian gelombang. Selain itu, ketika tsunami menjangkau pantai, dalam banyak kasus biasanya gelombang yang pertama datang bukanlah gelombang yang terbesar di antara rangkaian gelombang yang masih akan menghantam. Gelombang yang datang kemudian jauh lebih besar dan jauh lebih merusak. Jika melihat lagi pada dua aspek tsunami, panjang (atau periode) gelombang tsunami yang besar dan tsunami bukan berupa satu gelombang tunggal namun merupakan serangkaian gelombang, nampak ada satu aspek karakteristik tsunami yang sangat penting. Peristiwa tsunami bisa berlangsung selama beberapa jam, dihitung sejak kedatangan gelombang pertama hingga gelombang terakhir mencapai pantai dan tsunami berakhir.

Semua peristiwa tsunami terdiri dari lebih dari satu gelombang. Contoh-contoh seperti ini juga ditemukan di Indonesia. Tsunami 1992 di Flores terjadi dengan kedatangan lima gelombang dan berlangsung selama dua jam hingga semua gelombang menghantam dan bahaya langsung tsunami telah berakhir. Sangat penting untuk mengetahui bahwa tsunami tidak berakhir setelah datangnya gelombang pertama. Oleh karena itu kembali ke

pantai setelah gelombang pertama berakhir dapat membahayakan nyawa manusia karena bahaya belum berakhir dan orang bisa hanyut terbawa oleh gelombang berikutnya. Ketika mencapai pantai, tsunami dapat terwujud dalam berbagai bentuk yang berbeda-beda tergantung pada ukuran dan periode gelombang, batimetri perairan dekat pantai (kedalaman dan bentuk dasar laut di dekat pantai), bentuk garis pantai, kondisi pasang surut, dan faktor-faktor lain. Faktor-faktor ini berpengaruh pada dampak yang ditimbulkan tsunami pada daratan ketika ia menghantam pantai. Dalam beberapa kasus, sebuah tsunami bisa hanya menyebabkan penggenangan kawasan-kawasan pantai yang rendah dan tidak membahayakan, menjangkau pantai seperti halnya gelombang pasang yang naik dengan cepat. Dalam kasus lain ia dapat menjangkau pantai dalam bentuk dinding vertikal air yang bergolak dan dapat sangat merusak. Adapun faktor yang mempengaruhi tinggi tsunami:

1. Bentuk pantai

Refraksi adalah transformasi gelombang akibat adanya perubahan geometri dasar laut. Di tempat di mana terjadi penyempitan maka terjadi konsentrasi energi, sehingga tinggi gelombang di tempat itu akan membesar.

2. Kelandaian pantai

Jarak jangkauan tsunami ke daratan juga sangat ditentukan oleh terjal dan landainya morfologi pantai, di mana pada pantai terjal tsunami tak akan terlalu jauh mencapai daratan karena tertahan dan dipantulkan kembali oleh tebing pantai. Sementara di pantai landai tsunami menerjang sampai beberapa kilometer masuk ke daratan. Bila tsunami menjalar ke pantai maka ia akan mengalami perubahan kecepatan, tinggi dan arah, suatu proses yang sangat kompleks meliputi shoaling, refraksi, difraksi, dan lain-lain. Shoaling adalah proses pembesaran tinggi gelombang karena pendangkalan dasar laut. Gempa bumi biasanya terjadi di dekat pertemuan lempeng benua dan samudera di laut dalam, lalu menjalar ke

pantai yang lebih dangkal. Aliran ini akan teramplifikasi ketika mendekati daratan akibat efek shoaling.

3. Vegetasi dan struktur penghalang di sekitar pantai

Kekuatan hutan pantai meredam tsunami makin terbukti jika hutan semakin tebal, misalnya hutan dengan lebar 400 meter dihantam tsunami dengan ketinggian tiga meter maka jangkauan run up tinggal 57%, tinggi genangan setelah melewati hutan pantai tersisa 18%, arus tinggal 24%.

4. Difraksi

Difraksi adalah transformasi gelombang akibat adanya bangunan atau struktur penghalang. Ini terjadi bila gelombang terintangi sehingga dipantulkan kembali. Suatu bangunan tegak dan padat akan lebih mampu memecah daripada yang miring dan tembus air.

5. Arah gelombang tsunami

Gelombang tsunami yang datang dengan arah tegak lurus dengan pantai tentu akan menyebabkan tinggi gelombang tsunami lebih tinggi jika dibandingkan tinggi gelombang tsunami yang datang dengan arah sejajar atau dengan sudut tertentu. Seperti datang dari arah Barat, Timur, Barat Daya ataupun dari arah Tenggara.

6. Efek pemantulan dari pulau lain

Gelombang tsunami yang terjadi tidak langsung berasal dari sumbernya, tapi terjadi karena akibat adanya pemantulan gelombang dari sekitar pulau yang terkena dampak gelombang tsunami

Tidak semua gempa menghasilkan tsunami, hal ini tergantung beberapa faktor utama seperti tipe sesaran (fault type), kemiringan sudut antar lempeng (dip angle), dan kedalaman pusat gempa (hypocenter), (Sutowijoyo, 2005). Gempa dengan karakteristik tertentu akan menghasilkan tsunami yang sangat berbahaya dan mematikan, yaitu:

- 1) Tipe sesaran naik (thrust/ reverse fault). Tipe ini sangat efektif memindahkan volume air yang berada diatas lempeng untuk bergerak sebagai awal lahirnya tsunami. Tsunami yang besar umumnya terjadi apabila dislokasi vertikal, atau pada sesar naik atau sesar turun. Kecepatan gelombang gempa jauh lebih cepat dibanding gelombang Tsunami. Kecepatan gelombang gempa berkisar antara 4-11 km/detik, sedangkan kecepatan penjalaran gelombang Tsunami bervariasi antara 10 km/jam (0.0027 km/detik) sampai 800 km/jam (0.22 km/detik), tergantung pada kedalaman laut.
- 2) Kemiringan sudut tegak antar lempeng yang bertemu. Makin tinggi sudutnya (mendekati 90), makin efektif tsunami yang terbentuk.
- 3) Kedalaman pusat gempa yang dangkal (<70 km). Makin dangkal kedalaman pusat gempa, makin efektif tsunami yang ditimbulkan.
- 4) Magnitude gempa yang berdampak biasanya lebih besar dari enam Skala Richter (6.0 SR).
- 5) Pusat gempa (episentrum) berada di bawah laut.

Sebagai ilustrasi, meski kekuatan gempa relative kecil (5.0-6.0 SR), tetapi dengan terpenuhinya syarat diatas, kemungkinan besar tsunami akan terbentuk. Sebaliknya, meski kekuatan gempa cukup besar (>6.0 SR) dan dangkal, tetapi kalau tipe sesarnya bukan naik, namun normal (normal fault) atau sejajar (strike slip fault), bisa dipastikan tsunami akan sulit terbentuk. Gempa dengan kekuatan 6.0 SR, dengan tipe sesaran naik dan dangkal, bias membentuk tsunami dengan ketinggian mencapai 3-5 meter.

Tsunami selalu diawali suatu pergerakan dahsyat yang lazim disebut gempa. Meski diketahui bahwa gempa ada beragam jenis, namun sembilan puluh persen tsunami disebabkan oleh pergerakan lempeng di dalam perut bumi yang letaknya kebetulan ada di dalam wilayah lautan. Gempa yang terjadi di dalam perut bumi akan mengakibatkan munculnya tekanan ke arah vertikal sehingga dasar lautan akan naik dan turun dalam rentan waktu yang singkat. Hal ini kemudian akan memicu ketidakseimbangan pada air lautan yang kemudian terdorong menjadi gelombang besar yang bergerak mencapai

wilayah daratan. Dengan tenaga yang besar pada gelombang tersebut, wajar saja jika bangunan di daratan bisa tersapu dengan mudahnya.

b. Mekanisme Tsunami

Mekanisme tsunami akibat gempa bumi dapat diuraikan dalam 4 (empat) tahap yaitu kondisi awal, pemisahan gelombang, amplifikasi, dan rayapan.

1) Kondisi Awal.

Gempa bumi biasanya berhubungan dengan guncangan permukaan yang terjadi sebagai akibat perambatan gelombang elastis (elastic waves) melewati batuan dasar ke permukaan tanah. Pada daerah yang berdekatan dengan sumber-sumber gempa laut (patahan), dasar lautan sebagian akan terangkat (uplifted) secara permanen dan sebagian lagi turun ke bawah (down-dropped), sehingga mendorong kolom air naik dan turun. Energi potensial yang diakibatkan dorongan air ini, kemudian berubah menjadi gelombang tsunami atau energi kinetik di atas elevasi muka air laut rata-rata (mean sea level) yang merambat secara horizontal. Kasus yang diperlihatkan adalah keruntuhan dasar lereng continental dengan lautan yang relatif dalam akibat gempa. Kasus ini dapat juga terjadi pada keruntuhan lempeng continental dengan kedalaman air dangkal akibat gempa.

2) Pemisahan Gelombang.

Setelah beberapa menit kejadian gempa bumi, gelombang awal tsunami akan terpisah menjadi tsunami yang merambat ke samudera yang disebut sebagai tsunami jauh (distant tsunami), dan sebagian lagi merambat ke pantai-pantai berdekatan yang disebut tsunami dekat (local tsunami). Tinggi gelombang di atas muka air laut rata-rata dari kedua gelombang tsunami yang merambat dengan arah berlawanan ini, besarnya kira-kira setengah tinggi gelombang tsunami awal. Oleh karena itu, kecepatan rambat tsunami di samudera dalam akan lebih cepat daripada tsunami lokal.

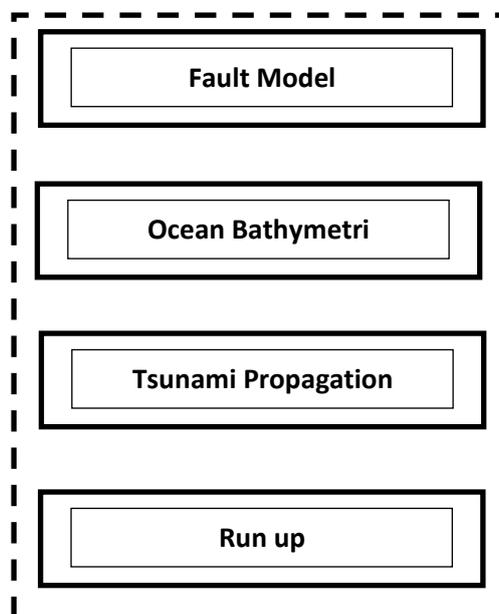
3) Amplifikasi

Pada waktu tsunami lokal merambat melewati lereng continental, sering terjadi hal-hal seperti peningkatan amplitude gelombang dan penurunan panjang gelombang setelah mendekati daratan dengan lereng yang lebih tegak, akan terjadi rayapan gelombang.

4) Rayapan

Pada saat gelombang tsunami merambat dari perairan dalam, akan melewati bagian lereng continental sampai mendekati bagian pantai dan terjadi rayapan tsunami. Rayapan tsunami adalah ukuran tinggi air di pantai terhadap muka air laut rata-rata yang digunakan sebagai acuan. Dari pengamatan berbagai kejadian tsunami, pada umumnya tsunami tidak menyebabkan bore (gelombang akibat angin yang dimanfaatkan oleh peselancar air untuk meluncur di pantai). Namun, tsunami datang berupa gelombang kuat dengan kecepatan tinggi di daratan yang berlainan seperti diuraikan pada Amplikasi, sehingga rayapan gelombang pertama tidak akan selalu menjadi rayapan tertinggi (Anonim.usgs.gov, 2013).

❖ Prinsip model tsunami adalah :



Gambar 2.4 Struktur proses terjadinya tsunami

II.1.1 SiTProS

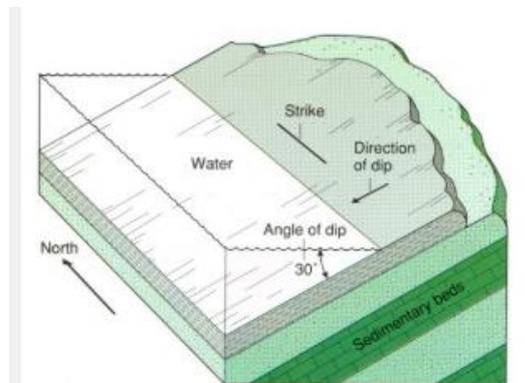
Pada penelitian kali ini menggunakan model *SiTProS* (*Siam Tsunami Propagation Simulator*) yang dibuat oleh Wattana Kambua dan Somporn Chuai-Aree (2005). Pemodelan propogasi tsunami SiTProS versi 1.5 yang berbasis jaringan regional atau global dengan menggunakan dataset batimetri dan topografi ETOPO2. Metode yang digunakan di SiTProS berdasarkan TUNAMI N1 dan TUNAMI N2 (Mansinha dan Smyle, 1971) untuk tsunami lokal dan global. Kedua metode tersebut didasarkan pada metode beda hingga. Dalam tulisan ini, *SiTProS* menggunakan pendekatan gelombang air dangkal untuk memahami perilaku tsunami pada kedalaman tersebut. *SiTProS* menyimpulkan persamaan gelombang air dangkal dan persamaan kontinuitas harus dipenuhi ketika gelombang bertemu diskontinuitas di kedalaman laut. Prosedur *SiTProS* juga meliputi model matematika baru untuk generasi tsunami, penyebaran, simulasi real-time dan visualisasi. Resolusi grid dapat disesuaikan dengan ruang dan waktu. Penyebaran ini dapat dilakukan pada lintang - longitudinal atau pada grid kartesian. Metode beda hingga digunakan untuk menyelesaikan persamaan. Sewaktu tsunami melanda pantai Thailand Selatan dan sepanjang pantai Andaman pada 26 Desember 2004, daerah terparah yang terkena dampaknya diberikan berdasarkan refraksi dan difraksi. *SiTProS* menyediakan lima wilayah komputasi yang berbeda, yaitu Asia, Eropa, Arab (Iran-Kenya), Afrika, dan Andaman. *SiTProS* dirancang untuk simulasi yang interaktif dan mudah digunakan. Pemodelan penjalaran tsunami yang memodelkan dan memprediksi kedatangan gelombang tsunami. *SiTProS* telah membandingkan hasil model dengan waktu pengamatan dalam kasus 26 Desember 2004. Secara umum, ditemukan bahwa pemodelan yang dilakukan dapat memprediksi waktu kedatangan tsunami dengan baik serta memperkirakan penyebaran tsunami ke depannya.

II.1.1.1 Fault Model

Fault model digunakan untuk memperkirakan deformasi statis dari dasar laut yang terjadi akibat gempa bumi. Dalam hal ini digunakan model yang dikembangkan oleh Mansinha and Smylie, (1971) dan Okada,(1985). Model tersebut diselesaikan dengan cara menyelesaikan persamaan-persamaan analitis di bawah dengan mengacu pada gambar 2.4 :

a. Strike Slip

Patahan strike-strip adalah patahan dimana kedua bongkahan batuan bergeser satu sama lain dalam arah horisontal. Patahan tipe ini dibagi menjadi patahan right-lateral atau left-lateral tergantung arah dari gerakan dari bongkahan pada sisi yang lebih jauh dari titik padangan jika seseorang melihat gerakannya dari sisi lainnya. Patahan besar Sumatera yang membelah Pulau Sumatera merupakan patahan strike slip (sesar geser). Strike (jurus) adalah arah garis yang dibentuk dari perpotongan bidang planar dengan bidang horizontal ditinjau dari arah utara. Sedangkan, Dip (bidang) adalah derajat kemiringan yang dibentuk antara bidang planar dan horizontal yang arahnya tegak lurus dari garis strike. Jadi, strike slip dapat diartikan sebagai patahan lempeng bumi secara horizontal yang tegak lurus dari garis strike. Arah strike and dip biasanya dengan menggunakan kaedah tangan kanan.



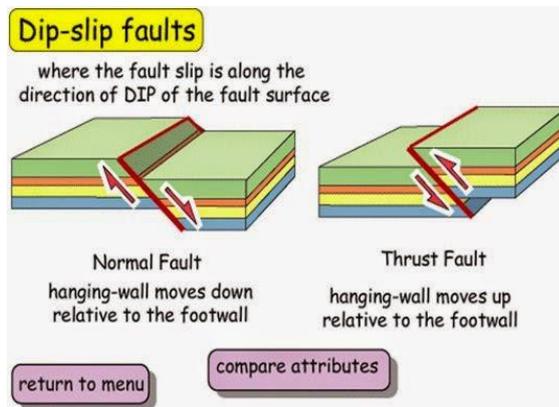
Gambar 2.5 Proses terjadinya Strike Dip

Untuk persamaan analitis stike slip model penyelesaiannya adalah :

$$\begin{aligned}
 u_x &= -\frac{U_1}{2\pi} \left[\frac{\xi q}{R(R + \eta)} + \tan^{-1} \frac{\xi \eta}{qR} + I_1 \sin \delta \right] \\
 u_y &= -\frac{U_1}{2\pi} \left[\frac{\bar{y} q}{R(R + \eta)} + \frac{q \cos \delta}{R + \eta} + I_2 \sin \delta \right] \\
 u_z &= -\frac{U_1}{2\pi} \left[\frac{\bar{d} q}{R(R + \eta)} + \frac{q \sin \delta}{R + \eta} + I_4 \sin \delta \right] \dots\dots\dots (1)
 \end{aligned}$$

b. Dip Slip

Patahan normal adalah patahan dip-slip dimana bongkahan batuan yang ada di bagian atas tergelincir ke arah bawah relatif terhadap bongkahan batuan di bawahnya. Tipe ini terdapat di sepanjang sistem bubungan lautan dan akibat tarikan yang terjadi pada mantel bumi. Dip Slip dapat diartikan sebagai pergeseran relatif sebenarnya searah dengan kemiringan bidang sesar, yang terdiri dari normal slip fault yang diartikan Blok hanging wall relatif turun terhadap footwall. Dan, reverse slip fault yang berarti blok hanging wall bergerak relatif naik terhadap footwall. Untuk sesar vertical dapat tentukan salah satu blok relative bergerak terhadap blok lain, contoh “Vertikal dip slip fault”.



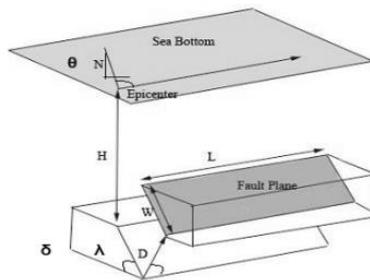
Gambar 2.6 Proses terjadinya Dip Slip

Untuk persamaan analitis dip slip model penyelesaiannya adalah :

$$\begin{cases}
 I_1 = \frac{\mu}{\lambda + \mu} \left[\frac{-1}{\cos \delta} \frac{\xi}{R + \bar{d}} \right] - \frac{\sin \delta}{\cos \delta} I_3 \\
 I_2 = \frac{\mu}{\lambda + \mu} [-\ln(R + \eta)] - I_3 \\
 I_3 = \frac{\mu}{\lambda + \mu} \left[\frac{1}{\cos \delta} \frac{\bar{y}}{R + \bar{d}} - \ln(R + \eta) \right] + \frac{\sin \delta}{\cos \delta} I_4 \\
 I_4 = \frac{\mu}{\lambda + \mu \cos \delta} [\ln(R + \bar{d}) - \sin \delta \ln(R + \eta)] \\
 I_5 = \frac{\mu}{\lambda + \mu \cos \delta} \frac{2}{\cos \delta} \tan^{-1} \frac{\eta(X + q \cos \delta) + X(R + X) \sin \delta}{\xi(R + X) \cos \delta}
 \end{cases}
 \dots\dots\dots (2)$$

Dimana,

$$\left. \begin{aligned}
 u_x &= -\frac{U_2}{2\pi} \left[\frac{q}{R} - I_3 \sin \delta \cos \delta \right] \\
 u_y &= -\frac{U_2}{2\pi} \left[\frac{\bar{y}q}{R(R + \xi)} + \cos \delta \tan^{-1} \frac{\xi\eta}{qR} - I_1 \sin \delta \cos \delta \right] \\
 u_z &= -\frac{U_2}{2\pi} \left[\frac{\bar{d}q}{R(R + \xi)} + \sin \delta \tan^{-1} \frac{\xi\eta}{qR} - I_3 \sin \delta \cos \delta \right]
 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (3)$$

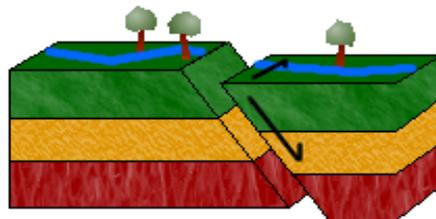


Gambar 2.7 Parameter-parameter untuk Fault Model

Dalam pemodelan tsunami perlu adanya penentuan parameter patahannya. Parameter-parameter sesar seperti panjang (L) dan lebar sesar (W), energi dan magnitude, kedalaman pusat gempa (H), slip (D) dan mekanisme fokus (strike (ϕ), dip (δ), dan sudut slip (λ)) adalah parameter-parameter yang utama dari sumber gempa (Gambar 2.7), yang berfungsi untuk pembentukan awal tsunami sebelum tsunami itu menyebar.

c. Patahan Oblique (Patahan/sesar miring)

Patahan Oblique (Patahan/sesar miring) adalah patahanyang bergerak di sepanjang arah dip dan juga bergerak horisontal.



Gambar 2.8 Proses terjadinya patahan oblique

Deformasi dasar laut yang dapat membangkitkan tsunami adalah deformasi arah vertikal (sesar naik atau sesar turun). Deformasi seperti ini dimanifestasikan oleh komponen dip-slip. Komponen vertikal (dip-slip) inilah yang membangkitkan tsunami. Hal ini dapat dipahami karena pergerakan vertikal lantai samudra naik (uplift) atau turun dengan cepat sebagai respon dari gempa bumi, maka akan menaikkan dan menurunkan air laut dalam skalabesar, mulai dari lantai samudera sampai ke permukaan. Dengan kata lain, diasumsikan bahwa apa yang terjadi di dasar akan dicerminkan di permukaan laut.

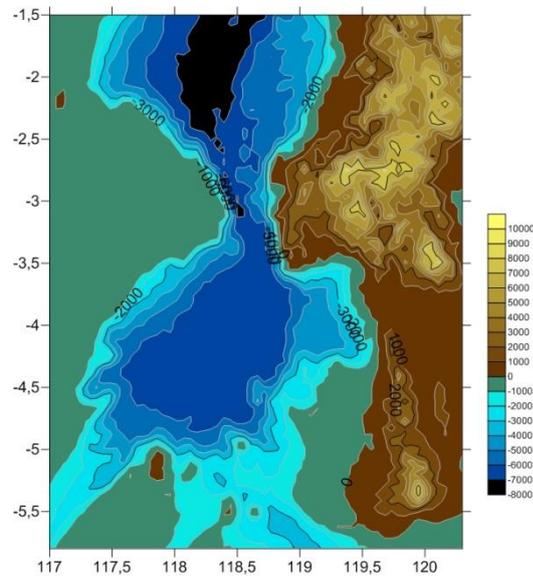
Karakteristik gempa seperti yang dijelaskan di atas dapat dipenuhi oleh jenis gempa subduksi, karena itulah di Indonesia sering terjadi bencana tsunami sebab Indonesia merupakan daerah zona tektonik aktif yang sebagian besar adalah zona subduksi.

1) Konsep pembangkitan tsunami

Tsunami umumnya merupakan serangkaian gelombang berkekuatan besar, bukan gelombang tunggal. Rangkaian gelombang tersebut datang secara simultan dengan rentang waktu 5 hingga 90 menit setelah gelombang pertama. Kecepatan gelombang tsunami dipengaruhi secara langsung oleh kedalamannya. Semakin dangkal kedalaman air kecepatannya semakin menurun. Namun ketinggian gelombang akan semakin meningkat. Hal itu dimungkinkan, karena aliran energi (energy flux) pada gelombang tsunami, yang bergantung pada tinggi dan kecepatan gelombang relatif hampir tetap. Jadi ketika semakin mendekati daratan, dataran pantai berperan sebagai kompresor energi yang menekan air ke atas. Akibatnya kecepatan gelombang berkurang hingga 10 kali lipat dari kecepatan awal, namun tinggi gelombang meningkat hingga puluhan kali lipat dari ketinggian awal. Bersamaan dengan itu pula, panjang gelombang bertambah pendek. Karena itulah, seperti yang dialami oleh para nelayan di Jepang, tsunami tidak akan terasa di tengah lautan, namun semakin mendekati daratan ketinggian gelombang semakin besar dan mematikan.

II.1.1.2 Ocean Bathymetri

Data elevasi dan batimetri yang kualitas tinggi dan resolusi yang baik, sangat penting untuk mengatur model penyebaran bersumber. Informasi topografi tanah dari garis pantai dan dekat pantai batimetri memainkan peran penting dalam propagasi gelombang tsunami dan prediksi yang akurat dari runup dan inundasi tsunami. Data topografi disajikan melalui data spasial yang digunakan dan diasumsikan dengan menggunakan dataset topografi ETOPO2 tahun 1997 yang digunakan untuk menjalankan model SiTProS (Siam Tsunami Propagation Simulator). Model ini dapat berjalan untuk setiap jaringan regional atau global. Resolusi grid dapat disesuaikan dengan ruang dan waktu. Penyebaran ini dapat dilakukan pada lintang - longitudinal atau pada grid kartesian.



Gambar 2.9 Wilayah Pemodelan pada peta ETOPO2

II.1.1.3 Tsunami Propagation

Pemodelan penjalaran tsunami digunakan persamaan shallow-water, persamaannya dapat dituliskan seperti persamaan dibawah ini ; dimana dalam persamaan itu dimasukkan faktor pergeseran lantai samudera dan gaya coriolis. Dan persamaan kontinuitasnya adalah sebagai berikut ;

$$\frac{\partial U}{\partial t} + U \frac{\partial U}{\partial x} + V \frac{\partial U}{\partial y} = -fV - g \frac{\partial h}{\partial x} - C_f \frac{U\sqrt{U^2 + V^2}}{d + h}$$

$$\frac{\partial U}{\partial t} + U \frac{\partial U}{\partial x} + V \frac{\partial U}{\partial y} = fV - g \frac{\partial h}{\partial y} - C_f \frac{V\sqrt{U^2 + V^2}}{d + h} \dots\dots\dots (4)$$

Dimana sistem koordinat $x =$ timur dan $y =$ selatan, f adalah parameter coriolis, C_f adalah koefisien fraksi tidak berdimensi, U dan V adalah kecepatan rata-rata dalam arah x dan y . Kecepatan rata-rata dari bawah ke permukaan dituliskan pada persamaan dibawah ini, dimana Q_x dan Q_y adalah laju alir dalam arah x dan y .

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} [U(h + d)] + \frac{\partial}{\partial y} [V(h + d)] = 0 \dots\dots\dots (5)$$

$$U = \frac{1}{(h + d)} \int_{-d}^h u dz = \frac{Q_x}{(h + d)}$$

$$V = \frac{1}{(h + d)} \int_{-d}^h v dz = \frac{Q_y}{(h + d)} \dots\dots\dots (6)$$

Gelombang tsunami termasuk gelombang perairan dangkal (shallow water wave) berdasarkan kedalaman relatifnya ($d/L < 0.05$), dimana d adalah kedalaman dan L adalah panjang gelombang. Panjang gelombangnya mencapai beberapa ratus kilometer dengan amplitudo gelombang yang kecil ± 1 meter di perairan dalam.

Gelombang perairan dangkal memiliki kecepatan rambat yang berbanding lurus dengan akar kedalaman perairan dan dipengaruhi oleh gaya gravitasi bumi. Hubungan antara kecepatan rambat gelombang dan kedalaman ditunjukkan sebagai berikut :

$$C = \sqrt{dg} \dots\dots\dots (7)$$

Dimana :

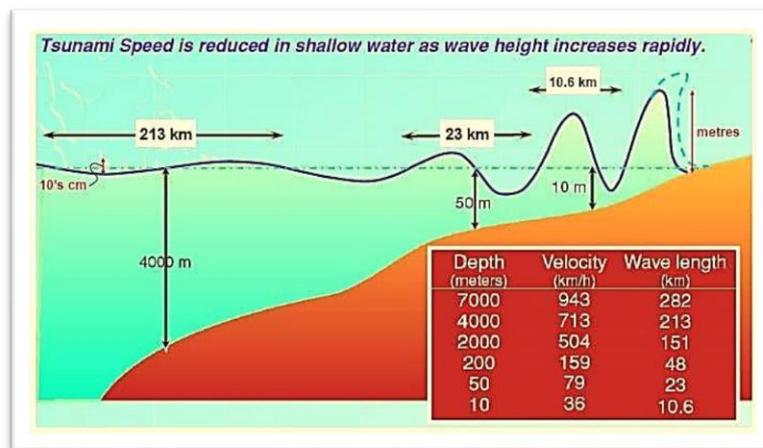
$C =$ kecepatan rambat gelombang

$g =$ gaya gravitasi bumi

$d =$ kedalaman perairan

Perumusan di atas juga menunjukkan bahwa kecepatan gelombang tsunami di perairan dalam besar. Semakin besar kedalaman suatu perairan makin besar kecepatannya. Kecepatan tsunami bergantung dari kedalaman air. Kecepatan rambat gelombang tsunami adalah 800km/jam untuk perairan dalam, 200km/jam untuk perairan menengah dan 25km/jam saat di darat. (Latief, 2000)

Ketika memasuki perairan pantai, tsunami akan mengalami perlambatan (Gambar 2.9). Berkurangnya kecepatan tsunami bisa disebabkan karena adanya, topografi pantai yang mendangkal, gesekan dasar laut, pepohonan, pemukiman, dan sebagainya.



Gambar 2.10 Kecepatan penjalaran gelombang tsunami terhadap kedalaman (sumber : www.ecmwf.org)

Gelombang yang tertahan karena perlambatan itu akan menumpuk dengangelombang-gelombang yang datang berikutnya, sehingga tinggi gelombang yang tadinya di perairan dalam hanya ± 1 meter, akan bertambah tinggi hingga dapat mencapai ± 30 meter di perairan dangkal dan pesisir pantai. Gelombang terbesar tidak selamanya terjadi pada gelombang pertama, tetapi pada umumnya terjadi pada 10 gelombang pertama.

II.1.1.4 Run up

Pada waktu gelombang menghantam suatu bangunan, maka gelombang tersebut akan mengalami run up pada permukaan bangunan. Carrier and Greenspan (1958) menyajikan solusi untuk kenaikan gelombang air di suatu pantai untuk kasus di mana gelombang tidak pecah. Keller and Keller (1965) menunjukkan bahwa rasio

amplifikasi untuk run up dibandingkan dengan tinggi gelombang berdasarkan teori linear seperti ;

$$\frac{R}{A} = \left(J_0^2 \left(\frac{2\sqrt{kh_0}}{\beta} \right) + J_1^2 \left(\frac{2\sqrt{kh_0}}{\beta} \right) \right)^{-\frac{1}{2}} \dots\dots\dots (8)$$

Di mana R adalah elevasi run up, A dan k adalah amplitudo gelombang dan nomor gelombang di h₀ pada kedalaman lepas pantai. Untuk kh₀ > 1 rasio amplifikasi dapat disederhanakan ;

$$\frac{R}{A} = \sqrt{\frac{\pi}{\beta} (kh_0)^{\frac{1}{4}}} \dots\dots\dots (9)$$

Hasil ini berlaku untuk persamaan linear dan non linear untuk solusi gelombang *standing*. Lamb (1932) juga memberikan solusi periodik gelombang *standing* untuk kasus teluk berbentuk V dimana garis air masih berada di puncak teluk. Dalam hal ini rasio amplifikasi yang diberikan oleh ;

$$\frac{R}{A} = \sqrt{\frac{\pi}{\beta} (kh_0)^{\frac{3}{4}}} \dots\dots\dots (10)$$

II.2 Konsep Mitigasi Secara Umum

Jenis-jenis bencana menurut UU no 24 tahun 2007 tentang Penanggulangan Bencana, dapat berupa bencana alam, bencana non alam, dan bencana sosial. Bencana yang diakibatkan oleh peristiwa atau serangkaian peristiwa yang disebabkan oleh alam antara lain berupa gempa bumi, tsunami, gunung meletus, banjir, kekeringan, angin topan, dan tanah langsor. Bencana non alam antara lain kebakaran hutan yang disebabkan oleh manusia, kecelakaan transportasi, kegagalan konstruksi, dampak industri, ledakan nuklir, pencemaran lingkungan dan kegiatan keantariksaan. Bencana sosial antara lain berupa kerusuhan sosial dan konflik sosial dalam masyarakat yang sering terjadi.

Selanjutnya menurut tingkat bahayanya, bencana dapat dikategorikan menjadi tiga tingkat, yaitu *hazard*, *disaster*, dan *catastrophe* (Edward A. Keller, 2006). Dikatakan *hazard* bila proses bencana sekedar menjadi ancaman umat manusia, seperti bencana gempa, banjir, tanah longsor, erupsi gunung berapi, badai, tetapi tidak atau belum menimbulkan korban. Apabila sudah memakan banyak korban jiwa dan harta barulah disebut sebagai *disaster*, dan bila lebih buruk dari itu misalnya mengakibatkan hancur leburnya bangun dan sumber kehidupan serta banyaknya korban manusia meliputi wilayah luas, dapat disebut *catastrophe*. Oleh karena itu tsunami Aceh, Gempa Yogyakarta, Tsunami Fukushima lebih tepat disebut *catastrophe*. Selama ini dalam Bahasa Indonesia hanya ada bencana saja, seberapapun besar dan kecilnya. Bencana non alam, contohnya kecelakaan lalulintas, kebakaran hutan yang disengaja, radiasi nuklir, seperti yang terjadi di Chernobyl Rusia, maupun Fukushima Jepang. Bencana Sosial contohnya berbagai perang besar seperti perang dunia I dan II, perang Vietnam, perang Korea, dan lain-lain dapat berakibat memakan korban jiwa maupun harta yang lebih besar dari pada bencana alam.

II.2.1 Mitigasi Bencana yang efektif

Kegiatan-kegiatan pada tahap pra bencana erat kaitannya dengan istilah mitigasi bencana yang merupakan upaya untuk meminimalkan dampak yang ditimbulkan oleh bencana. Mitigasi bencana mencakup baik perencanaan dan pelaksanaan tindakan-tindakan untuk mengurangi resiko-resiko dampak dari suatu bencana yang dilakukan sebelum bencana itu terjadi, termasuk kesiapan dan tindakan-tindakan pengurangan resiko jangka panjang. Upaya mitigasi dapat dilakukan dalam bentuk mitigasi struktur dengan memperkuat bangunan dan infrastruktur yang berpotensi terkena bencana, seperti membuat kode bangunan, desain rekayasa, dan konstruksi untuk menahan serta memperkuat struktur ataupun membangun struktur bangunan penahan longsor, penahan dinding pantai, dan lain-lain. Selain itu upaya mitigasi juga dapat dilakukan dalam bentuk non struktural, diantaranya seperti menghindari wilayah bencana dengan cara membangun menjauhi lokasi bencana yang dapat diketahui melalui perencanaan tata ruang dan wilayah serta dengan memberdayakan masyarakat dan pemerintah daerah. Mitigasi bencana

yang efektif harus memiliki tiga unsur utama, yaitu penilaian bahaya, peringatan dan persiapan.

a. Penilaian bahaya (*hazard assesment*);

Diperlukan untuk mengidentifikasi populasi dan aset yang terancam, serta tingkat ancaman. Penilaian ini memerlukan pengetahuan tentang karakteristik sumber bencana, probabilitas kejadian bencana, serta data kejadian bencana di masa lalu. Tahapan ini menghasilkan Peta Potensi Bencana yang sangat penting untuk merancang kedua unsur mitigasi lainnya.

b. Peringatan (*warning*);

Diperlukan untuk memberi peringatan kepada masyarakat tentang bencana yang akan mengancam (seperti bahaya tsunami yang diakibatkan oleh gempa bumi, aliran lahar akibat letusan gunung berapi, dan sebagainya). Sistem peringatan didasarkan pada data bencana yang terjadi sebagai peringatan dini serta menggunakan berbagai saluran komunikasi untuk memberikan pesan kepada pihak yang berwenang maupun masyarakat. Peringatan terhadap bencana yang akan mengancam harus dapat dilakukan secara cepat, tepat dan dipercaya.

c. Persiapan (*preparedness*).

Kegiatan kategori ini tergantung kepada unsur mitigasi sebelumnya (penilaian bahaya dan peringatan), yang membutuhkan pengetahuan tentang daerah yang kemungkinan terkena bencana dan pengetahuan tentang sistem peringatan untuk mengetahui kapan harus melakukan evakuasi dan kapan saatnya kembali ketika situasi telah aman. Tingkat kepedulian masyarakat dan pemerintah daerah dan pemahamannya sangat penting pada tahapan ini untuk dapat menentukan langkah-langkah yang diperlukan untuk mengurangi dampak akibat bencana. Selain itu jenis persiapan lainnya adalah perencanaan tata ruang yang menempatkan lokasi fasilitas umum dan fasilitas sosial di luar zona bahaya bencana (mitigasi non struktur), serta usaha-usaha keteknikan untuk membangun struktur yang aman terhadap bencana dan melindungi struktur akan bencana (mitigasi struktur).

II.2.2 Mitigasi Bencana Berbasis Masyarakat

Penguatan kelembagaan, baik pemerintah, masyarakat, maupun swasta merupakan faktor kunci dalam upaya mitigasi bencana. Penguatan kelembagaan dalam bentuk dalam kesiapsiagaan, sistem peringatan dini, tindakan gawat darurat, manajemen barak dan evakuasi bencana bertujuan mewujudkan masyarakat yang berdaya sehingga dapat meminimalkan dampak yang ditimbulkan oleh bencana. Perwujudan Masyarakat atau komunitas yang berdaya dalam menghadapi bencana dapat diwujudkan melalui siklus pengurangan risiko berbasis masyarakat/komunitas berikut:



Gambar 2.11 Siklus pengurangan resiko berbasis masyarakat (Sari, 2011)

Sementara itu upaya untuk memperkuat pemerintah daerah dalam kegiatan sebelum/pra bencana dapat dilakukan melalui perkuatan unit/lembaga yang telah ada dan pelatihan kepada aparatnya serta melakukan koordinasi dengan lembaga antar daerah maupun dengan tingkat nasional, mengingat bencana tidak mengenal wilayah administrasi, sehingga setiap daerah memiliki rencana penanggulangan bencana yang potensial di wilayahnya. Hal yang perlu dipersiapkan, diperhatikan dan dilakukan bersama-sama oleh pemerintahan, swasta maupun masyarakat dalam mitigasi bencana, antara lain:

1. Kebijakan yang mengatur tentang pengelolaan kebencanaan atau mendukung usaha preventif kebencanaan seperti kebijakan tata guna tanah agar tidak membangun di lokasi yang rawa bencana;
2. kelembagaan pemerintah yang menangani kebencanaan, yang kegiatannya mulai dari identifikasi daerah rawan bencana, penghitungan perkiraan dampak yang ditimbulkan oleh bencana, perencanaan penanggulangan

bencana, hingga penyelenggaraan kegiatan-kegiatan yang sifatnya preventif kebencanaan;

3. Identifikasi lembaga-lembaga yang muncul dari inisiatif masyarakat yang sifatnya menangani kebencanaan, agar dapat terwujud koordinasi kerja yang baik;
4. Pelaksanaan program atau tindakan ril dari pemerintah yang merupakan pelaksanaan dari kebijakan yang ada, yang bersifat preventif kebencanaan;
5. Meningkatkan pengetahuan pada masyarakat tentang ciri-ciri alam setempat yang memberikan indikasi akan adanya ancaman bencana.

II.2.3 Konsep Mitigasi Bencana Tsunami

Secara teoritis tsunami lebih mudah diprediksi dibandingkan dengan gempa. Adanya tenggang waktu antara terjadinya gempa dan tibanya tsunami di pantai memungkinkan untuk dapat menganalisis karakteristik gempa. Dalam waktu sekitar 20 sampai 30 menit dapat ditentukan apakah suatu gempa dapat menyebabkan tsunami atau tidak. Informasi tersebut kemudian dapat segera disampaikan ke masyarakat sebelum gelombang tsunami menerjang pantai. Ide inilah yang mendasari didirikannya pusat sistem peringatan dini tsunami (Tsunami Warning System) di beberapa negara Pasifik. Yang menjadi persoalan di Indonesia adalah tenggang waktu tersebut hanya berkisar antara 10 sampai 50 menit saja karena jarak antara pusat gempa dan garis pantai tidak lebih dari 200 km. Ini berbeda dengan di negara-negara Pasifik yang tenggang waktunya dapat mencapai satu sampai tiga jam.

Akibat terbatasnya waktu untuk menyampaikan informasi dan fasilitas komunikasi yang belum memadai, sangat mungkin terjadi informasi belum sampai sementara gelombang tsunami telah menyapu pantai. Untuk mengatasi kesulitan tersebut di atas, siap siaga merupakan jawaban yang paling tepat. Di antaranya yang dapat dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Pertama, identifikasi daerah rawan tsunami.
2. Kedua, penyuluhan kepada penduduk dan aparat terkait di daerah rawan tsunami.
3. Ketiga, proteksi pada pantai. Di antaranya membuat jalur hijau 200 meter dari garis pantai yang dapat berfungsi sebagai penahan gelombang dan

melestarikan keberadaan batu karang yang dapat berfungsi sebagai pemecah gelombang.

4. Keempat, menetapkan letak pemukiman berada di belakang jalur hijau sehingga terlindung dari ancaman gelombang. Kalaupun terpaksa dibangun di dekat pantai, rumah yang baik adalah rumah panggung dengan bagian bawah kosong untuk memungkinkan gelombang lewat.
5. Kelima, membuat dasar hukum yang kuat bagi upaya pengaturan tata guna lahan di daerah pantai.

II.2.4 Mitigasi Bencana Fisik (Struktural) dan Non Fisik (non Struktural)

Menurut Radiana Triatmadja (2010) mitigasi adalah suatu upaya atau tindakan yang dilakukan untuk mengurangi efek dari suatu kejadian bencana. Di dalam UU No. 24 Tahun 2007 tentang Penanggulangan Bencana pasal I ayat sembilan dijelaskan bahwa mitigasi adalah serangkaian upaya untuk mengurangi resiko bencana, baik melalui pembangunan fisik maupun penyadaran dan peningkatan kemampuan menghadapi ancaman bencana. Oleh karena itu, mitigasi bencana dapat diartikan sebagai tindakan-tindakan untuk mengurangi dampak dari suatu bencana sebelum bencana itu terjadi.

Menurut Radiana Triatmadja (2010) mitigasi bencana terbagi menjadi dua yaitu mitigasi fisik (struktural) dan mitigasi non fisik (non struktural). Kedua langkah tersebut harus dilaksanakan secara terintegrasi dan saling melengkapi. Mitigasi fisik (struktural) merupakan tindakan-tindakan yang dilakukan secara fisik untuk mengurangi dampak suatu bencana. Sedangkan, mitigasi non fisik (non struktural) merupakan tindakan-tindakan non fisik yang dilakukan untuk mengurangi dampak suatu bencana yang diwujudkan dalam pendidikan mitigasi bencana. Pendidikan mitigasi bencana ini memuat tindakan-tindakan sebelum terjadi bencana (pra bencana), saat terjadi bencana, dan setelah terjadi bencana (pasca bencana).

Pendidikan mitigasi pada tahap pra bencana mencakup tindakan-tindakan preventif untuk mengurangi resiko bencana, seperti menghindari bermukim di Daerah Aliran Sungai (DAS), menjaga tersedianya daerah resapan air, memperhatikan tata guna lahan, penyediaan peta jalur evakuasi korban, serta melakukan penghijauan hutan. Beberapa upaya tersebut dimaksudkan untuk

mempersiapkan diri dalam menghadapi bencana dan bahkan untuk mencegah terjadinya bencana. Tahap kedua dalam pendidikan mitigasi adalah tindakantindakan saat terjadi bencana. Sikap tanggap bencana ini sangatlah penting mengingat kondisi seseorang saat terjadi bencana akan berbeda dengan kondisinya dalam keadaan normal. Dalam situasi genting, seseorang akan cenderung panik dan berusaha menyelamatkan diri dengan berbagai cara yang bahkan terkadang akan memperparah dampak bencana tersebut. Contohnya, ketika seseorang ada di lantai dua sebuah gedung dan terjadi bencana gempa bumi, orang tersebut mencoba menyelamatkan diri dengan menggunakan lift, tentu akibatnya akan lebih buruk. Kondisi-kondisi seperti inilah yang membuat semakin pentingnya mitigasi bencana. Tahap terakhir dalam pendidikan mitigasi bencana adalah tahap pasca bencana yang mencakup tindakan-tindakan yang dapat dilakukan setelah terjadinya bencana.

Beberapa tindakan yang dapat dilakukan dengan memeriksa kondisi lingkungan sekitar, seperti memeriksa kebocoran gas, memeriksa kondisi listrik, dan bangunan sekitar. Menghindari memasuki bangunan setelah terjadi bencana gempa, mengevakuasi diri ke daerah yang lebih aman. Secara garis besar tindakan mitigasi terdiri dari mitigasi struktural dan mitigasi non struktural. Mitigasi struktural adalah semua tindakan yang bertujuan untuk mengurangi atau menghindari kemungkinan dampak suatu bencana secara fisik. Beberapa tindakan yang termasuk dalam kategori mitigasi struktural adalah pembangunan gedung tahan gempa, pembangunan infrastruktur, pembangunan tanggul bantaran sungai dan tindakan lain yang berwujud fisik. Sedangkan mitigasi non-struktural adalah segala bentuk tindakan yang berupa non fisik, seperti kebijakan, metode, pembangunan kepedulian, pengetahuan komitmen publik, termasuk juga mekanisme partisipatif dan penyebarluasan informasi, serta pendidikan mitigasi bencana. Beberapa tindakan yang termasuk dalam mitigasi struktural adalah pendidikan bencana sebelum terjadi bencana, saat terjadi bencana, dan setelah terjadi bencana.

Tindakan-tindakan mitigasi struktural dan non struktural tersebut meliputi:

- a. Mitigasi struktural adalah semua tindakan yang bertujuan untuk mengurangi atau menghindari kemungkinan dampak suatu bencana secara fisik. Beberapa tindakan yang termasuk dalam kategori mitigasi struktural adalah

pembangunan gedung tahan gempa, pembangunan infrastruktur, dan tindakan lain yang berwujud fisik.

- b. Mitigasi non struktural adalah segala bentuk tindakan yang berupa non fisik, seperti kebijakan, metode, pembangunan kepedulian, pengetahuan komitmen publik, termasuk juga mekanisme partisipatif dan penyebaran informasi, serta pendidikan mitigasi bencana. Tindakan yang termasuk dalam mitigasi non struktural adalah pendidikan bencana yang meliputi sebelum terjadi bencana, saat terjadi bencana, dan setelah terjadi bencana

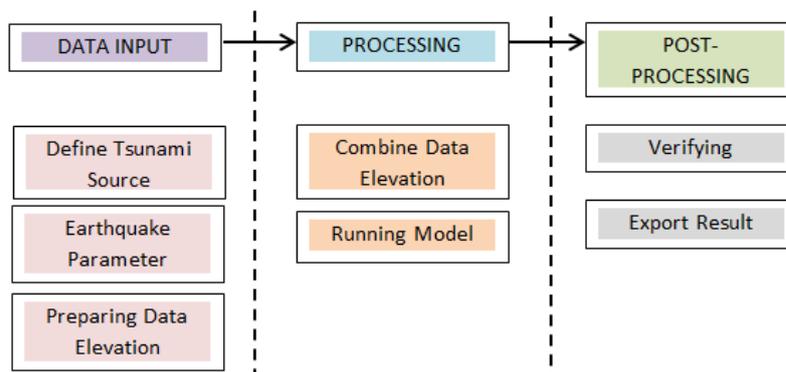
“Halaman ini sengaja dikosongkan”

B A B III

METODOLOGI PENELITIAN

III.1 Tahapan Pengerjaan

Dalam melakukan pemodelan, terdapat tiga langkah utama yang perlu dilakukan, yaitu menyiapkan data input, menyiapkan model (model setting) - pengolahan data, dan pengolahan hasil processing. Secara sederhana diilustrasikan seperti pada diagram di gambar 3.1.

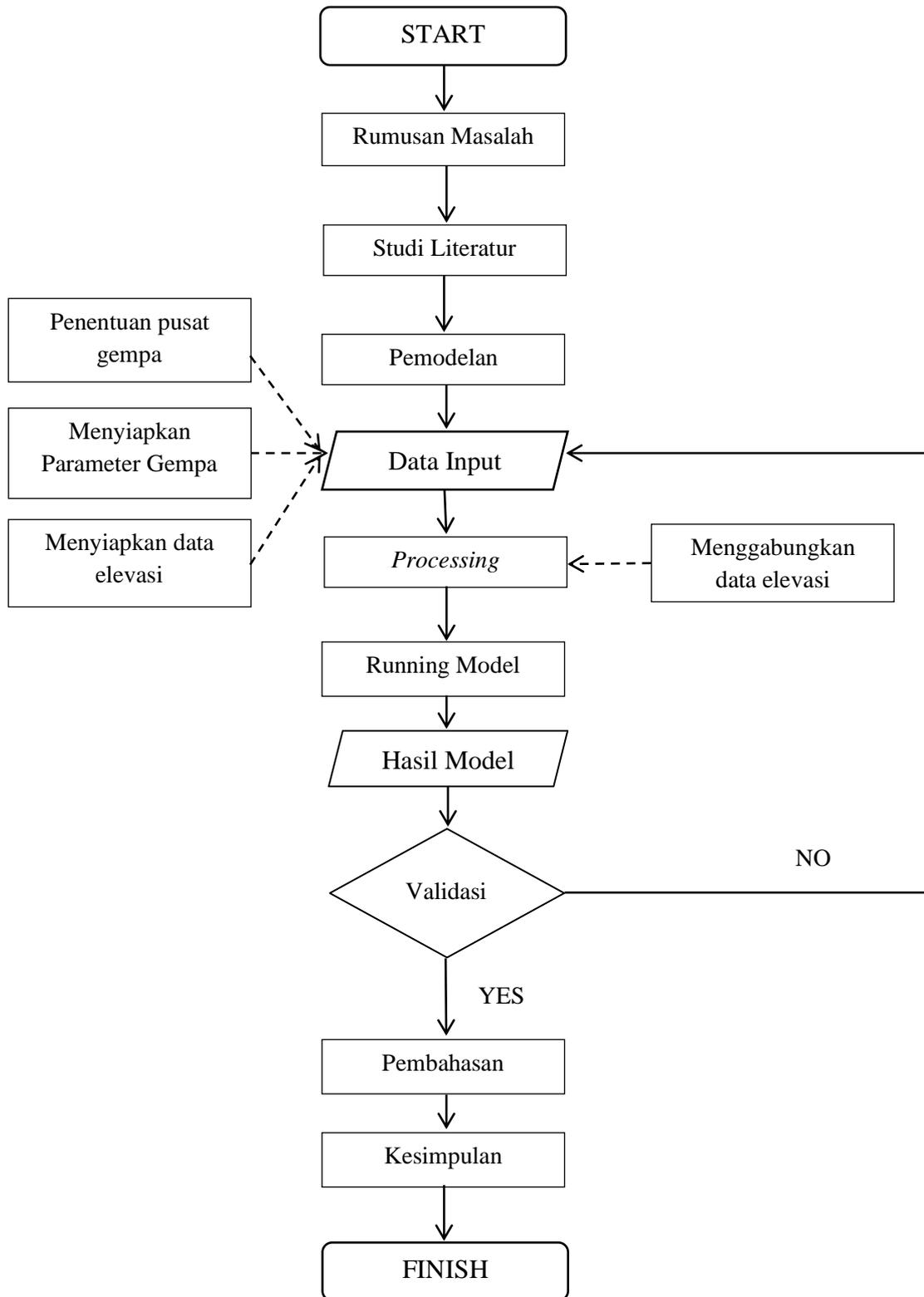


Gambar 3.1 Tsunami modelling workflow

Secara lebih detail, proses dalam gambar 3.1 diuraikan menjadi seperti terlihat pada gambar 3.2. Pelaksanaan penelitian tesis ini direncanakan akan ditempuh selama empat bulan, adapun kegiatan-kegiatannya terdiri dari:

1. Perumusan masalah, tahapan ini meliputi identifikasi masalah yang menjadi arah dan fokus dalam penelitian. Permasalahan utama dalam penelitian ini adalah untuk mengetahui run up dan inundasi dari tsunami di Pantai Losari serta penanggulangan mitigasinya.
2. Studi literatur, kegiatan ini dilakukan untuk mengumpulkan informasi yang terkait dengan penelitian maupun hal-hal yang relevan. Sumber literatur dapat berasal buku, artikel ilmiah, jurnal, workshop, maupun dokumen lainnya.

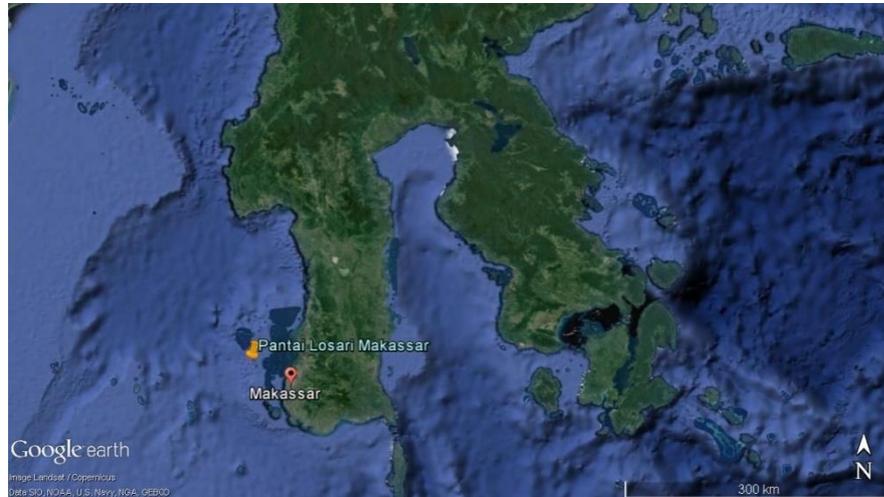
3. Mengumpulkan data yang diperlukan untuk penelitian ini dalam literatur yang terkait yaitu data faktor-faktor pembangkit tsunami dan data lokasi terjadinya tsunami.
4. Pemodelan, Data tersebut nantinya akan digunakan dalam memodelkan dan memvisualkan terjadinya gelombang tsunami pada program *SiTProS* ver. 1,5. Dibutuhkan juga peta lokasi mengenai batasan wilayah yang akan dilakukan simulasi buatan.
5. Memasukkan input koordinat batasan daerah penjalaran tsunami pada *tab region setting* pada program *SiTProS*.
6. Memasukkan input faktor-faktor pembangkit tsunami pada *tab parameter setting* pada program *SiTProS*.
7. Memasukkan input koordinat titik dari lokasi daerah yang ditinjau pada *tab warning info* pada program *SiTProS*.
8. Menjalankan program simulasi tsunami dengan mengklik tab start tsunami pada program *SiTProS*.
9. Setelah menjalankan simulasi, program *SiTProS* akan memvisualisasikan penjalaran tsunami yang terjadi secara 2D.
10. Output yang dihasilkan oleh program *SiTProS*, kita akan mendapatkan tiga bentuk output, yakni gambar/video visualisasi pemodelan tsunami, grafik tinggi gelombang tsunami, dan waktu yang dibutuhkan tsunami untuk sampai ke tempat yang ditinjau.
11. Setelah simulasi selesai, langkah selanjutnya adalah menghitung penjalaran tsunami di Pantai Losari.
12. Membuat skema mitigasi berdasarkan kondisi wilayah di lokasi penelitian.
13. Hasil dan pembahasan, merupakan analisa dari skema mitigasi.
14. Kesimpulan, merupakan jawaban dari tujuan penelitian.



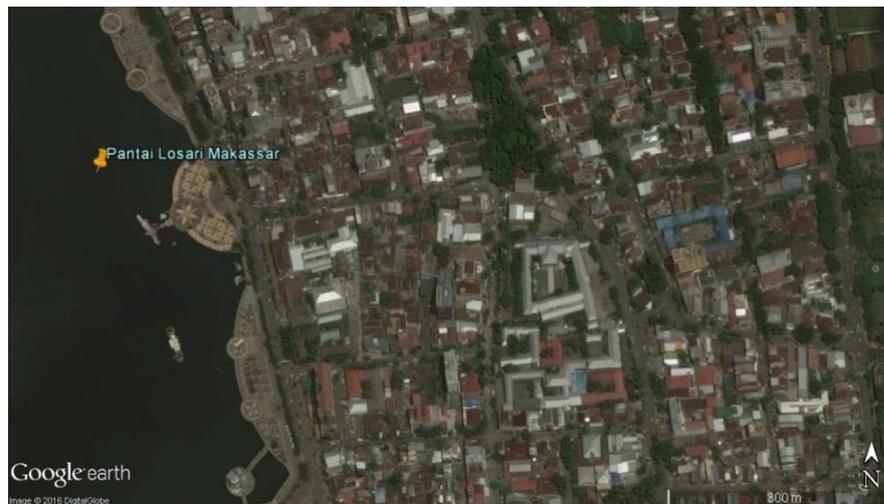
Gambar 3.2 Diagram Alir Penelitian

III.2 Lokasi Penelitian

Adapun lokasi yang di tinjau adalah Pantai Losari Makassar pada posisi $5^{\circ} 08' 39.52$ Lintang Selatan dan $119^{\circ} 24' 20.33''$ Bujur Timur.



Gambar 3.3 Lokasi Pengamatan



Gambar 3.4 Pantai Losari

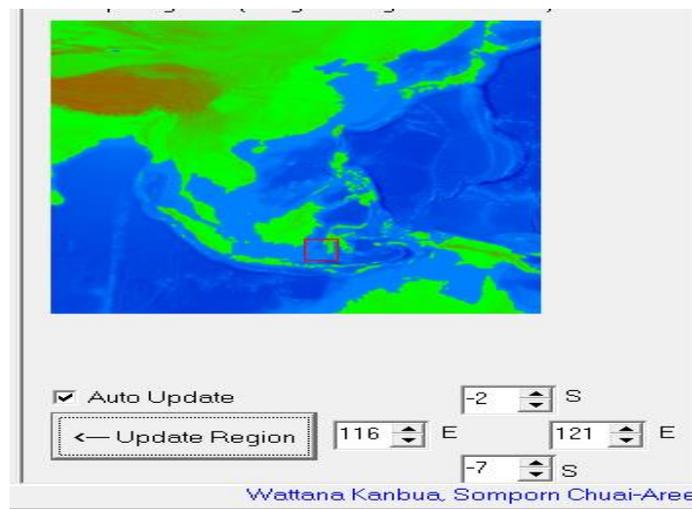
III.3 Pemodelan Tsunami

Semua data-data yang didapat dimasukkan kedalam program SiTProS untuk mendapatkan visualisasi pemodelan gelombang Tsunami buatan pada pantai losari Makassar. Adapun untuk memodelkan kembali Tsunami pada program SiTProS,

data-data tersebut dibagi kedalam tiga komponen, yakni Region Setting, Parameter Setting, dan Warning Info Setting. :

III.3.1 Region Setting

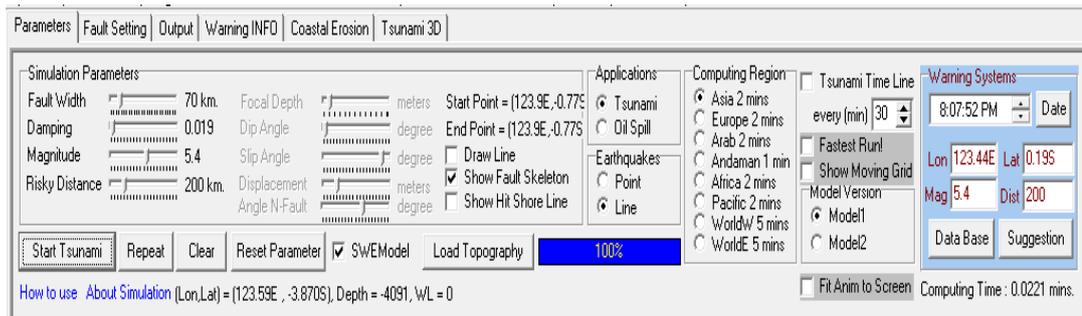
Region Setting merupakan pengaturan untuk membatasi daerah atau kawasan penjalaran Tsunami yang terjadi. Input yang dimasukkan kedalam Region Setting ialah koordinat dari 4 sumbu, yakni BujurTimur (BT) ,Bujur Barat (BB), Lintang Utara (LU), dan Lintang Selatan (LS). Selain itu, pada bagian ini juga diatur tentang hasil output yang dapat berupa gambar dengan format JPEG atau BMP. Pengaturan lain ialah dengan mencentang kotak dialog Show Wave Height Graph untuk menampilkan grafik tinggi gelombang Tsunami yang terjadi.



Gambar 3.5 Region Setting pada program SiTProS

III.3.2. Parameter Setting

Parameter Setting merupakan tempat untuk memasukkan input yang berupa komponen-komponen pembangkit Tsunami. Komponen-komponen itu antara lain ialah kedalaman gempa, magnitudo gempa, cepat rambat gelombang, koordinat posisi gempa, dan beberapa komponen lain.



Gambar 3.6 Parameter Setting pada program SiTProS

III.3.3. Warning Info Setting

Warning Info Setting ialah tempat untuk penentuan posisi dari buoy atau pelampung yang dipasang dekat dengan daerah terjangsan Tsunami yang ditinjau. Fungsi pemosisian buoy pada daerah tersebut ialah untuk mengetahui waktu yang diperlukan sebelum Tsunami tiba didaerah tersebut dan dapat mengukurtinggi gelombang yang terjadi.



Gambar 3.7 Warning Info pada program SiTProS

III.3.4 Data Faktor Pembangkit Tsunami

Faktor-faktor yang harus diketahui untuk menghasilkan Tsunami pada program SiTProS yakni:

Tabel 3.1.Data Pembangkit Tsunami

Reg Name	Date	Timing			Location			Fault Plane						Mag
		hr	min	sec	Lat	Long	Depth	Strike	Dip	Slip	Strike1	Dip1	Slip1	
Sulawesi (A)	27/04/1982	8	6	25.3	-4.22	118.85	15.7	18	24	100	168	66	86	5.6
Sulawesi (B)	08/01/1984	15	24	20.6	-3.7	117.91	14.8	13	16	89	194	74	90	6.5
Sulawesi (C)	08/01/1984	15	24	20.6	-4.2	117.8	14.8	13	16	89	194	74	90	5.9
Sulawesi (D)	08/01/1984	15	24	20.6	-4.69	117.69	14.8	13	16	89	194	74	90	6.0

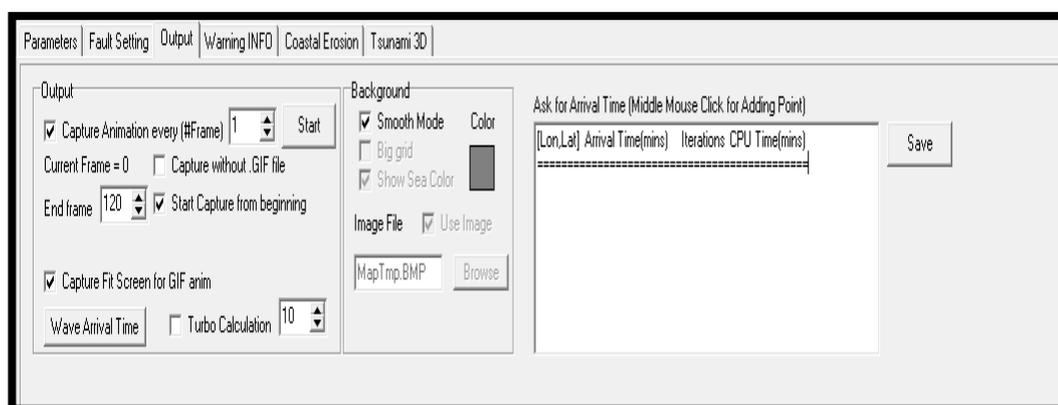
“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

IV.1 Visualisasi Tsunami

Semua input dimasukkan dalam program pemodelan tsunami, program SiTProS dimulai, maka salah satu *output* yang dikeluarkan berupa visualisasi langsung secara 2D dan dalam bentuk frame-frame yang jika digabungkan dapat menjadi seperti video. Jenis *output* visualisasi yang dihasilkan ialah frame gambar dalam bentuk format JPEG (*Joint Photographic Experts Group*) dan BMP (*Bitmap*). *Output* berupa gambar tersebut dapat kita atur pada *tab output* pada program SiTProS seperti pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1. Output setting pada program SiTProS

Salah satu pengaturan yang dilakukan ialah jumlah frame gambar yang akan dihasilkan. Semakin banyak jumlah frame, semakin detail pula hasil visualisasi terjadinya tsunami secara 2D tersebut. Program SiTProS secara otomatis akan membuatkan folder baru dan menyimpan semua frame dalam folder tersebut.

IV.1.1 Validasi

Besaran kesalahan yang terjadi dihitung dengan mencari nilai MRE (Mean Relative Error) dengan membandingkan tinggi run up pada Pantai Losari dan kota Banggae yang dilakukan pada penelitian Nurhidayani (2015) sebesar 7.2 meter. Perhitungan untuk mencari nilai tersebut (Riyanto,2004 dalam Arfian, 2008) adalah :

$$RE = \frac{[X - C]}{X} \times 100\%$$

$$MRE = \sum_1^n \frac{RE}{n}$$

Dimana : RE = Relative Error (Kesalahan Relatif)

MRE = Mean Relative Error (Rata-rata Kesalahan Relatif)

C = Data Run Up Pantai Losari

X = Data Run Up Banggae

n = Jumlah Data

Maka diperoleh :

Tabel 4.1 Hasil Perhitungan Mean Relative Error

Skenario	Run Up X (m)	Run Up (m)	RE (%)	MRE (%)
I	7.2	6.055	15.903	20.347
II	7.2	6.314	12.306	
III	7.2	5.011	30.403	
IV	7.2	5.560	22.778	

Hasil tabel diperoleh MRE sebesar 20.347 % sehingga dapat dikatakan kesalahan yang terjadi relatif kecil. Hal ini dilakukan untuk menentukan tingkat kesalahan relatif antara data hasil model dengan data gelombang di lapangan.

IV.2 Estimasi Waktu Kedatangan Tsunami

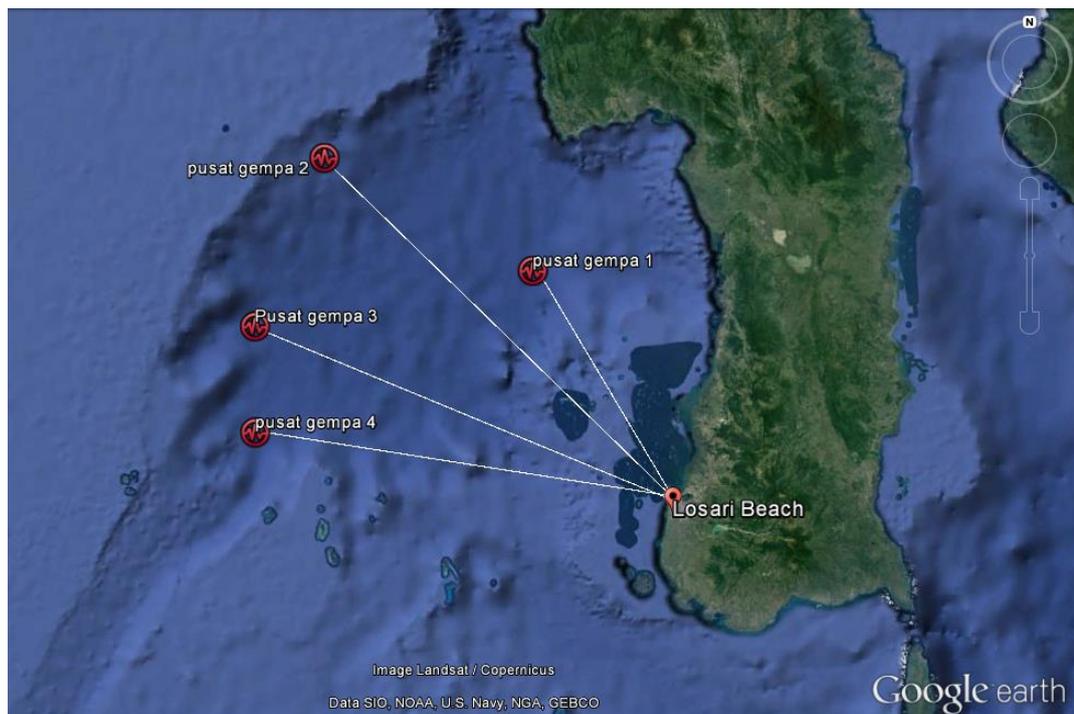
Estimasi waktu kedatangan tsunami ialah output yang didapatkan setelah menjalankan program *SiTProS* untuk permodelan ulang tsunami. Estimasi waktu yang dimaksudkan ialah waktu yang dibutuhkan sebuah gelombang tsunami untuk tiba ke daerah pesisir pantai yang dihitung sejak terjadinya gempa pembangkit tsunami. Dalam penulisan Tugas Akhir ini, penulis hanya mengkaji Estimasi Waktu Kedatangan Tsunami untuk daerah Pantai Losari Makassar dengan menggunakan empat pusat gempa yang berbeda.

Sulawesi Selatan sangat rentan terjadi Tsunami dikarenakan adanya Spreading Center, untuk itu penulis melakukan Simulasi Tsunami buatan untuk mengetahui waktu Kedatangan Tsunami. Simulasi dilakukan berdasarkan data dari *Gebco*

(batymetri), *USGS* (parameter sesar), dan *Global CMT* (parameter magnitude). Setelah memasukkan input koordinat Pantai Losari pada *Tab Warning Info* untuk menentukan letak *Buoy Time*, maka di lakukan men-Start Tsunami, maka output 2D akan di dapat berupa frame-frame. Dalam Simulasi ini dilakukan dengan satu Tipe Simulasi jenis gempa yang terjadi, yaitu *Earthquake Line*.

IV.2.1. Estimasi Waktu Kedatangan Tsunami berdasarkan Earthquake Line.

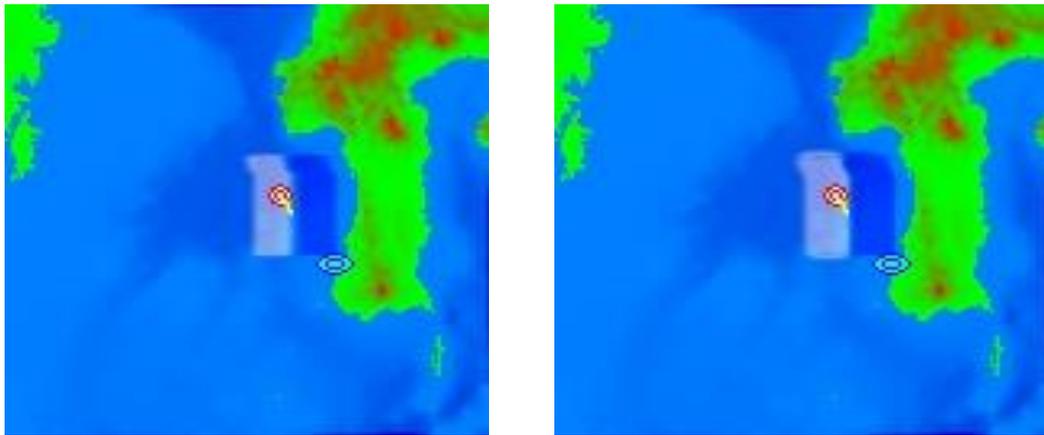
Simulasi ini Penulis melakukan empat kali Simulasi Buatan pada Pantai Losari Makassar, Simulasi ini berdasarkan pada Data gempa yang ada.



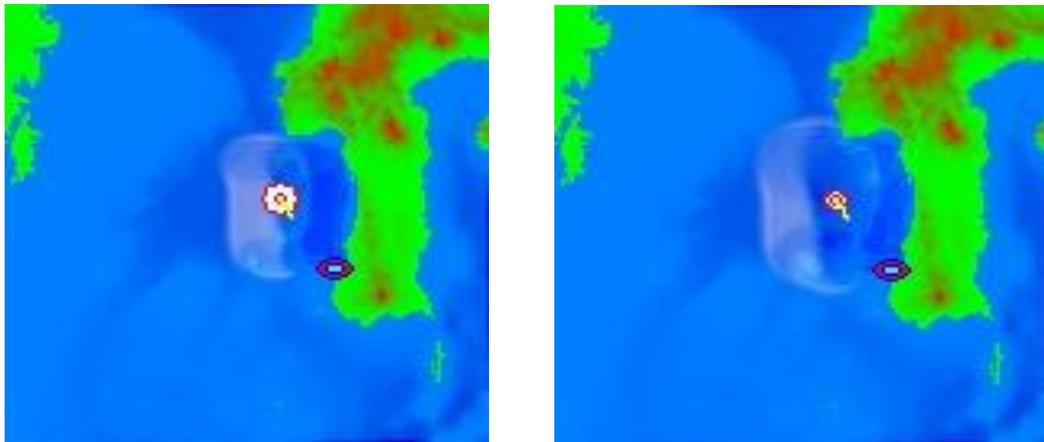
Gambar 4.2 jarak pusat gempa menuju pantai losari

a. Skenario I

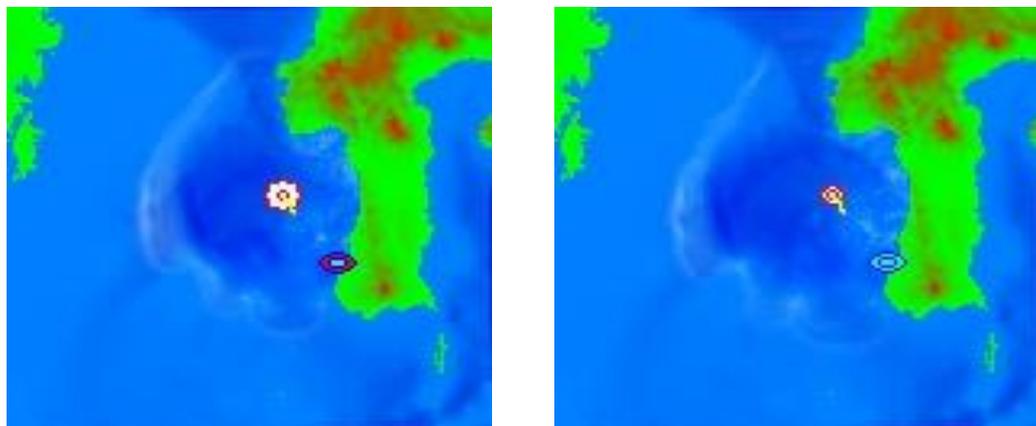
Frame awal ini dapat dilihat pada saat 0.30 menit dan 0.50 menit.



Frame pertengahan ini dapat dilihat pada saat 7.0 menit dan 10.0 menit



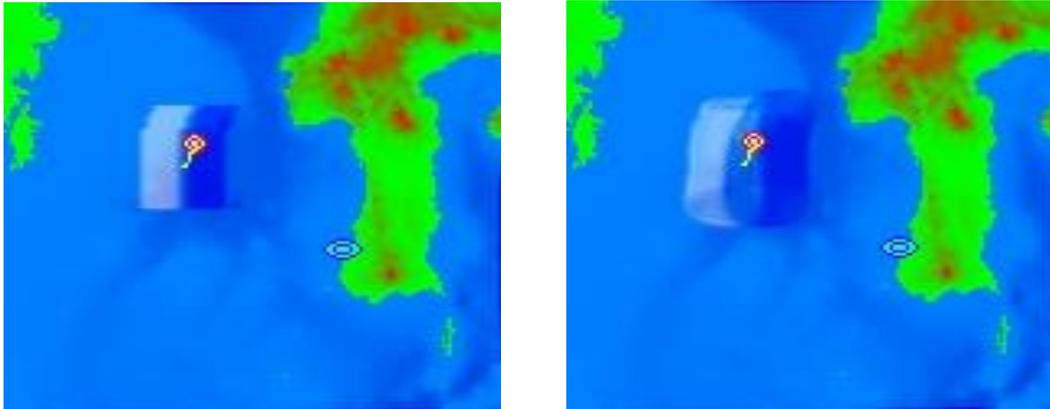
Frame akhir ini dapat dilihat pada saat 30.0 menit dan 38.0 menit



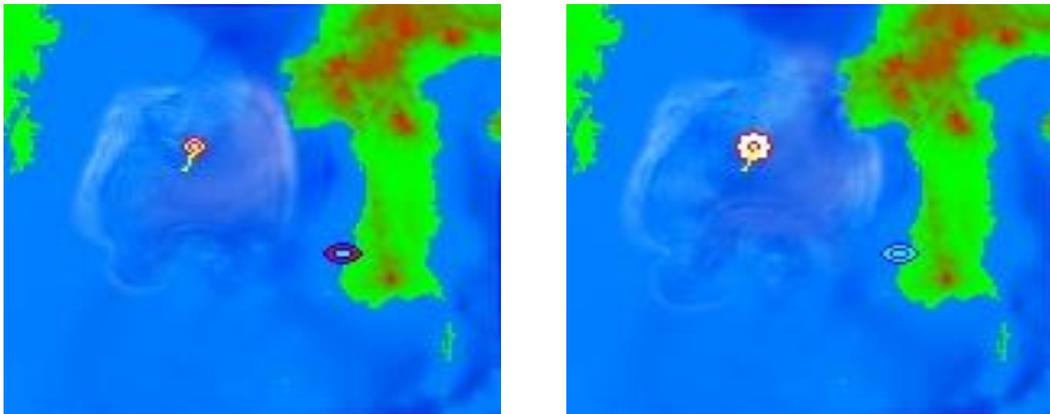
Gambar 4.3. Hasil Visualisasi Program SiTProS berupa Frame dengan pembangkit Earthquake Line I

b. Skenario II

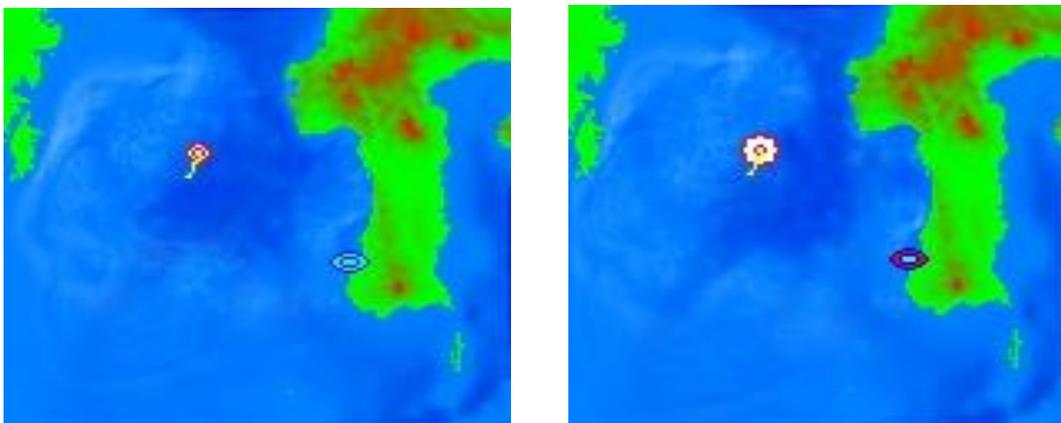
Frame awal ini dapat dilihat pada saat 5.0 menit dan 8.0 menit



Frame pertengahan ini dapat dilihat pada saat 45.0 menit dan 46.5 menit



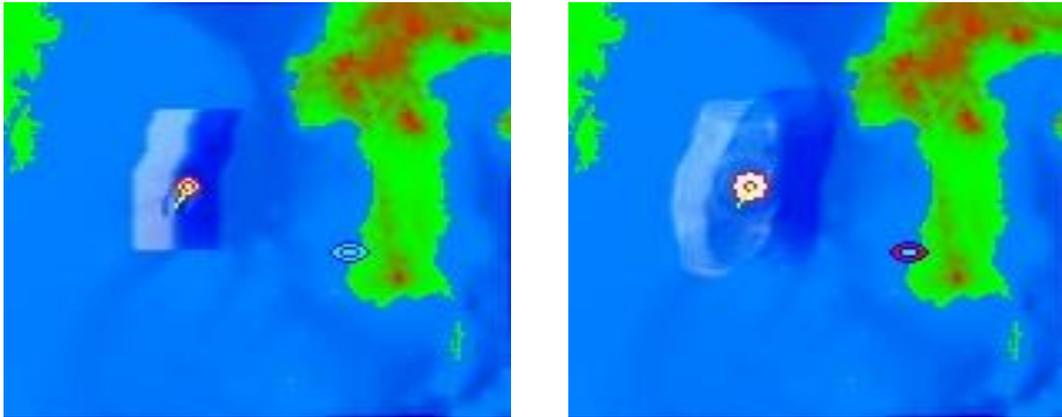
Frame akhir ini dapat dilihat pada saat 80.0 menit dan 83.0 menit



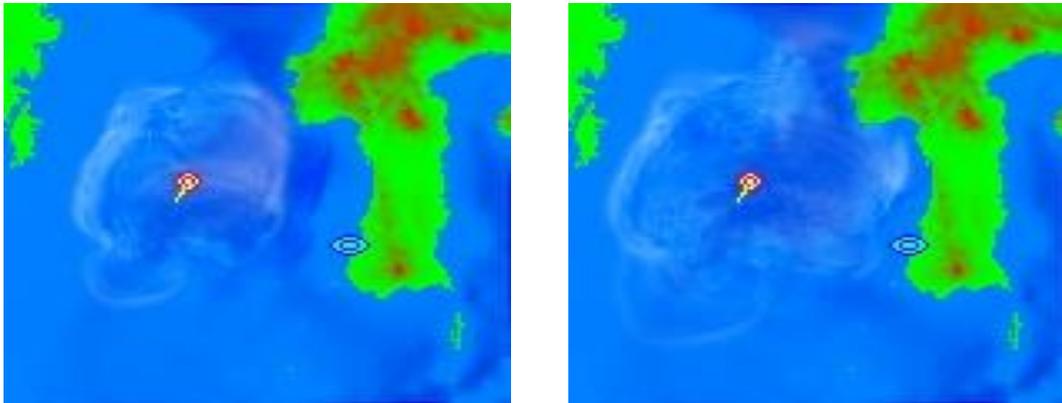
Gambar 4.4. Hasil Visualisasi Program SiTProS berupa Frame dengan pembangkit Earthquake Line II

c. **Skenario III**

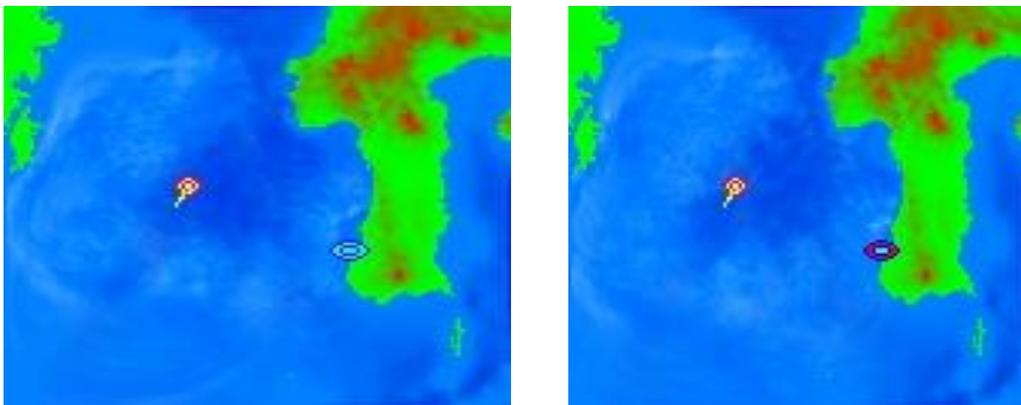
Frame awal ini dapat dilihat pada saat 8.20 menit dan 10.0 menit



Frame pertengahan ini dapat dilihat pada saat 39.0 menit dan 43.2 menit



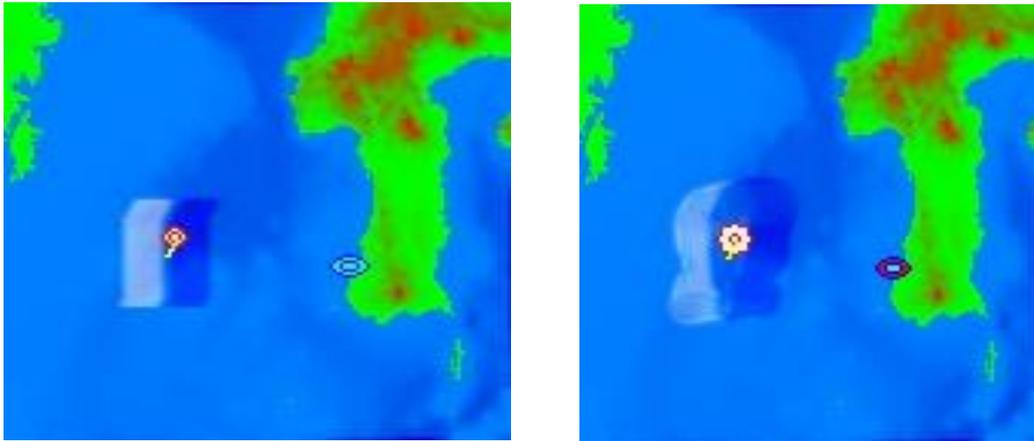
Frame akhir ini dapat dilihat pada saat 80.0 menit dan 83.0 menit



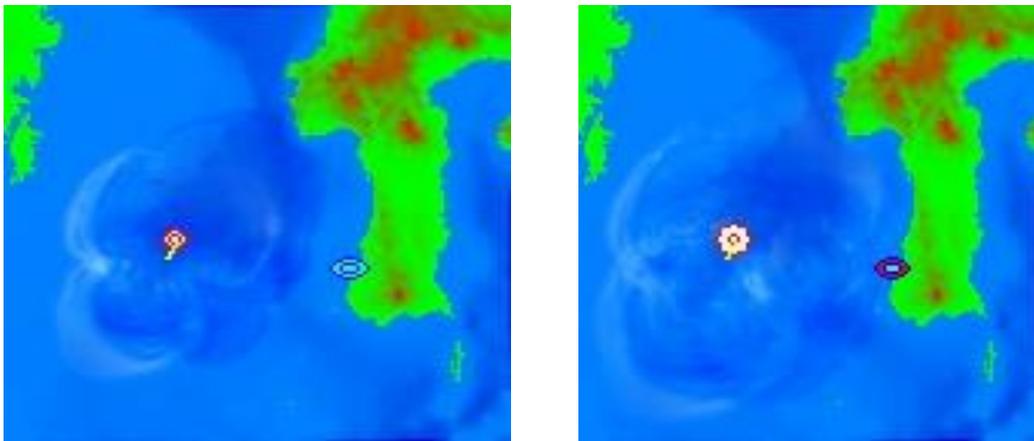
Gambar 4.5. Hasil Visualisasi Program SiTProS berupa Frame dengan pembangkit Earthquake Line III

d. Skenario IV

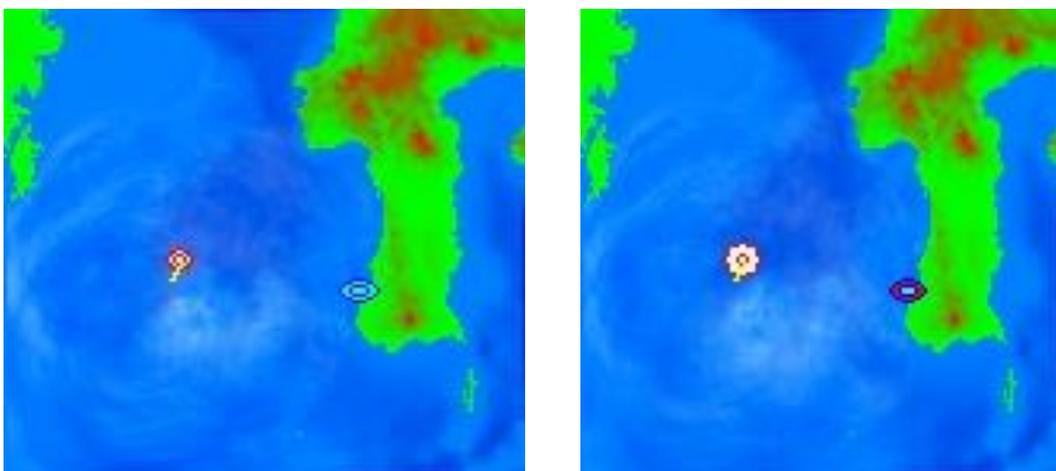
Frame awal ini dapat dilihat pada saat 2.30 menit dan 5.50 menit



Frame pertengahan ini dapat dilihat pada saat 39.0 menit dan 42.2 menit



Frame akhir ini dapat dilihat pada saat 79.8 menit dan 85.0 menit



Gambar 4.6. Hasil Visualisasi Program SiTProS berupa Frame dengan pembangkit Earthquake Line

IV

Tab warning info, akan menghasilkan waktu estimasi Tsunami di Pantai Losari dengan pembangkit *Spreading Center* ialah pada ***Tab Buoy Time (mins)***, adalah sebagai berikut :

Tabel 4.2 Simulasi waktu kedatangan Tsunami

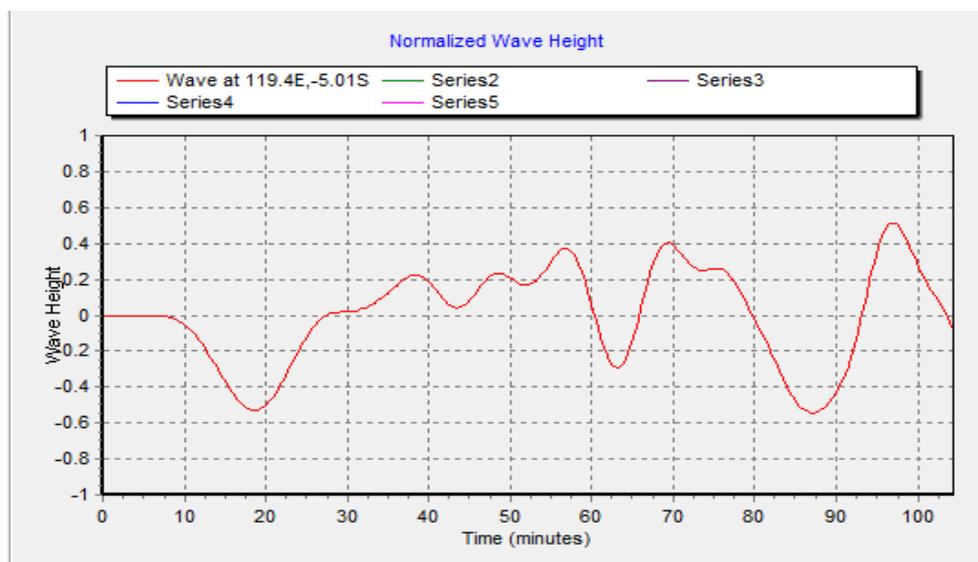
Line Pusat Gempa ,Start Point-End Point (Lon,Lat)	Magnitude (SR)	Waktu kedatangan Tsunami (menit)
(118.8E, -4.21S) – (118.9E, -4.41)	5.6	7
(117.9E, -3.72S) – (117.9E, -4,01S)	6.5	40
(117.8E, -4.21S) – (117.6E, -4.45)	5.9	39
(117.6E, -4.68S) – (117.5E, -4.91S)	6	39

Tabel di atas menunjukkan jumlah estimasi waktu yang diperlukan Tsunami untuk sampai ke Pantai Losari Makassar dengan menggunakan satuan menit. Waktu kedatangan tsunami tercepat berada pada magnitude 5.6 SR dengan waktu 7 menit pada lokasi (118.8E, -4.21S) – (118.9E, -4.41). Sehingga dapat ditentukan waktu evakuasi di bawah 5 menit sebelum datangnya tsunami.

IV.2.2. Grafik Tinggi Gelombang Tsunami pada Pantai Losari Makassar.

Grafik Tinggi Gelombang Tsunami dengan Pembangkit *Spreading Center* ialah:

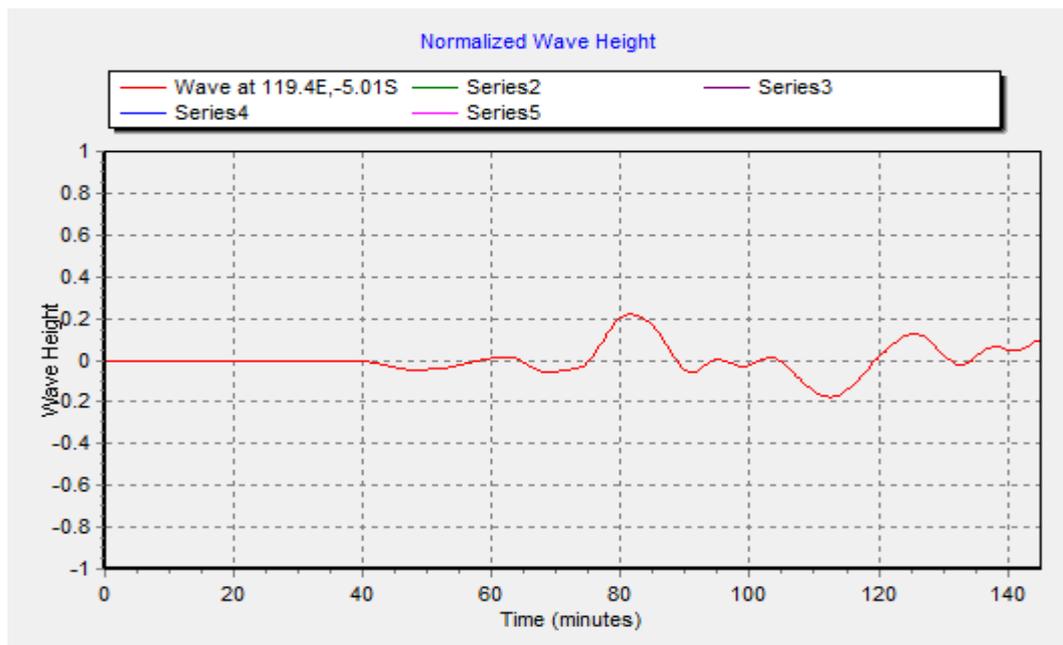
Grafik Skenario I



Gambar 4.7. Tinggi Gelombang Tsunami Scenario I

Grafik terlihat bahwa tinggi gelombang mengalami penurunan yang signifikan pada menit ke 7-18, sebelum akhirnya mengalami kenaikan di sekitar menit ke 19-38 yang merupakan saat Tsunami menerjang Pantai Losari. Kenaikan muka air laut pada grafik ini berkisar 0,5 persen dari besaran tsunami yang terjadi. Grafik diatas terlihat gelombang pertama yang menerjang pantai losari memiliki panjang dan periode gelombang yang besar yang menunjukkan bahwa kecepatan gelombangnya besar dan pola bathymetri yang dilalui Earthquake Line 1 bermula pada kemiringan yang curam dan kemudian tiba-tiba menjadi hampir datar yang membuat gelombang lebih cepat dan tidak mampu berubah menjadi lebih lambat, dimana sesuai dengan rumus yang menunjukkan cepat rambat gelombang berbanding lurus dengan Panjang Gelombang, $C = 1/2\sqrt{gL/\pi}$. Kecepatan tsunami tergantung pada kedalaman laut dan percepatan gravitasi di tempat tersebut. Untuk di laut dalam, kecepatan tsunami bisa setara dengan kecepatan pesawat jet, yaitu sekitar 800 km/jam. Semakin dangkal lautnya, kecepatan tsunami semakin berkurang, yaitu berkisar antara 2 – 5 km/jam.

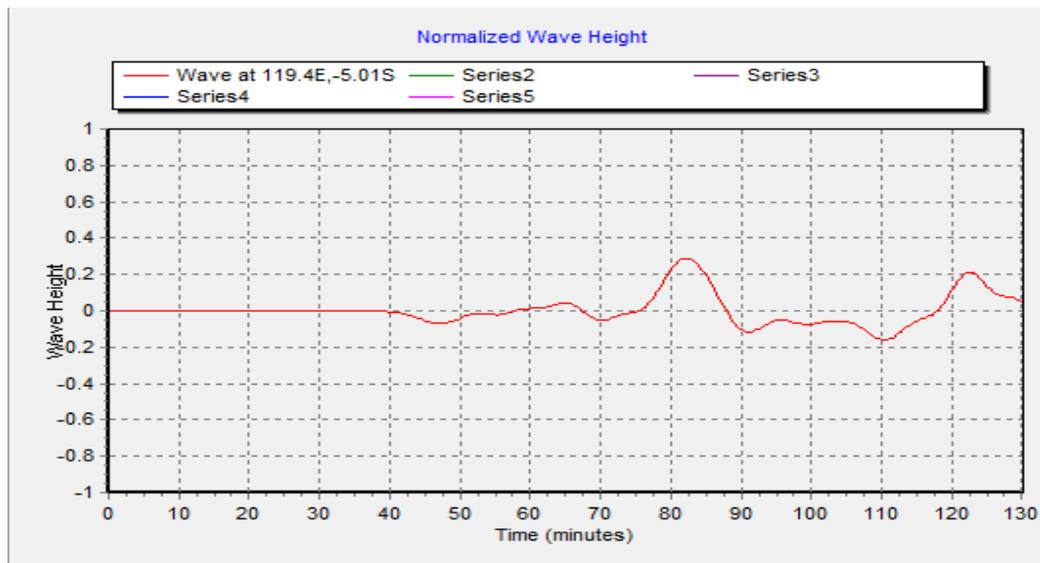
Grafik Skenario II



Gambar 4.8. Tinggi Gelombang Tsunami Scenario II

Grafik terlihat bahwa perubahan tinggi muka air terjadi pada menit ke 40-72, sebelum akhirnya gelombang maksimum terjadi pada menit ke 73-83 yang merupakan saat Tsunami menerjang Pantai Losari. Dari bentuk gelombang di atas menunjukkan pola bathymetri yang dilalui landai, dimana ketika memasuki perairan pantai, tsunami akan mengalami perlambatan. Berkurangnya kecepatan tsunami bias disebabkan karena adanya, topografi pantai yang mendangkal. Gelombang yang tertahan karena perlambatan itu akan menumpuk dengan gelombang - gelombang yang datang berikutnya, sehingga tinggi gelombang yang tadinya di perairan dalam hanya ± 1 meter, akan bertambah tinggi hingga dapat mencapai ± 30 meter di perairan dangkal dan pesisir pantai. Gelombang terbesar tidak selamanya terjadi pada gelombang pertama, tetapi pada umumnya terjadi pada 10 gelombang pertama. Kenaikan muka air laut pada grafik ini berkisar 0,2 persen dari besaran tsunami yang terjadi.

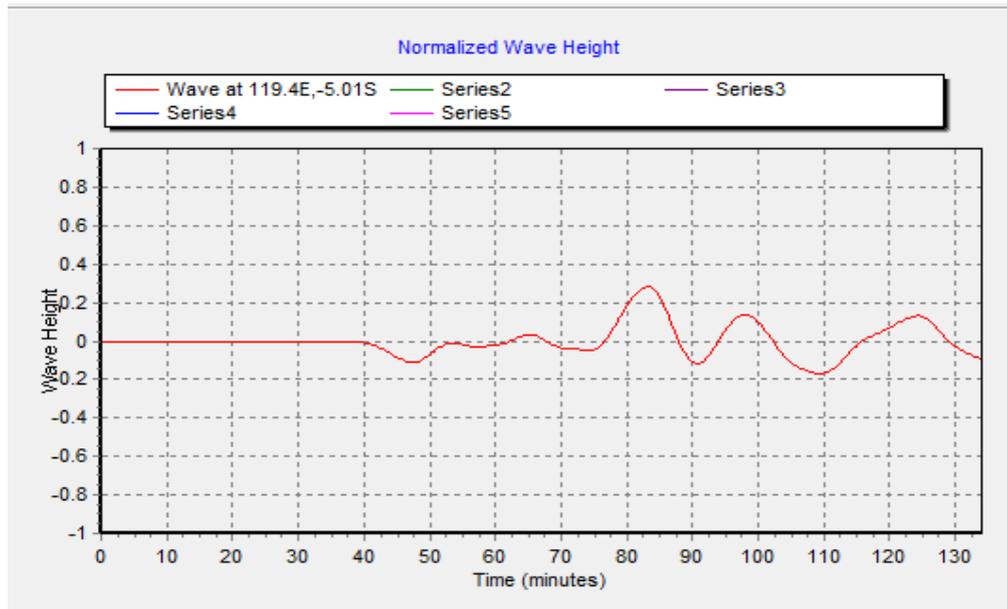
Grafik Skenario III



Gambar 4.9. Tinggi Gelombang tsunami Scenario III

Grafik terlihat bahwa perubahan tinggi muka air terjadi pada menit ke 39-70, sebelum akhirnya gelombang maksimum terjadi pada menit ke 71-83 yang merupakan saat Tsunami menerjang Pantai Losari. Dari bentuk gelombang di atas menunjukkan pola bathymetri yang dilalui sama dengan Skenario II yaitu landai. Kenaikan muka air laut pada grafik ini berkisar 0,3 persen dari besaran tsunami yang terjadi.

Grafik Skenario IV



Gambar 4.10. Tinggi Gelombang Tsunami Scenario IV

Grafik terlihat bahwa perubahan tinggi muka air di pantai losari terjadi pada menit ke 39-73, sebelum akhirnya gelombang maksimum terjadi pada menit ke 74-85 yang merupakan saat Tsunami menerjang Pantai Losari. Dari bentuk gelombang di atas menunjukkan pola bathymetri yang dilalui sama dengan Line II dan Line III yaitu landai. Kenaikan muka air laut pada grafik ini berkisar 0,3 persen dari besaran tsunami yang terjadi.

Keempat grafik hasil simulasi dapat dilihat gelombang pertama bukan yang tertinggi. Gelombang terbesar terjadi justru setelah gelombang pertama surut. Ini disebabkan tsunami bisa menjadi lebih tinggi ketika terjadi interaksi antara gelombang pertama dengan gelombang yang menyusul kemudian. Setelah mencapai daratan, gelombang akan surut lebih rendah dari permukaan air laut sehingga menyimpan energi untuk kembali ke daratan. Energi ini memberikan dorongan pada gelombang kedua yang sedang menghampiri pantai. Gabungan dari dua gelombang ini membuat gelombang kedua yang menghempas daratan lebih tinggi dari gelombang pertama.

IV.2.3. Perhitungan Run Up Tsunami di Pantai Losari

(Diposaptono & Budiman, 2008) menjelaskan bahwa tinggi rendahnya gelombang tsunami (*run-up*) dan energi yang ditimbulkannya dapat diklasifikasikan dalam skala magnitude yang disebut dengan skala Imamura. Skala Imamura dapat dilihat pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Imamura-lida

No	Skala Imamura-lida	Klasifikasi
1	-1	Sunami dengan <i>run-up</i> <50cm di daerah pantai
2	0	Tsunami dengan <i>run-up</i> 1 m
3	1	Tsunami dengan <i>run-up</i> > 2m
4	2	Tsunami dengan <i>run-up</i> 4-6 m
5	3	Tsunami dengan <i>run-up</i> 10-20 m
6	4	Tsunami dengan <i>run-up</i> >30m

Perhitungan run up tsunami pada tiap line dapat dilihat pada perhitungan di bawah ini :

a) Perhitungan Run Up Tsunami pada Line I

Kenaikan muka air laut pada grafik line I berkisar 0,5 persen dari besaran tsunami yang terjadi. Dengan menggunakan formula Aydan (2007).

Diketahui gempa di koordinat 118.8E, -4.21S memiliki momen magnitude (M_w) = 5.6 SR maka:

$$H_m = A \times M_w \exp(b \times M_w)$$

$$H_m = 0.004 \times 5.6 \exp(0.9 \times 5.6)$$

$$H_m = 3.46 \text{ m}$$

Karena tinggi muka air laut 0.5 persen dari besaran tsunami, maka:

$$H_m = 3.46 \times 0.5 = \mathbf{1.73 \text{ m}}$$

Tinggi run-up tsunami:

$$\Delta H_r = B \times H_m$$

$$\Delta H_r = 2.5 \times 1.73$$

$$\Delta H_r = 4.325$$

$$H_r = H_m + \Delta H_r$$

$$H_r = 1.73 + 4.325$$

$$H_r = \mathbf{6.055 \text{ m}}$$

Hasil perhitungan tinggi gelombang tersebut menunjukkan tinggi gelombang tsunami pada *bouy* sebesar **1.73 m** dengan tinggi run-up sebesar **6.055 m**. Sehingga dapat diklasifikasikan pada skala Immamura-lida **2**.

b) Perhitungan Run Up Tsunami pada Line II

Kenaikan muka air laut pada grafik line II berkisar 0,2 persen dari besaran tsunami yang terjadi. Dengan menggunakan formula Aydan (2007).

Diketahui gempa di koordinat 117.9E, -3.72S memiliki momen magnitudo (M_w) = 6.5 SR maka:

$$H_m = A \times M_w \exp(b \times M_w)$$

$$H_m = 0.004 \times 6.5 \exp(0.9 \times 6.5)$$

$$H_m = 9.02 \text{ m}$$

Karena tinggi muka air laut 0.2 persen dari besaran tsunami, maka:

$$H_m = 9.02 \times 0.2 = \mathbf{1.804 \text{ m}}$$

Tinggi run-up tsunami:

$$\Delta H_r = B \times H_m$$

$$\Delta H_r = 2.5 \times 1.804$$

$$\Delta H_r = 4.51 \text{ m}$$

$$H_r = H_m + \Delta H_r$$

$$H_r = 1.804 + 4.51$$

$$H_r = \mathbf{6.314 \text{ m}}$$

Hasil perhitungan tinggi gelombang tersebut menunjukkan tinggi gelombang tsunami pada *bouy* sebesar **1.804 m** dengan tinggi run-up sebesar **6.314 m**. Sehingga dapat diklasifikasikan pada skala Immamura-lida **1**.

c) Perhitungan Run Up Tsunami pada Line III

Kenaikan muka air laut pada grafik line III berkisar 0,3 persen dari besaran tsunami yang terjadi. Dengan menggunakan formula Aydan (2007).

Diketahui gempa di koordinat 117.8E, -4.21S memiliki momen magnitudo (M_w) = 5.9 SR maka:

$$H_m = A \times M_w \exp(b \times M_w)$$

$$H_m = 0.004 \times 5.9 \exp(0.9 \times 5.9)$$

$$H_m = 4.77 \text{ m}$$

Karena tinggi muka air laut 0.3 persen dari besaran tsunami, maka:

$$H_m = 4.77 \times 0.3 = \mathbf{1.431 \text{ m}}$$

Tinggi run-up tsunami:

$$\Delta H_r = B \times H_m$$

$$\Delta H_r = 2.5 \times 1.431$$

$$\Delta H_r = 3.58$$

$$H_r = H_m + \Delta H_r$$

$$H_r = 1.431 + 3.58$$

$$H_r = \mathbf{5.011 \text{ m}}$$

Hasil perhitungan tinggi gelombang tersebut menunjukkan tinggi gelombang tsunami pada *bouy* sebesar **1.431 m** dengan tinggi run-up sebesar **5.011 m**. Sehingga dapat diklasifikasikan pada skala Immamura-lida **2**.

d) Perhitungan Run Up Tsunami pada Line IV

Kenaikan muka air laut pada grafik line IV berkisar 0,3 persen dari besaran tsunami yang terjadi. Dengan menggunakan formula Aydan (2007).

Diketahui gempa di koordinat 117.6E, -4.68S memiliki momen magnitude (M_w) = 6 SR maka:

$$H_m = A \times M_w \exp(b \times M_w)$$

$$H_m = 0.004 \times 6 \exp(0.9 \times 6)$$

$$H_m = 5.313 \text{ m}$$

Karena tinggi muka air laut 0.3 persen dari besaran tsunami, maka:

$$H_m = 5.313 \times 0.3 = \mathbf{1.59 \text{ m}}$$

Tinggi run-up tsunami:

$$\Delta H_r = B \times H_m$$

$$\Delta H_r = 2.5 \times 1.59$$

$$\Delta H_r = 3.97$$

$$H_r = H_m + \Delta H_r$$

$$H_r = 1.59 + 3.97$$

$$H_r = \mathbf{5.56 \text{ m}}$$

Hasil perhitungan tinggi gelombang tersebut menunjukkan tinggi gelombang tsunami pada *bouy* sebesar **1.59 m** dengan tinggi run-up sebesar **5.56 m**. Sehingga dapat diklasifikasikan pada skala Immamura-lida **2**.

IV.2.4. Perhitungan Inundasi Tsunami di Pantai Losari

Persamaan untuk menghitung inundasi yang terjadi di pantai losari digunakan formula Pignatelli (2009) :

$$X_{maks} = (H_t)^{1.33} n^{-2} k \cos \beta_1$$

Dimana, H_t : Tinggi tsunami diukur dari mean sea level.

k : Konstanta = 0.06

n : Konstanta untuk manning (kekasaran)

β_1 : Sudut miring permukaan tanah

Manning konstanta (n) digunakan 0.059 pada tabel 4.4 Manning Equation Hills dan Mader (1997) :

Tabel 4.4 Manning Equation Hills dan Mader (1997)

Coastal types	Manning number n
Lagoon, fluvial plain	0.01-0.015
Mediterranean vegetation	0.016-0.025
Farm area	0.026-0.035
Discontinuous dune belts (without vegetation)	0.036-0.040
Dune belts (Altitude > 3 m)	0.041-0.046
Rocky coasts (very karsificated)	0.047-0.052
Urban area discontinuous	0.053-0.058
Urban area (with buildings very concentrated)	0.059-0.064
Mangrooves	0.065-0.069
Forests, Pinewood, etc.	>0.07

Karena area pantai losari dengan kondisi topografi cenderung landai, maka sudut miring permukaan tanah (β) dianggap 0° . Maka hasil inundasi pada tiap skenario didapatkan :

a. Perhitungan inundasi tsunami pada skenario I

Diketahui run up pada Sc.1 (Skenario 1) adalah 6.055 m. Maka inundasi yang terjadi pada pantai losari :

$$\begin{aligned} X_{maks} &= (H_t)^{1.33} n^{-2} k \cos \beta_1 \\ &= (6.055)^{1.33} \times (0.059)^{-2} \times 0.06 \times \cos 0^\circ \\ &= \mathbf{189.085 \text{ m}} \end{aligned}$$

Hasil perhitungan inundasi tersebut diperoleh jarak maksimum inundasi yang terjadi pada skenario I di pantai losari sejauh **189.085 m**.

b. Perhitungan inondasi tsunami pada skenario II

Diketahui run up pada Sc.II (Skenario II) adalah 6.314 m. Maka inondasi yang terjadi pada pantai losari :

$$\begin{aligned} X_{maks} &= (H_t)^{1.33} n^{-2} k \cos \beta_1 \\ &= (6.314)^{1.33} \times (0.059)^{-2} \times 0.06 \times \cos 0^\circ \\ &= \mathbf{200 \text{ m}} \end{aligned}$$

Hasil perhitungan inondasi tersebut diperoleh jarak maksimum inondasi yang terjadi pada skenario II di pantai losari sejauh **200 m**.

c. Perhitungan inondasi tsunami pada skenario III

Diketahui run up pada Sc.III (Skenario III) adalah 5.011 m. Maka inondasi yang terjadi pada pantai losari :

$$\begin{aligned} X_{maks} &= (H_t)^{1.33} n^{-2} k \cos \beta_1 \\ &= (5.011)^{1.33} \times (0.059)^{-2} \times 0.06 \times \cos 0^\circ \\ &= \mathbf{147 \text{ m}} \end{aligned}$$

Hasil perhitungan inondasi tersebut diperoleh jarak maksimum inondasi yang terjadi pada skenario III di pantai losari sejauh **147 m**.

d. Perhitungan inondasi tsunami pada skenario IV

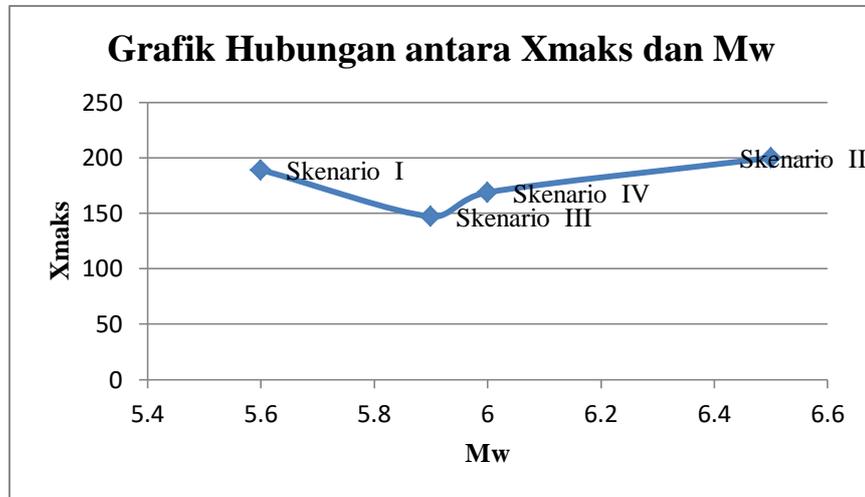
Diketahui run up pada Sc.IV (Skenario IV) adalah 5.56 m. Maka inondasi yang terjadi pada pantai losari :

$$\begin{aligned} X_{maks} &= (H_t)^{1.33} n^{-2} k \cos \beta_1 \\ &= (5.56)^{1.33} \times (0.059)^{-2} \times 0.06 \times \cos 0^\circ \\ &= \mathbf{168.8 \text{ m}} \end{aligned}$$

Hasil perhitungan inondasi tersebut diperoleh jarak maksimum inondasi yang terjadi pada skenario II di pantai losari sejauh **168.8 m**.

IV.2.5. Grafik hubungan jarak maksimum inundasi dan moment magnitude pada tiap titik pembangkit earthquake line di Pantai Losari

- a. Grafik hubungan antara jarak maksimum inundasi (X_{maks}) dan mmagnitude (M_w).



Gambar 4.11 Grafik hubungan antara X_{maks} dan M_w

Pada skenario I memiliki momen magnitude = 5.6 SR dan X_{maks} = 189.058 m

Pada skenario II memiliki momen magnitude = 6.5 SR dan X_{maks} = 200 m

Pada skenario III memiliki momen magnitude = 5.9 SR dan X_{maks} = 147 m

Pada skenario IV memiliki momen magnitude = 6 SR dan X_{maks} = 168.8 m

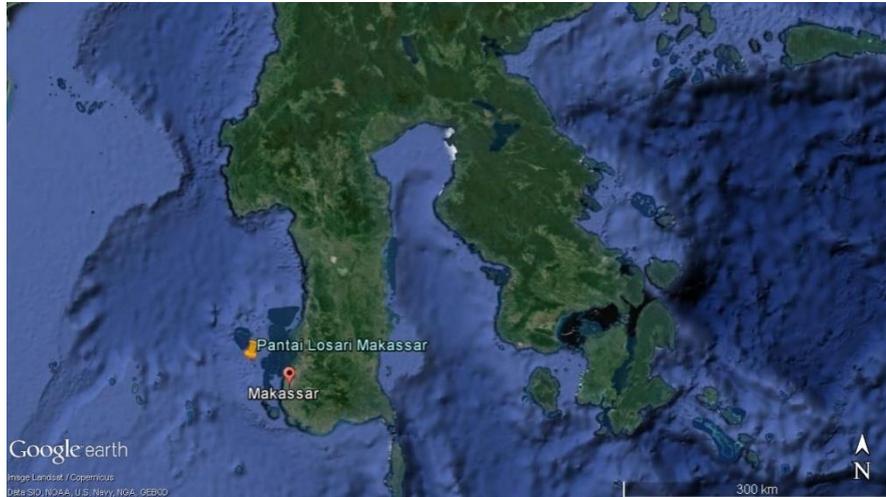
IV.3 Penentuan Skema mitigasi bencana tsunami pada Pantai Losari

Kecamatan Ujung Pandang merupakan salah satu 14 Kecamatan di Kota Makassar yang berbatasan di Sebelah Barat dengan Selat Makassar, di Sebelah Timur dengan Kecamatan Makassar dan Gowa, di Sebelah Utara dengan Kecamatan Wajo dan di Sebelah Selatan Kecamatan Moriso.

Pantai Losari termasuk Kecamatan Ujung Pandang yang memiliki 10 Kelurahan, 4 Kelurahan merupakan daerah pantai termasuk Pulau Laelae yang terletak beberapa mil dari pantai Losari yang harus di jangkau dengan sarana transportasi laut dan 3 Kelurahan mencakup areal Losari yaitu: Kelurahan Losari, Kelurahan Maluku, Kelurahan Bulogading. sedangkan 6 kelurahan lainnya merupakan daerah bukan pantai.

1. Koordinat Peta

Pantai Losari Makassar pada posisi 5° 08' 39.52 Lintang Selatan dan 119° 24' 20.33'' Bujur Timur.



Gambar 4.12 Area Pantai Losari

2. Batas kelurahan pantai losari

Batas Kelurahan pantai Losari terlihat ditabel 4.2 antara lain :

Tabel 4.5 Batas Kelurahan pantai Losari

No.	Batas	S	E
1	Kelurahan Losari	- 05° 08' 55.5''	119° 24' 34.9''
		- 05° 08' 37.0''	119° 24' 29.8''
2	Kelurahan Maluku	- 05° 08' 36.8''	119° 24' 29.2''
		- 05° 08' 35.7''	119° 24' 39.3''
3	Kelurahan Bulogading	- 05° 08' 21.4''	119° 24' 35.3''
		- 05° 08' 44.9''	119° 24' 31.0''

3. Data penduduk di pantai losari

Data penduduk yang berada di pantai Losari sejumlah 6897 orang.

Jumlah penduduk berdasarkan Kelurahan dibagi menjadi :

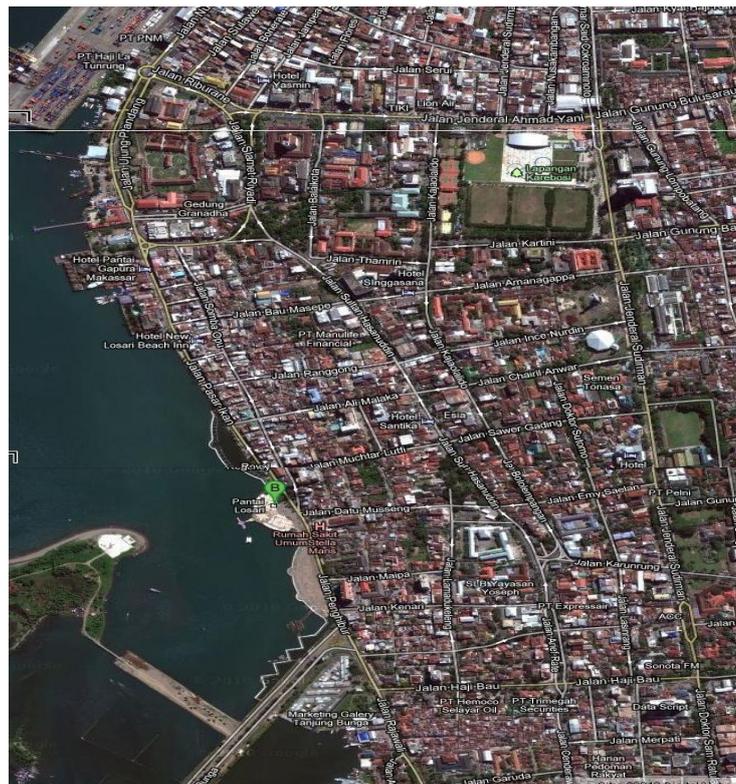
- a. Kelurahan Losari = 1461 orang

- b. Kelurahan Maloku = 2604 orang
- c. Kelurahan Bulogading = 2832 orang

Dengan populasi sebanyak 6897 orang yang tinggal di sekitaran pantai losari dan ditambahkan 50% dari jumlah tersebut, mengingat pantai losari sebagai salah satu icon kota makassar yang menjadi tempat berkunjung para wisatawan. Maka kita dapat memperkirakan jumlah penduduk yang akan dievakuasi pada saat terjadi tsunami.

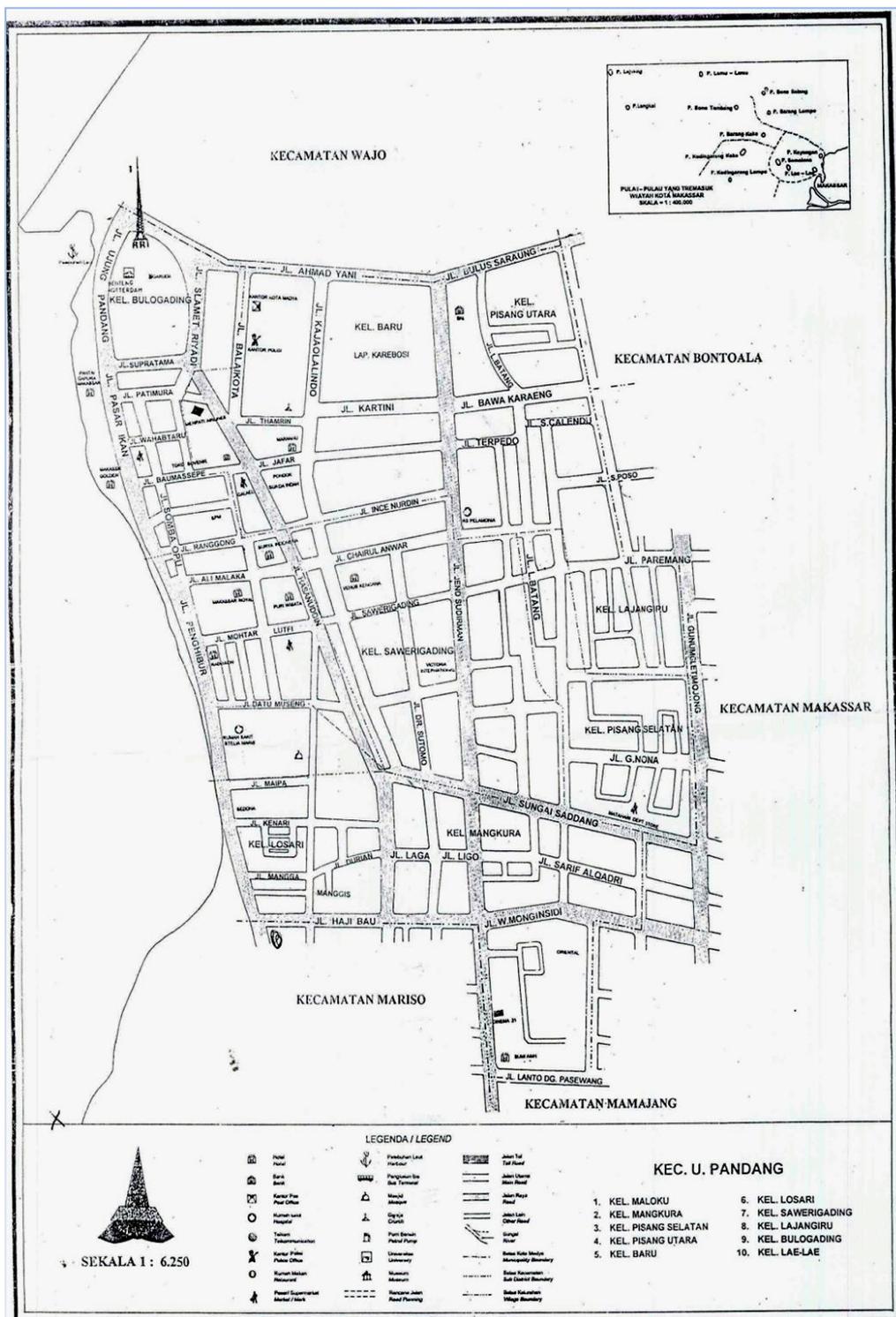
4. Daerah terjanngan tsunami di pantai losari

Tsunami yang terjadi akan menerjang beberapa daerah sekitar pantai Losari yang berada di Jalan Datu Musseng, Jalan Muchtar Lutfi, Jalan Maipa, Jalan Pasar Ikan, Jalan Somba Opu, Jalan Bau Masepe, Jalan Ranggong, Jalan Ali Malaka, Jalan Sultan Hasanuddin, Jalan Jenderal Ahmad Yani, Namun hanya beberapa lokasi yang ditinjau. Berikut adalah gambar daerah-daerah yang diterjang oleh tsunami tersebut.



Gambar 4.13 Daerah-daerah yang diterjang oleh tsunami (sumber, google earth)

5. Peta batas kelurahan pantai losari



Gambar 4.14 Peta kecamatan Ujung Pandang

a. Analisis sebaran penduduk

Perkiraan jumlah dan distribusi populasi di wilayah penelitian sangat penting diketahui untuk perencanaan evakuasi. Dengan mengetahui perkiraan jumlah populasi yang akan dievakuasi dan distribusinya, maka shelter evakuasi tsunami dapat ditempatkan dengan tepat. Area pelayanan terkait kapasitas shelter juga dapat diketahui, sehingga dapat diketahui kebutuhan jumlah dan kapasitas shelter yang dibutuhkan. Pada penelitian ini, jumlah populasi diketahui dari jumlah bangunan dan fasilitas yang terdapat di wilayah penelitian. Diasumsikan, penduduk akan beraktivitas pada bangunan dan fasilitas lainnya seperti rumah, sekolah, kantor, toko dan lain-lain. Hal ini juga digunakan untuk membuat skenario populasi siang dan malam.

b. Analisis waktu evakuasi

Berdasarkan hasil simulasi dalam program SiTProS, maka dalam penelitian ini didapatkan estimasi waktu ketika gelombang tsunami mencapai pantai. Dalam rentang waktu perkiraan tersebut, tidak semua dapat digunakan sebagai waktu evakuasi, namun terdapat waktu persiapan dan waktu untuk naik ke lantai aman. Dalam analisis waktu evakuasi ini, diambil waktu tercepat gelombang tsunami mencapai pantai, yaitu 7 menit. Analisis waktu tersebut juga dilakukan dengan menghitung kecepatan lari masyarakat di sekitar Pantai Losari. Berdasarkan hasil penelitian Nurhidayani (2015) maka didapatkan hasil kecepatan lari rata-rata dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 4.6 Kecepatan lari penduduk berdasarkan tingkat usia penduduk

No	Usia Penduduk	Kecepatan Lari
1	5 - 15 Tahun	17 detik/100 meter
2	Laki - laki Usia 15 - 30 Tahun	16 detik/300 meter
3	Perempuan Usia 15 - 30 Tahun	30 detik/200 meter
4	Perempuan diatas 30 tahun	20 detik/100 meter
5	Laki-laki diatas 30 tahun	25 detik/300 meter

Kecepatan lari tersebut dapat dikurangkan 30% apabila bencana tsunami mengancam keselamatan jiwa manusia, dari kecepatan yang terjadi selama beraktivitas. Sedangkan kecepatan naik tangga dapat dikurangkan 20% pada saat terjadi tsunami atau bencana, sehingga jumlah manusia pada saat lari maupun yang naik tangga tidak terjadi kepadatan dan tidak panik, guna meminimalisir jatuhnya korban jiwa.

IV.3.1 Menentukan lokasi evakuasi mitigasi bencana tsunami

a. Data hasil penelitian bangunan (*Sumber : Hendra, 2012*)

Data konstruksi bangunan yang mencakup tinggi untuk evakuasi pada saat terjadi tsunami sebagai berikut.

1. Hotel Aryaduta Makassar

Data konstruksinya terdiri dari :

- a. Tinggi bangunan : 47 m
- b. Luasan bangunan : 17.379 m²
- c. Daya tampung bangunan sejumlah 8 tingkat : 5000 orang
- d. Lokasi : Jalan Maipa 297, Makassar

2. RS. Stella Maris

Data konstruksinya terdiri dari :

- a. Tinggi bangunan : 17,5 m
- b. Luasan bangunan : 14.658 m²
- c. Daya tampung : 1130 orang
- d. Lokasi : Jl. Sombu Opu 273, Ujung Pandang

3. Hotel Quality Plaza

Data konstruksinya terdiri dari :

- a. Tinggi bangunan : 30 m
- b. Luasan bangunan : 16.013 m²
- c. Daya tampung bangunan sejumlah 7 tingkat : 2200 orang
- d. Lokasi : Alamat: Jalan Penghibur – Sombu Opu

4. Hotel Mercure

Data konstruksinya terdiri dari :

- a. Tinggi bangunan : 33 m

- b. Luasan bangunan : 41.580 m²
- c. Daya tampung ± 5000 orang
- d. Lokasi bangunan = Jl. Daeng Tompo No.8

5. Hotel Tower Kenari

Data konstruksinya terdiri dari :

- a. Tinggi bangunan : 24,5 m
- b. Luasan bangunan : 3748,8 m²
- c. Daya tampung : 1072 orang
- d. Lokasi : Jl. Yosef Latumahina No. 30 Makassar,

6. Hotel New Losari Beach Inn

Data konstruksinya terdiri dari :

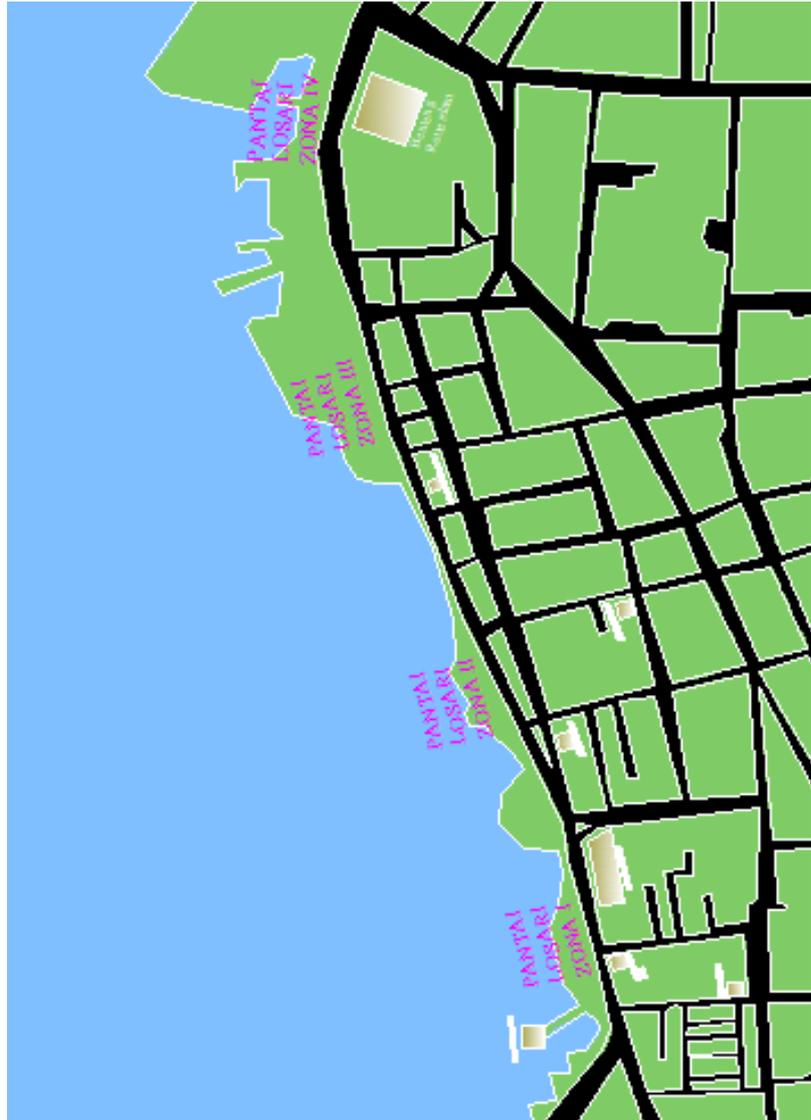
- a. Tinggi bangunan : 17,5 m
- b. Luasan bangunan : 2578,5 m²
- c. Daya tampung : 890 orang
- d. Lokasi : Jl. Pasar Ikan

7. Benteng Rotterdam

Data konstruksinya terdiri dari :

- a. Tinggi bangunan : 3,5-11,25 m
- b. Luasan bangunan : 4678,9 m²
- c. Daya tampung bangunan sejumlah 2 tingkat : 300 orang
- d. Lokasi : Jalan Ujung Pandang, Makassar

Penelitian bangunan di Pantai Losari, tersebut dapat di jangkau dengan mudah, sehingga jalur akses untuk mitigasi tsunami lebih cepat dan mempunyai ketahanan yang kuat guna mencegah jatuhnya korban jiwa. Dari data konstruksi bangunan yang mencakup tinggi dapat di rangkaian peta tempat evakuasi mitigasi tsunami di pantai Losari Makassar, dapat terlihat gambar 4.10.



Gambar 4.15 Peta bangunan yang mencakup tinggi untuk evakuasi

IV.3.2 Menentukan alur evakuasi mitigasi bencana tsunami

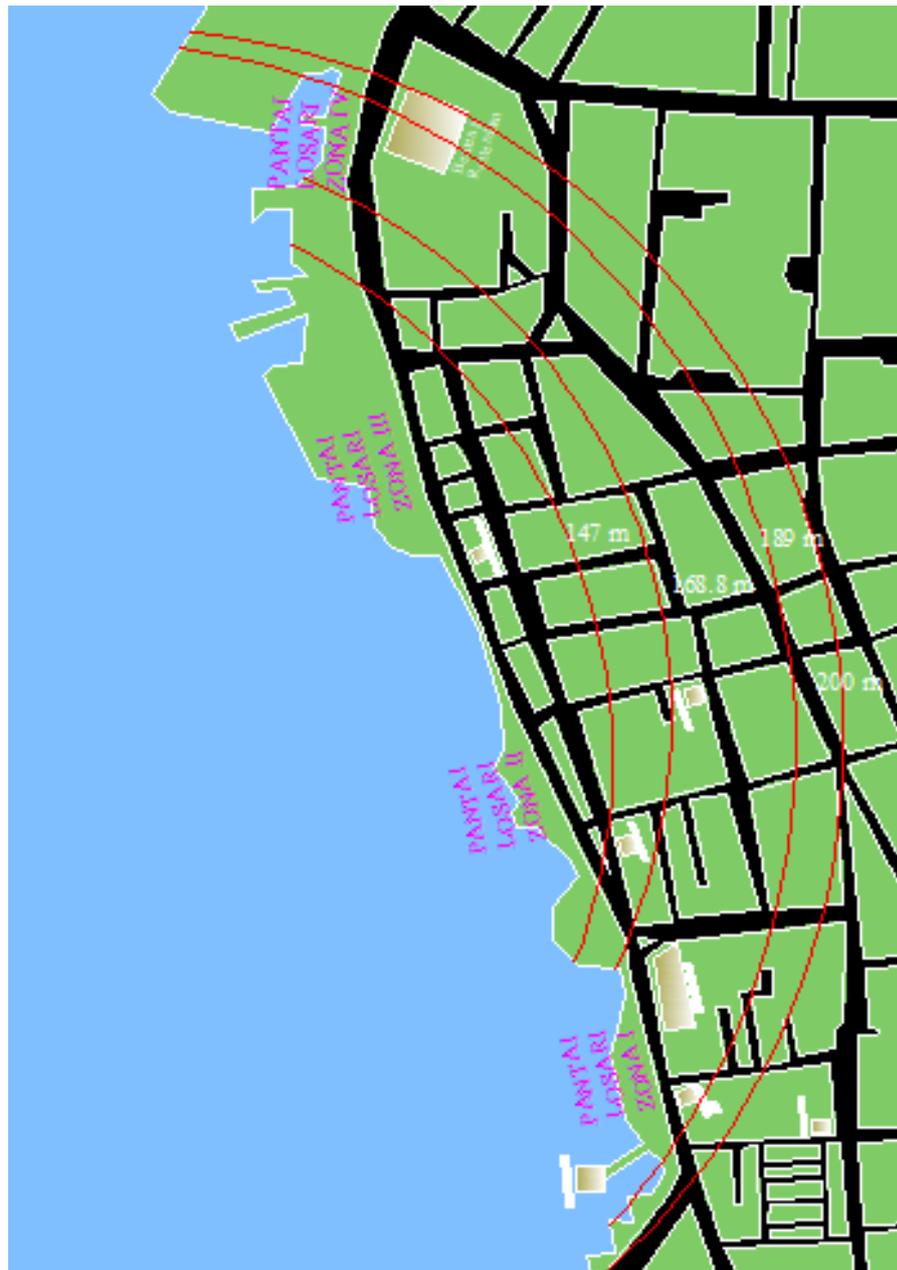
Berdasarkan hasil penelitian yang dilapangan menunjukkan bahwa pembangian empat Zona dianggap sebagai salah satu skema mitigasi yang bisa diterapkan di Pantai Losari. Sebab mengingat cukup luasnya daerah Pantai Losari pada saat gempa dan tsunami, maka dengan pembagian empat Zona, masyarakat dapat melakukan mitigasi dan evakuasi secara tepat. Hasil penelitian dapat ditentukan peta alur evakuasi untuk mitigasi tsunami di lokasi pantai Losari terdiri dari :

a) Alur evakuasi

Dapat ditentukan ke gedung-gedung yang mempunyai pemukiman yang lebih aman dan jalur akses untuk menuju ke tempat evakuasi lebih mudah dilalui.

b) Peta Alur Evakuasi Mitigasi

Peta mitigasi tsunami dirangkaikan dengan kecepatan manusia pada saat menuju ke tempat bangunan evakuasi, terlihat di bawah ini :



Gambar 4.16 Peta lokasi genangan tsunami

1. Skenario titik A (Masjid Amirul Mukminin)

1550 orang yang berada di tempat tersebut dapat berlari menuju bangunan zona aman I yaitu : bangunan Hotel Aryaduta sedangkan untuk 900 orang dapat berlari menuju ke Hotel tower kenari.

2. Skenario titik B (Anjungan Pantai Losari)

Sejumlah orang yang berada di lokasi anjungan pantai Losari dapat berlari menuju bangunan zona aman II adalah : RS. Stella Maris dengan kapasitas 900 orang, Hotel Mercure 1550 orang dan Hotel Quality 1000 orang.

3. Skenario titik C (Makassar Golden)

Sejumlah orang yang berada di lokasi tersebut dapat berlari menuju bangunan zona aman III adalah: Hotel Losari Beach Inn dengan sejumlah 500 orang.

4. Skenario titik D (Dermaga penyebrangan antar pulau)

250 orang yang berada di lokasi tersebut dapat berlari menuju bangunan zona aman IV adalah : Benteng Rotterdam.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

V.1 Kesimpulan

1. Penjalaran tsunami di Pantai Losari diperoleh dari pemodelan Sitpros yang menghasilkan tabel simulasi waktu kedatangan tsunami yang dapat menentukan basis data tsunami merupakan suatu kumpulan skenario-skenario tsunami yang berisi parameter tsunami, seperti; waktu tiba gelombang tsunami dan ketinggian run up tsunami di suatu pantai. Dari keempat skenario, diperoleh waktu kedatangan tsunami tercepat menuju Pantai Losari mencapai 7 (tujuh) menit. Skenario-skenario tersebut dibuat berdasarkan sejarah kegempaan dan tsunami yang pernah terjadi di Indonesia serta perkiraan gempa bumi yang mungkin terjadi pada suatu tempat yang akan menimbulkan tsunami.
2. Hasil perhitungan run up dengan menggunakan formula Aydan (2007) diperoleh tinggi gelombang run up tertinggi di Pantai Losari sebesar 6,314 meter. Hasil ini digunakan untuk menentukan jangkauan genangan tsunami di pantai losari yang di dapatkan dari hasil perhitungan sejauh 200 meter.
3. Waktu rata-rata kedatangan tsunami ke Pantai Losari termasuk cepat yaitu 7 menit maka untuk meminimalisir tingkat resiko kerusakan, kerugian yang besar dan jatuhnya korban jiwa akibat bencana harus dibuatkan skema mitigasi yang tepat dibawah 7 menit yaitu dengan mitigasi secara vertikal. Lokasi evakuasi ditentukan menjadi 4 (empat) zona bahaya, sehingga memudahkan para korban menuju tempat evakuasi. Diantaranya Skenario titik A (Mesjid Amirul Mukminin), Skenario titik B (Anjungan Pantai Losari), Skenario titik C (Makassar Golden), dan Skenario titik D (Dermaga penyebrangan antar pulau) yang terlihat pada gambar 4.17 sampai gambar 4.23.

V.2 Saran

Berdasarkan kesimpulan tersebut diatas maka saran dari penulis diharapkan dapat memberi manfaat adalah :

1. Berdasarkan fakta bahwa negara kita termasuk daerah rawan tsunami, penulis menyarankan agar pihak yang berwenang dalam hal ini pemerintah kota untuk lebih mensosialisasikan tentang mitigasi tsunami dan langkah-langkah pencegahannya agar masyarakat bisa lebih paham untuk melakukan tindakan-tindakan penyelamatan yang benar jika tsunami terjadi sewaktu-waktu.
2. Dapat diketahui bahwa negara kita termasuk dalam daerah rawan gempa dan tsunami. Maka penulis menyarankan agar pihak yang berwenang dalam hal ini pemerintah untuk bisa membuatkan peta mitigasi dan sistem peringatan dini (*early warning system*) serta lebih mensosialisasikan tentang bencana tsunami dan langkah-langkah penanggulangannya agar masyarakat bisa lebih paham untuk melakukan tindakan-tindakan penyelamatan yang benar jika tsunami terjadi sewaktu-waktu.
3. Kepada pihak terkait atau yang menangani pembangunan konstruksi sekiranya dapat memberikan data yang dibutuhkan penulis.

REFERENSI

- A.Y. Baeda, et al, Tsunami Mitigation Plan for Manakarra Beach of West Sulawesi Province, Indonesia, Elsevier Procedia Engineering, Vol. 116, pp.134-140, 2015.
- All hazard mitigation Master Plan for Benton, Lane and Liin county, USA
- American Institute of Professional Geologists, 1993. The Citizens' Guide to Geologic Hazards—A Guide to Understanding Geologic Hazards, Including Asbestos, Radon, Swelling Soils, Earthquakes, Volcanoes, Landslides, Subsidence, Floods, and Coastal Hazards. Arvada, CO: American Institute of Professional Geologists. (Good overview and easy-to-understand explanations)
- Awariness in Primary School*. [online]. Tersedia: http://www.gitews.org/tsunami-kit/id/E5/sumber_lainnya/Modul%20Disaster%20Awareness.
- Bambang, 1999, Teknik Pantai, Penerbit Beta Offset, Yogyakarta.
- Carrier, G.F. and Greenspan, H.P., 1958. Water waves of finite amplitude on a sloping beach. *J. Fluid Mech.*, 440: 391-399.
- German-Indonesian Cooperation for Tsunami Early System. 2008. *Disaster*
- Hendra. 2012. Mitigasi bencana tsunami di Makassar. Universitas Hasanuddin.
- Hills, J.G., Mader, C.L., 1997. Tsunami produced by the impacts of the small asteroids. *Ann. N.Y. Acad. Sci.* 822, 381–394.
- http://eprints.undip.ac.id/15684/1/Johannes_Hansen_Sarusuk.pdf, 21/9/2017, 9:40 AM
- <http://www.geophys.washington.edu/tsunami/intro.html> University of Washington Geophysics Program - many links to other tsunami sites.
- Jakarta Tsunami Information Centre (JTIC), 2007, Rangkuman Istilah Tsunami, Jakarta.
- Kanbua W., Chuai A.S., 2005. *Understanding the Simple Model of Tsunami Propagation by SiTProS Model*. Marine.tmd.go.th
- Keller, J. and Keller, H.B., 1965. Water wave run-up on a beach, Part II, Office of Naval Research, Washington D.C., DDC, No. AD0623136.

- L. Mansinha, and D. E. Smylie, "The displacement fields of inclined faults", *Bulletin of Seismological Society of America*, vol. 61, no. 5, 1971, pp. 1433–1440.
- Lamb, H., 1932. *Hydrodynamics*. 6th Edition. Cambridge University Press.
- Nurhidayani. 2015. *Mitigation Scheme for Banggae Future Tsunami*. Universitas Hasanuddin.
- O. Aydan, Seismic and Tsunami Hazard Potential in Indonesia with a special emphasis on Sumatra Island, *Journal of The School of Marine Science and Technology, Tokai University*, Vol. 6 No. 3: 19-38, 2008.
- Okada Y (1992) Internal deformation due to shear and tensile faults in a half-space. *Bulletin of the Seismological Society of America* 82: 1018–1040.
- Pignatelli C., 2009. *Evacuation of tsunami flooding using geomorphologic evidence*. *Mar.Geol.*260, 6-18.
- Rifwan, Fitra. *Studi Evaluasi Efektifitas Penggunaan Jalur Evakuasi Pada Zona Berpotensi Terkena Bencana Tsunami Di Kota Padang*. 2012. Tesis pada program Pasca Sarjana Teknik Sipil Universitas Andalas. Padang: Diterbitkan.
- Robert F. Goodwin, *Reducing Earthquake-Tsunami Hazards in Pacific Northwest Ports and Harbors*, January 3rd, 2005
- S Chenthamil Selvan and RS Kankara, *Tsunami model simulation for 26 December 2004 and its effect on Koodankulam region of Tamil Nadu Coast*, 2016, Vol. 7(2) 62–69.
- S. Diposaptono, *Life alongside of Earthquakes and Tsunamis*, Penerbit Buku Ilmiah Populer, Ch.1, pp19-20, 2007.
- Sari, Y. *Partisipasi Masyarakat dalam Mitigasi*. 2011. Universitas Sumatera Utara.
- Synolakis, C.E., 2003. *Tsunamis and seiches*. In: W.-F.S. Chen, C. (eds) (Editor), *Earthquake Engineering Handbook*. CRC Press, pp. 9-1 to 9-90.
- Tommy Ilyas, *Mitigasi gempa dan tsunami didaerah perkotaan, Fatek-Unsrat* 2006.
- Website. <http://www.globalcmt.org/CMTsearch.html>, 25/6/2017, 09:23 am. Data Gempa

Wordpress. Ranga, Bhan. 2013. Materi Ajar Mitigasi Bencana Tsunami Di Kawasan Pesisir Parangtritis. [online] Tersedia: <https://bhanranga.files.wordpress.com/2013/12/mater-mitigasi-tsunami-di-kawasan-pesisir-parangtritis.pdf>.

www.ristek.go.id/file/upload/ebook_web/images/buku_peta.pdf, 18/9/2017, 9:03 AM

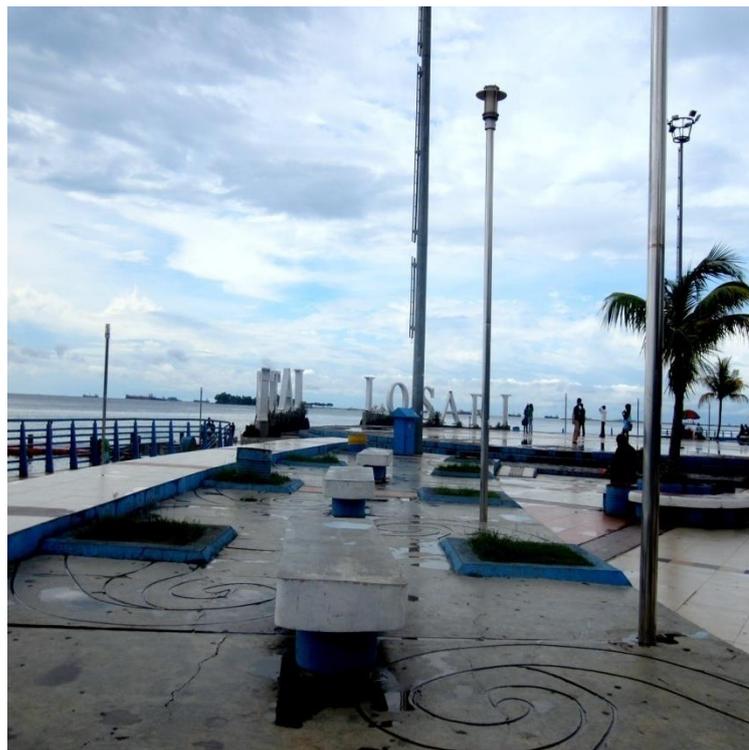
“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN

Zona bahaya tsunami terdiri dari 4 titik sebagai berikut.



Gambar, Daerah Mesjid Terapung (Titik A)



Gambar, Daerah Anjungan Pantai Losari (Titik B)



Gambar, Makassar Golden (Titik C)



Gambar, Kayu Bangkoa /dermaga antar pulau (Titik D)

Tempat evaluasi ketempat gedung yang mencakup tinggi antara lain :



Gambar, Hotel Aryaduta Makassar



Gambar, Hotel Kenari Tower




Gambar, RS. Stella Maris



Gambar, Hotel Quality



Gambar, Hotel Mercure



Gambar, Benteng Rotterdam



Gambar, Hotel New Losari Beach Inn



Penulis dilahirkan di Pangkajene, 02 Februari 1990 dan merupakan anak ke-3 dari empat bersaudara. Tamat pendidikan menengah atas tahun 2008 di SMA Negeri 1 Pangkajene, penulis melanjutkan pendidikan dan diterima pada Program Studi Strata 1 Teknik Kelautan Universitas Hasanuddin dari tahun 2008 sampai tahun 2012 dengan bidang keahlian Sedimentasi. Tamat tahap sarjana, penulis melanjutkan pendidikan ke tahap Megister pada tahun 2015 dengan mengambil bidang keahlian Teknik Manajemen Pantai di Fakultas Pascasarjana Teknik Kelautan Institut Teknologi Sepuluh Nopember dengan NRP 04111550052002 dan mengambil judul tesis “Pemodelan Mitigasi Bencana Tsunami di Pantai Losari.”. Penulis dapat dihubungi melalui email amegamustikan@yahoo.com