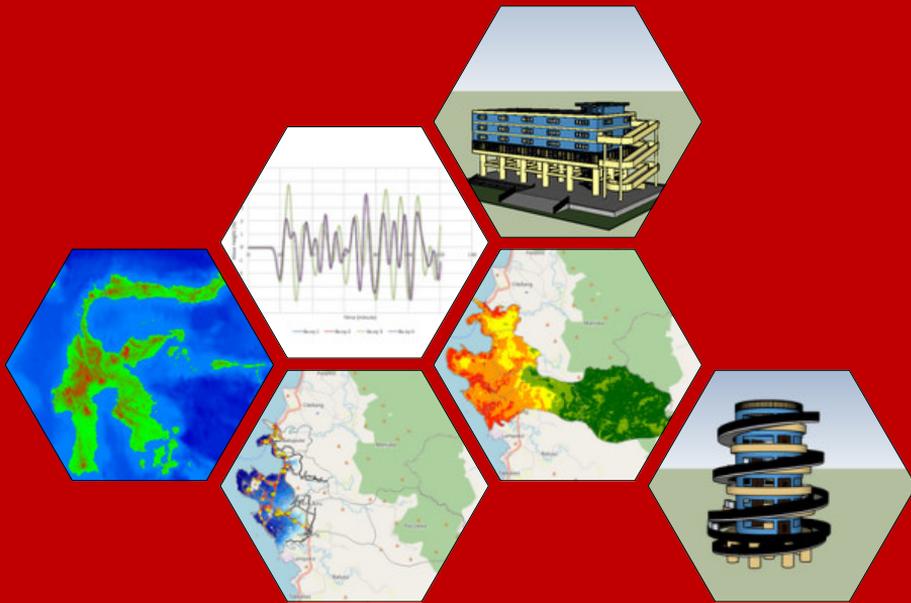




SKEMA MITIGASI TSUNAMI MENDATANG DI PELABUHAN AWERANGE KECAMATAN SOPPENG RIAJA KABUPATEN BARRU, SULAWESI SELATAN



CHOFIFAH DATU BULAWAN
D081 20 1014



PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK KELAUTAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2024

**SKEMA MITIGASI BENCANA TSUNAMI MENDATANG DI PELABUHAN
AWERANGE, KECAMATAN SOPPENG RIAJA, KABUPATEN BARRU,
SULAWESI SELATAN**

**CHOFIFAH DATU BULAWAN
D081 20 1014**



**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK KELAUTAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2024**

**SKEMA MITIGASI BENCANA TSUNAMI MENDATANG DI PELABUHAN
AWERANGE, KECAMATAN SOPPENG RIAJA, KABUPATEN BARRU,
SULAWESI SELATAN**

**CHOFIFAH DATU BULAWAN
D081201014**

Skripsi

Sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar sarjana
Program Studi sarjana Teknik Kelautan

pada



**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK KELAUTAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA**

2024

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI**SKEMA MITIGASI BENCANA TSUNAMI MENDATANG DI PELABUHAN
AWERANGE, KECAMATAN SOPPENG RIAJA, KABUPATEN BARRU,
SULAWESI SELATAN**

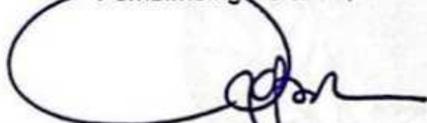
Disusun oleh

**Chofifah Datu Bulawan
D081 20 1014**

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka
Penyelesaian Studi Program Sarjana pada Program Studi Teknik Kelautan
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
Pada tanggal 13 Juni 2024.
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Pertama,



Dr. Eng. Achmad Yasir Baeda, ST., MT
NIP. 197307092000031001

Pembimbing Kedua,



Dr. Ir. Chairul Paotonan, ST., MT.
NIP 197506052002121003

Ketua Program Studi,



Dr. Ir. Chairul Paotonan, ST., MT.
NIP 19750605200212100



PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini ;

Nama : Chofifah Datu Bulawan
NIM : D081201014
Program Studi : Teknik Kelautan
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

**(SKEMA MITIGASI BENCANA TSUNAMI MENDATANG DI PELABUHAN
AWERANGE, KECAMATAN SOPPENG RIAJA, KABUPATEN BARRU,
SULAWESI SELATAN)**

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain dan bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Semua informasi yang ditulis dalam skripsi yang berasal dari penulis lain telah diberi penghargaan, yakni dengan mengutip sumber dan tahun penerbitannya. Oleh karena itu semua tulisan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis. Apabila ada pihak manapun yang merasa ada kesamaan judul dan atau hasil temuan dalam skripsi ini, maka penulis siap untuk diklarifikasi dan mempertanggungjawabkan segala resiko.

Segala data dan informasi yang diperoleh selama proses pembuatan skripsi, yang akan dipublikasi oleh Penulis di masa depan harus mendapat persetujuan dari Dosen Pembimbing.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan isi skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Gowa, 12 Juni 2024



Menyatakan,

Chofifah Datu Bulawan
D081201014

ABSTRAK

CHOFIFAH DATU BULAWAN, (*Skema Mitigasi Bencana Tsunami Mendatang di Pelabuhan Awerange, Kecamatan Soppeng Riaja, Kabupaten Barru, Sulawesi Selatan*) dibimbing oleh Achmad Yasir Baeda dan Chairul Paotonan.

Selat Makassar terletak di antara dua lempeng tektonik utama di wilayah tersebut, yaitu Lempeng Sunda di sebelah barat dan Lempeng Australia di sebelah timur. Terdapat tiga bagian *Spreading Center* di Selat Makassar yaitu di bagian selatan terdapat *Spreading Center South Makassar Strait (SC-SMS)* dan bagian utara ada *Spreading Center North Makassar Strait (SC-NMS-1 dan SC-NMS-2)*. Hal ini menyebabkan pembentukan zona perlepasan tektonik yang dapat menyebabkan terjadinya tsunami. Daerah yang berhadapan langsung dengan *Spreading Center* sangat mungkin dapat membangkitkan tsunami. Salah satu daerah yang berpotensi terjadi tsunami dan berhadapan langsung dengan *Spreading Center* di Sulawesi Selatan yaitu Pelabuhan Awerange di Kecamatan Soppeng Riaja Kabupaten Barru. Tujuan penelitian ini adalah mendapatkan skema mitigasi tsunami yang tepat berdasarkan hasil kajian dari pemodelan bencana tsunami di Kecamatan Soppeng Riaja. Dengan diberikan asumsi bahwa terjadi tsunami dengan *magnitudo* 5,5SR, 6,0SR, dan 6,5SR di 3 titik tsunami dengan 4 titik *buoy* yang dimodelkan dengan menggunakan *software* SiTPros maka diketahui tinggi *run-up* tertinggi yang akan terjadi adalah 9,85m dengan waktu tempuh ke permukaan 22 menit. Hasil dari pemodelan ini menjadi acuan dalam pembuatan mitigasi secara struktural maupun non struktural. Dalam hal ini mitigasi struktural adalah pembuatan bangunan *shelter* yang akan ditempatkan di beberapa titik dan alat peringatan dini yang selanjutnya melakukan pembuatan peta bahaya tsunami dan sosialisasi kepada masyarakat dalam melakukan evakuasi mandiri pada saat terjadi bencana tsunami.



Tsunami, Pelabuhan Awerange, *Shelter*, SiTPros, Soppeng

ABSTRACT

CHOFIFAH DATU BULAWAN, (*The scheme for mitigating future tsunami disasters at Awerange Port, Soppeng Riaja District, Barru Regency, South Sulawesi*) was supervised by Achmad Yasir Baeda and Chairul Paotonan.

The Makassar Strait is located between two major tectonic plates in the region, namely the Sunda Plate to the west and the Australian Plate to the east. There are three *Spreading Centers* in the Makassar Strait, namely the South Makassar Strait *Spreading Center* (SC-SMS) in the south and the North Makassar Strait *Spreading Centers* (SC-NMS-1 and SC-NMS-2) in the north. This results in the formation of tectonic release zones that can cause tsunamis. Areas directly facing the *Spreading Centers* are highly likely to generate tsunamis. One of the areas prone to tsunamis and directly facing the *Spreading Centers* in South Sulawesi is the Awerange Port in Soppeng Riaja District, Barru Regency. The aim of this study is to obtain an appropriate tsunami mitigation scheme based on the results of tsunami disaster modeling in Soppeng Riaja District. Assuming a tsunami with *magnitudes* of 5.5 SR, 6.0 SR, and 6.5 SR at 3 tsunami points with 4 *buoy* points modeled using SiTPros software, the highest *run-up* height is found to be 9.85 meters with a travel time to the surface of 22 minutes. The results of this modeling serve as a reference for the development of both structural and non-structural mitigation measures. In this regard, structural mitigation involves the construction of *shelter* buildings to be placed at several points and early warning devices, followed by the creation of tsunami hazard maps and public awareness campaigns for self-evacuation during tsunami disasters.

Keywords: Mitigation, Tsunami, Awerange Port, *Shelter*, SiTPros, Soppeng Riaja



DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI	iii
PERNYATAAN KEASLIAN	iv
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vi
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	ix
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL.....	xii
KATA PENGANTAR	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan masalah.....	3
1.3 Tujuan penelitian/perancangan	4
1.4 Manfaat penelitian	4
1.5 Ruang lingkup.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Teori Dasar Tsunami	5
2.2 Generasi Tsunami	6
3.2.1 Pembangkit Tsunami.....	7
3.2.2 Mekanisme Terjadinya Tsunami.....	12
2.3 Propagasi Tsunami.....	14
2.4 Formula Aydan	16
2.5 Dampak Tsunami	17
2.6 Inundasi Tsunami	18
2.7 Mitigasi Bencana Tsunami	20
2.8 SiTProS (Siam Tsunami Propagation Simulator)	22
2.9 Penelitian Terdahulu.....	22
2.10 Karakteristik Wilayah Penelitian	24
BAB III METODE PENELITIAN	26
3.1 Lokasi Penelitian	26
a.....	27
b. Tsunami.....	27
c. Setting.....	27
d. After Setting.....	28
e. Info Setting.....	29



3.4	Prosedur Penelitian	29
3.5	Diagram Alir	30
3.6	Metode Penelitian	33
	BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	34
4.1	Sumber Generasi Tsunami	34
4.1.1	Data Pembangkit Tsunami.....	34
4.1.2	Titik Pusat Gempa.....	36
4.2	Pemodelan Propagasi Tsunami	36
4.2.1	Estimasi Waktu Kedatangan Tsunami Berdasarkan <i>Earthquake Line</i>	37
4.2.2	Tinggi <i>Run-up</i> Gelombang Tsunami Berdasarkan <i>Earthquake Line</i> ..	42
	a. <i>Run Up</i> Gelombang Tsunami <i>Earthquake Line A</i>	43
	b. <i>Run Up</i> Gelombang Tsunami <i>Earthquake Line B</i>	44
	c. <i>Run Up</i> Gelombang Tsunami <i>Earthquake Line C</i>	45
4.3	Inundasi Tsunami	47
4.3.1	Tinggi Gelombang	48
4.3.2	Kelerengan Wilayah	48
4.3.3	Koefisien Kekasaran Permukaan	48
4.4	Mitigasi Tsunami.....	50
4.4.1	Mitigasi dengan Pembuatan Peta Rawan Tsunami	51
4.4.2	Mitigasi dengan Peningkatan Kapasitas Masyarakat.....	56
4.4.3	Mitigasi dengan Sistem Peringatan Dini.....	57
4.4.4	Mitigasi dengan Pembuatan Tempat Evakuasi Sementara (TES)	59
4.4.5	Standar Operasi Prosedur (SOP) Mitigasi Tsunami di Pelabuhan Awerange Kecamatan Soppeng Riaja Kabupaten Barru	68
	BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	71
5.1	Kesimpulan	71
5.2	Saran	71
	DAFTAR PUSTAKA	73



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Wilayah Indonesia terletak di Jalur Cincin Api Pasifik.....	1
Gambar 1. 2 Sistem Sesar Sulawesi	2
Gambar 2. 1 Tsunami Akibat Pergeseran Lempeng Tektonik	8
Gambar 2. 2 Skema Terjadi Tsunami Akibat Gunung Meletus	9
Gambar 2. 3 Skema Terjadinya Tsunami akibat Longsor Bawah Laut	10
Gambar 2. 4 Skema Terjadinya Tsunami akibat Tabrakan Benda Luar	11
Gambar 2. 5 <i>Run Up</i> Tsunami	14
Gambar 2. 6 Penjalaran tsunami menuju pantai, yang tinggi gelombangnya naik ketika menuju perairan yang lebih dangkal.	16
Gambar 2. 7 Impak dari Bencana Tsunami Aceh tahun 2004	18
Gambar 2. 8 Pusat Gempa Bumi dari Tahun 1976 di Pulau Sulawesi.....	24
Gambar 3. 1 Lokasi Pelabuhan Awerange, Kecamatan Soppeng Riaja Kabupaten Barru, Sulawesi Selatan	26
Gambar 3. 2 Region Setting Info.....	28
Gambar 3. 3 Parameter Setting SiTProS.....	28
Gambar 3. 4 Warning Info Setting SiTProS	29
Gambar 3. 5 Diagram Alir Penelitian.....	31
Gambar 4. 1 Titik Pusat yang dapat Memicu Gempa dan Tsunami.....	36
Gambar 4. 2 <i>Frame</i> Awal <i>Earthquake Line A</i>	37
Gambar 4. 3 <i>Frame</i> Pertengahan <i>Earthquake Line A</i>	38
Gambar 4. 4 <i>Frame</i> Akhir <i>Earthquake Line A</i>	38
Gambar 4. 5 <i>Frame</i> Awal <i>Earthquake Line B</i>	39
Gambar 4. 6 <i>Frame</i> Pertengahan <i>Earthquake Line B</i>	40
Gambar 4. 7 <i>Frame</i> Akhir <i>Earthquake Line B</i>	40
Gambar 4. 8 <i>Frame</i> Awal <i>Earthquake Line C</i>	41
Gambar 4. 9 <i>Frame</i> Pertengahan <i>Earthquake Line C</i>	41
 <i>Frame</i> Akhir <i>Earthquake Line C</i>	42
<i>Simulated Wave</i> pada <i>Earthquake Line A</i>	43
<i>Simulated Wave</i> pada <i>Earthquake Line B</i>	44
<i>Simulated Wave</i> pada <i>Earthquake Line C</i>	45
Proses Pembuatan Peta Inundasi	47

Gambar 4. 15 Kelerengan di Kecamatan Soppeng Riaja	48
Gambar 4. 16 Penggunaan Lahan di Kecamatan Soppeng Riaja	49
Gambar 4. 17 Sebaran Inundasi di Kecamatan Soppeng Riaja.....	49
Gambar 4. 18 Alur Proses Pembuatan Peta Kerentanan Tsunami.....	52
Gambar 4. 19 Peta Elevasi Kecamatan Soppeng Riaja.....	53
Gambar 4. 20 Peta Kelerengan Kecamatan Soppeng Riaja.....	53
Gambar 4. 21 Peta Penggunaan Lahan Kecamatan Soppeng Riaja	54
Gambar 4. 22 Peta Jarak dari Garis Pantai Kecamatan Soppeng Riaja.....	55
Gambar 4. 23 Peta Jarak dari Sungai Kecamatan Soppeng Riaja	55
Gambar 4. 24 Peta Kerentanan Tsunami di Kecamatan Soppeng Riaja	56
Gambar 4. 25 Sistem Pemantauan Gempa Bumi dan Tsunami di Indonesia	58
Gambar 4. 26 Tinggi Bangunan <i>Shelter</i>	62
Gambar 4. 27 Lokasi <i>Shelter</i> serta Jenisnya	65
Gambar 4. 28 Bentuk Bangunan Akibat Arus Air Tsunami Terhadap Bangunan.....	66



DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Koefisien Kekasaran Permukaan	19
Tabel 2. 2 Penelitian Terdahulu	23
Tabel 4. 1 Data Gempa yang Terjadi di Sekitar Lokasi Penelitian	35
Tabel 4. 2 Estimasi Waktu Kedatangan Tsunami di <i>Earthquake Line A</i>	38
Tabel 4. 3 Estimasi Waktu Kedatangan Tsunami di <i>Earthquake Line B</i>	40
Tabel 4. 4 Estimasi Waktu Kedatangan Tsunami di <i>Earthquake Line C</i>	42
Tabel 4. 5 <i>Run Up</i> Gelombang Tsunami di <i>Earthquake Line A</i>	44
Tabel 4. 6 <i>Run Up</i> Gelombang Tsunami di <i>Earthquake Line B</i>	45
Tabel 4. 7 <i>Run Up</i> Gelombang Tsunami di <i>Earthquake Line C</i>	46
Tabel 4. 8 Parameter Lingkungan Penentu Rawan Tsunami	51
Tabel 4. 9 Luas Desa dan Ketinggian dari Permukaan Air Laut	60
Tabel 4. 10 Jumlah Penduduk di Kecamatan Soppeng Riaja	61
Tabel 4. 11 Rekomendasi Luas Ruang per Orang dalam Fasilitas <i>Shelter</i>	64
Tabel 4. 12 Penentuan Tempat Evakuasi dan Luas kebutuhan <i>Shelter</i>	64



DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL

Lambang/Singkatan	Arti dan Keterangan	Satuan
C	Cepat rambat gelombang	m/det
D	Kedalaman air	m
G	Percepatan gravitasi	m/det ²
Hr	Tinggi <i>run-up</i> dihitung dari tinggi muka air laut rerata	m
A	0,0004 (ketentuan Aydan)	
B	2,5 (ketentuan Aydan)	
b	0,9 (ketentuan Aydan)	
Mw	Momen Magnitudo	SR
Hm	Tinggi gelombang maksimum di garis pantai	m
ΔH_r	Tinggi <i>run-up</i> gelombang tsunami	m
Hloss	Ketinggian tsunami/1 m jarak inundasi koefisien kekasaran permukaan	m
H ₀	Ketinggian gelombang tsunami di garis pantai	m
n	Besarnya lereng permukaan	°
T	Tinggi Tsunami dari Permukaan Tanah	m



KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh, Shalom, Om Swastiastu, Namu Budaya, Salam Kebajikan dan Salam Sejahtera bagi kita semua.

Puji syukur kami panjatkan ke hadirat Allah SWT, yang telah melimpahkan rahmat, hidayah, serta kesabaran kepada kami sehingga kami dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik. Shalawat dan salam senantiasa tercurahkan kepada Nabi Muhammad SAW, teladan sempurna bagi umat manusia.

Skripsi ini disusun dalam rangka pemenuhan tugas akademik guna memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Kelautan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin dengan judul penelitian:

“SKEMA MITIGASI BENCANA TSUNAMI MENDATANG DI PELABUHAN AWERANGE, KECAMATAN SOPPENG RIAJA, KABUPATEN BARRU, SULAWESI SELATAN”

Sehubungan dengan itu, penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah berperan penting dalam mendukung proses studi penulis dan penyelesaian skripsi ini. Proses penelitian dan penyusunan skripsi ini melibatkan banyak pihak yang selalu memberikan kontribusi baik secara langsung maupun tidak langsung. Di antara orang-orang tersebut, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua (Umar Paotonan dan Alfrida Kabanga’) yang selalu memberikan kasih sayang, dukungan, dan nasihat kepada penulis agar dapat menyelesaikan skripsi ini dengan hasil yang baik serta kepada para saudara yang memberikan perhatian lebih kepada penulis dalam melanjutkan pendidikan hingga saat ini.



g. Achmad Yasir Baeda, ST., MT. selaku dosen pembimbing memberikan pengetahuan, waktu, dan kesempatan kepada n menyelesaikan skripsi ini. Serta menjadi dosen penasihat ng tua yang memberikan bimbingan, dukungan, serta nasehat

kepada penulis selama berada di Departemen Teknik Kelautan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

3. Bapak Dr.Ir. Chairul Paotonan, ST., MT. selaku Ketua Departemen Teknik Kelautan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin sekaligus dosen pembimbing kedua yang telah memberikan arahan selama menjadi mahasiswa di program studi Teknik Kelautan.
4. Bapak Ashury, ST., MT. selaku Sekertaris Mahasiswa Teknik Kelautan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang selalu memberikan bimbingan dan arahan tentang dunia kuliah selama di kampus.
5. Seluruh dosen Teknik Kelautan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yakni
6. Ibu Dr. Hasdinar Umar, ST., MT, Bapak Ir. H. Juswan, ST., MT, Bapak Dr.Ing. Firman Husain, ST., MT, Bapak Prof. Daeng Parokah, ST., MT., Ph.D, Bapak Dr.Ir. Taufiqur Rachman, ST., MT, Bapak Habibi ST., MT, dan Bapak Fuad Mahfud Assidiq, ST., MT yang telah menyumbangkan pengetahuan dan berbagi pengalaman yang sangat berguna selama berada di kampus.
7. Ibu Marwah, S. Sos, dan Bapak Muammar Yus'an, S. Sos. sebagai Staff Tata Usaha Departemen Teknik Kelautan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang senantiasa membantu penulis dalam memenuhi kebutuhan administrasi untuk kebutuhan kuliah dan juga untuk administrasi kebutuhan skripsi.
8. Teman-teman **Mahasiswa Teknik Kelautan Angkatan 2020** yang selalu memberi dukungan dan semangat kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi baik dalam bentuk sharing ilmu dan pengalaman serta saling membantu dalam menyelesaikan pendidikan selama sarjana.
9. Teman-teman Laboratorium Kajian Anomali Iklim dan Bencana Laut (**Ainiyah Rahmah, Bulkis Bulkia, Ega Rahma Fahyuniar**) yang saling membantu dalam melaksanakan penelitian dan menjadikan pengalaman laboratorium menjadi sangat nyaman, damai dan tenteram.



Akbar Simanjuntak a.k.a Ifah yang juga selalu mensupport elalu menjadi pemberi saran serta menjadi pendengar yang baik. **d** yang selalu memberikan pengalaman berharga bagi penulis adi mahasiswa.

Serta kepada pihak-pihak yang telah membantu dan mendukung penulis yang tidak sempat ditulis satu per satu. Penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya. Penulis sadar bahwa skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan, dan kami menerima semua kritik dan saran dengan tangan terbuka. Semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat dan kontribusi yang bermanfaat bagi ilmu pengetahuan dan masyarakat.

Akhir kata, semoga skripsi ini dapat menjadi batu loncatan untuk mengembangkan pengetahuan di bidang Kebencanaan Pantai dan Lingkungan Laut. Penulis berharap skripsi ini dapat menginspirasi penelitian lebih lanjut dan membuka pintu untuk pemahaman yang lebih mendalam tentang topik ini.

Wasaalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh, Shalom, Om Swastiastu, Namu Budaya, Salah Kebajikan dan Salah Sejahtera bagi kita semua.

Makassar, 12 Juni 2024

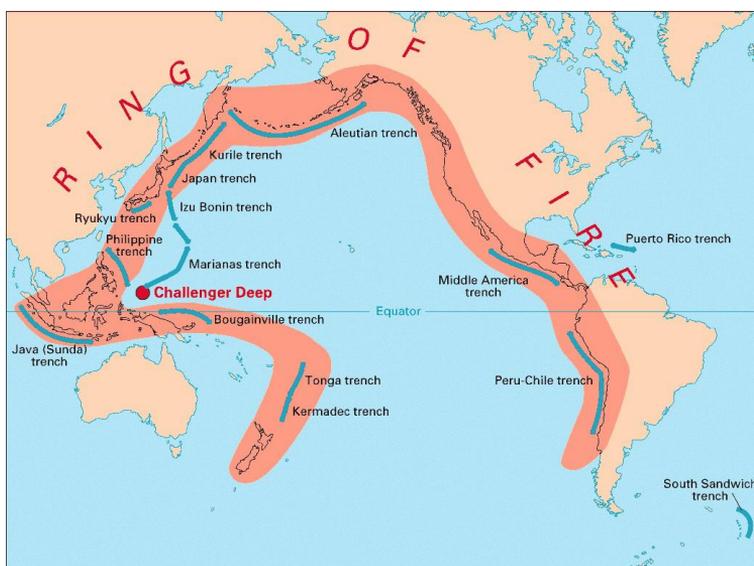
Penulis



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Terletak di sepanjang jalur Cincin Api Pasifik, Indonesia menjadi negara yang memiliki risiko tinggi terhadap gempa bumi dan tsunami. Indonesia berada di pertemuan tiga lempeng tektonik utama, yaitu lempeng Indo-Australia, lempeng Pasifik, dan lempeng Eurasia. Interaksi antara lempeng-lempeng ini, seperti tabrakan atau pergeseran, dapat memicu aktivitas seismik yang kuat, termasuk gempa bumi dan letusan gunung berapi. Kondisi ini sering kali juga menyebabkan tsunami, terutama karena Indonesia memiliki garis pantai yang sangat panjang yang mengelilingi ribuan pulau di Samudra Hindia dan Samudra Pasifik. Akibatnya, gempa bumi bawah laut dapat menyebabkan pergeseran lempeng tektonik yang mengubah kolom air laut secara signifikan, sehingga memicu terbentuknya gelombang tsunami.



Gambar 1. 1 Wilayah Indonesia terletak di Jalur Cincin Api Pasifik
er: (<https://pubs.usgs.gov/gip/dynamic/fire.html>)



da dekade terakhir, Indonesia telah menghadapi serangkaian
ig menyebabkan kerugian yang signifikan. Salah satu peristiwa
dahsyat di Indonesia adalah Tsunami Aceh pada tahun 2004.
ga tsunami yang belum lama terjadi di Palu dan Selat Sunda

pada tahun 2018 yang mengakibatkan kerugian yang besar. Oleh karena peristiwa tsunami yang terjadi di Palu, penelitian khusus mengenai gempa dan tsunami di Pulau Sulawesi menjadi sangat penting.

Selat Makassar terletak di antara dua lempeng tektonik utama, yaitu Lempeng Sunda di sebelah barat dan Lempeng Australia di sebelah timur. Pergerakan relatif antara kedua lempeng ini menyebabkan terbentuknya zona pelepasan atau *Spreading Center* di Selat Makassar. Ketika kedua lempeng tektonik tersebut bergerak menjauh satu sama lain, terbentuklah celah atau zona divergensi lempeng di dasar laut Selat Makassar yang disebut *Spreading Center*. Terdapat tiga bagian *Spreading Center* di Selat Makassar, yaitu di bagian selatan terdapat *Spreading Center South Makassar Strait (SC-SMS)*, dan di bagian utara ada *Spreading Center North Makassar Strait* yang terdiri dari SC-NMS-1 dan SC-NMS-2. Kondisi ini menyebabkan terbentuknya zona pelepasan tektonik yang dapat memicu terjadinya tsunami.



Gambar 1. 2 Sistem Sesar Sulawesi
(Sumber: Baeda,2009)



erhadapan langsung dengan *Spreading Center* sangat mungkin n tsunami. Salah satu daerah yang berpotensi terjadi tsunami langsung dengan *Spreading Center* di Sulawesi Selatan yaitu

Kabupaten Barru. Secara geografis, wilayah tersebut berada di antara koordinat lintang selatan $4^{\circ}0.5'35''$ - $4^{\circ}47'35''$ dan bujur timur $119^{\circ}35'00''$ - $119^{\circ}49'16''$, dengan luas wilayah mencapai $1.174,72\text{km}^2$ dan terletak sekitar 102km di bagian utara Kota Makassar, Sulawesi Selatan. Kabupaten Barru adalah salah satu kabupaten di Sulawesi Selatan yang mempunyai jumlah penduduk yang cukup banyak yaitu sebanyak 278.758 jiwa (BPS, 2023).

Potensi kelautan dan perikanan di Kabupaten Barru sangat besar dengan memiliki garis pantai sepanjang 78km yang membentang di wilayah bagian barat dan menghadap ke Selat Makassar (Bappeda Kabupaten Barru, 2022). Terdapat banyak fasilitas penting yang berada di tepi laut, contohnya Pelabuhan Awerangnge. Pelabuhan Awerangnge menjadi fasilitas penting di Kabupaten Barru karena perannya dalam mendukung transportasi, perdagangan, pariwisata, dan pemberdayaan ekonomi masyarakat setempat dan memiliki dampak signifikan dalam menghubungkan Barru dengan wilayah lainnya serta memfasilitasi pertumbuhan ekonomi dan pembangunan di daerah tersebut maka dilakukanlah penelitian tentang prediksi kemungkinan terjadinya tsunami di Pesisir yang kabupaten Barru kemudian akan dituangkan dalam bentuk penulisan penugasan tugas akhir atau skripsi dengan judul Kajian **"Skema Mitigasi Tsunami Mendatang di Pelabuhan Awerangnge, Kecamatan Soppeng Riaja, Kabupaten Barru, Sulawesi Selatan"**.

1.2 Rumusan masalah

Dari latar belakang yang telah dijelaskan sebelumnya, kabupaten Barru khususnya di daerah Pelabuhan Awerange kecamatan Soppeng Riaja memiliki posisi geografis dan geologis yang rawan terhadap ancaman bencana gempa bumi dan tsunami. Gejala ini dapat diamati dalam penelitian, sehingga menimbulkan permasalahan yaitu:

- a. Bagaimana penjalaran tsunami di Pelabuhan Awerange Kecamatan Soppeng Riaja?



up tsunami di Pelabuhan Awerange Kecamatan Soppeng
gasi yang tepat pada saat terjadi tsunami di Pelabuhan
natan Soppeng Riaja?

1.3 Tujuan penelitian/perancangan

Penelitian ini bertujuan untuk:

- a. Memberikan gambaran tentang mekanisme pembangkitan, penjalaran serta run up tsunami di daerah Pelabuhan Awerange kecamatan Soppeng Riaja.
- b. Mendapatkan gambaran run up tsunami di daerah Pelabuhan Awerange kecamatan Soppeng Riaja .
- c. Membuat skema mitigasi yang tepat di daerah Pelabuhan Awerange kecamatan Soppeng Riaja terhadap tsunami.

1.4 Manfaat penelitian

Adapun manfaat yang diharapkan dapat diperoleh dari hasil penelitian ini sebagai berikut:

1. Memberikan skema mitigasi yang tepat pada saat terjadinya Bencana Tsunami di Pelabuhan Awerange kecamatan Soppeng Riaja.
2. Memberikan informasi bagi pihak yang berkepentingan mengenai seberapa banyak periode waktu dan bagaimana jalur yang dibutuhkan untuk evakuasi penduduk sebelum tsunami menerjang daerah tempat tinggal mereka dan bagaimana *shelter* yang tepat untuk tempat pengungsian guna mengurangi korban jiwa.
3. Sebagai referensi dan landasan berpikir untuk penelitian lanjutan yang relevan.

1.5 Ruang lingkup

Untuk menjaga agar penelitian tidak terlalu meluas dan tetap dapat dilaksanakan dengan sumber daya yang ada, penelitian ini akan difokuskan pada beberapa aspek tertentu, yaitu sebagai berikut.

1. Batasan wilayah tinjauan hanya pada lokasi Pelabuhan Awerange yaitu kecamatan Soppeng Riaja Kabupaten Barru.



Ikibat pasang surut tidak dikaji dalam analisis propagasi ini.

Struktur *shelter* tidak dihitung pada penelitian ini hanya model dan dimensi dan pembuatan tangga untuk jalur evakuasi

Desain hanya menentukan lokasi penempatannya.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Teori Dasar Tsunami

Asal usul kata "tsunami" pada dasarnya berasal dari bahasa Jepang yang terdiri dari dua karakter kanji, yaitu *tsu* (津) yang berarti pelabuhan dan *nami* (波) yang berarti gelombang. Secara harfiah, tsunami dapat diterjemahkan sebagai gelombang pelabuhan atau gelombang yang mencapai daratan. Istilah ini pertama kali digunakan oleh para nelayan Jepang pada saat sedang di tengah laut, saat panjang gelombang tsunami sangat besar para nelayan tidak merasakannya. Namun, ketika kembali ke pelabuhan, mereka menyadari bahwa daerah sekitar pelabuhan mengalami kerusakan parah. Oleh karena itu, para nelayan menyimpulkan bahwa gelombang tsunami hanya terjadi di daerah sekitar pelabuhan dan tidak di laut dalam.

Tsunami adalah perubahan yang terjadi secara tiba-tiba pada permukaan laut yang mengakibatkan pergeseran volume air secara vertikal. Beberapa faktor yang dapat menyebabkan perubahan ini mencakup letusan gunung berapi di bawah laut, gempa bumi dengan episentrum di bawah laut, dan longsor di dasar laut (Sundar et al., 2020). Tsunami memiliki kemampuan untuk merambat ke segala arah dengan kecepatan yang konstan, sementara tingginya tetap stabil ketika berada di laut dalam. Di perairan dalam, tsunami dapat bergerak dengan kecepatan antara 500-1000km/jam, meskipun tingginya hanya sekitar 1m. (Sankoy et al., 2017). Namun, saat mendekati pantai, tsunami melambat menjadi sekitar 30 km/jam, dan tingginya dapat meningkat menjadi puluhan meter. Tsunami dapat merambat hingga puluhan kilometer dari tepi pantai.

Kecepatan tsunami lebih besar di laut dalam dibandingkan di laut dangkal, karena di laut dangkal kecepatan gelombang banyak dinetralisir oleh dasar laut yang semakin dangkal sedangkan di laut dalam gelombang bergerak tanpa hambatan.



salah satu penyebab terjadinya gempa berjenis tektonik. Energi pada patahan berubah menjadi energi gelombang. (Fauzi et al., dapat digambarkan sebagai serangkaian gelombang yang pergeseran volume besar air di laut. Gelombang permukaan di laut normal, hanya akan merasakan dasar laut ketika panjang

gelombangnya mencapai 50% dari kedalaman air. Dalam kondisi ini, kecepatan perjalanan gelombang tidak akan bergantung pada kedalaman air dan hanya akan bergantung pada periode gelombang. Perbedaan utama antara gelombang laut dan tsunami terletak pada besar panjang atau periode. Ketika gelombang tsunami merambat ke pantai, panjang dan kecepatannya akan berkurang (Sundar et al., 2020).

Gelombang tsunami disebabkan oleh adanya gempa bumi, letusan gunung berapi, atau tanah longsor bawah laut, dengan ketinggian dapat mencapai 50 kaki atau lebih, sehingga dapat menghancurkan pemukiman di daerah pesisir. Dalam sejarah, tsunami di seluruh dunia telah menyebabkan kematian ratusan ribu orang. Sejak tahun 1946, beberapa tsunami telah merenggut nyawa hampir 500.000 jiwa dan merusak properti senilai ratusan juta dolar di Alaska, Hawaii, dan sepanjang Pantai Barat Amerika Serikat. Meskipun tsunami adalah peristiwa langka, namun dampaknya dapat sangat menghancurkan (Baeda & Namiruddin, 2019).

Secara umum, tsunami timbul akibat gempa bumi yang terjadi di dasar laut, baik itu jenis patahan normal gravitasi maupun *reverse*, memiliki magnitudo setara atau lebih dari 7.0SR, dan fokus gempa berlokasi dangkal, berkisar dari 0 - 80km di bawah permukaan laut (Suyitno Raharjo et al., 2013). Terjadinya tsunami tidak selalu disebabkan oleh setiap gempa bumi, karena hal ini bergantung pada sejumlah faktor utama seperti jenis sesaran, sudut kemiringan antara lempeng, dan kedalaman pusat gempa. Berikut adalah karakteristik khusus dari gempa yang berpotensi menyebabkan tsunami yang sangat berbahaya dan mematikan (Sutowijoyo, 2005):

1. Jenis sesaran naik: Tipe sesaran ini efektif dalam mengangkat volume air di atas lempeng, yang dapat memicu terjadinya tsunami.
2. Sudut kemiringan yang hampir tegak antara lempeng yang bertemu: Semakin besar sudut kemiringannya, yaitu mendekati 90° , maka semakin memungkinkan terbentuknya gelombang tsunami.
3. Hiposenter yang dangkal (<80km).



tsunami

Tsunami adalah istilah yang digunakan untuk menggambarkan fase proses penciptaan dan perjalanan gelombang tsunami. Proses ini dimulai dari peristiwa alam yang menyebabkan terjadinya tsunami.

3.2.1 Pembangkit Tsunami

Pembangkit tsunami adalah sebuah peristiwa atau fenomena alam yang dapat memicu terjadinya tsunami. Tsunami dapat disebabkan berbagai gangguan yang berskala besar dilaut, seperti gempa bumi, pergeseran lempeng tektonik, letusan gunung berapi di bawah laut, atau tumbukan benda dari angkasa. Namun, sekitar 90% tsunami terjadi karena adanya peristiwa gempa bumi bawah laut (Fraser et al., 2013). Sejauh ini, beberapa tsunami juga disebabkan oleh letusan gunung berapi, seperti yang terjadi saat gunung Krakatau meletus. Tsunami dapat terjadi ketika adanya pergerakan tiba-tiba dasar laut dan mengalami perubahan vertikal.

Perubahan vertikal pada lapisan kerak bumi dapat menyebabkan perubahan mendadak pada dasar laut, mengganggu keseimbangan air di atasnya. Hal ini menghasilkan pergerakan energi yang ada pada air laut, yang saat mencapai pantai dapat berubah menjadi gelombang besar dan tinggi yang memicu terjadi tsunami. Gerakan vertikal inilah yang dapat terjadi di wilayah patahan bumi atau sesar. Gempa bumi juga seringkali terjadi di daerah subduksi, di mana lempeng samudera tenggelam dibawah lempeng benua.

Secara spesifik, tsunami dapat terjadi ketika dorongan yang terkait dengan pergerakan lempeng konvergen atau pelat yang rusak di batasnya terjadi secara tiba-tiba, mengakibatkan perpindahan air akibat komponen pergerakan vertikal. Gerakan pada kesalahan normal (ekstensional) juga dapat menghasilkan perpindahan dari dasar laut, tetapi hanya dalam kasus peristiwa yang paling besar (biasanya terkait dengan flexure di parit luar) yang mampu menyebabkan perpindahan yang cukup besar untuk menghasilkan tsunami yang signifikan (Baeda, 2016). Berikut adalah tinjauan pustaka terkait pembangkit tsunami beserta sumber-sumbernya:

1. Tsunami akibat Gempa Bumi

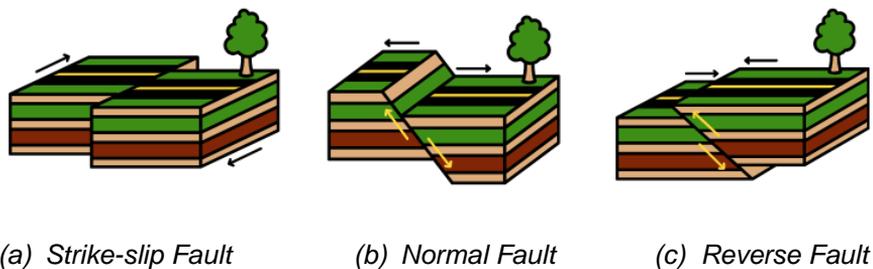
Salah satu penyebab utama tsunami adalah gempa bumi di dasar laut. Ketika lempeng tektonik bergeser, terjadi perubahan besar pada dasar laut yang dapat menghasilkan gelombang tsunami. Penelitian tentang hubungan antara tsunami telah banyak dilakukan untuk memahami bagaimana a dapat menghasilkan gelombang laut yang besar. Dengan an aktif dan berbagai mikro lempeng yang membatasi wilayah sia, kondisi tersebut meningkatkan potensi bencana geologi,



terutama gempa bumi dan tsunami, yang menjadi ancaman serius bagi wilayah di Indonesia (Irsyam et al., 2020).

Wilayah kepulauan Indonesia adalah salah satu wilayah dengan aktivitas gempa bumi yang tinggi di dunia. Selain itu, konfigurasi geografi Indonesia dengan sejumlah pulau yang berada di tengah laut juga membuatnya rentan terhadap potensi tsunami. Karena gempa bumi yang dapat menghasilkan tsunami terbesar terjadi di zona subduksi, terutama jika memiliki karakteristik tertentu seperti patahan naik, dapat mengakibatkan pergeseran tiba-tiba pada dasar laut dan menghasilkan gelombang tsunami yang sangat merusak ketika mencapai pantai (Løvholt et al., 2015).

Gempa bumi umumnya terjadi pada tiga jenis sesar: normal, *strike-slip*, dan *reverse thrust*.



Gambar 2. 1 Tsunami Akibat Pergeseran Lempeng Tektonik

(Sumber: Mutaqin et al., 2019)

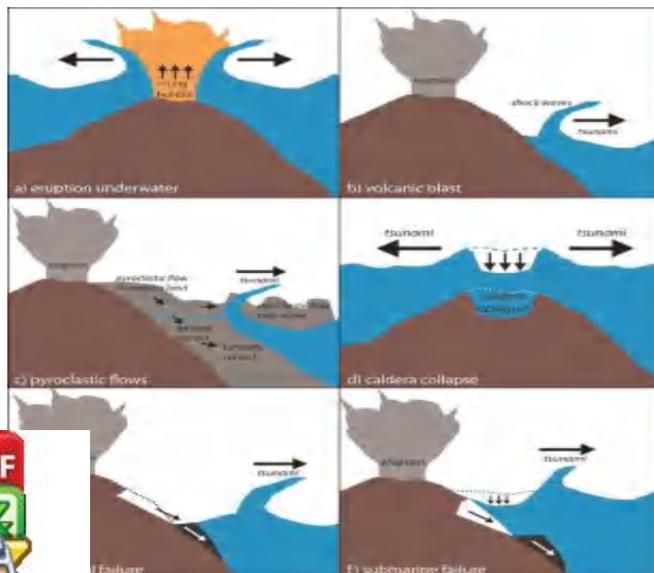
2. Tsunami akibat Letusan Gunung

Letusan gunung berapi di bawah laut juga dapat memicu tsunami. Ketika material letusan jatuh ke laut, itu dapat menciptakan perubahan besar pada permukaan laut yang menghasilkan gelombang tsunami. Contoh terkenal adalah letusan Gunung Krakatau pada tahun 1883 (Paris et al., 2020). Tsunami akibat letusan gunung api, yang juga dikenal sebagai tsunami vulkanik, terjadi ketika



di menghasilkan perubahan dramatis di bawah atau di sekitar . Proses ini dapat menyebabkan pergerakan besar dari air laut tsunami yang merusak. Berikut adalah penjelasan singkat a tsunami ini terjadi menurut (Syamsidik et al., 2020)

- 1) Letusan Gunung Api: Saat gunung api meletus, ada beberapa kemungkinan proses yang dapat menyebabkan tsunami. Salah satunya adalah ketika letusan menghasilkan perubahan besar pada topografi dasar laut. Ini bisa terjadi jika bagian gunung api runtuh ke dalam laut atau jika letusan menciptakan ledakan yang mengguncang air.
- 2) Perubahan Topografi Bawah Laut: Letusan gunung api dapat menghasilkan pergeseran besar dalam batuan, lava, dan material vulkanik yang masuk ke dalam laut. Ini bisa menciptakan gelembung dan aliran piroklastik yang cepat di bawah air, sehingga mengakibatkan perubahan topografi bawah laut.
- 3) Penciptaan Gelombang Tsunami: Pergeseran material vulkanik ini dapat menciptakan gelombang tsunami. Tsunami vulkanik seringkali lebih kecil dalam amplitudo (tinggi gelombang) dibandingkan dengan tsunami tektonik, tetapi tetap dapat sangat merusak karena muncul secara mendadak dan tidak terduga.
- 4) Dampak di Pantai: Ketika gelombang tsunami vulkanik mencapai pantai, maka dapat merusak secara signifikan. Meskipun tinggi gelombang mungkin tidak setinggi tsunami tektonik, namun dapat membawa material vulkanik dan air laut yang dapat merusak pemukiman, bangunan, dan lahan pertanian di pantai.



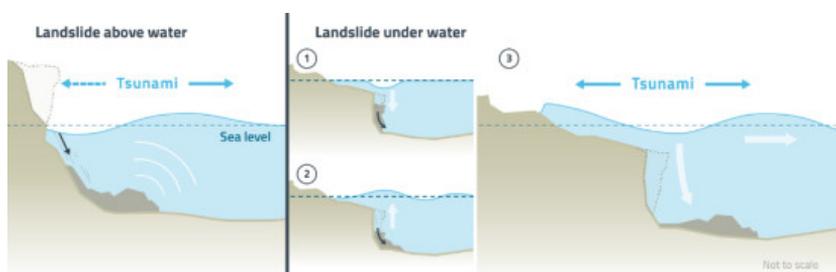
2 Skema Terjadi Tsunami Akibat Gunung Meletus

(Sumber: Mutaqin et al., 2019)

3. Tsunami akibat Longsor Bawah Laut

Di dasar laut, terdapat struktur yang menyerupai fitur-fitur daratan seperti bukit, lembah, dan cekungan, yang memiliki potensi untuk mengalami longsor secara tiba-tiba. Tsunami yang dipicu oleh longsor di bawah laut dikenal sebagai *Tsunami Submarine Landslide*. Biasanya, longsor bawah laut ini dipicu oleh faktor seperti gempa bumi tektonik atau letusan gunung bawah laut. Gempa bumi yang kuat atau aktivitas vulkanik di dasar laut dapat memicu pergeseran massa material yang kemudian dapat menyebabkan tsunami. Selain itu, tabrakan lempeng tektonik di dasar laut juga merupakan faktor yang dapat memicu terjadinya longsor bawah laut.

Akumulasi material di lereng bawah laut, seperti sedimentasi berlebihan atau penumpukan material baru, dapat menyebabkan peningkatan tekanan di lereng. Ketika tekanan ini mencapai batas tertentu maka longsor dapat terjadi. Longsor bawah laut dapat terjadi dalam dua bentuk pergeseran utama, yaitu vertikal (terutama turun) atau horizontal (meluncur ke samping). Pergeseran massa material ini menghasilkan pelepasan energi potensial yang besar. Ketika longsor bawah laut terjadi di skala yang signifikan, itu bisa menjadi penyebab tsunami.



Gambar 2. 3 Skema Terjadinya Tsunami akibat Longsor Bawah Laut

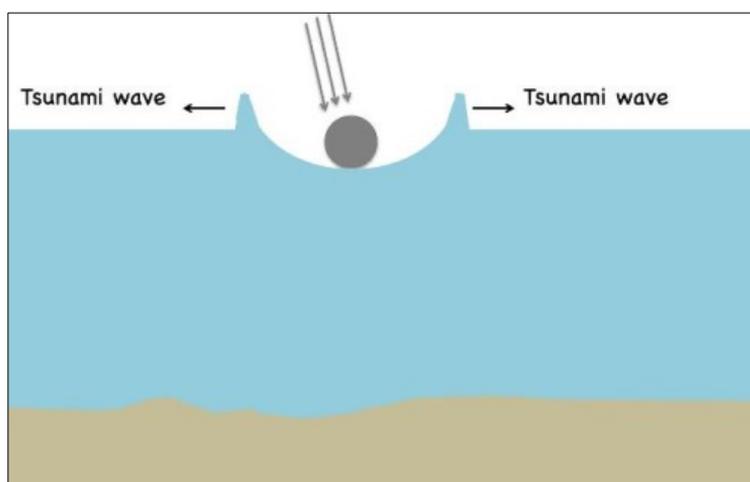
(Sumber: <https://experience.arcgis.com/>, 2021)

4. Tsunami akibat Tabrakan Benda Luar Angkasa

Tsunami yang disebabkan oleh tabrakan benda langit adalah fenomena yang pi dapat memiliki dampak yang sangat serius. Tabrakan benda roid atau komet dengan bumi dapat menciptakan gelombang ar jika mengenai laut dengan kecepatan dan energi yang cukup toh-contoh tabrakan benda langit yang dapat menyebabkan



- 1) Tabrakan Asteroid: Jika asteroid yang cukup besar memasuki atmosfer bumi dan tidak sepenuhnya terbakar saat masuk, bisa terjadi tabrakan dengan permukaan laut atau lautan. Dampak tabrakan asteroid dapat menciptakan gelombang tsunami yang sangat besar, tergantung pada ukuran, kecepatan, dan sudut masuk asteroid.
- 2) Tabrakan Komet: Komet adalah benda langit lain yang dapat menimbulkan tsunami jika memasuki atmosfer Bumi dengan kecepatan dan energi yang cukup besar. Komet terdiri dari es dan debu yang dapat meleleh saat memasuki atmosfer, dan tabrakan dengan permukaan air dapat menciptakan gelombang tsunami.
- 3) Tabrakan Meteor: Meteor adalah pecahan dari asteroid atau komet yang dapat mencapai permukaan Bumi. Jika meteorit menciptakan kawah besar atau jatuh ke dalam laut atau lautan dengan energi yang cukup besar, ini dapat menyebabkan tsunami (Grezio et al., 2017).



Gambar 2. 4 Skema Terjadinya Tsunami akibat Tabrakan Benda Luar
Angkasa

(Sumber: Grezio et al., 2017)



3.2.2 Mekanisme Terjadinya Tsunami

Tsunami adalah gelombang besar yang diakibatkan oleh peristiwa seperti gempa bumi yang terjadi di dasar laut, letusan gunung berapi bawah laut, longsor bawah laut, maupun benturan besar antara lempeng tektonik. Triatmadja (2010) menyebutkan mekanisme terjadinya tsunami akibat gempa bumi dapat diuraikan dalam empat tahap utama yaitu kondisi awal, pemisahan gelombang, amplifikasi, dan rayapan.

1) Kondisi Awal

Tahap awal terjadi saat gempa bumi yang terjadi di dasar laut atau peristiwa lain yang mengganggu dasar laut, seperti letusan gunung api di dasar laut, terjadi. Gempa bumi yang memiliki kekuatan yang signifikan atau letusan tersebut menyebabkan perubahan mendadak pada dasar laut, seperti pergeseran lempeng tektonik, yang mengakibatkan perubahan vertikal pada permukaan laut. Ini adalah tahap pemicu atau kondisi awal dari pembentukan tsunami.

Gempa bumi pada umumnya terkait dengan getaran permukaan yang timbul ketika gelombang elastis merambat melalui batuan dasar kemudian mencapai permukaan tanah. Dasar laut dapat mengalami perubahan di wilayah yang berdekatan dengan pusat gempa bumi di laut. Beberapa bagian dari dasar laut bisa mengalami kenaikan permanen atau *uplift*, sementara yang lainnya bisa mengalami penurunan atau *down-dropped*. Akibatnya, ini menciptakan pergerakan vertikal pada kolom air di atasnya. Energi potensial yang dihasilkan oleh perubahan ini kemudian berubah menjadi gelombang tsunami atau energi kinetik di atas permukaan air laut yang lebih tinggi dari rata-rata. Gelombang ini kemudian merambat secara horizontal (Triatmadja, 2010).

2) Pemisahan Gelombang

Pemisahan Gelombang dalam konteks terjadinya tsunami adalah proses di mana gelombang yang dihasilkan oleh gempa bumi bawah laut memisahkan menjadi



yang bergerak ke arah yang berbeda dengan karakteristik a. Setelah gempa bumi bawah laut terjadi dan menghasilkan dasar laut, gangguan ini menyebabkan perpindahan massa air menciptakan serangkaian gelombang yang menyebar dari pusat pemisahan gelombang ini mencakup dua jalur utama:

- a. Gelombang Laut Dalam, gelombang ini bergerak menjauhi pusat gempa menuju laut dalam. Pada laut dalam gelombang tsunami memiliki panjang gelombang yang sangat panjang dan kecepatan yang sangat tinggi hingga 800km/jam. Namun, amplitudo atau tinggi gelombangnya relatif kecil, seringkali hanya beberapa meter atau kurang. Gelombang ini sulit dideteksi oleh pengamat di permukaan laut karena tingginya yang rendah, tetapi dapat dipantau menggunakan *buoy* laut dalam dan sistem satelit.
- b. Gelombang Menuju Pantai, gelombang ini bergerak menjauhi pusat gempa menuju pantai. Saat gelombang mendekati wilayah perairan dangkal di dekat pantai, kecepatannya berkurang karena gesekan dengan dasar laut, tetapi tinggi gelombangnya meningkat secara signifikan melalui proses yang disebut "shoaling". Hal ini terjadi karena energi gelombang terfokus pada area yang lebih sempit dan volume air yang sama harus melewati ruang yang lebih kecil. Gelombang ini menjadi lebih tinggi dan lebih destruktif saat mencapai daratan, menyebabkan genangan dan kerusakan luas di wilayah pesisir.

3) Amplifikasi

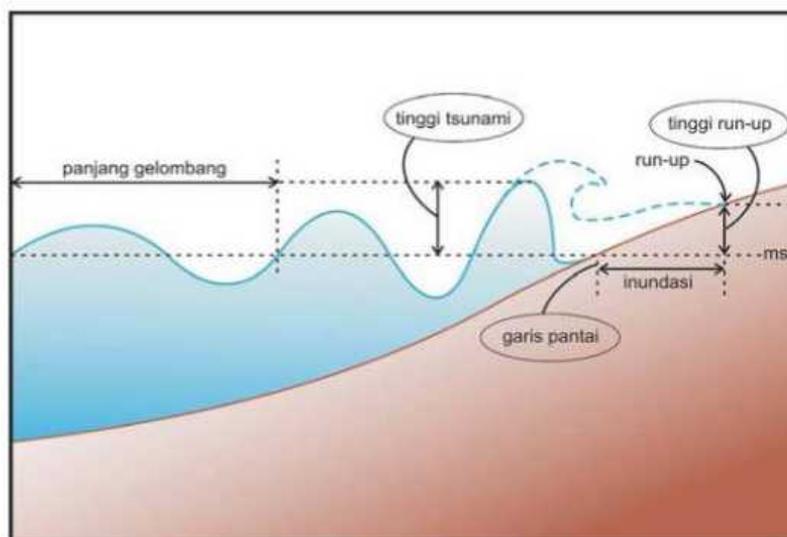
Saat gelombang tsunami mendekati pesisir, kedalaman air berkurang karena dasar laut yang dangkal. Akibatnya, gelombang ini mengalami gesekan dengan dasar laut, yang mampu meningkatkan ketinggian gelombang. Di samping itu, di beberapa teluk atau lembah pesisir tertentu, efek resonansi juga bisa memperbesar gelombang tsunami. Ketika tsunami lokal melewati lereng kontinental, terjadi peningkatan amplitudo gelombang dan penurunan panjang gelombang ketika mendekati daratan. Ini disebabkan oleh kemiringan lereng daratan pesisir yang cenderung lebih curam yang dikenal sebagai rayapan gelombang tsunami. Inilah tahap amplifikasi, di mana gelombang tsunami dapat mencapai ketinggian yang sangat tinggi dan bersifat destruktif (Triatmadja, 2010).

4) Rayapan



Rayapan adalah ketika gelombang tsunami mencapai pantai. Saat ini terus meningkat karena dasar laut yang mendorong air laut menyebabkan air laut menginvasi daratan dengan kekuatan besar yang ada di jalurnya. Proses ini dikenal sebagai rayapan

Berbagai pengamatan kejadian tsunami yang telah diteliti, dapat disimpulkan bahwa tsunami berbeda dengan gelombang setempat yang disebabkan angin yang sering dimanfaatkan oleh para peselancar untuk berselancar di pantai. Tsunami tidak menghasilkan gelombang lokal yang berputar di sekitar titik tertentu. Sebaliknya, tsunami datang dalam bentuk gelombang dengan energi yang sangat besar dan kecepatan tinggi saat mencapai daratan pesisir. Penting untuk diingat bahwa gelombang pertama dari tsunami, yang disebut sebagai *run-up* tidak selalu merupakan gelombang yang tertinggi karena tinggi dan tingkat kerusakan yang disebabkan oleh tsunami dapat juga sangat dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti kedalaman air, geometri pantai, dan kekuatan gempa yang menjadi pemicu tsunami tersebut (Baeda & Namiruddin, 2019).



Gambar 2. 5 *Run Up* Tsunami
(Sumber: Puspito,2010)

2.3 Propagasi Tsunami

Propagasi tsunami adalah proses perambatan gelombang tsunami dari area samudera dan pantai dengan arah propagasi energi ak lurus terhadap arah zona patahan gempa bumi. Tsunami terbesar yang disebabkan oleh gangguan geologis atau geofisika gempa bumi, letusan gunung berapi, longsor laut, atau peristiwa sumber energi tersebut terjadi di bawah atau dekat permukaan



laut, gelombang tsunami pertama kali dibentuk dan kemudian merambat ke luar dalam semua arah dari titik sumbernya. Semakin dalam air, semakin cepat gelombang bergerak. Di lautan dalam, tsunami bisa bergerak secepat pesawat jet, lebih dari 500mph atau 800km/jam, dan dapat melintasi seluruh samudera dalam waktu kurang dari sehari.

Jarak antara puncak gelombang disebut panjang gelombang. Oleh karena panjang gelombang tsunami yang panjang bisa mencapai ratusan mil, tsunami hampir tidak terlihat di lautan dalam dan tingginya jarang lebih dari 1 meter. Para pelaut di laut biasanya tidak akan memperhatikan tsunami saat melintas di bawah perahu mereka. Ketika tsunami memasuki perairan dangkal dekat daratan, ia melambat, panjang gelombang berkurang, tinggi gelombang meningkat, dan arus memperkuat diri. Di pantai, sebagian besar tsunami melambat hingga mencapai kecepatan mobil, sekitar 20 - 30mph atau 30 - 50km/jam. (NOAA, 2023)

Akibat dari panjang gelombangnya yang panjang, tsunami bertindak sebagai gelombang air dangkal di mana jika sebuah gelombang menjadi gelombang air dangkal maka panjang gelombangnya sangat besar dibandingkan dengan kedalaman air. Gelombang air dangkal bergerak dengan kecepatan (c), yang bergantung pada kedalaman air dan diberikan oleh rumus:

$$c = \sqrt{gd} \quad (2.1)$$

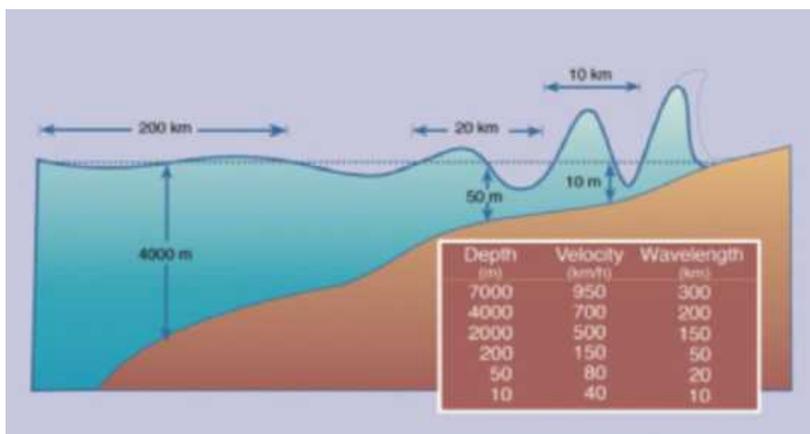
dimana,

c = kecepatan gelombang (m/s)

g = percepatan gravitasi ($9,8 \text{ m/s}^2$)

d = kedalaman air (m)





Gambar 2. 6 Penjalaran tsunami menuju pantai, yang tinggi gelombangnya naik ketika menuju perairan yang lebih dangkal.

(Sumber: IOC – UNESCO, 2016)

2.4 Formulasi Aydan

Formulasi Aydan (2008) merupakan formula yang digunakan untuk menghitung tinggi gelombang tsunami pada garis pantai dan tinggi *run-up* gelombang tsunami dimana tinggi gelombang tsunami adalah jarak vertikal antara puncak gelombang dengan *mean sea level* yang membesar pada saat tsunami menjalar dari pusat tsunami ke garis pantai. Adapun formula Aydan (2008) yang akan digunakan dalam menghitung tinggi gelombang tsunami sebagai berikut.

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

$$\Delta H_r = B \times H_m \quad (2.2)$$

Dimana,

A, b dan B adalah konstan. Untuk Tsunami wilayah Indonesia dan sekitarnya, bilangan konstan untuk $A = 0,0004$, $b = 0,9$ dan $B = 2,5$

M_w = Magnitudo

H_m = Tinggi gelombang maksimum di garis pantai.

ggi *run-up* gelombang tsunami

ggi *run-up* dihitung dari tinggi muka air rerata



2.5 Dampak Tsunami

Tsunami merupakan peristiwa jarang terjadi namun memiliki potensi untuk menyebabkan kerugian besar dalam hal kehilangan nyawa, kerugian ekonomi besar, dan efek berantai seperti penghancuran fasilitas penting. Kembali terjadinya tsunami yang benar-benar merusak di suatu lokasi bisa berkisar dari ratusan hingga ribuan tahun. Tsunami memiliki dampak yang sangat merusak dan mematikan terhadap wilayah pesisir dan pulau-pulau di sekitarnya (Løvholt et al., 2015).

- 1) Tsunami memiliki dampak kemanusiaan yang serius. Gelombang tsunami yang tiba-tiba dan dahsyat dapat menelan korban jiwa dalam jumlah yang sangat besar. Orang yang tinggal di wilayah pesisir yang rentan terhadap tsunami berada dalam risiko tinggi. Dalam banyak kasus, korban tewas dan terluka dapat mencapai ribuan orang atau lebih. Seperti Tsunami Aceh pada tahun 2004 diperkirakan menewaskan sekitar 230.000 hingga 280.000 orang. Jumlah pasti korban sangat sulit dihitung secara akurat karena banyak korban yang tidak teridentifikasi atau hilang dan banyak yang terluka parah.
- 2) Dampak terbesar selanjutnya dari tsunami adalah kerusakan properti dan infrastruktur pesisir. Gelombang tsunami yang tinggi dan kuat dapat menghancurkan bangunan, jembatan, pelabuhan, dan fasilitas pesisir lainnya. Kerusakan ini seringkali mengakibatkan kerugian material yang besar dan memerlukan waktu yang lama untuk memulihkannya. Contohnya adalah tsunami Samudra Hindia tahun 2004, yang menyebabkan kerusakan properti yang sangat besar di sepanjang pesisir beberapa negara, termasuk Indonesia, Thailand, dan Sri Lanka.
- 3) Tsunami juga memiliki dampak ekonomi yang signifikan. Selain kerugian properti, wilayah yang terkena tsunami juga dapat mengalami kerugian dalam sektor pariwisata, perikanan, dan perdagangan. Perusahaan yang beroperasi di wilayah tersebut mungkin mengalami kerugian besar, dan pemulihan ekonomi dapat memakan waktu bertahun-tahun. Sebagai contoh, dampak

mi Samudra Hindia tahun 2004 mencapai miliaran dolar.

lain dari dampak langsung tsunami berfokus pada aspek apa yang menyebabkan kerusakan. Terkadang, sebagian besar disebabkan oleh muka gelombang atau lonjakan yang menjulang. Selain, kerusakan terbesar disebabkan oleh dampak serpihan,



aliran air yang kembali ke laut, atau erosi yang dapat menggerus pondasi struktur yang dibangun di sepanjang garis pantai. Faktor-faktor ini menjadi dampak tsunami primer dan dampak tsunami sekunder.

Dampak primer dari tsunami didasarkan pada gaya (tarik, angkat, dan inersia) yang disebabkan oleh dampak hidrostatis dan hidrodinamik akibat pergerakan air. Gaya yang menyebabkan dampak primer bergantung pada bentuk dan karakteristik struktur, kedalaman aliran, dan karakteristik aliran, sedangkan dampak sekunder dari tsunami secara umum disebabkan oleh seretan objek, aliran serpihan dan kayu apung, pencemar bersama dengan air yang mengalir. Dalam beberapa kasus, kebakaran juga dapat terjadi sebagai dampak sekunder tsunami (Meral Ozel et al., 2011).



Gambar 2. 7 Impact dari Bencana Tsunami Aceh tahun 2004
(Sumber: Stanmeyer, 2012)

2.6 Inundasi Tsunami

Inundasi atau genangan adalah jarak horizontal yang dapat dicapai gelombang tsunami dari garis pantai. Semakin landai pantai, jarak genangan yang dan panjang dari garis pantai. Faktor-faktor yang memengaruhi nama yaitu topografi pantai, kedalaman laut dekat pantai, ang gelombang tsunami, serta energi yang dibawa oleh , 2018). Inundasi tsunami dapat mencapai beberapa kilometer antung pada faktor-faktor tersebut.



Ketika berbicara tentang gelombang tsunami, seseorang bisa dengan sederhana mengatakan mengandalkan kebijaksanaan orang-orang kuno. Di Jepang, sebagai contoh, ratusan prasasti batu memperingatkan warga tentang bahaya tsunami. Misalnya, salah satu prasasti di Aneyoshi, sebuah kota pesisir kecil, berbunyi: "Tempat tinggal yang tinggi adalah kedamaian dan harmoni bagi keturunan kita. Ingatlah bencana tsunami besar. Jangan membangun rumah di bawah titik ini." (F. Dias et al., 2014).

Genangan yang signifikan, terkadang mencapai ratusan meter masuk ke daratan, terjadi di banyak daerah rendah. Kawasan-kawasan seperti ini sering kali tergenang oleh pasang surut harian dan secara teratur oleh gelombang atau badai tropis, sehingga bahaya tsunami sebagian besar setara dengan bahaya iklim, dengan potensi rencana penggunaan lahan yang sama. Oleh sebab itu, daerah pesisir yang rendah komunitas manusia dan fasilitas umumnya tidak dibangun di daerah tersebut (Useche et al., 2023).

Sebaran spasial luasan wilayah terdampak inundasi tsunami digambarkan dengan perhitungan matematis yang dikembangkan oleh (Berryman, 2005) berdasarkan perhitungan kehilangan ketinggian tsunami per 1m jarak inundasi.

$$H_{loss} = \left(167 \frac{n^2}{H_0^3} \right) + 5 \sin S \quad (2.3)$$

dimana,

- H_{loss} = Kehilangan ketinggian tsunami per 1m jarak inundasi
- n = koefisien kekasaran permukaan
- H_0 = ketinggian gelombang tsunami di garis Pantai (m)
- S = besarnya kemiringan lereng permukaan ($^{\circ}$)

Tabel 2. 1 Koefisien Kekasaran Permukaan

Jenis	Nilai Koefisien
Badan Air	0.007
ak/belukar	0.040
Hutan	0.070
gunan/kebun	0.035
osong terbuka	0.015

Jenis	Nilai Koefisien
Lahan Pertanian	0.025
Permukiman/lahan Terbangun	0.045
Mangrove	0.025
Tambak/empang	0.010

Sumber: (Berryman, 2005)

2.7 Mitigasi Bencana Tsunami

Mitigasi bencana adalah istilah yang merujuk pada seluruh upaya untuk mengurangi dampak suatu bencana yang dapat diambil sebelum bencana terjadi, termasuk persiapan dan tindakan pengurangan risiko jangka panjang. Mitigasi bencana mencakup perencanaan dan pelaksanaan langkah-langkah untuk mengurangi risiko yang terkait dengan bahaya yang disebabkan oleh aktivitas manusia dan bencana alam yang sudah dikenal, serta proses perencanaan untuk merespons bencana yang benar-benar terjadi. Mitigasi juga dapat diartikan sebagai usaha untuk mengurangi dampak bahaya sebelum bahaya itu benar-benar terjadi (Adnan, 2020).

Menurut Radianta Triatmadja (2010), mitigasi bencana dibagi menjadi dua bagian: mitigasi fisik atau *struktural* dan mitigasi non-fisik atau *non-struktural*. Kedua langkah ini seharusnya diimplementasikan secara terintegrasi dan saling melengkapi. Mitigasi *struktural* melibatkan tindakan fisik yang diambil untuk mengurangi dampak bencana. Di sisi lain, mitigasi *non-struktural* mencakup tindakan non-fisik yang bertujuan untuk mengurangi dampak bencana, yang termanifestasikan dalam pendidikan mitigasi bencana. Pendidikan ini mencakup tindakan yang dilakukan sebelum bencana (pra-bencana), selama bencana, dan setelah bencana (pasca-bencana).

Bencana tsunami adalah bencana yang memiliki dampak pada semua aspek kehidupan masyarakat. Tsunami umumnya terjadi setelah gempa bumi besar pada dengan kekuatan di atas 7SR. Gelombang tsunami mampu tan karena kecepatannya mencapai 500km/jam saat mencapai rimalkan dampak bencana, diperlukan peningkatan zona buffer pemukiman agar responsif terhadap bahaya tsunami.



Ketika tsunami datang, bukan hanya air yang menjadi masalah, tetapi juga puing-puing seperti kontainer, kapal, dan mobil bahkan dapat memberikan dampak pada bangunan. Jenis-jenis puing-puing dapat umumnya dibagi menjadi tiga kelompok: puing-puing kecil, puing-puing sedang, dan puing-puing besar, tergantung pada karakteristik massa, ukuran, kekakuan, dan daya apungnya. Oleh karena itu, desain bangunan di dekat wilayah pantai, harus memiliki ketahanan tidak hanya terhadap gaya gelombang air tsunami tetapi juga gaya dampak puing-puing terutama puing-puing besar (Zin & Tun, 2020).

Strategi mitigasi bencana dapat berbeda dari satu wilayah ke wilayah lainnya. Demikian pula, kriteria pemukiman yang menghadapi bahaya tsunami dapat berbeda. Perbedaan dalam model yang dihasilkan dapat disebabkan oleh perbedaan struktur bangunan dari satu bangunan ke bangunan lain berdasarkan *local wisdom*.

Adapun mitigasi Non-Struktural dan mitigasi Struktural terkait bencana tsunami sebagai berikut:

2.7.1 Mitigasi Non-Struktural

- 1) Pembuatan peta rawan bencana tsunami dan pemetaan masalah atau pembangkit tsunami.
- 2) Pembuatan pedoman/prosedur dalam menghadapi bencana tsunami
- 3) Pembuatan dan menyebarkan pamphlet atau poster tentang tsunami guna menambah pengetahuan masyarakat tentang bencana tsunami.

2.7.2 Mitigasi Struktural

- 1) Pengawasan terhadap pelaksanaan berbagai peraturan dalam tata ruang, ijin mendirikan bangunan (IMB) guna mengurangi bangunan di lokasi rawan terdampak bencana.
- 2) Pelatihan dasar kebencanaan bagi masyarakat luas.
- 3) Pemandangan penduduk dari daerah yang rawan bencana ke daerah yang lebih aman.
- 4) Perencanaan daerah penampungan sementara dan jalur – jalur evakuasi jika



na.

ruktural yang berfungsi untuk mencegah mengamankan dan dampak bencana tsunami.

tem peringatan dini di daerah rawan bencana dan sistem

an melalui pesan berantai.

2.8 SiTProS (Siam Tsunami Propagation Simulator)

SiTProS (Siam Tsunami Propagation Simulator) meliputi pemodelan matematika untuk tsunami yang akan terjadi, penyebarannya, simulasi *real-time* dan visualisasi. Model ini dapat berjalan untuk setiap jaringan regional atau global dengan data set topografi ditentukan pada ETOPO-2. 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 penjarangan tsunami. SiTProS bekerja dengan algoritma yang sangat cepat sehingga dapat lebih cepat memperkirakan penyebaran tsunami mendatang. SiTProS telah digunakan untuk memodelkan kejadian tsunami 26 Desember 2004, dimana hasil prediksinya sangat memuaskan mengenai waktu peristiwa tersebut.

Setelah melakukan analisa dengan menggunakan pemodelan numerik dengan menggunakan program SiTProS, maka akan diperoleh waktu kedatangan gelombang tsunami beserta tinggi gelombang yang melanda suatu wilayah sehingga dari hasil pemodelan tersebut dapat dijadikan acuan untuk membuat model skema mitigasi yang tepat di wilayah yang akan diteliti.

2.9 Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu mengacu pada studi atau penelitian yang telah dilakukan sebelumnya oleh peneliti lain dalam bidang yang relevan atau serupa. Berikut adalah riset sebelumnya yang masih relevan dengan topik yang penulis sedang telaah.



Tabel 2. 2 Penelitian Terdahulu

No.	Penulis	Judul	Variabel	Hasil Penelitian	Perbedaan Penelitian
1	Aditama, Y., Widodo, (2023)	Pemodelan Tsunami & di Kecamatan Pacitan dan Kecamatan Ngadirojo Kabupaten Pacitan Jawa Timur	Simulasi menggunakan perangkat lunak COMCOT 1.7 dengan menggunakan sistem nested grid menggunakan 4-layer terdiri dari 1- layer GEBCO, 2-layer batimetri, dan 1-layer integrasi dengan menggunakan kekuatan Mw 8,7.	Hasil dari Pemodelan menggunakan COMCOT 1.7 yaitu menunjukkan skenario gempa hipotetik pada megathrust segmen Jawa Timur menyebabkan vertical displacement pada permukaan laut penelitian sebesar -4.59 m hingga 7.02 m. Propagasi tsunami ke arah utara menuju pesisir Pacitan memiliki amplitudo maksimum 33.16 m dengan waktu tempuh 23 – 29 menit kemudian menyebar ke segala arah. Jangkauan inundasi terjauh terjadi di Kecamatan Pacitan sejauh 4.19 km ke arah utara Pantai Ranuharjo, sedangkan run-up maksimum 21.82 m terjadi di Pantai Soge Kecamatan Ngadirojo. Berdasarkan peta bahaya tsunami, Kecamatan Pacitan memiliki luasan area terdampak tsunami yang sebesar 0.33 km ² , sedangkan luasan area inundasi terkecil di Kecamatan Tulakan sebesar 0.33 km ² .	Perbedaan yaitu pada penelitian tersebut, selain menggunakan jenis software yang berbeda dalam pemodelan tsunami, penelitian ini berdasarkan hasil pemodelan tsunaminya di dibuatkan sistem mitigasi yang tepat sesuai lokasi penelitian.
2	Kurniawan .F., Widodo, S., Halengkara, L (2022)	Pemodelan Tsunami dan Alternatif Jalur Evakuasi Berbasis SIG di Kecamatan Kruai Selatan Tahun 2019	Pemodelan berbasis SIG dengan teknik interpretasi dan overlay dengan cara skoring dengan menggunakan data lokasi sebaran permukiman, penggunaan lahan, dan data jaringan jalan di Kecamatan Kruai Selatan	Kecamatan Kruai Selatan memiliki 3 zona berupa, Zona Sangat Rawan, Zona Rawan, dan Zona Aman (Evakuasi). Zonasi yang paling dominan merupakan zona sangat rawan dengan luas 1.446 hektar. Hasil dari pemodelan menggunakan SIG yaitu dapat diketahui zona itu yang sangat rawan terdampak tsunami, yaitu Pekon Walur, dan Pekon Lintik. Wilayah yang termasuk kedalam zona aman (zona evakuasi) memiliki luas sebesar 1.345 ha yang terdapat di wilayah tenggara kecamatan kruai selatan, yang termasuk sebagian wilayah Taman Nasional Bukit Barisan (TNBBS) dan Bandar Udara Muhammad Taufik. Jalur evakuasi ditentukan dengan mempertimbangkan beberapa hal yaitu, tidak melewati Keberadaan aliran sungai (jembatan), Penentuan tempat perlindungan, Identifikasi jaringan jalan, Pembuatan jalur terpendek/terdekat menuju tempat perlindungan berdasarkan parameter jaringan jalan, sebaran lokasi permukiman, peta zonasi terdampak tsunami dan pemodelan genangan.	menggunakan software yang berbeda selain hasil pemodelan juga hanya digunakan untuk pembuatan penelitian ini berdasarkan hasil pemodelan tsunaminya untuk pemodelan tsunaminya dibuatkan sistem mitigasi yang tepat sesuai lokasi penelitian.



di
tangan
larru,
tan
Pengolahan data parameter gempa bumi pembangkit dan pemodelan numerik menggunakan SiTProS.

Penelitian ini menghasilkan pemodelan tsunami dengan tinggi 3,22 m dengan jarak tempuh selama 34,78 menit, dan run-up dapat mencapai 11.26 m. Hasil simulasi ini kemudian dijadikan acuan untuk menentukan skema mitigasi tsunami mendatang yang sesuai untuk pelabuhan garongkong. Skema mitigasi tersebut berupa sistem peringatan dini, mitigasi struktural (berupa pembuatan greenbelt dan sistem perlindungan buatan), mitigasi non struktural (berupa pembuatan peta zona rawan bencana dan melakukan sosialisasi dan tsunami drill), mitigasi pembuatan bangunan evakuasi menggunakan metode evakuasi dan mitigasi vertikal yang merupakan pilihan terbaik untuk yang tepat. selain itu lokasi yang diteliti berada pada daerah perairan Pelabuhan Awerange

2.10 Karakteristik Wilayah Penelitian

Secara astronomis, Pulau Sulawesi terletak di antara 2°08' Lintang Utara dan 170°17' Bujur Timur. Pulau Sulawesi merupakan salah satu pulau yang paling aman di kepulauan Indonesia karena posisinya yang tidak langsung terhubung dengan dua samudera, Pasifik dan Hindia. Sulawesi terbagi menjadi enam provinsi dan memiliki beberapa gugus kepulauan kecil, menjadikannya salah satu pulau besar di kepulauan Indonesia yang memiliki garis pantai sangat panjang. Sayangnya, hal ini juga berarti bahwa Pulau Sulawesi rentan terhadap peristiwa bahaya laut, seperti tsunami yang dihasilkan oleh gempa laut yang pusatnya ditandai dengan penanda merah dan tanggal kejadian terdistribusi seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 2.7 beserta nama setiap bagian atau yang disebut sebagai lengan pulau tersebut.



Pusat Gempa Bumi dari Tahun 1976 di Pulau Sulawesi

(Sumber: Baeda et al., 2016)

Sulawesi Selatan meliputi berbagai topografi, mulai dari dataran rendah hingga dataran tinggi. Tanah yang memiliki kemiringan 0 – 3% dianggap relatif datar, sementara yang memiliki kemiringan 3 – 8% dianggap bergelombang. Kemiringan tanah mencapai 8 – 45%, yang menandakan daerah yang curam dan berbukit. Wilayah dataran terluas berada di kisaran ketinggian 100 – 400m di atas permukaan laut, sementara sebagian lainnya terletak di ketinggian 400 – 1000m di atas permukaan laut.

Kabupaten Barru seluas 1.174,72km², terbagi dalam 7 kecamatan yaitu : Kecamatan Tanete Riaja seluas 174,29km², Kecamatan Tanete Rilau seluas 79,17km², Kecamatan Barru seluas 199,32km², Kecamatan Soppeng Riaja seluas 78,90km², Kecamatan Mallusetasi seluas 216,58km², Kecamatan Pujananting seluas 314,26km², dan Kecamatan Balusu seluas 112,20km².

Kecamatan Soppeng Riaja terletak di Pantai Barat Sulawesi Selatan, berjarak sekitar 100km arah utara Kota Makassar. Secara geografis, terletak pada koordinat 4°26'71" LS dan 119°63'77" BT. Di sebelah utara, Kecamatan Soppeng Riaja berbatasan dengan Kota Parepare dan Kabupaten Sidrap. Sebelah timur berbatasan dengan Kabupaten Soppeng dan Kabupaten Bone, sebelah selatan berbatasan dengan Kabupaten Pangkep, dan sebelah barat berbatasan dengan Selat Makassar. Luas wilayah Kecamatan Soppeng Riaja adalah 78,90km².

Wilayah Pelabuhan Awerangge berada pada suatu teluk, dimana daerah teluk lebih berbahaya dibandingkan di kawasan pesisir terbuka. Bahaya itu terjadi jika tsunami tadi berasal dari sebuah gempa yang sama lokasi dan besarnya. Tsunami yang menuju pesisir terbuka, gelombangnya merambat ke kiri dan ke kanan atau tersebar, sedangkan tsunami yang masuk ke teluk gelombangnya berkumpul dan jadi terjebak sehingga dapat menyebabkan *run-up* gelombang yang besar. Selain itu, sumber gelombang tsunami pada pelabuhan Awerange tidak hanya datang dari arah tegak lurus pantai namun juga dapat bersumber dari muara sungai. Sungai dianggap sebagai media penyebaran genangan gelombang tsunami. Ketika



ia tidak mampu menampung volume air, maka daerah sekitar sungai. Meningkatnya debit air akan memperbesar kemungkinan sekitar bantaran sungai. Sungai dapat dikatakan sebagai jalur akan lebih mudah menjalar dengan cepat dan lebih jauh (Huda,