

SKRIPSI

**SKEMA MITIGASI TSUNAMI MENDATANG DI PELABUHAN GARONGKONG,
BARRU, SULAWESI SELATAN**

Disusun dan diajukan oleh:

DIDIT FAHRUDIN MUHAMAD SALEH

D081 17 1502



DEPARTEMEN TEKNIK KELAUTAN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

MAKASSAR

2022

LEMBAR PENGESAHAN

**“SKEMA MITIGASI TSUNAMI MENDATANG DI PELABUHAN GARONGKONG,
BARRU, SULAWESI SELATAN”**

Disusun dan diajukan oleh:

**DIDIT FAHRUDIN MUHAMAD SALEH
D081171502**

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka penyelesaian studi program Sarjana Departemen Teknik Kelautan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
Pada tanggal 01 Maret 2022
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama,



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

Pembimbing Pendamping,



Sabaruddin Rahman, ST. MT. Ph.D
NIP. 197607192001121001

Ketua Departemen Teknik Kelautan,



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

LEMBAR PENGESAHAN KOMISI PENGUJI

**“SKEMA MITIGASI TSUNAMI MENDATANG DI PELABUHAN GARONGKONG,
BARRU, SULAWESI SELATAN”**

Disusun dan diajukan oleh:

DIDIT FAHRUDIN MUHAMAD SALEH
D081171502

Telah diperiksa dan disetujui oleh dosen pembimbing pada:

Tanggal : 01 Maret 2022

Di : Gowa

Dengan Panel Ujian Skripsi

1. Ketua : Dr. Eng. Achmad Yasir Baeda, ST., MT.
2. Sekertaris : Sabaruddin Rahman, ST., MT.
3. Anggota 1 : Dr. Chairul Paotonan, ST., MT.
4. Anggota 2 : Dr. Hasdinar Umar, ST., MT.

Mengetahui,

Ketua Departemen Teknik Kelautan


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

Nip. 197506052002121003

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Didit Fahrudin Muhamad Saleh
NIM : D081171502
Program Studi : Teknik Kelautan
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa skripsi saya berjudul

“Skema Mitigasi Tsunami Mendatang di Pelabuhan Garongkong, Barru, Sulawesi Selatan”

Adalah skripsi yang saya tulis ini benar-benar hasil dan karya saya sendiri, bukan merupakan pengambilan alihan tulisan atau pemikiran orang lain. Apabila di kemudian hari saya terbukti atau tidak dapat dibuktikan bahwa atau keseluruhan skripsi ini hasil karya orang lain, saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Gowa, 01 Maret 2022

Yang menyatakan,



Didit Fahrudin Muhamad Saleh

ABSTRAK

Didit F. M. Saleh, “Skema Mitigasi Tsunami Mendatang di Pelabuhan Garongkong, Barru, Sulawesi Selatan. (Dibimbing oleh Dr. Eng. Achmad Yasir Baeda, ST., MT. dan Sabaruddin Rahman, ST. MT. Ph.D.)

Indonesia merupakan negara yang sangat rawan dilanda bencana gempa yang dapat diikuti oleh tsunami. Bencana tsunami merupakan fenomena alam ataupun bencana alam yang sama sekali tidak dapat diprediksi kapan tepatnya akan terjadi. Oleh karenanya karakteristik bencana tersebut tidak dapat diprediksi maka satu – satunya pilihan yang logis dan rasional adalah mengupayakan agar dampak bencana tersebut bisa diminimalisir. Pelabuhan Garongkong merupakan pelabuhan peengumpul. Posisinya berada bersebelahan dengan pelabuhan penyeberangan Andi Matalata, di pantai Garongkong. Kegiatan yang dilakukan di pelabuhan garongkong didominasi oleh kegiatan bongkar muat curah kering non pangan berupa batubara, klinker, sirtu gunung dan gipsum. Yang berarti pelabuhan garongkong memiliki peran penting untuk memajukan perekonomian wilayah Barru, Sulawesi Selatan.

Upaya sistem peringatan dini dengan membuat skema mitigasi di suatu wilayah dengan berbagai perencanaan rekayasa pembangkit gempa bumi yang bermagnitudo 5,1 - 5,6 SR dengan mekanisme bangkitan *Dip-Slip-Strike* tertentu. Kajian dilakukan dengan dua tahap. Dengan kajian tahap awal pengolahan data parameter gempa bumi pembangkit, yang dilanjutkan dengan pemodelan numerik menggunakan SiTProS, yang akan menghasilkan sebaran tinggi tsunami dan waktu tempuhnya. Kajian kedua ialah skema mitigasi yang dapat diterapkan di pelabuhan garongkong.

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 menggunakan metode evakuasi dan mitigasi vertikal yang merupakan pilihan terbaik untuk mitigasi bencana tsunami mendatang di Pelabuhan Garongkong.

Kata Kunci: Mitigasi, Tsunami, Skema mitigasi mendatang, Pelabuhan Garongkong, SiTProS

ABSTRACT

Didit F. M. Saleh, "The Future Tsunami Mitigation Scheme at Garongkong Port, Barru, South Sulawesi. (Supervised by Dr. Eng. Achmad Yasir Baeda, ST., MT. and Sabaruddin Rahman, ST. MT. Ph.D.)

Indonesia is a country that is very prone to earthquakes which can be followed by a tsunami. The tsunami disaster is a natural phenomenon or natural disaster that cannot be predicted exactly when it will occur. Therefore, the characteristics of the disaster cannot be predicted, so the only logical and rational choice is to try to minimize the impact of the disaster. Garongkong port is a gathering port. Its position is adjacent to the Andi Matalata ferry port, on the Garongkong beach. Activities carried out at the Garongkong port are dominated by loading and unloading activities of non-food dry bulk in the form of coal, clinker, mountain sand and gypsum. This means that the Garongkong port has an important role in advancing the economy of the Barru region, South Sulawesi.

Early warning system efforts by creating a mitigation scheme in an area with various engineering plans for earthquake generators with a magnitude of 5.1 - 5.6 SR with a certain Dip-Slip-Strike generation mechanism. The study was carried out in two stages. With the initial study of processing earthquake parameter data for the generator, followed by numerical modeling using SiTProS, which will produce the distribution of tsunami height and travel time. The second study is a mitigation scheme that can be applied at the Garongkong port.

This research resulted in a tsunami modeling with a height of 3.22 m with a travel distance of 34.78 minutes, and a run-up of 11.26 m. The results of this simulation are then used as a reference to determine the appropriate future tsunami mitigation scheme for the Garongkong port. The mitigation schemes are in the form of an early warning system, structural mitigation (in the form of making greenbelts and artificial protection systems), non-structural mitigation (in the form of making disaster-prone zone maps and conducting socialization and tsunami drills), mitigation using evacuation methods and vertical mitigation which are the best choices for mitigation of the upcoming tsunami disaster at Garongkong Port.

Keywords: Mitigation, Tsunami, Future mitigation schemes, Garongkong Port, SiTProS

KATA PENGANTAR

Assalamu 'alaikum warahmatullahi wabarakatuh

Alhamdulillah, Puji Syukur kehadiran **Allah SWT** atas segala limpahan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi ini. Dan atas kehendak-Nya lah segala hambatan dalam penelitian serta penulisan skripsi ini dapat diatasi. Salawat serta salam penulis panjatkan kehadiran **Nabi Muhammad SAW**. Skripsi ini dibuat penulis sebagai syarat untuk menyelesaikan pendidikan di Departemen Teknik Kelautan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin, dengan judul:

“SKEMA MITIGASI TSUNAMI MENDATANG DI PELABUHAN GARONGKONG, BARRU, SULAWESI SELATAN”

Penulis dengan segala kerendahan hati menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah senantiasa memberi bantuan berupa pikiran, jiwa, dan raganya kepada penulis dalam proses penyelesaian skripsi ini, terutama kepada:

1. Kedua orangtua, (Ibu **Nurmiati** dan Ayah **Ali Fauzi Ahmad**) terima kasih untuk segala doa, air mata, keringat, pengorbanan, nafkah, kasih sayang, nasehat – nasehat yang memotivasi, dukungan dalam bentuk apapun, dan segala hal – hal lain yang telah diberikan.
2. Kepada Adik **Adit**, Kakak **Ika**, Kakak **Yodeng**, Kakak **Yawang**, Adik **Isal**, Adik **Bakti**, Almh Kakak **Dian** dan **seluruh keluarga dari Ibu** dan **seluruh keluarga dari Ayah** terima kasih untuk segala doa, dukungan, dan motivasi yang diberikan kepada penulis.
3. Bapak **Dr. Eng. Achmad Yasir Baeda, ST. MT.** selaku Pembimbing I yang telah berkenan memberikan segenap waktu dan memberikan pengetahuannya kepada Penulis dalam penyelesaian skripsi ini dan juga bimbingan dan arahan selama berada di kampus Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
4. Bapak **Sabaruddin Rahman, ST. MT. Ph.D.** selaku Pembimbing II yang senantiasa memberikan bimbingan dalam penyelesaian skripsi ini dan juga bimbingan dan arahan selama berada di kampus Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
5. Bapak **Muh. Zubair Muis Alie, ST. MT. Ph.D** Selaku Penasehat Akademik (PA) selama menjadi mahasiswa Teknik Kelautan dan juga bimbingan dan arahan selama berada di kampus Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

6. Bapak **Dr. Ir. Chairul Paotonan, ST., MT** selaku Ketua Departemen Teknik Kelautan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin dan juga bimbingan dan arahan selama berada di kampus Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
7. Bapak **Ashury, ST. MT** selaku Sekertaris Mahasiswa Teknik Kelautan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang pernah menolong penulis saat melakukan sidang banding di KOMDIS.
8. Seluruh Bapak Dosen Fakultas Teknik Terkhusus Dosen-Dosen Departemen Teknik Kelautan yakni Bapak **Ir. Juswan, ST. MT**, Bapak **Dr. Eng. Firman Husain, ST. MT.**, Bapak **Daeng Paroka, ST. MT. Ph.D**, Bapak **Dr. Taufiqur Rachman, ST. MT**, serta Ibu **Dr. Hasdinar Umar, ST. MT**, yang telah memberikan pengetahuan dan membagikan pengalaman yang sangat bermanfaat selama masa perkuliahan.
9. **Ibu Marwah, Bapak Isran** serta **Bapak Rio** sebagai Staff Tata Usaha Departemen Teknik Kelautan yang sangat membantu penulis baik itu kebutuhan administrasi untuk mencapai gelar ini maupun kebutuhan perkuliahan lainnya.
10. **Teman-Teman Mahasiswa khususnya Teknik Kelautan Angkatan 2017** yang selalu memberi motivasi dan segala macam bantuan serta waktu yang telah kita lalui bersama dalam suka dan duka.
11. **Teman-teman Ocean Technology Laboratory (OTLAB) (Ariska, Rachmi, Tami, Koko, Lizak)**, yang selalu memberi motivasi dan dukungan serta pencair suasana di labo.
12. **Squad EREKZ17** penghuni Setia Land of Dawn (**ArhamAZ, Muezza', Sycopath, RAMBO, ERASER, Piunggg, Hames, muh arifin, A.I, dan Flum**) yang memberi hiburan, dukungan, motivasi dan stress saat berada di Land of Dawn.
13. **Para Penghuni Pondok TEKLA** yang selalu menghibur dan mencairkan suasana saat kesusahan dan kesulitan khususnya partner kamar (**Rahmat**) yang selalu mengeluh dan menemani dalam suka dan duka.
14. **Neysa Sekar Milosa** yang selalu memberi dukungan dan semangat dalam berbagai hal yang membantu penulis.
15. Saudara/I ku **PERIZCOPE CREW**, memori tentang kalian takkan penulis lupakan.
16. Teman-teman **KKN TEMATIK UNHAS GEL 105 POSKO GOWA 5** yang telah memberikan pengalaman yang berharga dalam masa pengabdian kami ber-KKN di masa pandemi Covid-19.

17. Pihak **Pelabuhan Garongkong Barru**, tempat penulis melakukan penelitian untuk skripsi ini, serta seluruh pihak-pihak yang tulisannya menjadi referensi penulis untuk menyelesaikan skripsi ini.
18. Kepada Kakanda – Kakanda dan Adinda – Adinda Sektor Naval yang selama ini mendukung Penulis dalam penyelesaian skripsi ini.
19. Kepada orang-orang yang telah mendukung Penulis yang tidak bisa disebutkan namanya satu-satu, Penulis mengucapkan terima kasih banyak.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna dikarenakan terbatasnya pengalaman dan pengetahuan yang dimiliki penulis. Oleh karena itu, penulis mengharapkan segala bentuk saran serta masukan bahkan kritik yang membangun dari berbagai pihak. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi para pembaca dan untuk mendorong penelitian-penelitian selanjutnya.

Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Gowa, 03 Januari 2022

Didit Fahrudin Muhamad Saleh

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
LEMBAR PENGESAHAN KOMISI PENGUJI.....	ii
PERNYATAAN KEASLIAN SKIPSI	iii
ABSTRAK.....	iv
ABSTRACT.....	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL.....	xiv
DAFTAR NOTASI.....	xv
BAB I.....	1
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
1.6 Sistematika Penulisan	4
BAB II.....	5
TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. Tsunami	5
2.1.1. Teori Dasar Tsunami	6
2.1.2. Penyebab Terjadinya Tsunami	8
2.2. Karakteristik Tsunami	13
2.3 Prinsip Pengurangan Risiko Bencana Tsunami.....	14
2.4 Formula Aydan	16
2.5 <i>Sesar</i> (Patahan).....	17
2.6 Pemodelan Numerik (SiTProS).....	19
2.7 Mitigasi Bencana Tsunami	20
2.8 Sistem Peringatan Dini Tsunami	22
BAB III.....	24
METODOLOGI PENELITIAN.....	24
3.1. Lokasi Penelitian	24
3.2. Perolehan Data.....	25

3.2.1. Jenis dan Sumber Data	25
3.3. Metode Pengambilan Data.....	25
3.4. Pemodelan Tsunami	26
3.4.1. Region Setting	26
3.4.2. Parameter Setting.....	26
3.4.3. Warning Info Setting	27
3.5. Prosedur Penelitian	27
3.6. Diagram Alur.....	29
3.7. Penjelasan Diagram Alur	30
3.7.1. Mulai.....	30
3.7.2. Penginputan Data.....	30
3.7.3. Simulasi Tsunami Menggunakan Aplikasi SiTProS	30
3.7.4. Pembuatan Skema Mitigasi Bencana Tsunami	31
3.8. Metode Penelitian	31
BAB IV	32
HASIL DAN PEMBAHASAN.....	32
4.1 Visualisasi Tsunami.....	32
4.1.1. Data Pembangkit Tsunami.....	32
4.1.2. Titik Pusat Gempa	34
4.2 Estimasi Waktu Kedatangan Tsunami.....	34
4.2.1. Estimasi Waktu Kedatangan Tsunami Berdasarkan Earthquake Line	35
4.2.2. Grafik Tinggi Gelombang Tsunami Dengan Earthquake Line	42
4.3 Topografi dan Kondisi Eksisting di Pelabuhan Garongkong	46
4.4 Mitigasi Tsunami di Pelabuhan Garongkong	50
4.5 Mitigasi Tsunami dengan Sistem Peringatan Dini	51
4.6 Mitigasi Tsunami Struktural.....	55
4.5.1. Pembuatan <i>Greenbelt</i> Di Sekitar Pelabuhan	55
4.5.2. Sistem Perlindungan Buatan Di Pelabuhan	58
4.7 Mitigasi Tsunami Non Struktural	61
4.7.1. Pembuatan Peta Zona Rawan Bencana Tsunami	61
4.7.2. Melakukan Sosialisasi dan <i>Tsunami Drill</i> Terhadap Pekerja Dan Masyarakat Di Sekitar Pelabuhan.....	62
4.8 Mitigasi Tsunami Menggunakan Metode Evakuasi	64
4.9 Jalur Evakuasi Pada Area Pelabuhan Gorongkong	67
4.10 Mitigasi Dengan Melakukan Mitigasi Vertikal	68
Bab V	70
PENUTUP.....	70

5.1	Kesimpulan.....	70
5.2	Saran.....	70
DAFTAR PUSTAKA.....		72

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1	Gambar tsunami di Jepang	5
Gambar 2. 2	Dampak tsunami di Palu.....	7
Gambar 2. 3	Ilustrasi gempa bumi bawah laut.....	9
Gambar 2. 4	Gambar erupsi gunung anak Krakatau	11
Gambar 2. 5	Ilustrasi longsor bawah laut.....	12
Gambar 2. 6	Ilustrasi tsunami akibat hantaman meteor	13
Gambar 2. 7	Bentuk – bentuk patahan	18
Gambar 2. 8	Zona patahan di Indonesia.....	19
Gambar 2. 9	Skema siaga bencana tsunami	21
Gambar 2. 10	Konsep desain InaTEWS.....	23
Gambar 3. 1	Lokasi Pelabuhan Garongkong, Barru, Sulawesi Selatan, Indonesia.....	24
Gambar 3. 2	Region Setting pada program SiTProS	26
Gambar 3. 3	Parameter Setting pada program SiTProS	27
Gambar 3. 4	Warning Info Setting pada program SiTProS	27
Gambar 3. 5	Diagram Alur Penelitian.....	29
Gambar 4. 1	Output Setting pada Program SiTProS.....	32
Gambar 4. 2	Titik pusat gempa yang dapat memicu gelombang tsunami	34
Gambar 4. 3	Hasil visualisasi program SiTProS berupa frame awal dengan pembangkit Earthquake Line A	35
Gambar 4. 4	Hasil visualisasi program SiTProS berupa frame pertengahan dengan pembangkit Earthquake Line A	36
Gambar 4. 5	Hasil visualisasi program SiTProS berupa frame akhir dengan pembangkit Earthquake Line A	37
Gambar 4. 6	Hasil visualisasi program SiTProS berupa frame awal dengan pembangkit Earthquake Line B	38
Gambar 4. 7	Hasil visualisasi program SiTProS berupa frame pertengahan dengan pembangkit Earthquake Line B	38
Gambar 4. 8	Hasil visualisasi program SiTProS berupa frame akhir dengan pembangkit Earthquake Line B	39
Gambar 4. 9	Hasil visualisasi program SiTProS berupa frame awal dengan pembangkit Earthquake Line C	40
Gambar 4. 10	Hasil visualisasi program SiTProS berupa frame pertengahan dengan pembangkit Earthquake Line C	40

Gambar 4. 11	Hasil visualisasi program SiTProS berupa frame akhir dengan pembangkit Earthquake Line C	41
Gambar 4. 12	Grafik tinggi gelombang dengan pembangkit Earthquake Line A.....	42
Gambar 4. 13	Grafik tinggi gelombang dengan pembangkit Earthquake Line B	43
Gambar 4. 14	Grafik tinggi gelombang dengan pembangkit Earthquake Line C	45
Gambar 4. 15	Gambar kondisi eksisting Pelabuhan Garongkong Barru	47
Gambar 4. 16	Hutan Mangrove dan Tambak yang berada di belakang Pelabuhan Garongkong Barru	48
Gambar 4. 17	Peta Topografi Pelabuhan Garongkong.....	49
Gambar 4. 18	Lokasi fasilitas – fasilitas yang akan dilindungi.....	50
Gambar 4. 19	Lokasi penempatan buoy	52
Gambar 4. 20	Skema mitigasi sistem peringatan dini	54
Gambar 4. 21	Pohon cemara laut dan pohon ketapang	55
Gambar 4. 22	Hutan mangrove	56
Gambar 4. 23	Lokasi untuk menanam hutan mangrove.....	57
Gambar 4. 24	Lokasi untuk menanam pohon cemara laut dan pohon ketapang.....	57
Gambar 4. 25	Lokasi untuk menanam pohon cemara laut dan pohon ketapang.....	58
Gambar 4. 26	Lokasi pemasangan seawall	59
Gambar 4. 27	Tempat evakuasi sementara di pasar wisata Pangandaran	60
Gambar 4. 28	Peta lokasi tempat evakuasi sementara.....	61
Gambar 4. 29	Peta pembagian dua zona kecamatan Barru	62
Gambar 4. 30	Sosialisasi oleh pihak BPBD kabupaten Pacitan.....	63
Gambar 4. 31	Rambu evakuasi di pandeglang	64
Gambar 4. 32	Skema mitigasi tsunami mendatang di pelabuhan garongkong dengan metode evakuasi vertikal	66
Gambar 4. 33	Peta jalur evakuasi kecamatan Barru.....	68
Gambar 4. 34	Tower kantor bupati Barru	69

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Penelitian terdahulu.....	6
Tabel 4. 1 Data gempa yang terjadi di sekitar lokasi	33
Tabel 4. 2 Simulasi waktu kedatangan tsunami	41
Tabel 4. 3 fasilitas - fasilitas yang perlu dilindungi	49
Tabel 4. 4 Kecepatan lari manusia berdasarkan tingkat usia	65

DAFTAR NOTASI

Simbol	Keterangan	Satuan
A	0,0004 (Ketentuan Aydan)	
B	2,5 (Ketentuan Aydan)	
b	0,9 (Ketentuan Aydan)	
d	Kedalaman Air	m
g	Percepatan gravitasi	m/det ²
Hm	Tinggi gelombang maksimum digaris pantai	m
Hr	Tinggi run – up dihitung dari tinggi muka air laut rerata	m
ΔHr	Tinggi run – up gelombang tsunami	m
Mw	Momen Magnitudo	SR
v	Cepat rambat gelombang	m/det

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan salah satu negara yang memiliki tingkat kerawanan bencana alam cukup tinggi. Berdasarkan data *World risk report 2018*, Indonesia menduduki urutan ke-36 dengan indeks risiko 10,36 dari 172 negara paling rawan bencana alam di dunia. Kondisi tersebut disebabkan oleh keberadaan Indonesia secara tektonis yang menjadi tempat bertemunya tiga lempeng tektonik dunia (Eurasia, Indo-Australia dan Pasifik), secara vulkanis sebagai jalur gunung api aktif yang dikenal dengan cincin api pasifik atau *Pacific ring of fire* (Hadi, Agustina, & Subhani, Juni 2019).

Indonesia menduduki peringkat kedua sebagai negara yang paling sering dilanda tsunami dengan 71 kejadian atau hampir 9% dari jumlah tsunami di dunia. Penyebab kenapa Indonesia menduduki peringkat kedua tersebut karena letak geografis Indonesia yang berada pada pertemuan tiga lempeng utama pembentuk kerak bumi, yaitu Lempeng Eurasia yang bergerak ke arah tenggara dan Lempeng Indo-Australia yang bergerak memanjang di Samudera Hindia dari arah utara (Aceh) hingga sekitar Laut Timor di timur dan Lempeng Pasifik yang bergerak di sekitar Samudera Pasifik hingga utara Papua. (Pratomo & Rudiarto, 2013)

Bencana alam dapat terjadi secara tiba-tiba maupun melalui proses yang berlangsung secara perlahan. Beberapa jenis bencana seperti gempa bumi, hampir tidak mungkin diperkirakan secara akurat kapan, dimana akan terjadi dan besaran kekuatannya. Sedangkan beberapa bencana lainnya seperti banjir, tanah longsor, kekeringan, letusan gunung api, tsunami dan anomali cuaca masih dapat diramalkan sebelumnya. Meskipun demikian kejadian bencana selalu memberikan dampak kejutan dan menimbulkan banyak kerugian baik jiwa maupun materi. Kejutan tersebut terjadi karena kurangnya kewaspadaan dan kesiapan dalam menghadapi ancaman bahaya (Direktorat Mitigasi, 2007).

Pulau Sulawesi merupakan salah satu pulau yang terdapat di Indonesia yang secara astronomis terletak pada $5,36^{\circ}\text{LU}-7,48^{\circ}\text{LS}$ dan $117,02^{\circ}\text{BT}-125,74^{\circ}\text{BT}$, serta terletak pada zona pertemuan di antara tiga pergerakan Lempeng Hindia dan Australia dari selatan dengan kecepatan sekitar 7 cm/tahun, lempeng Pasifik dari timur dengan kecepatan sekitar 6 cm/tahun dan Lempeng Asia bergerak relatif pasif ke tenggara. Posisi Pulau Sulawesi yang berada pada kawasan lempeng tektonik microplate sangat rawan terhadap gerakan dan benturan ketiga lempeng tersebut yang akan menimbulkan fenomena geologi dan dampak merugikan pada kehidupan manusia, terutama ancaman gempa dan tsunami yang setiap saat dapat terjadi. (Kurniawan, 2019)

Kabupaten Barru adalah salah satu Kabupaten yang berada pada pesisir barat Provinsi Sulawesi Selatan, terletak antara koordinat $40^{\circ}5'49'' - 40^{\circ}47'35''$ lintang selatan dan $119^{\circ}35'00'' - 119^{\circ}49'16''$ bujur timur dengan luas wilayah $1.174,72 \text{ km}^2$ berjarak lebih kurang 100 km sebelah utara Kota Makassar dan 50 km sebelah selatan Kota Parepare dengan garis pantai sepanjang 78 km.

Kabupaten Barru berada pada jalur Trans Sulawesi dan merupakan daerah lintas wisata antara Kota Makassar dengan Kabupaten Tana Toraja sebagai tujuan wisata serta berada dalam Kawasan Pengembangan Ekonomi Terpadu (KAPET) Parepare. Jumlah penduduknya berdasarkan hasil Sensus Penduduk tahun 2009 sebesar 162.985 jiwa dengan kepadatan rata-rata $138,74 \text{ jiwa/km}^2$.

Pelabuhan Garongkong merupakan pelabuhan baru. Posisinya berada bersebelahan dengan pelabuhan penyeberangan Andi Matalata, di pantai Garongkong. Pelabuhan Garongkong terletak di kelurahan Mangempang, Kecamatan Barru dengan posisi geografis pada koordinat $04^{\circ}21'59,34'' \text{ LS}$ dan $119^{\circ}36'38,70'' \text{ BT}$.

Mengacu pada permasalahan-permasalahan tersebut di atas, maka dilakukanlah penelitian tentang prediksi kemungkinan terjadinya tsunami serta alur mitigasi di Pelabuhan Garongkong, Barru, Sulawesi Selatan, yang kemudian akan dituangkan dalam bentuk penulisan tugas akhir atau skripsi dengan judul **Skema Mitigasi Tsunami Mendatang di Pelabuhan Garongkong, Barru, Sulawesi Selatan.**

1.2 Rumusan Masalah

Dari latar belakang yang telah diuraikan sebelumnya, diketahui bahwa Kabupaten Barru yang secara geografis dan geologis berada di area ancaman bencana gempa bumi dan tsunami. Olehnya masalah yang dihadapi adalah bagaimanakah skema mitigasi tsunami yang cocok Pelabuhan Garongkong, Barru.

1.3 Batasan Masalah

Agar penelitian tidak terlalu luas dan masih dalam kategori dapat dilakukan (*manageable*) serta karena keterbatasan-keterbatasan yang ada, maka penelitian ini dibatasi pada beberapa hal seperti berikut:

1. Batasan wilayah tinjauan pada koordinat 04°21'59.34" LS dan 119°36'38,70" BT atau hanya pada lokasi Pelabuhan Garongkong tersebut.
2. Permasalahan yang akan dibahas adalah mitigasi bencana tsunami dan tidak membahas bencana alam lainnya yang akan terjadi di lokasi tersebut.

1.4 Tujuan Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan mendapatkan skema mitigasi dari bencana tsunami yang akan mendatang di Pelabuhan Garongkong, Barru, Sulawesi Selatan.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan bisa diperoleh dari hasil penelitian ini ialah sebagai berikut:

1. Membantu para pekerja di Pelabuhan Garongkong untuk menerapkan skema mitigasi bencana tsunami yang akan mendatang di lokasi tersebut.
2. Bermanfaat bagi masyarakat setempat yang berada di sekitar pelabuhan Garongkong, Barru, Sulawesi Selatan sehingga masyarakat tidak panik saat bencana tsunami terjadi.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Berisi latar belakang penulisan, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Berisi dasar-dasar teori yang berkaitan dengan penelitian yang akan dilakukan.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Terdapat dua tahap dalam metode penelitian. Pertama simulasi gelombang tsunami menggunakan pemodelan numerik SiTProS dan kedua adalah penentuan skema mitigasi. Komponen – komponennya terdiri atas lokasi penelitian, sumber data, data faktor pembangkit tsunami, peta wilayah batasan lokasi simulasi, permodelan tsunami, *region setting*, *parameter setting*, *warning info setting*, prosedur penelitian, bagan alur metode penelitian, dan skema mitigasi tsunami.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Merupakan penjelasan dari hasil penelitian berupa hasil simulasi tsunami yang dapat dijadikan acuan untuk menentukan skema mitigasi yang sesuai untuk diterapkan di Pelabuhan Garongkong

BAB V PENUTUP

Berisi kesimpulan akhir mengenai penelitian yang telah dilakukan dan saran pengembangan untuk penelitian serupa selanjutnya.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Tsunami

Tsunami, kata ini berasal dari Jepang, tsu berarti pelabuhan, nami berarti gelombang. Tsunami dipergunakan untuk gelombang pasang yang memasuki pelabuhan. Pada laut lepas misal terjadi gelombang pasang sebesar 8 m tetapi begitu memasuki daerah pelabuhan yang menyempit tinggi gelombang pasang menjadi 30 m. Tsunami biasa terjadi jika gempa bumi berada di dasar laut dengan pergerakan vertikal yang cukup besar. Tsunami juga bisa terjadi jika terjadi letusan gunungapi di laut atau terjadi longsor di laut (Nur, 2010).

Tsunami ini merupakan kejadian alam yang dipengaruhi adanya aktivitas yang terjadi di dasar laut, aktivitas ini dapat berupa gempa laut, gunung berapi meletus, atau hantaman meteor di laut, tanah longsor di dasar laut, patahan. Tsunami merupakan kejadian alam yang terjadi ketika adanya aktivitas di dasar laut dan sangat berbahaya, karena dapat mengakibatkan kerusakan yang besar. (Moningkey & Pardanus, Agustus 2018)



Gambar 2. 1 Gambar tsunami di Jepang

(Sumber: Kompas.com 2021)

Dari penelitian terdahulu, penulis tidak menemukan penelitian dengan judul yang sama seperti judul penelitian penulis. Namun penulis mengangkat beberapa penelitian sebagai referensi dalam memperkaya bahan kajian pada penelitian penulis. Berikut merupakan penelitian terdahulu berupa beberapa jurnal/skripsi terkait dengan penelitian yang dilakukan penulis.

Tabel 2. 1 Penelitian Terdahulu

Nama Peneliti	Judul Penelitian	Hasil Penelitian
MUH. KURNIAWAN (2019)	SKEMA MITIGASI TSUNAMI MENDATANG DI KOTA KENDARI DENGAN SUMBER PEMBANGKIT TOLO THRUST/TRENCH DAN MATANO FAULT	Penelitian ini dilakukan dengan tujuan yang ingin dicapai adalah mendapatkan skema mitigasi bencana tsunami mendatang yang efektif diberlakukan untuk Kota Kendari.
Perbedaan: penelitian yang dilakukan Kurniawan pada tahun 2019 membahas tentang mitigasi tsunami mendatang di Kota Kendari, dengan Sumber Pembangkit Tolo Thrust/Trench dan Matano Fault. Berbeda dengan penelitian yang akan dilakukan penulis yaitu skema mitigasi tsunami mendatang di pelabuhan Garongkong, Barru, Sulawesi Selatan.		
NURBAHRUNNISA (2019)	SKEMA MITIGASI TSUNAMI MENDATANG DI DAERAH BANGGAI SULAWESI TENGAH	Penelitian ini dilakukan dengan tujuan yang ingin dicapai adalah mendapatkan skema mitigasi bencana tsunami mendatang di Daerah Banggai.
Perbedaan: penelitian yang dilakukan Nurbahrunnisa pada tahun 2019 membahas tentang Skema Mitigasi Tsunami Mendatang Di Daerah Banggai Sulawesi Tengah. Berbeda dengan penelitian yang akan dilakukan penulis yaitu skema mitigasi tsunami mendatang di pelabuhan Garongkong, Barru, Sulawesi Selatan.		

2.1.1. Teori Dasar Tsunami

Kata tsunami berasal dari bahasa Jepang yang artinya tsu berarti pelabuhan dan nami berarti gelombang. Kata ini secara mendunia sudah diterima dan secara harfiah yang berarti gelombang tinggi/besar yang menghantam pantai/pesisir.

Tsunami kerap terjadi akibat gempa tektonik yang besar di laut, walaupun pada dasarnya tsunami juga dapat dipicu oleh tanah longsor di dasar laut, letusan gunung api dasar laut, atau akibat jatuhnya meteor. Tsunami terjadi pada dasarnya akibat bergesernya patahan/rekahan vertikal memanjang sehingga air laut terhisap masuk dalam patahan dan kemudian terlempar kembali setelah patahan mencapai keseimbangan. Pada kasus tsunami kecepatan rambat air dapat mencapai ratusan kilometer per jamnya. 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. (Baeda, Klara, Hendra, & Mulyati, Mei 2016)



Gambar 2. 2 Dampak tsunami di Palu

(Sumber: *idntimes.com* 2018)

Menurut Undang Undang Republik Indonesia Nomor 24 tahun 2007, Bencana dapat didefinisikan sebagai peristiwa atau rangkaian peristiwa yang mengancam dan mengganggu kehidupan dan penghidupan masyarakat yang disebabkan, baik oleh faktor alam dan/atau faktor non alam maupun faktor manusia

sehingga mengakibatkan timbulnya korban jiwa manusia, kerusakan lingkungan, kerugian harta benda, dan dampak psikologis.

Bencana dapat terjadi karena ada dua kondisi yaitu adanya peristiwa atau gangguan yang mengancam dan merusak (*hazard*) dan kerentanan (*vulnerability*) masyarakat. Hubungan keduanya dapat digambarkan bila gangguan atau ancaman tersebut muncul ke permukaan tetapi masyarakat tidak rentan, maka berarti masyarakat dapat mengatasi sendiri peristiwa yang mengganggu tersebut, sementara bila kondisi masyarakat rentan tetapi tidak terjadi peristiwa yang mengancam maka tidak akan terjadi bencana. Adapun Bencana dibagi ke dalam tiga kategori yaitu:

- (a) Bencana alam adalah 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 longsor.
- (b) Bencana non alam adalah bencana yang diakibatkan oleh peristiwa atau rangkaian peristiwa non alam yang antara lain berupa gagal teknologi, gagal modernisasi, epidemi, dan wabah penyakit.
- (c) Bencana sosial adalah bencana yang diakibatkan oleh peristiwa atau serangkaian peristiwa yang diakibatkan oleh manusia yang meliputi konflik sosial antar kelompok atau antar komunitas masyarakat, dan teror. (UU RI No 24 Tahun 2007).

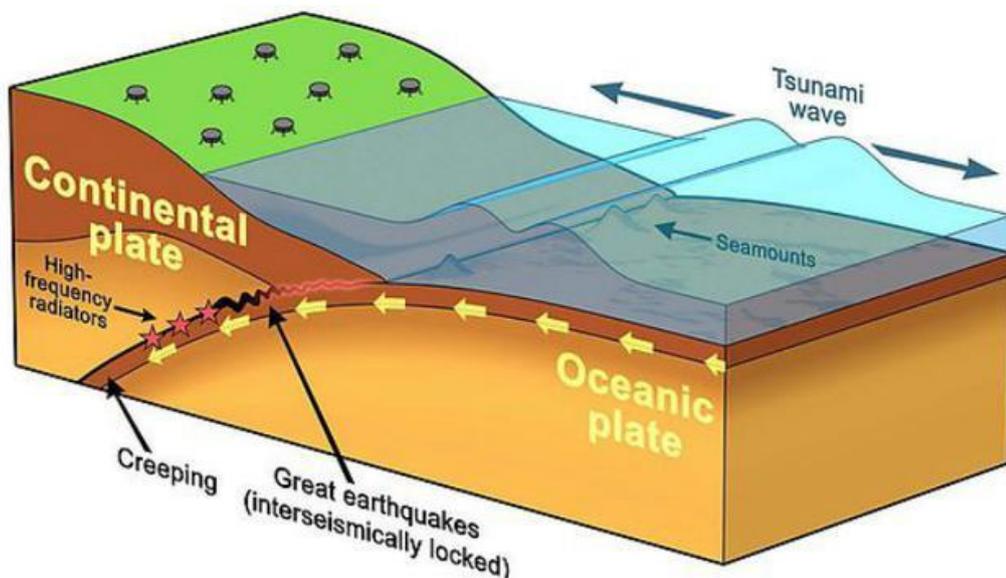
2.1.2. Penyebab Terjadinya Tsunami

Pada jaman dahulu, banyak orang yang beranggapan bahwa tsunami merupakan salah satu wujud gelombang pasang yang terjadi dalam skala besar, namun saat ilmu pengetahuan sudah semakin berkembang khususnya di bidang Oseanografi, anggapan tersebut terbukti keliru dan tidak sesuai lagi. Memang secara penampakan tsunami mirip dengan gelombang pasang yakni air naik ke daratan, namun terdapat perbedaan yang begitu mencolok yakni gelombang pasang terjadi secara perlahan dan bertahap sehingga tidak merusak, sedangkan tsunami bersifat sebaliknya.

Terdapat beberapa faktor yang menjadi penyebab tsunami seperti yang akan dijelaskan sebagai berikut.

1. Gempa Bumi Bawah Laut

Penyebab tsunami yang paling umum adalah Gempa bumi bawah laut. Ia Merupakan penyebab yang paling sering menimbulkan tsunami dengan persentase 90 persen kejadian tsunami disebabkan oleh terjadinya gempa yang berada di bawah samudera. Sebagai zona pertemuan lempeng dunia, menjadikan Indonesia sangat berpotensi mengalami gempa yang berpusat di bawah laut.



Gambar 2.3 Ilustrasi gempa bumi bawah laut

(Sumber: <https://www.liputan6.com>)

Namun tidak semua gempa bawah laut bisa menimbulkan tsunami. Beberapa kriteria yang dapat menyebabkan terjadinya tsunami seperti, pusat gempa yang terletak di kedalaman 0 hingga 30 km dibawah permukaan laut. Semakin dangkal pusat gempa maka akan semakin besar peluang munculnya tsunami hal ini disebabkan oleh getaran yang dihasilkan akan semakin kuat. Selain itu gempa besar dengan kekuatan di atas 6.5 SR juga menjadi pemicu, karena dengan kekuatan sebesar itu sudah mampu mempengaruhi gelombang laut. Kriteria selanjutnya adalah jenis pergeseran gempa berjenis naik turun, sehingga akan menimbulkan gelombang baru yang jika bergerak ke daratan bisa menghasilkan tsunami. Lebih

parah lagi jika terjadi patahan di dasar laut sehingga menyebabkan air laut turun secara mendadak dan menjadi cikal bakal tsunami.

2. Letusan Gunung Berapi Bawah Laut atau Atas Laut

Dampak letusan gunung berapi bawah laut dapat menjadi penyebab tsunami yang sangat besar. Tidak hanya di daratan, lautan yang begitu luas sebenarnya juga terdapat gunung berapi, yang apabila meletus akan menimbulkan getaran yang efeknya sama dengan gempa tektonik bawah laut tadi. Meskipun jarang terjadi namun jika sekali terjadi dapat menimbulkan tsunami. Semakin besar skala letusan maka akan semakin besar tsunami yang dihasilkan.

Peristiwa tsunami yang paling terkenal akibat letusan gunung berapi yakni terjadi pada tahun 1883 dimana saat itu gunung Krakatau meletus dengan begitu dahsyat sehingga menimbulkan gelombang tsunami yang menyapu bersih desa desa di pantai sekitar selat Sunda. Begitu juga dengan letusan gunung Tambora pada tahun 1815 yang menimbulkan tsunami di daerah Jawa timur, Nusa Tenggara hingga mencapai kepulauan Maluku.

Indonesia sebagai negara yang memiliki gunung berapi terbanyak sehingga dijuluki Ring of Fire harus waspada terhadap potensi tsunami yang disebabkan oleh letusan vulkanik gunung berapi. Terutama pada gunung yang berdekatan dengan laut seperti gunung Gamalama di kepulauan Maluku utara dan Anak Krakatau di selat Sunda.



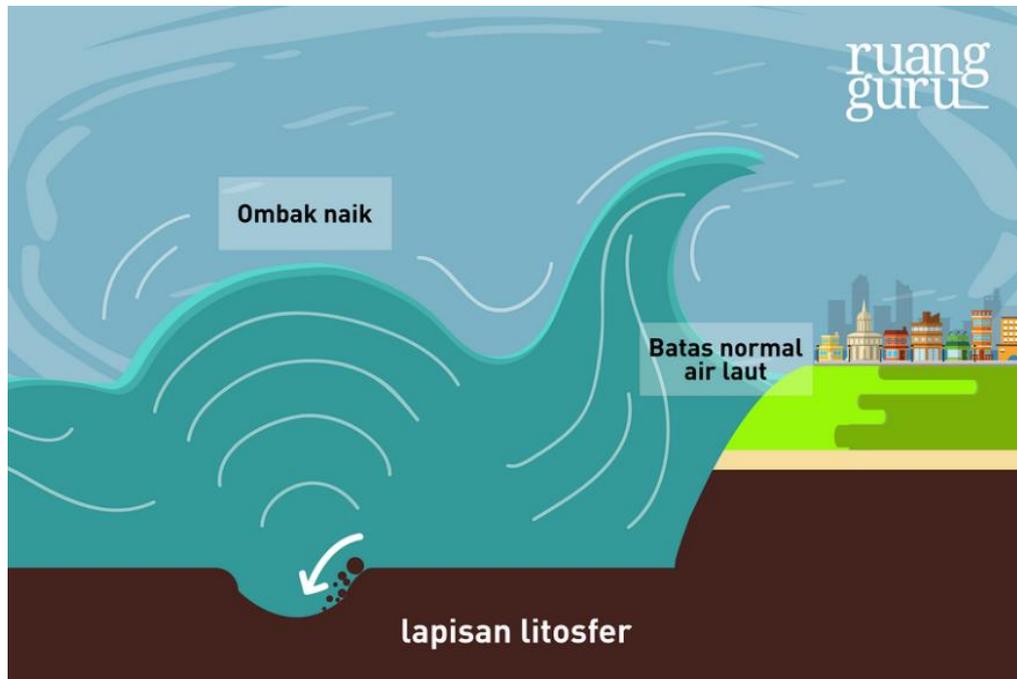
Gambar 2. 4 Gambar erupsi gunung anak Krakatau

(Sumber: <https://www.ruangguru.com>)

3. Longsor Bawah Laut

Penyebab tsunami yang juga termasuk sering adalah karena longsor. Kejadian longsor tidak hanya terjadi di daratan yang sering diberitakan selama ini. Di dasar laut sebenarnya juga memiliki struktur yang mirip dengan daratan yakni terdapat bukit/ punggung laut dan lembah/ palung laut, serta cekungan yang dapat saja longsor dimana semakin besar volume longsoran maka akan semakin tinggi potensi terjadi tsunami. Terdapat beberapa faktor yang menyebabkan munculnya longsor laut, seperti gempa bumi tektonik dan letusan gunung bawah laut atau di daratan yang dekat dengan laut. Kedua faktor ini tentu saja menimbulkan getaran yang memicu longsor pada struktur dasar laut. Pada daratan pun sering terdengar peristiwa longsor yang disebabkan oleh gempa bumi. Penyebab lainnya yaitu terjadinya tabrakan antar lempeng yang terjadi di dasar laut, sehingga menimbulkan patahan dan longsor. Pada tahun 2008 diadakan penelitian di samudra Hindia yang menyebutkan adanya palung laut yang membentang dari pulau Siberut hingga pesisir pantai Bengkulu yang apabila longsor dapat menyebabkan tsunami di pantai

barat Sumatera. Tsunami yang terjadi akibat longsor disebut juga dengan *tsunamiic submarine landslide*.



Gambar 2. 5 Ilustrasi longsor bawah laut

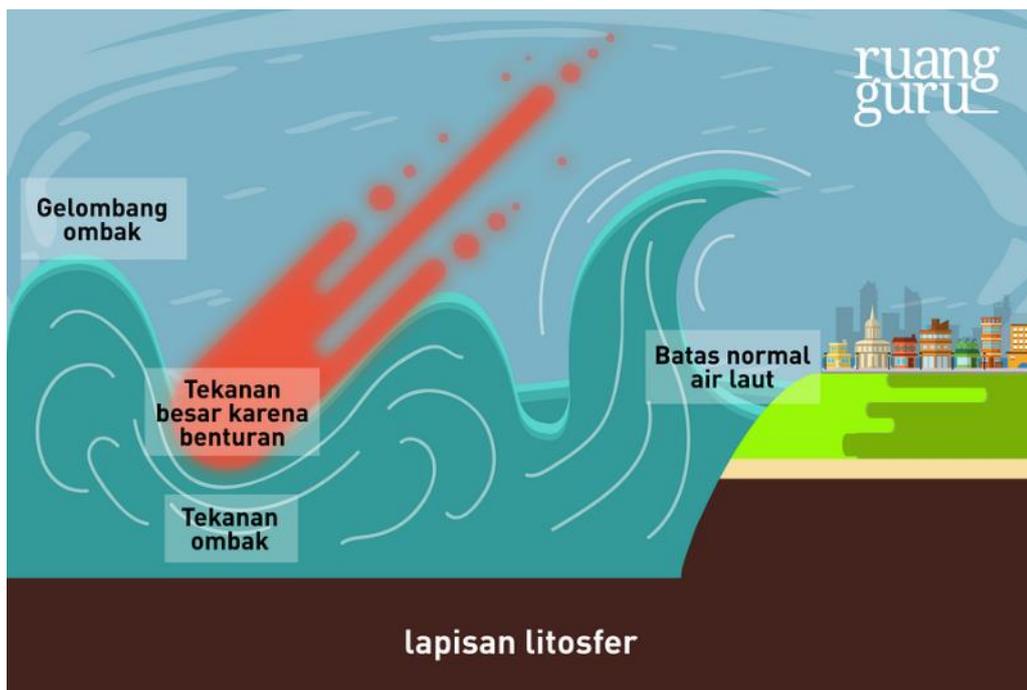
(Sumber: <https://www.ruangguru.com>)

4. Hantaman Meteor

Meskipun sangat jarang terjadi namun kekuatan tsunami yang disebabkan oleh meteor yang jatuh ke samudera/ lautan sangatlah masif. Sepanjang sejarah peradaban manusia, belum ada dokumentasi mengenai tsunami akibat hantaman meteor ini. Namun berdasarkan simulasi yang dilakukan pada komputer canggih, dampaknya merupakan paling besar jika dibandingkan dengan tsunami yang disebabkan faktor lain. Jika meteor nya berukuran kecil tidak terlalu berpengaruh, namun jika ukuran meteor sangat besar, misalnya berdiameter lebih dari 1 km maka akan menimbulkan mega tsunami dengan ketinggian gelombang ratusan meter. Dan hal ini tentu saja akan mengakibatkan kehancuran peradaban manusia dan menyapu bersih daratan hingga ratusan kilometer dan menenggelamkan pulau pulau kecil di sekitar pusat hantaman. Belum lagi dampak jangka panjangnya yang mempengaruhi bumi seperti perubahan iklim, hancurnya pertanian dunia dan

kelaparan massal serta pada akhirnya menyebabkan kematian makhluk hidup dalam skala besar.

Perlu diketahui bahwa kecepatan meteor saat menabrak bumi yaitu sekitar puluhan ribu kilometer per jam, sehingga dapat dibayangkan betapa besar energi yang dihasilkan akibat hantaman, terlebih jika ukurannya sangat besar.



Gambar 2. 6 Ilustrasi tsunami akibat hantaman meteor

(Sumber: <https://www.ruangguru.com>)

2.2. Karakteristik Tsunami

Karakteristik gelombang tsunami meliputi energi, magnitudo, kedalaman pusat gempa, mekanisme fokus dan luas rupture area. Secara singkat tsunami dapat dideskripsikan sebagai gelombang laut dengan periode panjang yang ditimbulkan oleh suatu gangguan impulsif yang terjadi pada medium laut. Periode gelombang tsunami berkisar antara 10 hingga 60 menit. Gelombang tsunami yang ditimbulkan oleh gaya impulsif ini bersifat *transient* atau gelombang yang bersifat sesaat. Gelombang semacam ini berbeda dengan gelombang-gelombang laut lainnya yang lebih bersifat kontinyu, seperti gelombang permukaan yang ditimbulkan oleh gaya seret angin atau gelombang pasut yang ditimbulkan oleh gaya tarik benda angkasa.

Selain bersifat *transient*, gelombang tsunami juga bersifat *dispersive*. Artinya, periodenya berubah terhadap jarak sumber gangguan impulsif. (Kurniawan, 2019)

Beberapa karakteristik tsunami, antara lain:

- 1) Tinggi gelombang tsunami di tengah lautan mencapai lebih kurang 5m. Serentak sampai pantai tinggi gelombang ini dapat mencapai 30 m.
- 2) Panjang gelombang tsunami (50-200 km) jauh lebih besar dari pada gelombang pasang laut (50-150 m). Panjang gelombang tsunami ditentukan oleh kekuatan gempa, sebagai contoh gempa bumi tsunami dengan kekuatan magnitude 7-9 SR panjang gelombang tsunami berkisar 20-50 km dengan tinggi gelombang 2 m dari permukaan laut.
- 3) Periode waktu gelombang tsunami yang berkekuatan tinggi hanya berperiode durasi gelombang sekitar 10-60 menit, sedangkan gelombang pasang bisa berlangsung lebih lama 12-24 jam.
- 4) Cepat rambat gelombang tsunami sangat tergantung pada kedalaman laut, bila kedalaman laut berkurang setengahnya, maka kecepatan berkurang tiga perempatnya.

2.3 Prinsip Pengurangan Risiko Bencana Tsunami

Risiko adalah bahaya, akibat atau konsekuensi yang dapat terjadi akibat sebuah proses yang sedang berlangsung atau kejadian yang akan datang. Dalam bidang asuransi, risiko dapat diartikan sebagai suatu keadaan ketidakpastian, di mana jika terjadi suatu keadaan yang tidak dikehendaki dapat menimbulkan suatu kerugian.

Berdasarkan UU RI No 24 tahun 2007 Risiko bencana adalah potensi kerugian yang ditimbulkan akibat bencana pada suatu wilayah dan kurun waktu tertentu yang dapat berupa kematian, luka, sakit, jiwa terancam, hilangnya rasa aman, mengungsi, kerusakan atau kehilangan harta, dan gangguan kegiatan masyarakat.

Paradigma pengurangan risiko bencana merubah pola pikir yang responsif menjadi preventif dengan pendekatan manajemen risiko. Apabila suatu wilayah mempunyai risiko tinggi maka upaya pengurangan risiko dilakukan dengan melakukan tindakan-tindakan. Pertama-tama dilakukan tindakan untuk

memisahkan potensi bencana yang mengancam dengan elemen berisiko (*element at risk*). Tindakan ini dikenal dengan pencegahan (*risk avoidance*). Apabila antara potensi bencana dengan elemen berisiko tersebut tidak dapat dipisahkan (harus bertemu) maka upaya yang dilakukan adalah pengurangan risiko (*risk reduction*), atau dikenal dengan mitigasi. Mitigasi ini dapat dilakukan secara struktural maupun non-struktural. Bila pengurangan risiko sudah dilakukan dan masih tetap ada risiko, dilakukan pengalihan risiko ke pihak lain (*risk transfer*) misalnya melalui sistem asuransi bencana. Apabila ketiga tindakan tersebut sudah dilakukan tetapi masih ada risiko, maka yang terakhir dilakukan adalah menerima risiko (*risk acceptance*) dan melakukan upaya-upaya kesiapsiagaan.

Besar atau kecilnya dampak dalam sebuah bencana diukur dari korban jiwa, kerusakan, atau biaya-biaya kerugian yang ditimbulkannya. Namun demikian, dalam upaya pengurangan risiko bencana, dampak sebuah bencana dapat diprediksi dengan mengidentifikasi beberapa hal di bawah ini.

A. Ancaman/bahaya (*Hazard*)

Ancaman atau bahaya adalah Fenomena atau situasi yang memiliki potensi untuk menyebabkan gangguan atau kerusakan terhadap orang, harta benda, fasilitas, maupun lingkungan. Sebaliknya, bencana merupakan suatu peristiwa, baik akibat ulah manusia maupun alam, tiba – tiba maupun bertahan materi, maupun lingkungan. Menurut *United Nations International Strategy for Disaster Reduction* (UN-ISDR) bahaya terdiri atas bahaya alam dan bahaya karena ulah manusia, yang dapat dikelompokkan menjadi bahaya geologi, bahaya hydrometeorology, bahaya biologi bahaya teknologi, dan penurunan kualitas lingkungan.

B. Kerentanan (*Vulnerability*).

Kerentanan merupakan suatu kondisi yang menurunkan kemampuan seseorang atau komunitas masyarakat untuk menyiapkan diri, bertahan hidup atau merespon potensi bahaya. Kerentanan masyarakat secara kultur dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti kemiskinan, pendidikan, sosial dan budaya. Selanjutnya aspek infrastruktur yang juga berpengaruh terhadap tinggi rendahnya kerentanan.

C. Kapasitas (*Capacity*).

Kapasitas adalah kekuatan dan sumber daya yang ada pada tiap individu dan lingkungan yang mampu mencegah, melakukan mitigasi, siap menghadapi dan pulih dari akibat bencana dengan cepat.

D. Risiko Bencana (*Risk*).

Risiko bencana merupakan interaksi tingkat kerentanan dengan bahaya yang ada. Ancaman bahaya alam bersifat tetap karena bagian dari dinamika proses alami, sedangkan tingkat kerentanan dapat dikurangi sehingga kemampuan dalam menghadapi ancaman bencana semakin meningkat. Prinsip atau konsep yang digunakan dalam penilaian resiko bencana.

$$\text{Resiko} = \frac{\text{Bahaya} \times \text{Kerentanan}}{\text{Kemampuan}}$$

Atau dapat ditulis Resiko = Bahaya x Kerentanan x ketidakmampuan.

2.4 Formula Aydan

Formula Aydan (2007) merupakan formula yang digunakan untuk menghitung tinggi gelombang tsunami pada garis pantai dan tinggi *run-up* gelombang tsunami. Tinggi gelombang tsunami adalah jarak vertikal antara puncak gelombang dengan titik nol muka laut (*mean sea level*) yang membesar pada saat tsunami menjalar dari pusat tsunami ke garis pantai. Ketinggian gelombang tsunami berbanding terbalik dengan kecepatannya, artinya jika kecepatan besar, maka ketinggian gelombang tsunami hanya beberapa puluh centimeter saja. Sebaliknya, untuk di daerah pantai kecepatan tsunami kecil, sedangkan ketinggian gelombang tsunami bisa mencapai puluhan meter. Adapun formula Aydan (2008) yang digunakan untuk menghitung tinggi gelombang tsunami sebagai berikut.

$$H_m = A \times M_m \times \exp(b \times M_w) \dots\dots\dots (2.1)$$

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

$$H_r = H_m \times \Delta H_r \dots\dots\dots (2.3)$$

Dimana:

$$A = 0,004$$

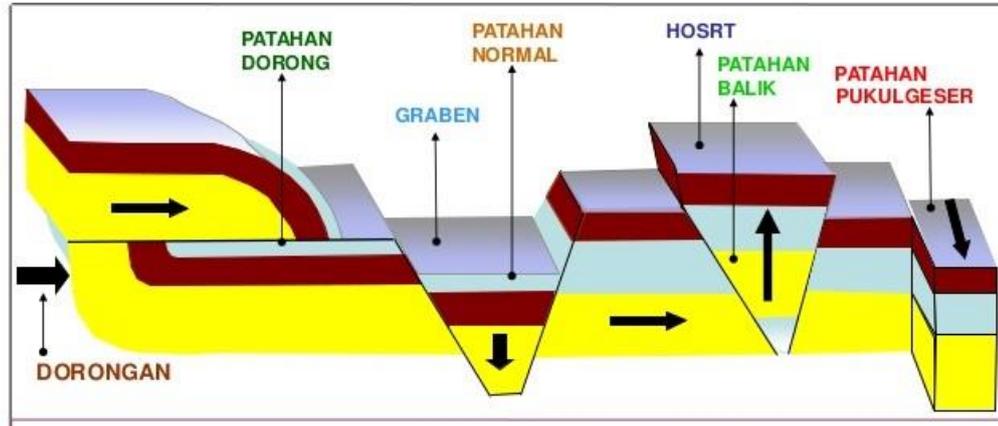
B	=	2,5
b	=	0,9
Mw	=	Magnitudo
Hm	=	Tinggi gelombang maksimum di garis pantai
ΔHr	=	Tinggi <i>run-up</i> gelombang tsunami
Hr	=	Tinggi <i>run-up</i> dihitung dari tinggi muka air rata-rata

2.5 Sesar (Patahan)

Patahan (Sesar) adalah satu bidang rekahan atau zona rekahan yang mengalami pergeseran. Menurut Billings, 1990, Sesar atau Patahan atau Fault adalah "are reptures along with opposites wall have moved past each other". Jadi sesar merupakan suatu rekahan yang telah mengalami pergeseran. Menurut ilmu geologi, Sesar atau Patahan adalah fraktur planar atau diskontinuitas pada suatu volume batuan, di mana telah terjadi perpindahan signifikan sebagai hasil dari gerakan massa batuan. Patahan (sesar) yang besar dalam lempeng bumi dihasilkan dari proses tektonik lempeng. Karena merupakan yang terbesar maka akan membentuk dan mempengaruhi batas-batas antar lempeng (contohnya zona subduksi dan patahan transform). Pelepasan energi yang terjadi akan menghasilkan gerakan yang cepat dan aktif, inilah penyebab utama terjadinya gempa bumi. (Kurniawan, 2019)

Bumi terdiri dari dua lempeng utama, yaitu lempeng benua dan lempeng samudera. Lempeng-lempeng di bumi terus aktif bergerak. Pergerakan lempeng membuat kemungkinan adanya tumbukan semakin besar sehingga dapat menghasilkan patahan. Bidang atau bagian kulit bumi yang retak atau patah disebut sesar atau fault. Pergeseran bidang patahan tersebut bisa terjadi secara horizontal dan vertikal. Solusi untuk menentukan arah dan orientasi yang menyebabkan terjadinya bidang sesar disebut sebagai "*Fault Plane solution*" (Janah, 2016).

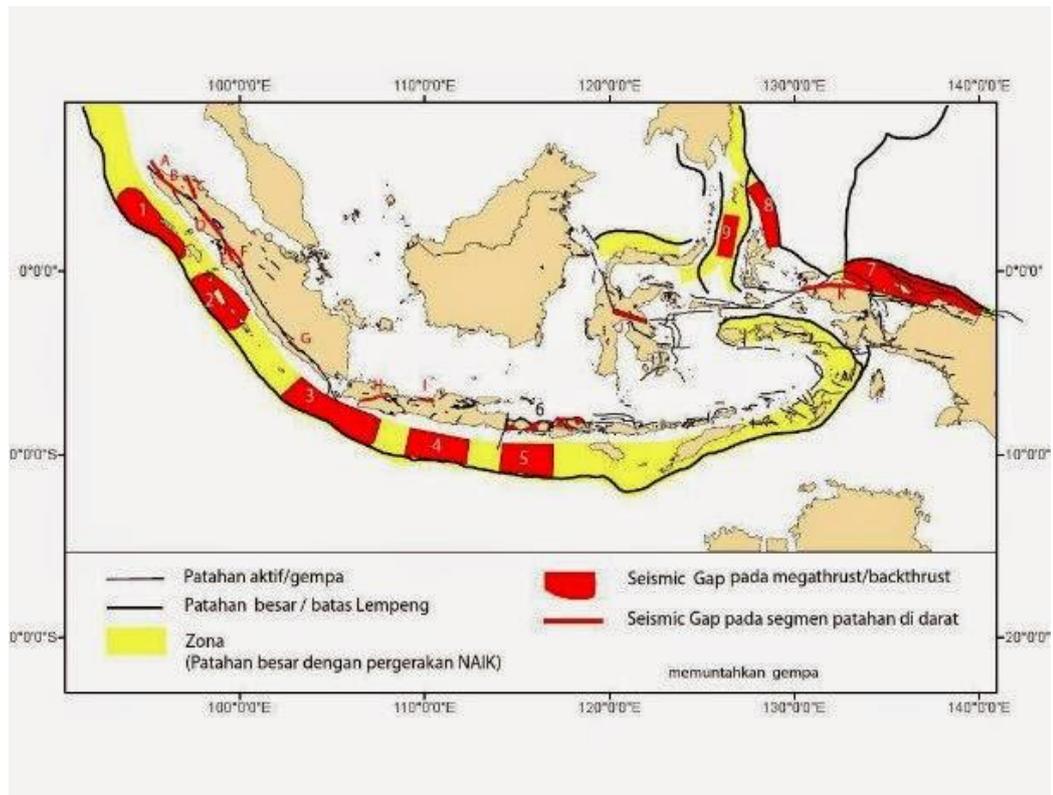
BENTUK PATAHAN



Gambar 2. 7 Bentuk – bentuk patahan

(Sumber: <https://ilmui.files.wordpress.com> 2017)

Sebuah patahan akan selalu mempunyai bidang yang disebut dengan "bidang patahan". Bidang patahan adalah bidang yang mewakili permukaan fraktur patahan. Dalam pembentukannya, patahan meninggalkan jejak yang sering disebut sebagai jejak patahan (jejak *Sesar*). Di atas peta geologi jejak patahan lebih banyak berupa garis yang disebut sebagai garis patahan (*fault line*) yang merupakan perpotongan bidang patahan dengan permukaan tanah. Patahan biasanya tidak berdiri sendiri, sehingga para ahli geologi memunculkan istilah zona patahan. Zona patahan adalah zona deformasi kompleks yang berhubungan dengan keberadaan bidang patahan.



Gambar 2. 8 Zona patahan di Indonesia

(Sumber: <http://www.politikindonesia.com> 2019)

2.6 Pemodelan Numerik (SiTProS)

SiTProS meliputi model matematika baru tsunami yang akan terjadi, penyebaran, simulasi real-time dan visualisasi. Model ini disebut SiTProS (*Siam Tsunami Propagation Simulator*). Model ini dapat berjalan untuk setiap jaringan regional atau global dengan data set topografi ditentukan pada ETOPO2. Resolusi grid dapat disesuaikan dengan ruang dan waktu. Penyebaran ini dapat dilakukan pada lintang-longitudinal atau pada grid kartesian. Olehnya diperkenalkan simulator model penjalaran tsunami yang memodelkan dan memprediksi kedatangan gelombang tsunami. Secara umum, ditemukan bahwa permodelan yang dilakukan dapat memprediksi waktu kedatangan tsunami dengan baik. SiTProS adalah simulator permodelan penyebaran tsunami, dengan algoritma yang cepat sehingga dapat dengan cepat memperkirakan penyebaran tsunami ke depan. SiTProS telah menerapkan model ini untuk kejadian 26 Desember 2004. Hal ini

menunjukkan prediksi yang sangat memuaskan mengenai waktu peristiwa tersebut. (Kurniawan, 2019)

Setelah melakukan analisa dengan menggunakan permodelan numerik dengan menggunakan program SiTProS maka akan diperoleh waktu kedatangan gelombang tsunami serta tinggi gelombang tsunami yang akan melanda suatu wilayah. Berdasarkan hasil dari permodelan numeric SiTProS tersebut maka dapat dibuatkan model skema mitigasi pada wilayah yang akan diteliti.

2.7 Mitigasi Bencana Tsunami

Mitigasi adalah serangkaian upaya untuk mengurangi risiko bencana, baik melalui pembangunan fisik maupun penyadaran dan peningkatan kemampuan menghadapi ancaman bencana. (UU Nomor 24 Tahun 2007)

Bencana alam seperti gempa bumi, tsunami, banjir, longsor, letusan gunung api dan lain – lain. Wilayah Indonesia, merupakan Negara kepulauan yang terletak pada pertemuan tiga lempeng tektonik dunia yaitu: Lempeng Hindia – Australia di sebelah selatan, lempeng Eurasia di sebelah barat dan lempeng pasifik di sebelah timur (Nurbahrunnisa, 2019)

Penanganan bencana (*disaster management*) merupakan proses yang dinamis, terpadu dan berkelanjutan untuk meningkatkan kualitas langkah-langkah yang berhubungan dengan serangkaian kegiatan yang meliputi pencegahan (*preventive*), mitigasi, kesiapsiagaan (*preparedness*), tanggap darurat, evakuasi, rehabilitasi dan pembangunan kembali (*reconstruction*). Sedangkan mitigasi adalah merupakan tindakan-tindakan untuk mengurangi atau meminimalkan potensi dampak negatif dari suatu bencana (Jokowinarno, 2011).

Untuk mitigasi bahaya tsunami atau untuk bencana alam lainnya, sangat diperlukan ketepatan dalam menilai kondisi alam yang terancam, merancang dan menerapkan teknik peringatan bahaya, dan mempersiapkan daerah yang terancam untuk mengurangi dampak negatif dari bahaya tersebut. Ketiga langkah penting tersebut:

- 1) Penilaian bahaya (*hazard assessment*),
- 2) Peringatan (*warning*)
- 3) Persiapan (*preparedness*)



Gambar 2. 9 Skema siaga bencana tsunami

(Sumber: <https://bnpb.go.id>)

Ada enam langkah yang bisa diupayakan dalam melakukan mitigasi bencana tsunami, yaitu:

- A. Melakukan upaya-upaya perlindungan terhadap kehidupan, infrastruktur, dan lingkungan pesisir.
- B. Meningkatkan pemahaman dan peran serta masyarakat pesisir terhadap kegiatan mitigasi bencana gelombang pasang.
- C. Meningkatkan kesiapsiagaan masyarakat terhadap bencana.
- D. Meningkatkan koordinasi dan kapasitas kelembagaan mitigasi bencana.
- E. Menyusun payung hukum yang efektif dalam upaya mewujudkan upaya-upaya mitigasi bencana dengan penyusunan produk hukum yang mengatur

pelaksanaan upaya mitigasi, pengembangan peraturan, pedoman perencanaan, dan pelaksanaan bangunan penahan bencana, serta pelaksanaan peraturan dan penegakan hukum terkait mitigasi.

- F. Mendorong keberlanjutan aktivitas ekonomi dan peningkatan kesejahteraan masyarakat pesisir melalui kegiatan mitigasi yang mampu meningkatkan nilai ekonomi kawasan, meningkatkan keamanan, dan kenyamanan kawasan pesisir untuk kegiatan perekonomian.

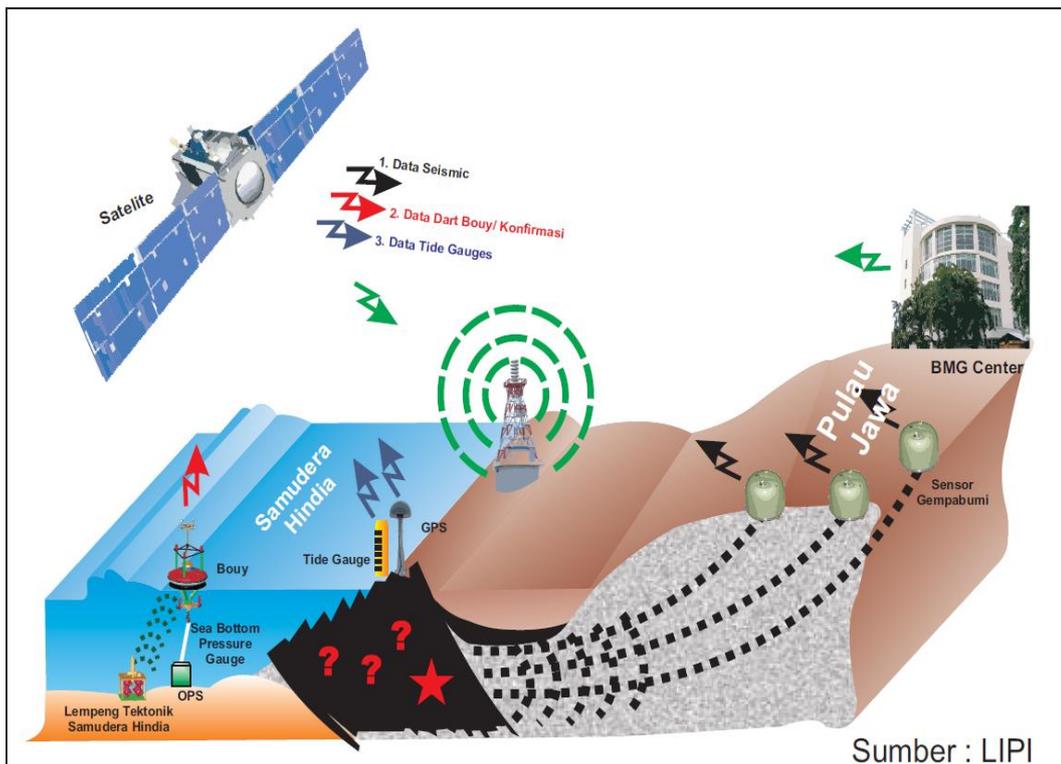
2.8 Sistem Peringatan Dini Tsunami

Sistem peringatan dini bencana merupakan elemen yang sangat penting dalam upaya pengurangan risiko bencana. Dengan adanya peringatan dini bencana, maka masyarakat dapat melakukan respon yang sesuai untuk melakukan penyelamatan dan menghindari korban jiwa serta mengurangi dampak bencana tersebut.. Peringatan dini sebagai bagian dari pengurangan risiko bencana tidak hanya mengenai peringatan yang akurat secara teknis, tetapi juga harus membangun pemahaman risiko yang baik dari suatu peringatan, menjalin hubungan antara penyedia dengan pengguna peringatan, dan juga meningkatkan kemampuan otoritas dan masyarakat untuk bereaksi secara benar terhadap peringatan dini. Jika salah satu komponen tersebut tidak terpenuhi, maka sistem peringatan dini tidak akan berhasil secara keseluruhan.

Sistem Peringatan Dini Tsunami Indonesia atau *Indonesia Tsunami Early Warning System* yang disingkat InaTEWS adalah suatu sistem peringatan dini tsunami yang komprehensif, yang di dalamnya telah diterapkan teknologi baru yang mengumpulkan semua informasi dari hasil sistem pemantauan gempa, simulasi tsunami, pemantauan tsunami dan deformasi kerak bumi setelah gempa terjadi.

Pada saat gempabumi terjadi, gelombang gempabumi menjalar melalui lapisan dalam bumi dan direkam oleh jaringan Seismograph. Rekaman gempabumi digunakan untuk menentukan lokasi dan kekuatan sumber gempabumi. Apabila hasil analisa menunjukkan bahwa parameter gempabumi yang terjadi memenuhi kriteria berpotensi menimbulkan tsunami (lokasi dilaut, magnitude > 7,0 SR dan kedalaman < 70 km) maka *National / Regional Tsunami Warning Center* (NTWC / RTWC) akan mengeluarkan dan menyebarkan Warning Potensi Tsunami terutama

ke institusi interface yang selanjutnya akan menindaklanjuti dengan penyebaran melalui berbagai media termasuk aktivasi sirine. Warning potensi tsunami ditindaklanjuti dengan konfirmasi terjadinya tsunami berdasarkan data hasil deteksi tsunami oleh sensor Buoys ataupun Tide Gauge. (Dr. Ir. SriWoro B. Harijono, 2010)



Gambar 2. 10 Konsep desain InaTEWS

(Sumber: InaTEWS-Konsep dan Implementasi 2010)