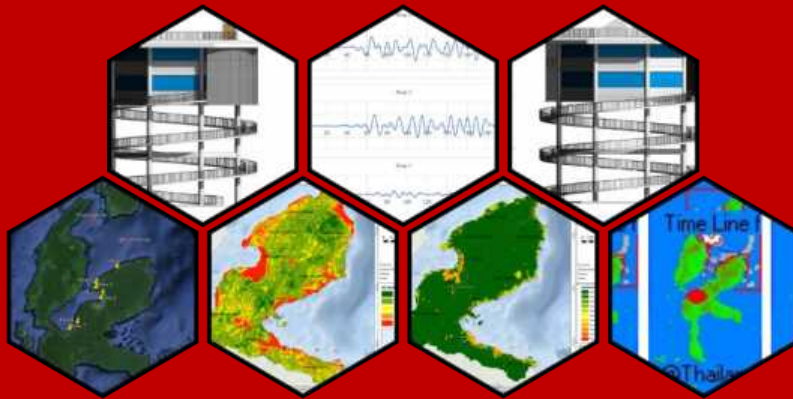


SKEMA MITIGASI TSUNAMI DI HALMAHERA TIMUR PROVINSI MALUKU UTARA



BULKIS BULKIA
D081 20 1038



PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK KELAUTAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2024



Optimized using
trial version
www.balesio.com

**SKEMA MITIGASI TSUNAMI DI HALMAHERA TIMUR PROVINSI
MALUKU UTARA**

**BULKIS BULKIA
D081 20 1038**



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



Optimized using
trial version
www.balesio.com

**SKEMA MITIGASI TSUNAMI DI HALMAHERA TIMUR PROVINSI
MALUKU UTARA**

**BULKIS BULKIA
D081 20 1038**

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**



SKRIPSI

SKEMA MITIGASI TSUNAMI DI HALMAHERA TIMUR PROVINSI MALUKU UTARA

BULKIS BULKIA
D081 20 1038

Skripsi

Telah dipertahankan di depan Panitia Ujian Sarjana Teknik Kelautan pada
26/06/2014 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan pada

Program Studi Teknik Kelautan
Departemen Teknik Kelautan Fakultas Teknik
Universitas Hasanuddin
Gowa

Mengesahkan:
Pembimbing Tugas Akhir,



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

Mengetahui:
Ketua Departemen,



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

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa, skripsi berjudul "**Skema Mitigasi Tsunami Di Halmahera Timur Provinsi Maluku Utara**" adalah benar karya saya dengan arahan dari pembimbing (Dr. Eng. Achmad Yasir Baeda, ST., MT. sebagai Pembimbing Utama). Karya ilmiah ini belum diajukan dan tidak sedang diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka skripsi ini. Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan skripsi ini adalah karya jiwa lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut berdasarkan aturan yang berlaku.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta (hak ekonomis) dari karya tulis saya berupa skripsi ini kepada Universitas Hasanuddin.



Optimized using
trial version
www.balesio.com

UCAPAN TERIMA KASIH

Assalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Puji dan syukur atas kehadiran Allah SWT, karena berkat rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan skripsi dengan judul "Skema Mitigasi Tsunami di Halmahera Timur Provinsi Maluku Utara". Shalawat dan salam tak lupa juga penulis kirimkan kepada baginda Nabi Muhammad SAW yang telah mengantarkan dari zaman kegelapan menuju zaman yang terang-benderang. Penulis menyadari bahwa dalam proses penelitian hingga penyusunan skripsi ini telah banyak pihak yang membantu dalam bentuk apapun itu. Oleh karena itu, penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih yang tak terhingga kepada semua pihak dengan segala keikhlasannya yang telah membantu dalam penyusunan skripsi ini terutama kepada:

1. Kedua Orang Tua, **Bapak Syarifuddin Yusuf** dan **Ibu Mardiana Thalib** yang telah berjuang dan terus mendoakan sedari awal serta melakukan apapun untuk mengusahakan anaknya bisa berada di titik lebih dari dirinya. Dengan segala kerendahan hati, penulis mengucapkan banyak terima kasih untuk semua pengorbanan tulus yang tentunya tidak akan pernah bisa terbalaskan. Penulis percaya bahwa setiap langkah yang dimudahkan oleh-Nya adalah hasil pengijabahan doa kedua jiwa tua penulis.
2. Dosen Pembimbing, **Dr. Eng. Achmad Yasir Baeda, ST., MT** Terima kasih atas segala keikhlasan, kesabaran dan ketulusannya serta dukungan tak terhitung dalam mengarahkan, memberikan bimbingan, bantuan dan motivasi serta masukan-masukan kepada penulis dimulai dari awal perkuliahan dan ditahap penelitian, penulisan skripsi sampai dengan hari ini.
3. Bapak **Dr. Ir. Chairul Paotonan, ST., MT.** dan **Sabaruddin Rahman, ST., MT., Ph.D.** selaku dosen penguji yang telah meluangkan waktu dan memberikan kritik serta saran yang sangat membantu penulis dalam proses penelitian maupun penyusunan skripsi ini.
4. Bapak **Dr. Ir. Chairul Paotonan, ST., MT.** selaku Ketua Departemen Teknik Kelautan yang telah mengesahkan skripsi ini.
5. Ibu **Ir. H. Juswan, ST., MT.** selaku penasehat akademik (PA) selama menjadi mahasiswa Teknik Kelautan sehingga saya dapat menyelesaikan studi.
6. **Dosen - Dosen Teknik Kelautan** yang telah memberikan ilmu serta pengalamannya selama dalam proses perkuliahan.
7. **Tenaga Kependidikan Departemen Teknik Kelautan**, yang telah membantu administrasi baik selama perkuliahan serta dalam penyelesaian



ir Thalib, S.T dan Tante **Dian Utami Anwar, S.H., M.H** yang telah **port** dalam perkuliahan saya kurang lebih selama 4 tahun ini.

(i) penulis yang senantiasa membantu dan *men-support* penulis tugas akhir ini.

10. Teman - teman **Naval 20** dan khususnya mahasiswa **Teknik Kelautan 2020** yang kebersamaan serta waktu yang telah kita lalui bersama dalam suka dan duka. Tak lupa pula penulis sampaikan banyak terimakasih kepada kanda-kanda Senior dan dinda-dinda Junior atas motivasi dan dukungannya.
11. Teman-teman **Labo Marine Disaster and Weather Anomalies (MDWA)** yang selalu memberikan semangat kepada saya, penulis mengucapkan banyak terima kasih juga kepada **Alumni Labo MDWA** yang selalu bersedia memberikan pengarahan.
12. Serta semua pihak yang turut serta dalam penyelesaian pendidikan, penelitian, dan penyusunan skripsi yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu. Penulis menyampaikan ucapan Terima Kasih yang sebesar-besarnya untuk seluruh bantuan yang diberikan. Dengan segala kerendahan hati penulis berharap skripsi ini dapat bermanfaat bagi kita semua.

Wassalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Penulis

Bulkis Bulkia



Optimized using
trial version
www.balesio.com

ABSTRAK

BULKIS BULKIA. Skema Mitigasi Tsunami di Halmahera Timur Provinsi Maluku Utara. (dibimbing oleh **Achmad Yasir Baeda**)

Indonesia terletak di Cincin Api Pasifik, dimana sangat rentan terhadap bencana alam seperti gempa bumi dan tsunami yang diakibatkan aktivitas lempeng tektonik yang aktif, khususnya di Provinsi Maluku Utara. Penelitian ini berfokus pada mitigasi tsunami di Kabupaten Halmahera Timur melalui pendekatan kuantitatif. Data diperoleh dari Badan Informasi Geospasial (BIG) termasuk Peta Rupa Bumi Indonesia (RBI) dan DEM Nasional (DEMNAS). Prosedur penelitian melibatkan identifikasi masalah, studi literatur, pengumpulan dan analisis data menggunakan *software* SiTProS dan ArcMap. Pemodelan tsunami dilakukan dengan berdasarkan 2 pusat gempa dan terdapat 7 titik peletakan *buoy*, pemodelan dilakukan dengan berbagai skenario gempa, termasuk magnitudo 6,2 SR hingga 7,5 SR. Hasil menunjukkan bahwa gelombang tertinggi dipicu oleh pusat gempa (a) dengan magnitudo 7,5 SR, mencapai ketinggian 8,97 m dan tiba dalam waktu 13 menit. Sebanyak enam kecamatan teridentifikasi berpotensi terdampak. Pendekatan mitigasi terdiri dari upaya non-struktural dan struktural, adapun upaya non-struktural meliputi penyusunan peta risiko, peningkatan kapasitas masyarakat melalui edukasi dan pelatihan, serta pengembangan sistem peringatan dini. Sementara itu, pendekatan struktural mencakup pembangunan *Shelter* di wilayah terdampak. Implementasi mitigasi yang efektif diharapkan dapat meningkatkan kesiapsiagaan dan keselamatan masyarakat Kabupaten Halmahera Timur terhadap ancaman tsunami.

Kata Kunci: Pemodelan Tsunami, Mitigasi Bencana, Peta Rawan Bencana



ABSTRACT

BULKIS BULKIA. *Tsunami Mitigation Scheme in East Halmahera, North Maluku Province.* (supervised by Achmad Yasir Baeda)

Indonesia is located in the Pacific Ring of Fire, making it highly prone to natural disasters such as earthquakes and tsunamis caused by active tectonic plate activity, especially in North Maluku Province. This research focuses on tsunami mitigation in East Halmahera Regency through a quantitative approach. Data was obtained from the Geospatial Information Agency (BIG), including the Indonesian Topographic Map (RBI) and the National DEM (DEMNAS). The research procedure involved problem identification, literature study, data collection, and analysis using SiTProS and ArcMap software. Tsunami modeling was based on 2 earthquake epicenters, with 7 buoy placement points, and was conducted with various earthquake scenarios, including magnitudes ranging from 6.2 SR to 7.5 SR. The results showed that the highest waves were triggered by earthquake epicenter (a) with a magnitude of 7.5 SR, reaching a height of 8.97 meters and arriving within 13 minutes. Six sub-districts were identified as potentially affected. The mitigation approach consists of non-structural and structural efforts. Non-structural efforts include the preparation of risk maps, increasing community capacity through education and training, and developing an early warning system. Meanwhile, structural approaches include the construction of Shelters in affected areas. Effective mitigation implementation is expected to enhance the preparedness and safety of the East Halmahera Regency community against tsunami threats.

Keywords: *Tsunami Modeling, Disaster Mitigation, Disaster Hazard Map*



DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	ii
PERNYATAAN PENGAJUAN	iii
HALAMAN PENGESAHAN	iv
PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI	v
UCAPAN TERIMA KASIH	vi
ABSTRAK	viii
ABSTRACT	ix
DAFTAR ISI	x
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR NOTASI	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xv
BAB I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Teori Dasar Tsunami	3
1.3 Generasi Tsunami	4
1.4 Propagasi Tsunami	6
1.5 Mekanisme Pembangkit Tsunami	6
1.6 Dampak Tsunami	7
1.7 Inundasi Tsunami	8
1.8 Mitigasi Tsunami	8
BAB II. METODOLOGI PENELITIAN	11
2.1 Waktu dan Lokasi Penelitian	11
2.2 Sumber dan Jenis Penelitian	11
2.3 Prosedur Penelitian	11
BAB III. HASIL DAN PEMBAHASAN	19
3.1 Generasi Tsunami	19
3.2 Propagasi Tsunami	19
3.3 Dampak Tsunami	32
3.4 Inundasi Tsunami	34
3.5 Kesimpulan DAN SARAN	54
3.6 Daftar Pustaka	54
3.7 Lampiran	54



DAFTAR PUSTAKA.....	55
LAMPIRAN	58



DAFTAR TABEL

Nomor Urut	Halaman
1. Koefisien Permukaan Masing- Masing Jenis Penggunaan Lahan	14
2. Data Gempa Wilayah Halmahera Timur	19
3. Koordinat Lokasi <i>Buoy</i>	20
4. Estimasi Kedatangan Tsunami	23
5. <i>Run-Up</i> Gelombang Tsunami Pusat Gempa (a)	26
6. Estimasi Kedatangan Tsunami	29
7. <i>Run-Up</i> Gelombang Tsunami Pusat Gempa (b)	31
8. Matriks Parameter Tingkat Kerentanan Tsunami	38
9. Jumlah Penduduk Di Kab. Halmahera Timur	44
10. Waktu Evakuasi	45
11. Rekomendasi Luas Ruang Bangunan <i>Shelter</i>	46
12. Titik Evakuasi Sementara	46
13. Penempatan Lokasi Tempat Evakuasi Sementara	48



DAFTAR GAMBAR

Nomor Urut	Halaman
1. Tektonik Lempeng Regional Pulau Halmahera Dan Sekitarnya	2
2. Dampak Kejadian Tsunami Jepang, 2011	4
3. Tahap Pembuatan Peta Inundasi	15
4. Tahap Pembuatan Peta Kerentanan Tsunami	17
5. Diagram Alir Penelitian	18
6. Titikpusat Gempa	20
7. <i>Frame</i> Awal	21
8. <i>Frame</i> Menengah	22
9. <i>Frame</i> Akhir	23
10. Grafik <i>Normalized Wave Height</i>	25
11. <i>Frame</i> Awal	27
12. <i>Frame</i> Menengah	27
13. <i>Frame</i> Akhir	28
14. Grafik <i>Normalized Wave Height</i>	30
15. Peta Kelerengan Kab. Halmahera Timur	33
16. Peta Penggunaan Lahan Kab. Halmahera Timur	34
17. Peta Elevasi Kab. Halmahera Timur	39
18. Peta Kelerengan Kab. Halmahera Timur	40
19. Peta Penggunaan Lahan Kab. Halmahera Timur	41
20. Peta Jarak Dari Garis Pantai	42
21. Peta Jarak Dari Sungai	43
22. Lokasi Tempat Evakuasi Sementara	47
23. Tinggi Bangunan <i>Shelter</i>	48
24. Bentuk Bangunan Akibat Arus Air Tsunami Terhadap Bangunan	49
25. Bagan Sop Mitigasi Bencana	50



DAFTAR NOTASI

Lambang/ Singkatan	Arti dan Penjelasan
Hm	Tinggi gelombang maksimum di garis pantai
A	<i>Constanta</i> dengan nilai 0.0004
Mw	Kekuatan gempa (SR)
b	<i>Constanta</i> dengan nilai 0.9
H _{loss}	Kehilangan ketinggian tsunami per 1 m jarak inundasi
n	Koefisien kekasaran permukaan
H ₀	Ketinggian gelombang tsunami di garis Pantai
S	Besarnya kemiringan lereng permukaan (°)
ϕ	<i>Strike</i>
δ	<i>Dip</i>
λ	<i>Slip</i>
B	<i>Constanta</i> dengan nilai 2.5
Hr	Tinggi <i>run-up</i> dihitung dari tinggi muka air rerata
ΔH_r	Tinggi <i>run-up</i> gelombang tsunami



DAFTAR LAMPIRAN

Nomor Urut	Halaman
1. Peta Inundasi Tsunami	59
2. Peta Rawan Bencana	60
3. Bangunan <i>Shelter</i>	61
4. Jalur Evakuasi Area 1	62
5. Jalur Evakuasi Area 2	63
6. Jalur Evakuasi Area 3	64
7. Jalur Evakuasi Area 4	65
8. Jalur Evakuasi Area 5	66
9. Jalur Evakuasi Area 6	67
10. Jalur Evakuasi Area 7	68
11. Jalur Evakuasi Area 8	69
12. Jalur Evakuasi Area 9	70
13. Jalur Evakuasi Area 10	71
14. Jalur Evakuasi Area 11	72
15. Jalur Evakuasi Area 12	73
16. Jalur Evakuasi Area 13	74
17. Jalur Evakuasi Area 14	75



BAB I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

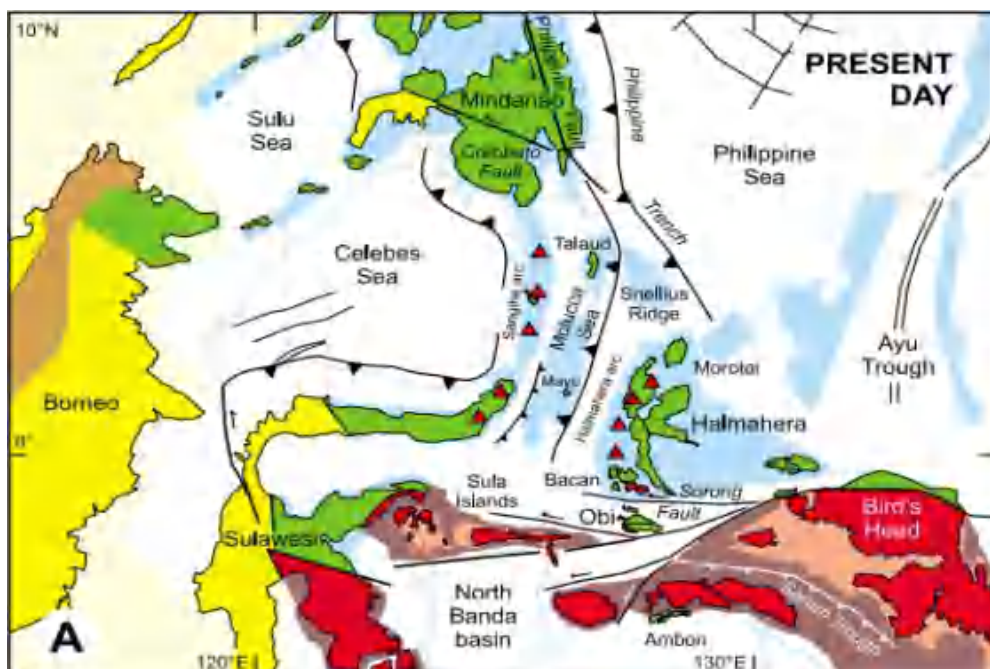
Tsunami merupakan sebuah fenomena alam yang menakutkan dan merusak, terutama bagi wilayah-wilayah pesisir di seluruh dunia. Tsunami terjadi ketika adanya gangguan di dasar laut, seperti gempa bumi, letusan gunung berapi di bawah laut, atau longsor bawah air. Gangguan tersebut menyebabkan pergerakan vertikal di dasar laut yang memicu gelombang tsunami. Tsunami dapat menyebabkan kerusakan yang parah karena memiliki kekuatan yang sangat besar dan dapat merambat dengan cepat ke pesisir, menghantam daratan dengan gelombang yang tinggi dan energi yang besar.

Indonesia adalah negara yang kaya akan sumber daya alam, namun juga rentan terhadap berbagai bencana alam. Bencana yang sering terjadi di Indonesia meliputi banjir, tanah longsor, kekeringan, tsunami, gempa bumi, dan letusan gunung berapi. Posisi geografis Indonesia yang berada di antara dua benua dan dua samudra berkontribusi pada terjadinya bencana tersebut. Tsunami, salah satu bencana yang sering terjadi, disebabkan oleh letak geologis Indonesia yang berada di pertemuan tiga lempeng tektonik: Lempeng Indo-Australia, Lempeng Pasifik, dan Lempeng Eurasia (Pratama, dkk. 2014). Tsunami adalah sebuah kenaikan muka gelombang air laut yang diakibatkan oleh adanya gangguan berupa gangguan tektonik. Gangguan tektonik yang dimaksud adalah bertemunya beberapa lempeng tektonik yang bergerak dan bertabrakan dan melepaskan energi dalam bentuk gelombang, gelombang besar yang dibangkitkan oleh gangguan tektonik ini disebut dengan tsunami (Daoed, dkk. 2013).

Indonesia telah mengalami sejarah yang tragis dengan tsunami, terutama yang terjadi pada 26 Desember 2004, ketika gempa bumi besar di lempeng tektonik India-Australia menghasilkan tsunami dahsyat yang menewaskan ratusan ribu jiwa di sepanjang pesisir Samudra Hindia, termasuk di Indonesia. Pada saat itu, gelombang tsunami yang mencapai ketinggian puluhan meter menghantam pesisir Aceh dan sebagian Sumatra, menyebabkan kerusakan yang luas dan kehilangan jiwa dalam jumlah yang besar serta letusan Gunung Krakatau pada tahun 1883 yang memicu tsunami besar yang merusak sejumlah wilayah di sekitar Selat Sunda.

Salah satu wilayah di Indonesia yang memiliki tingkat kerentanan terhadap terjadinya bencana alam gempa bumi dan tsunami yaitu Provinsi Maluku Utara, khususnya Kab. Halmahera Timur. Pulau Halmahera dan sekitarnya, terletak dalam sistem tektonik Indonesia yang kompleks dan memiliki aktivitas tektonik yang tinggi. Wilayah ini berada di zona pertemuan antara Lempeng Eurasia, Lempeng Pasifik, Lempeng Indo-Australia, serta beberapa lempeng kecil lainnya seperti Lempeng Filipina (Hall, 2018) Sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1.1.





Gambar 1. 1 Tektonik Lempeng Regional Pulau Halmahera dan sekitarnya
Sumber: (Hall, 2018)

Secara tektonik, Maluku Utara adalah daerah yang memiliki tingkat aktivitas seismik yang tinggi dan kompleks. Hal ini, dipengaruhi oleh keberadaan tiga lempeng utama, yaitu lempeng Eurasia, lempeng Pasifik, dan lempeng Indo-Australia, yang bertemu di kawasan Halmahera. Interaksi antara beberapa lempeng ini menghasilkan gaya dorong yang saling mempengaruhi, sehingga meningkatkan potensi aktivitas seismik di wilayah Maluku Utara (La Masinu, dkk., 2018). Pergerakan lempeng Eurasia terhadap lempeng Pasifik dan beberapa lempeng kecil sekitarnya mengakibatkan daerah-daerah di Pulau Halmahera memiliki tingkat kegempaan yang cukup tinggi. Hal ini berkaitan dengan aktivitas benturan lempeng (*plate collision*) (Sadjab, dkk, 2022).

Menurut Sili (2013), Pertemuan lempeng Eurasia dan Pasifik membujur di utara Papua hingga ke Maluku Utara sedangkan pertemuan lempeng Eurasia dan Indo-Australia membujur di sebelah barat Sumatra, Selatan Pulau Jawa, Bali dan Nusa Tenggara hingga ke laut Banda, pergerakan penyusupan lempeng Indo-Australia ke arah bawah lempeng Eurasia rata-rata 7 cm pertahun. Di daerah batas pertemuan lempeng (*Subduction Zone*) ini, banyak menimbulkan bencana gempa bumi.

Di sepanjang pesisir barat Pulau Halmahera, terdapat zona subduksi di mana menyusup di bawah lempeng Indo-Australia. Interaksi subduksi antara merupakan penyebab utama gempa bumi dan aktivitas vulkanik di Halmahera Timur juga berdekatan dengan Lempeng Filipina di pun tidak langsung berbatasan, tetapi pergerakan relatif antara juga dapat mempengaruhi aktivitas tektonik di wilayah tersebut. permasalahan yang telah diuraikan sebelumnya, maka an terkait dengan prediksi kemungkinan terjadinya tsunami di



wilayah Halmahera Timur yang kemudian akan dituangkan dalam bentuk penulisan penugasan tugas akhir atau skripsi dengan judul kajian **“Skema Mitigasi Tsunami di Kabupaten Halmahera Timur, Provinsi Maluku Utara”**.

1.2 Teori Dasar Tsunami

Kata Tsunami berasal dari bahasa Jepang, yang terdiri dari dua karakter kanji, yaitu "津" (tsu) yang berarti pelabuhan atau teluk dan "波" (nami) yang berarti gelombang. Nama ini diperkirakan berasal dari para nelayan Jepang, yang mengamati bahwa kapal-kapal dan bangunan di pelabuhan rusak akibat fenomena ini sekalipun mereka tidak merasakan gelombang besar ketika berada di laut lepas. Tsunami secara harfiah berarti ombak besar di pelabuhan yaitu gelombang air besar yang diakibatkan oleh gangguan di dasar laut, seperti gempa bumi, longsor bawah laut, atau letusan gunung berapi.

Gelombang tsunami memiliki dimensi yang sangat besar dan dapat bergerak melintasi seluruh samudera dengan hanya kehilangan sedikit energi. Gelombang ini bergerak lanjut seperti gelombang gravitasi biasa dengan ciri-ciri waktu antara 10 dan 60 menit. Tsunami akan menjulang makin tinggi ketika mendekati perairan dangkal, membanjiri daerah-daerah yang letaknya rendah dan memiliki topografi bawah laut lokal yang menyebabkan gelombang dapat meninggi akibatnya gelombang tersebut bisa pecah dan menimbulkan kerusakan besar. (IOC & JTIC, 2006).

Tsunami memiliki potensi erosi yang besar, mengikis pasir pantai yang mungkin membutuhkan waktu bertahun-tahun untuk terakumulasi dan merusak pepohonan dan vegetasi pantai lainnya. Mampu menggenangi, atau membanjiri, ratusan meter ke daratan melewati permukaan air yang tinggi, air yang bergerak cepat yang terkait dengan tsunami yang menggenangi dapat menghancurkan rumah-rumah dan bangunan pantai lainnya. Tsunami dapat mencapai ketinggian vertikal maksimum di daratan di atas permukaan laut, yang sering disebut ketinggian *run-up*, hingga puluhan meter. Gelombang tsunami sering kali tidak memiliki bentuk seperti gelombang ombak yang biasa terlihat di pantai, tetapi lebih mirip dengan lonjakan air yang datang dengan cepat. Dampak gelombang tsunami dapat sangat merusak, dengan potensi menyebabkan banjir besar, kerusakan infrastruktur, dan hilangnya nyawa.





Gambar 1. 2 Dampak Kejadian Tsunami Jepang, 2011
Sumber: (nationalgeographic)

1.3 Generasi Tsunami

Generasi tsunami merujuk pada proses terjadinya tsunami atau pembentukan gelombang tsunami itu sendiri. Proses ini terjadi ketika ada peristiwa alam seperti gempa bumi, letusan gunung berapi, longsoran bawah laut, atau kejadian alam lainnya yang menyebabkan perubahan besar-besaran di dasar laut atau di perairan dangkal. Perubahan ini menyebabkan perpindahan vertikal besar-besaran air, yang kemudian menciptakan gelombang 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).

Terdapat beberapa faktor utama yang menjadi penyebab terbentuknya tsunami meliputi:

1.3.1 Tsunami Akibat Longsor Bawah Laut (*Undersea Landslides*)



Optimized using
 trial version
www.balesio.com

terjadi akibat tabrakan antara lempeng benua dan lempeng samudra, gempa bumi, dan perubahan air laut. Proses ini membentuk palung laut dan bukit-bukit di dasar laut yang berpengaruh pada pergerakan volume air yang ada di dasar laut juga terdapat struktur yang mirip dengan daratan, seperti bukit dan cekungan yang dapat mengakibatkan sewaktu-waktu terjadi longsoran bawah laut yang terjadi akibat longsoran bawah laut ini dikenal dengan nama *undersea landslide*.

1.3.2 Tsunami Akibat Gempa Bumi Bawah Laut (*Undersea Earthquake*)

Gempa bawah laut sering kali terjadi di zona subduksi, di mana lempeng tektonik bertemu dan salah satu lempeng menyusup di bawah lempeng lainnya. Gempa ini dapat menyebabkan pergeseran besar-besaran pada dasar laut, yang kemudian memicu perpindahan besar-besaran air di sekitarnya. Ketika terjadi gempa bawah laut, energi seismik yang dilepaskan dapat menyebabkan gerakan vertikal besar pada dasar laut, yang kemudian menciptakan gelombang besar di permukaan laut. Tidak semua gempa bumi di dasar laut dapat menyebabkan tsunami hal ini bergantung pada jenis patahan dan kedalaman pusat gempanya. Umumnya, tsunami dihasilkan oleh gempa bumi di dasar laut dengan patahan normal (gravitasi) atau *reverse* dan memiliki magnitudo $\geq 7,0$ Mw dengan hiposenter pada kedalaman dangkal antara 0 hingga 80 km (Raharjo, 2013). Tidak semua gempa bumi menghasilkan tsunami hal ini bergantung pada beberapa faktor utama seperti tipe sesaran (*fault type*), kemiringan sudut antar lempeng (*dip angle*), dan kedalaman pusat gempa (*hypocenter*).

1.3.3 Tsunami Akibat Letusan Vulkanik

Secara geografis, kepulauan Indonesia merupakan daerah rawan bencana karena termasuk dalam *Ring of Fire* yang bentuknya melengkung dari pulau-pulau di bagian utara Sumatera - Jawa - Nusa Tenggara hingga Sulawesi Utara. Indonesia memiliki lebih dari 400 gunung berapi dan 130 di antaranya merupakan gunung berapi aktif, yang terletak di dasar laut dan di atas permukaan laut (Akbar et al., 2020). 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. Salah satu kejadian tsunami akibat letusan gunung berapi ialah tsunami akibat letusan Gunung Krakatau pada tahun 1883. Tsunami yang disebabkan oleh meletusnya gunung berapi memang jarang terjadi. Namun dampak yang terjadi dari tsunami demikian juga tak kalah parah, dimana desa-desa, pulau-pulau, dan bahkan seluruh penduduk musnah akibat letusan gunung berapi. Lebih dari itu, semua korban jiwa akibat letusan gunung-gunung berapi, hampir seperempatnya tewas tergulung gelombang tsunami.

1.3.4 Tsunami Akibat Tabrakan Benda Luar Angkasa (*Cosmic-body impacts*)

Tsunami yang disebabkan oleh jatuhnya benda luar angkasa, seperti meteor atau asteroid, merupakan peristiwa yang jarang terjadi tetapi dapat memiliki dampak yang sangat besar. Saat objek luar angkasa memasuki atmosfer bumi, energi kinetiknya yang besar dapat menghasilkan ledakan besar saat objek tersebut memecah menjadi fragmen kecil atau menabrak permukaan bumi secara langsung. Dampaknya tergantung pada ukuran, kecepatan, dan sudut datangnya objek tersebut. Tsunami yang diakibatkan oleh asteroid sangat jarang terjadi, akan tetapi jika peristiwa tersebut terjadi umumnya akan



cepat dan jarang mempengaruhi wilayah pesisir yang jauh dari eroid. Sekalipun jika tumbukan yang diakibatkan oleh asteroid eng di bawah laut maka peristiwa tsunami dahsyat dapat saja ngkas, 2015).

1.4 Propagasi Tsunami

Propagasi tsunami adalah proses perambatan gelombang tsunami dari sumbernya ke seluruh area samudera dan pantai dengan arah propagasi energi utama umumnya tegak lurus terhadap arah zona patahan gempa bumi. Saat gelombang tsunami merambat di laut terbuka, ia dapat bergerak dengan kecepatan yang sangat tinggi, bahkan melewati samudera dengan kecepatan hingga ratusan kilometer per jam. Gelombang tsunami biasanya memiliki panjang gelombang yang panjang, sehingga mereka dapat menyapu lautan dalam jarak yang jauh. Selama propagasi, gelombang tsunami dapat mengalami perubahan kecepatan, amplitudo, dan bentuknya karena interaksi dengan fitur-fitur topografi dasar laut, seperti pegunungan bawah laut, palung, atau lembah laut. Namun, meskipun gelombang tsunami dapat melemah seiring waktu dan jarak, energinya tetap besar dan dapat menyebabkan kerusakan yang signifikan ketika mencapai pesisir. Proses propagasi tsunami memungkinkan gelombang tersebut untuk mencapai wilayah-wilayah yang jauh dari sumbernya, dan inilah yang membuatnya menjadi ancaman yang serius bagi pesisir yang terparap.

Jarak antara puncak gelombang disebut panjang gelombang karena panjang gelombang tsunami yang panjang, yang bisa mencapai ratusan mil, tsunami hampir tidak terlihat di lautan dalam dan jarang lebih dari tiga kaki (satu meter) tingginya. 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 menjadi kuat.

1.5 Mekanisme Pembangkit Tsunami

Pemicu paling umum terbentuknya tsunami adalah gempa bumi yang mengakibatkan sekitar 80%–90% dari seluruh tsunami (Ward, 2011). Tsunami terbentuk terbanyak karena gempa bumi yang terjadi di dasar laut, terutama di zona subduksi tempat lempeng tektonik bertemu. Zona subduksi adalah wilayah di mana satu lempeng tektonik menyusup di bawah lempeng lainnya, menciptakan tekanan besar dan ketegangan yang akhirnya dilepaskan sebagai gempa bumi. Gempa bumi di zona subduksi sering kali sangat kuat dan menyebabkan perpindahan besar-besaran pada dasar laut yang menggerakkan air laut di atasnya dan menciptakan gelombang tsunami yang besar. Namun, tidak semua gempa menyebabkan tsunami. Biasanya, hanya gempa berkekuatan $\geq 7,0$ Mw yang memiliki potensi ini. Semakin kuat suatu gempa, semakin besar pula peluang tsunami yang disebabkan oleh gempa tersebut (Rinard Hinga, 2015). Mekanisme tsunami akibat gempa bumi dapat diuraikan dalam empat tahapan yang diuraikan dibawah ini:

1. Kondisi Awal



Optimized using
trial version
www.balesio.com

iasanya berhubungan dengan guncangan permukaan yang terjadi perambatan gelombang elastik (*elastic wave*) melewati batuan permukaan tanah. Pada daerah yang berdekatan dengan sumber laut (patahan), dasar lautan sebagian akan terangkat (*uplifted*) dan sebagian lagi turun ke bawah (*down-dropped*), sehingga air naik dan turun. Energi potensial yang diakibatkan dorongan air berubah menjadi gelombang tsunami atau energi kinetik di atas

elevasi muka air laut rata-rata (*mean sea level*) yang merambat secara horizontal. Kasus yang diperlihatkan adalah keruntuhan dasar lereng kontinental dengan lautan yang relatif dalam akibat gempa. Kasus ini dapat juga terjadi pada keruntuhan lempeng kontinental dengan kedalaman air dangkal akibat gempa.

2. Pemisah Gelombang

Setelah beberapa menit kejadian gempa bumi, gelombang awal tsunami akan terpisah menjadi tsunami yang merambat ke Samudera yang disebut sebagai tsunami berjarak dan sebagian lagi merambat ke pantai-pantai berdekatan yang disebut sebagai tsunami lokal. Tinggi gelombang di atas muka air laut rata-rata dari ke dua gelombang tsunami yang merambat dengan arah berlawanan ini, besarnya kira-kira setengah tinggi gelombang tsunami awal. Kecepatan rambat ke dua gelombang tsunami ini dapat diperkirakan sebesar akar dari kedalaman. Oleh karena itu, kecepatan rambat tsunami di samudera dalam akan lebih cepat dari pada tsunami lokal.

3. Amplifikasi

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

4. Rayapan (*Run-Up*)

Pada saat gelombang tsunami merambat dari perairan dalam, akan melewati bagian lereng kontinental sampai mendekati bagian pantai dan terjadi rayapan tsunami. *Run-up* tsunami adalah ukuran tinggi air di pantai terhadap muka air laut rata-rata yang digunakan sebagai acuan dari pengamatan berbagai kejadian tsunami. Pada umumnya, tsunami tidak menyebabkan gelombang tinggi yang berputar setempat (gelombang akibat angin yang dimanfaatkan oleh peselancar air untuk meluncur di pantai). Namun, tsunami datang berupa gelombang kuat dengan kecepatan tinggi di daratan yang berlainan seperti diuraikan pada amplifikasi, sehingga rayapan gelombang pertama bukanlah *run-up* tertinggi (Namiruddin, 2018).

1.6 Dampak Tsunami

Tsunami membawa dampak yang luas dan signifikan dari berbagai aspek. Dari segi fisik, tsunami menyebabkan kerusakan parah pada infrastruktur, termasuk bangunan, jalan, jembatan, dan fasilitas umum seperti pelabuhan dan jaringan listrik. Gelombang besar dan kuat yang dibawa oleh tsunami sering kali merusak atau menghancurkan struktur-



memerlukan waktu dan biaya besar untuk pemulihan. Selain itu, dampak lain seperti erosi pantai dan pencemaran air laut juga terjadi, perubahan topografi pantai dan kerusakan ekosistem yang penting seperti mangrove dan hutan bakau.

Tsunami membawa dampak besar pada kehidupan masyarakat. Dampaknya bisa sangat tinggi, terutama di daerah yang padat penduduk dan

dekat dengan pantai. Banyak jiwa kehilangan tempat tinggal dan terpaksa mengungsi, menciptakan krisis pengungsian dan tekanan pada sumber daya bantuan. Trauma psikologis juga umum terjadi di antara korban selamat, yang mungkin kehilangan anggota keluarga, teman, atau properti mereka. Pemulihan psikologis sering kali membutuhkan waktu yang lama dan dukungan yang berkelanjutan. Secara ekonomi, dampak tsunami juga sangat signifikan. Kerugian ekonomi langsung meliputi biaya perbaikan dan rekonstruksi infrastruktur serta kehilangan aset pribadi dan bisnis. Selain itu, dampak tidak langsung seperti penurunan aktivitas ekonomi di sektor-sektor vital seperti pariwisata, perikanan, dan pertanian memperburuk situasi. Biaya pemulihan dan rekonstruksi jangka panjang dapat menguras sumber daya pemerintah dan mempengaruhi perekonomian nasional. Kombinasi dari kerusakan fisik, dampak sosial, dan kerugian ekonomi menunjukkan betapa dahsyatnya dampak tsunami bagi suatu wilayah.

1.7 Inundasi Tsunami

Inundasi tsunami merupakan peristiwa ketika gelombang tsunami mencapai daratan dan menyebabkan genangan air yang luas di wilayah pesisir. Ini adalah jarak horizontal terjauh yang dijangkau oleh gelombang tsunami dari garis pantai, menyebabkan air laut melimpah ke daratan yang biasanya kering dan menciptakan genangan air besar. Faktor-faktor seperti topografi dan bentuk wilayah pesisir memengaruhi tingkat inundasi tsunami, dengan daerah datar dan rendah lebih rentan terhadap genangan air yang luas daripada daerah dengan topografi yang lebih curam. Inundasi tsunami bisa sangat merusak, menyebabkan kerusakan properti, infrastruktur, dan sumber daya alam, serta mengancam keselamatan manusia dan hewan. Selama fase ini, air laut dapat membanjiri lahan, merusak bangunan, dan membawa material puing-puing serta reruntuhan. Dampak dari inundasi tsunami sangat serius, mencakup kematian dan cedera fisik, kerusakan properti dan infrastruktur, serta kerugian pada sektor ekonomi. Persiapan masyarakat, sistem peringatan dini yang efektif, dan infrastruktur tangguh dapat memainkan peran kunci dalam mengurangi dampak negatif dari inundasi tsunami.

1.8 Mitigasi Bencana Tsunami

Mitigasi meliputi segala tindakan untuk mencegah dan mengurangi dampak dari suatu bahaya, serta meminimalisir dan mencegah risiko baik dari material maupun kehilangan nyawa. 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 juga dapat diartikan sebagai usaha untuk mengurangi dampak bencana itu benar-benar terjadi (Adnan, 2020).



dibagi menjadi dua bagian: mitigasi fisik (struktural) dan mitigasi non-fisik (non-struktural). Kedua langkah ini seharusnya diimplementasikan secara bersamaan untuk melengkapi. Mitigasi fisik (struktural) melibatkan tindakan fisik untuk mengurangi dampak bencana. Di sisi lain, mitigasi non-fisik (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).

1.9 Rumusan Masalah

Dari latar belakang yang telah dijelaskan sebelumnya, Kabupaten Halmahera Timur memiliki letak 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 Kabupaten Halmahera Timur, Provinsi Maluku Utara?
- b Bagaimana *run-up* tsunami di Kabupaten Halmahera Timur, Provinsi Maluku Utara?
- c Bagaimana mitigasi yang tepat pada saat terjadi tsunami di Kabupaten Halmahera Timur, Provinsi Maluku Utara?

1.10 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk:

- a Memberikan gambaran terkait mekanisme pembangkitan, penjalaran serta *run-up* tsunami di Kabupaten Halmahera Timur, Provinsi Maluku Utara
- b Mendapatkan gambaran *run-up* tsunami di Kabupaten Halmahera Timur, Provinsi Maluku Utara
- c Membuat skema mitigasi yang tepat di Kabupaten Halmahera Timur, Provinsi Maluku Utara.

1.11 Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu merupakan usaha para peneliti untuk mencari perbandingan dan kemudian menemukan inspirasi baru untuk penelitian selanjutnya. Hal ini membantu peneliti dalam menyusun kerangka teoritis, merumuskan pertanyaan penelitian, dan mengidentifikasi kesenjangan pengetahuan yang dapat diisi melalui penelitian yang sedang dilakukan. Penelitian terdahulu juga dapat digunakan untuk membandingkan temuan atau hasil penelitian dengan penelitian sebelumnya, mengidentifikasi trend atau perubahan dalam bidang studi tertentu, atau mengevaluasi metode penelitian yang telah digunakan sebelumnya. Berdasarkan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Baeda et al. (2015) dalam judul "Tsunami Mitigation Plan for Manakarra Beach of West Sulawesi Province, Indonesia", pengolahan parameter gempa bumi dan pemodelan tsunami dilakukan menggunakan *software* SiTProS. Hasil simulasi menunjukkan bahwa waktu dampak tsunami terjadi pada 19,09 menit setelah guncangan pertama. Selain itu, terdapat fluktuasi tinggi muka air laut pada menit ke-12 (awal penarikan), sebelum



menghempas pantai pada menit ke-39 (*Run-up*). Studi ini gelombang maksimum yang menghantam pantai terjadi pada dengan ketinggian mencapai 0,368 pada menit ke-50 setelah Dermaga Pantai Manakarra, dengan ketinggian saat air pasang neter, mengalami *run-up* sebesar 6,306 meter dari tsunami yang m waktu 50 menit. Hal ini, memberikan waktu sekitar 30 menit untuk alui jalur lalu lintas umum menuju dataran tinggi di Mamuju Bagian

Timur, dengan memanfaatkan berjalan cepat, berlari, atau menggunakan kendaraan bermotor seperti sepeda motor dan mobil, dengan batasan kecepatan tidak lebih dari 40 km/jam untuk menghindari kecelakaan dengan kendaraan lain. Penelitian yang akan penulis teliti berfokus pada peningkatan aspek prediksi tsunami, termasuk generasi, propagasi, dampak, serta tingkat inundasi, serta perencanaan pembangunan struktur evakuasi yang sesuai dengan kondisi geografis lokasi penelitian.



BAB II. METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Waktu dan Lokasi Penelitian

Dalam proses penelitian, pemodelan tsunami dilakukan selama 2 pekan dengan menggunakan *software* SiTProS, analisis tinggi *run-up* tsunami dilakukan selama sepekan dengan Microsoft Excel, serta penentuan skema mitigasi yang tepat dilakukan selama 4 pekan. Penelitian ini dilakukan di *Marine Disaster and Weather Anomalies* (MDWA) *Research Laboratory* Departemen Teknik Kelautan, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin, Gowa. Lokasi penelitian difokuskan pada kabupaten Halmahera Timur, Provinsi Maluku Utara.

2.2 Sumber dan Jenis Penelitian

Penelitian ini termasuk penelitian kuantitatif yang melibatkan penggunaan angka dalam proses penelitian. Dalam penelitian ini, data yang digunakan diperoleh dari Badan Informasi Geospasial (BIG), adapun jenis adanya adalah lembaran Peta Rupa Bumi Indonesia (RBI) Halmahera Timur serta data *Digital Elevation Model* (DEM) Nasional yang dapat di peroleh dari situs resminya di Ina Geoportal ataupun Tanah Air Indonesia.

2.3 Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian yang dilakukan dalam “Skema Mitigasi Tsunami di Halmahera Timur, Provinsi Maluku Utara” sebagai berikut:

2.3.1 Identifikasi dan perumusan masalah

Dalam melakukan sebuah penelitian tahap awal yang perlu dilakukan adalah mengidentifikasi masalah yang akan di angkat dalam topik penelitian ini. Dari latar belakang yang telah diuraikan sebelumnya, diketahui bahwa Halmahera Timur yang secara geografis dan geologis berada di area ancaman bencana gempa bumi dan tsunami. Oleh karena itu, masalah yang dihadapi adalah bagaimana merancang rencana mitigasi tsunami yang sesuai untuk wilayah Kab. Halmahera Timur, Provinsi Maluku Utara.

2.3.2 Studi Literatur

Dalam penulisan penelitian ini di perlukan banyak literatur-literatur yang mendukung seperti buku dan jurnal yang terkait, hal ini berfungsi sebagai pengembangan wawasan dan analisis. Membaca dan meninjau literatur terkait dengan mitigasi tsunami serta pembuatan peta rawan tsunami.

2.3.3 Pengumpulan Data



Optimized using
trial version
www.balesio.com

akan pengumpulan data yang diperlukan sebagai bahan dalam litan ini. Adapun data yang dikumpulkan berupa Peta RBI ta DEMNAS dapat di peroleh dari situs resminya di Ina Geoportal donesia serta data yang diperlukan dalam melakukan pemodelan i dari informasi faktor bangkitan tsunami berupa koordinat lokasi gempa dengan menggunakan literatur terkait. Informasi tersebut

- 6 *Output* yang dihasilkan oleh program SiTProS, yakni gambar/video visualisasi pemodelan tsunami, *normalized wave height*, dan waktu yang dibutuhkan tsunami sampai ke tempat yang ditinjau.
- 7 Setelah simulasi selesai, langkah selanjutnya adalah menghitung penjalaran tsunami di Kabupaten Halmahera Timur.

Setelah *output* dari program SiTProS didapatkan, selanjutnya menghitung tinggi *run-up* gelombang yang dapat dihitung dengan menggunakan formula Aydan, Formula 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 muka air rata-rata 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:

Formula Aydan: (1)

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

Dimana :

- A : *Constanta* dengan nilai 0.0004
- M_w : Kekuatan gempa (SR)
- b : *Constanta* dengan nilai 0.9
- H_m : Tinggi gelombang maksimum di garis pantai

2.3.4.2 Inundasi Tsunami

Setelah menganalisis estimasi waktu kedatangan tsunami dan menghitung tinggi *run-up* yang akan terjadi dengan asumsi gempa berkekuatan 7,5 SR maka selanjutnya melakukan analisis inundasi tsunami.

Pemodelan inundasi dilakukan dengan memanfaatkan *software* ArcMap 10.8. Secara garis besar, metode yang digunakan dalam pembuatan peta inundasi tsunami ini adalah metode perhitungan matematis yang dikembangkan oleh Berryman, 2005. Metode Berryman menghitung kehilangan ketinggian tsunami per 1 meter jarak inundasi (ketinggian genangan). Pengolahan data dalam penelitian ini meliputi pembuatan peta kemiringan lereng, penggunaan lahan, serta garis pantai.

Perhitungan H_{loss}: (2)

$$H_{loss} = \left(\frac{167 n^2}{H_0^{1/3}} \right) + 5 \sin S$$

Dimana:



ilangan ketinggian tsunami per 1 m jarak inundasi

fisien kekasaran permukaan

nggian gelombang tsunami di garis Pantai (meter)

arnya kemiringan lereng permukaan (°)

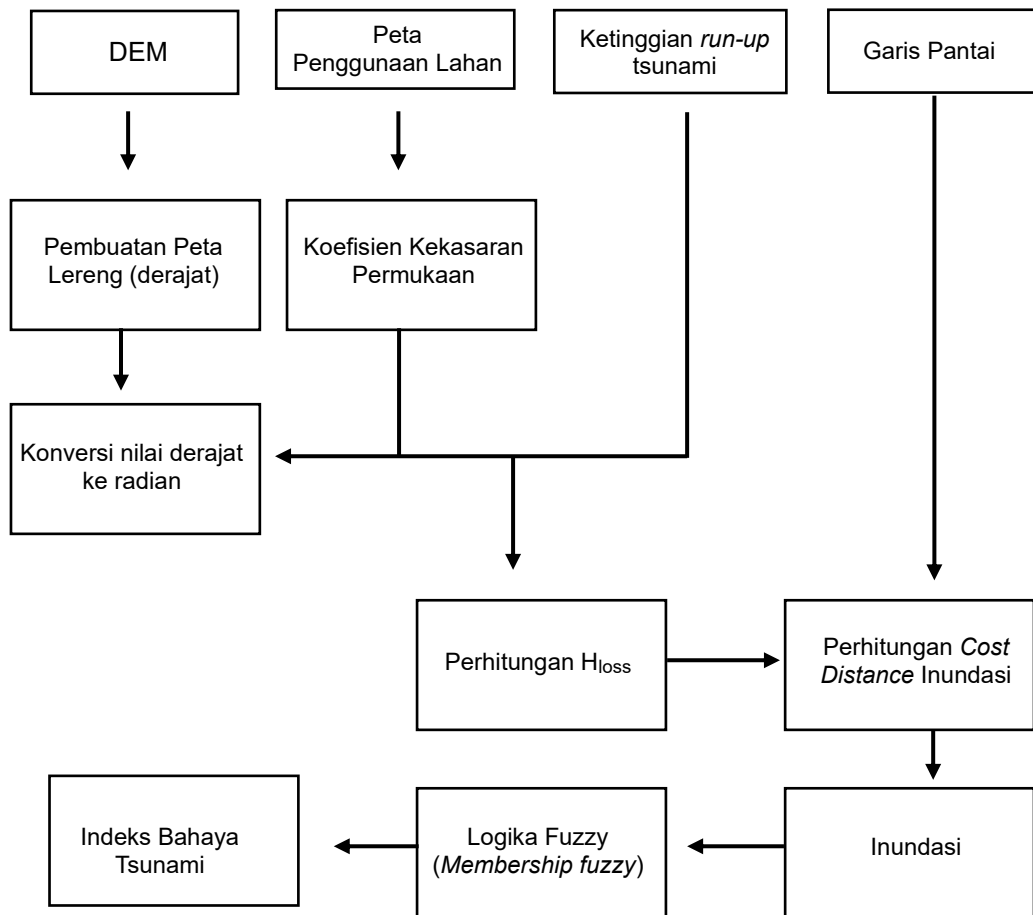
Proses pengolahan data dimulai dengan mengolah data, yaitu data garis pantai, penggunaan lahan, dan kemiringan lereng. *Shapefile* penggunaan lahan yang diperoleh dari BIG Indonesia diklasifikasikan ulang menggunakan *tools merging* pada *software* ArcMap 10.8. Koefisien kekasaran untuk masing masing sektor penggunaan lahan kemudian diinput berdasarkan nilai koefisien kekasaran hasil modifikasi oleh Berryman 2005 (Tabel 2.1). DEMNAS diolah menggunakan *tools slope* pada *software* ArcMap 10.8. untuk mendapatkan nilai kemiringan lereng wilayah Kabupaten Halmahera Timur, Peta kemiringan lereng disajikan dengan satuan derajat. H_{loss} dihitung menggunakan *raster calculator* berdasarkan nilai kemiringan lereng dan koefisien kekasaran permukaan yang sudah diperoleh. *Shapefile* garis pantai di input sebagai acuan untuk menghitung jarak inundasi dengan menggunakan *tools cost distance*. Pengklasifikasian jarak inundasi dilakukan menggunakan pendekatan logika *fuzzy*. Pendekatan logika *fuzzy* merupakan fitur pengelompokan suatu sebaran nilai ideal dari *membership fuzzy* berdasarkan aturan yang ditentukan, sedangkan pengelompokan kelas bahaya dilakukan menggunakan *raster calculator*.

Tabel 2. 1 Koefisien permukaan masing- masing jenis penggunaan lahan

Jenis Penggunaan Lahan	Koefisien Kekasaran Permukaan
Badan Air	0.007
Semak/Belukar	0.040
Hutan	0.070
Kebun/Perkebunan	0.035
Lahan Kosong/Terbuka	0.015
Tambak/Empang	0.010
Lahan Pertanian	0.025
Permukiman/Lahan Terbangun	0.045
Mangrove	0.025

Sumber: Berryman (2005)





Gambar 2. 1 Tahap Pembuatan Peta Inundasi

Sumber: (Risiko Bencana Indonesia, 2023)



2.3.4.3 Mitigasi Bencana

Mitigasi bencana meliputi segala tindakan untuk mencegah dan mengurangi dampak dari suatu bahaya, serta meminimalisir dan mencegah risiko baik dari material maupun kehilangan nyawa. Mitigasi bencana adalah istilah yang merujuk pada seluruh upaya untuk mengurangi dampak suatu bencana yang dapat dilakukan 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 dikenali, serta proses perencanaan untuk merespon bencana yang benar benar terjadi.

Mitigasi bencana dibagi menjadi dua bagian: mitigasi fisik (struktural) dan mitigasi non-fisik (non-struktural). Kedua langkah ini seharusnya diimplementasikan secara terintegrasi dan saling melengkapi. Mitigasi fisik (struktural) melibatkan tindakan fisik yang diambil untuk mengurangi dampak bencana. Sedangkan, mitigasi non-fisik (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).

Adapun beberapa startegi mitigasi yang dapat dilakukan untuk mengurangi risiko dan dampak dari seragan tsunami, yaitu:

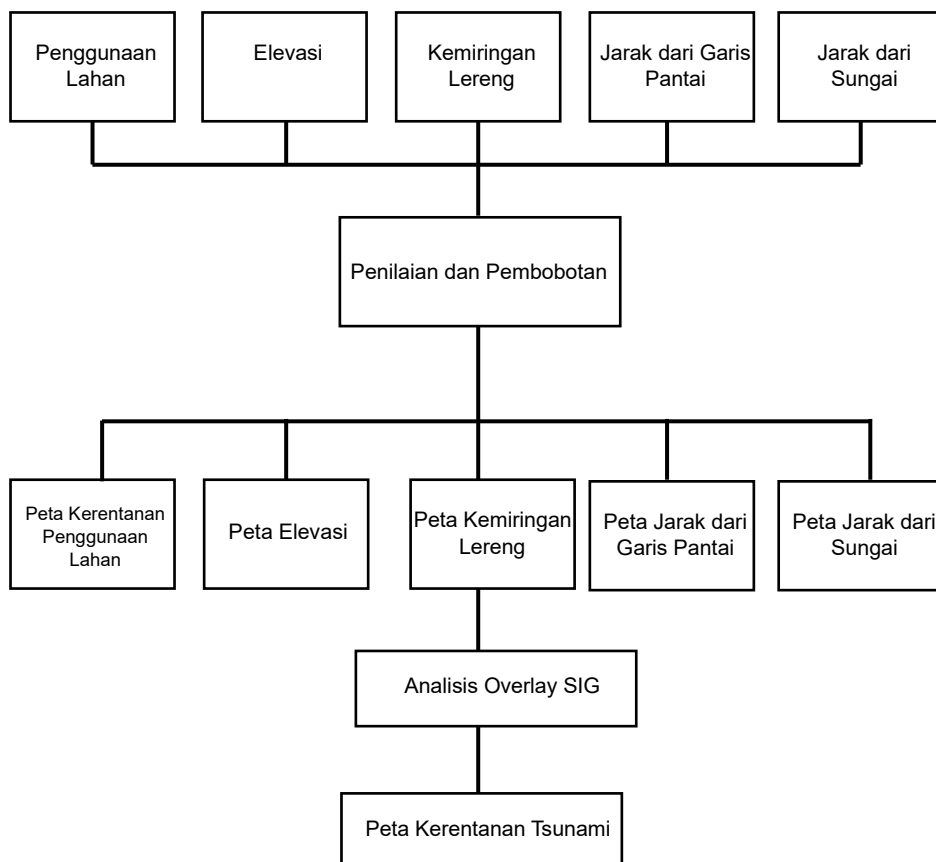
- 1 Pemetaan Bahaya Tsunami: Melakukan pemetaan bahaya tsunami adalah langkah penting dalam mitigasi risiko. Pemetaan ini mencakup identifikasi wilayah-wilayah yang rentan terhadap serangan tsunami berdasarkan topografi, kedalaman laut, dan sejarah tsunami sebelumnya. Informasi ini dapat digunakan untuk mengembangkan strategi mitigasi yang lebih efektif.
- 2 Pembangunan Tempat Evakuasi Tinggi: Identifikasi dan pembangunan tempat evakuasi tinggi di wilayah-wilayah pesisir yang rentan merupakan langkah mitigasi yang krusial. Tempat evakuasi ini harus dirancang untuk menahan dampak gelombang tsunami dan memberikan perlindungan kepada masyarakat yang mengungsi selama bencana.
- 3 Sistem Peringatan Dini: Pengembangan dan implementasi sistem peringatan dini tsunami yang efektif adalah langkah kunci dalam mitigasi risiko tsunami. Sistem ini mencakup sensor gempa bumi dan pengukur gelombang laut yang memonitor aktivitas laut dan memberikan peringatan cepat kepada masyarakat dan pihak berwenang saat terjadi gempa bumi atau peristiwa tsunami lainnya.
- 4 Infrastruktur Tangguh: Pembangunan infrastruktur yang tangguh, seperti tanggul, dinding penahan, atau bangunan yang dirancang untuk menahan gelombang tsunami, dapat membantu melindungi wilayah pesisir dari serangan gelombang tsunami. Pembangunan infrastruktur yang tahan terhadap tekanan air laut dan gelombang juga sangat penting dalam mengurangi kerusakan infrastruktur selama inundasi tsunami.



dan Kesadaran Masyarakat: Pendidikan masyarakat tentang termasuk pengenalan tanda-tanda awal dan prosedur evakuasi yang

tepat, sangat penting dalam meningkatkan kesiapan dan respons terhadap ancaman tsunami. Program-program kesadaran masyarakat, kampanye informasi, dan pelatihan evakuasi biasanya dilakukan untuk meningkatkan pemahaman dan kesiapan masyarakat.

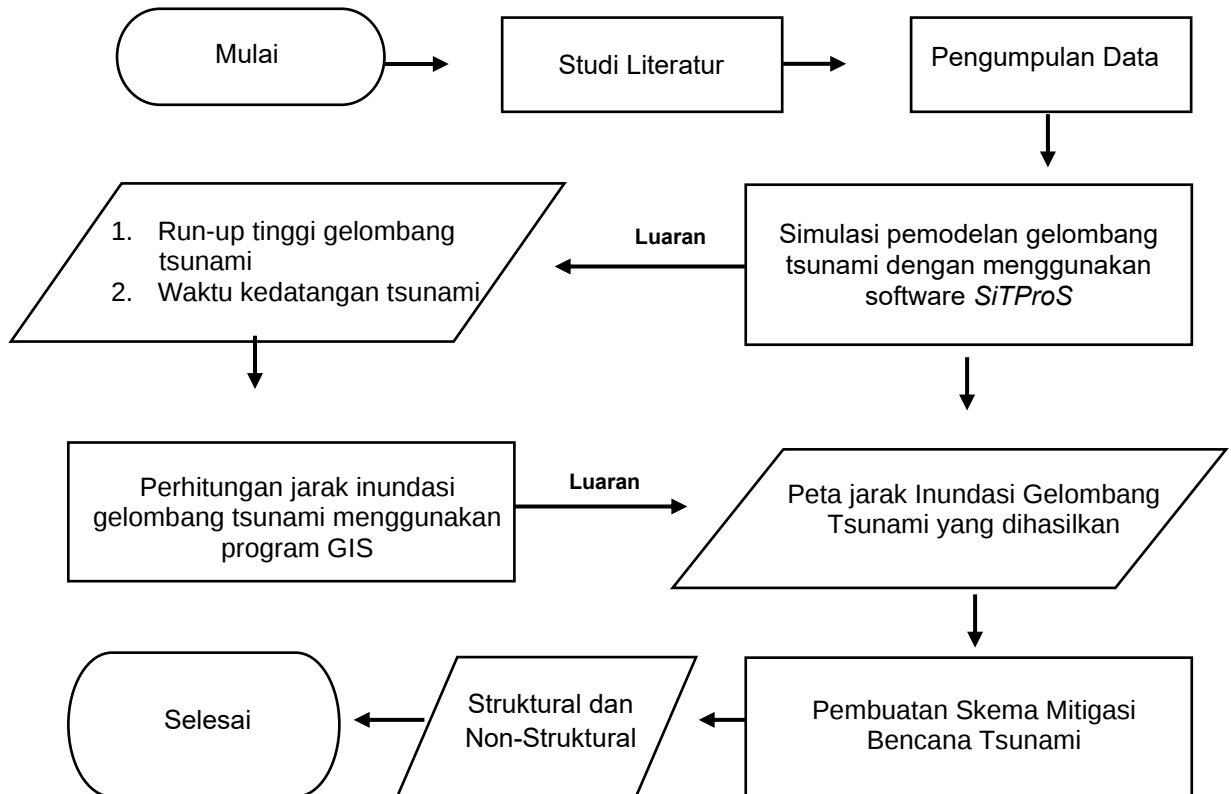
Ketika tsunami datang bukan hanya air yang menjadi masalah, tetapi juga puing puing seperti kontainer, kapal, dan mobil bahkan dapat memberikan dampak pada bangunan. Jenis-jenis puing-puing dapat umumnya dibagi menjadi tiga kelompok: puing puing kecil, puing-puing sedang, dan puing-puing besar, tergantung pada karakteristik massa, ukuran, kekakuan, dan daya apungnya. Oleh karena itu, desain bangunan di mana tingkat genangan potensial melebihi 3 meter atau lebih, 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).



• 2. 2 Tahap Pembuatan Peta Kerentanan Tsunami Sumber: (Muzani et al.,2024)

2.4 Diagram Alir Penelitian

Berikut adalah tahapan proses yang dilakukan pada penelitian ini yang dirangkum kedalam bentuk diagram alur



Gambar 2. 3 Diagram Alir Penelitian
Sumber: (Analisis, 2024)

