

**KAJIAN TSUNAMI MENDATANG DI KABUPATEN  
HALMAHERA BARAT**



**Disusun dan diajukan oleh:**

**F. A CHAIDIR  
D081 19 1025**

**FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
2023**

## LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

### KAJIAN TSUNAMI MENDATANG DI KABUPATEN HALMAHERA BARAT

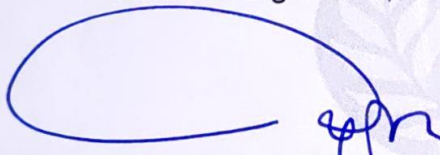
Disusun dan diajukan oleh

**F. A. CHAIDIR**  
**D081191025**

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

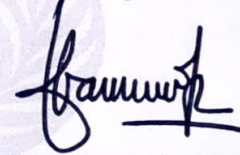
Menyetujui,

Pembimbing Utama,



Dr. Eng. Achmad Yasir Baeda, S.T., M.T.  
NIP. 197307092000031001

Pembimbing Pendamping,



Dr. Hasdinar Umar, ST., MT  
NIP. 197804282003122002

Ketua Program Studi,


Dr. Ir. Chairul Paotonan, S.T., M.T.  
NIP. 197506052002121003

## PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : F. A. Chaidir  
NIM : D081191025  
Program Studi : Teknik Kelautan  
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

### KAJIAN TSUNAMI MENDATANG DI KABUPATEN HALMAHERA BARAT

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

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

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

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

Makassar, 27 November 2023

Yang menyatakan



F. A. Chaidir



## DAFTAR ISI

|                                                 |             |
|-------------------------------------------------|-------------|
| <b>LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI .....</b>          | <b>ii</b>   |
| <b>PERNYATAAN KEASLIAN.....</b>                 | <b>iii</b>  |
| <b>DAFTAR ISI .....</b>                         | <b>iv</b>   |
| <b>DAFTAR GAMBAR.....</b>                       | <b>v</b>    |
| <b>DAFTAR TABEL .....</b>                       | <b>vi</b>   |
| <b>DAFTAR NOTASI .....</b>                      | <b>vii</b>  |
| <b>ABSTRAK.....</b>                             | <b>viii</b> |
| <b>ABSTRACT.....</b>                            | <b>ix</b>   |
| <b>KATA PENGANTAR.....</b>                      | <b>x</b>    |
| <b>BAB I PENDAHULUAN .....</b>                  | <b>1</b>    |
| 1.1 Latar Belakang.....                         | 1           |
| 1.2 Rumusan Masalah.....                        | 5           |
| 1.3 Tujuan Penelitian .....                     | 5           |
| 1.4 Manfaat Penelitian .....                    | 5           |
| 1.5 Batasan Penelitian.....                     | 5           |
| <b>BAB II tinjauan pustaka.....</b>             | <b>7</b>    |
| 2.1 Teori Dasar Tsunami .....                   | 7           |
| 2.2 Generasi Tsunami .....                      | 10          |
| 2.3 Propagasi Tsunami.....                      | 14          |
| 2.4 Dampak Tsunami.....                         | 16          |
| 2.5 Inundasi Tsunami .....                      | 17          |
| 2.6 Mitigasi Tsunami.....                       | 19          |
| 2.7 Penelitian Terdahulu .....                  | 20          |
| <b>BAB III METODELOGI PENELITIAN.....</b>       | <b>20</b>   |
| 3.1 Lokasi Penelitian.....                      | 20          |
| 3.2 Perolehan Data.....                         | 20          |
| 3.3 Metode Pengambilan Data.....                | 21          |
| 3.4 Pemodelan Tsunami.....                      | 21          |
| 3.5 Prosedur Penelitian .....                   | 23          |
| 3.6 Diagram Alur.....                           | 25          |
| <b>BAB iv HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>        | <b>26</b>   |
| 4.1 Generasi Tsunami .....                      | 26          |
| 4.2 Propagasi Tsunami.....                      | 26          |
| 4.2.1.102684C MOLUCCA PASSAGE (23/7/1984) ..... | 28          |
| 4.2.2.041385B MOLUCCA PASSAGE (13/4/1985) ..... | 35          |
| 4.2.3.070986C MOLUCCA PASSAGE (9/7/1986) .....  | 41          |
| 4.3 Inundasi Tsunami .....                      | 48          |
| 4.4 Mitigasi Tsunami.....                       | 48          |
| <b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....</b>          | <b>60</b>   |
| 5.1. Kesimpulan.....                            | 60          |
| 5.2. Saran.....                                 | 60          |
| <b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>                      | <b>62</b>   |
| <b>LAMPIRAN .....</b>                           | <b>63</b>   |

## DAFTAR GAMBAR

|                                                                                                                      |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Gambar 1.1 lempeng tektonik utama di dalam/sekitar Indonesia .....                                                   | 1  |
| Gambar 1.2 sistem tektonik regional Pulau Halmahera dan sekitarnya .....                                             | 2  |
| Gambar 1.3 titik gempa 20 tahun terakhir .....                                                                       | 3  |
| Gambar 2.1 Tsunami Akibat Pergeseran Lempeng Tektonik .....                                                          | 11 |
| Gambar 2. 2 Distribusi global longsor bawah laut yang dipetakan. ....                                                | 12 |
| Gambar 2.3 Penampang melintang tsunami saat gelombangnya yang panjang<br>bergerak .....                              | 15 |
| Gambar 2.4 Sampah dan puing-puing menutupi jalan-jalan di Banda Aceh,<br>Indonesia, setelah tsunami tahun 2004 ..... | 16 |
| Gambar 2.5 Gambaran inundasi tsunami .....                                                                           | 17 |
| Gambar 3.1 Lokasi Penelitian Perolehan Data .....                                                                    | 20 |
| Gambar 3.2 Region Setting .....                                                                                      | 22 |
| Gambar 3.3 Parameter setting .....                                                                                   | 22 |
| Gambar 3.4 Warning info setting .....                                                                                | 23 |
| Gambar 3.5 Diagram alur penelitian .....                                                                             | 25 |
| Gambar 4. 1 Titik pusat gempa.....                                                                                   | 27 |
| Gambar 4. 2 Frame awal .....                                                                                         | 28 |
| Gambar 4. 3 Frame menengah.....                                                                                      | 28 |
| Gambar 4. 4 Frame Akhir .....                                                                                        | 29 |
| Gambar 4. 5 Grafik tinggi gelombang di titik 1 buoy 1.....                                                           | 30 |
| Gambar 4. 6 Grafik tinggi gelombang di titik 1 buoy 2.....                                                           | 31 |
| Gambar 4. 7 Grafik tinggi gelombang di titik 1 buoy 3.....                                                           | 32 |
| Gambar 4. 8 Grafik tinggi gelombang di titik 1 buoy 4.....                                                           | 33 |
| Gambar 4. 9 Grafik tinggi gelombang di titik 1 buoy 5.....                                                           | 34 |
| Gambar 4. 10 Frame awal .....                                                                                        | 35 |
| Gambar 4. 11 Frame menengah.....                                                                                     | 35 |
| Gambar 4. 12 Frame Akhir .....                                                                                       | 36 |
| Gambar 4. 13 Grafik tinggi gelombang di titik 2 buoy 1.....                                                          | 36 |
| Gambar 4. 14 Grafik tinggi gelombang di titik 2 buoy 2.....                                                          | 37 |
| Gambar 4. 15 Grafik tinggi gelombang di titik 2 buoy 3.....                                                          | 38 |
| Gambar 4. 16 Grafik tinggi gelombang di titik 2 buoy 4.....                                                          | 39 |
| Gambar 4. 17 Grafik tinggi gelombang di titik 2 buoy 5.....                                                          | 40 |
| Gambar 4. 18 Frame awal .....                                                                                        | 41 |
| Gambar 4. 19 Frame menengah.....                                                                                     | 42 |
| Gambar 4. 20 Frame Akhir .....                                                                                       | 42 |
| Gambar 4. 21 Grafik tinggi gelombang di titik 3 buoy 1.....                                                          | 43 |
| Gambar 4. 22 Grafik tinggi gelombang di titik 3 buoy 2.....                                                          | 44 |
| Gambar 4. 23 Grafik tinggi gelombang di titik 3 buoy 3.....                                                          | 45 |
| Gambar 4. 24 Grafik tinggi gelombang di titik 3 buoy 4.....                                                          | 46 |
| Gambar 4. 25 Grafik tinggi gelombang di titik 3 buoy 5.....                                                          | 47 |
| Gambar 4. 29 Tipe dimensi bangunan shelter bencana tsunami .....                                                     | 56 |
| Gambar 4. 32 Alur prosedur evakuasi .....                                                                            | 59 |

## DAFTAR TABEL

|                                                                                                                  |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabel 1.1 Data kejadian gempa 20 tahun terakhir dengan magnitudo 6 di wilayah pulau Halmahera bagian utara ..... | 3  |
| Tabel 2.1 Koefisien Kekasaran Permukaan Per Jenis Penutup .....                                                  | 18 |
| Tabel 2. 2 Pemetaan penelitian terdahulu.....                                                                    | 20 |
| Tabel 4.1 Data Gempa Wilayah Halmahera Bagian Utara .....                                                        | 26 |
| Tabel 4. 2 Estimasi kedatangan tsunami (titik 1) .....                                                           | 29 |
| Tabel 4. 3 Estimasi kedatangan tsunami (titik 2) .....                                                           | 36 |
| Tabel 4. 4 estimasi kedatangan tsunami (tiitk 3) .....                                                           | 42 |
| Tabel 4. 6 perhitungan waktu evakuasi.....                                                                       | 53 |

## DAFTAR NOTASI

| Simbol       | Keterangan                                                          | Satuan             |
|--------------|---------------------------------------------------------------------|--------------------|
| $c$          | Cepat rambat gelombang                                              | m/det              |
| $d$          | Kedalaman air                                                       | m                  |
| $g$          | Percepatan gravitasi                                                | m/det <sup>2</sup> |
| $H_r$        | Tinggi <i>run-up</i> dihitung dari tinggi Muka air laut rerata      | m                  |
| $A$          | 0,004 (Ketentuan Aydan)                                             |                    |
| $B$          | 2,5 (Ketentuan Aydan)                                               |                    |
| $b$          | 0,9 (Ketentuan Aydan)                                               |                    |
| $M_w$        | Momen Magnitudo                                                     | SR                 |
| $H_m$        | Tinggi gelombang maksimum di garis pantai                           | m                  |
| $\Delta H_r$ | Tinggi <i>run-up</i> gelombang tsunami                              | m                  |
| $H_{loss}$   | ketinggian tsunami /1m jarak inundasi koefisien kekasaran permukaan | m                  |
| $H_0$        | ketinggian gelombang tsunami di garis Pantai (m)                    |                    |
| $n$          | besarnya lereng permukaan (derajat)                                 | °                  |

## ABSTRAK

F. A. Chaidir, Kajian Tsunami Mendatang Di Kabupaten Halmahera Barat, (Dibimbing oleh Dr. Eng. Achmad Yasir Baeda, ST., MT dan Dr. Hasdinar Umar, ST., MT)

Maluku Utara merupakan wilayah dengan bidang seismik yang cukup tinggi dan kompleks yang dipengaruhi oleh tiga lempeng utama, yaitu lempeng Eurasia, lempeng Pasifik, dan lempeng Indo-Australia, yang bertemu di Kawasan Halmahera bahwa intensitas gempa dengan magnitude lebih dari 6 selama 20 tahun terakhir di wilayah pulau Halmahera bagian utara terjadi sebanyak 23 kali, serta Kabupaten Halmahera yang langsung berhadapan dengan titik gempa tersebut dikhawatirkan menjadi daerah dengan tingkat kerusakan paling tinggi. Dengan alasan tersebut wilayah pulau Halmahera bagian utara khususnya termasuk wilayah dengan rawan terhadap bencana alam, termasuk gempa bumi. Wilayah pesisir kabupaten Halmahera Barat berbatasan langsung dengan Samudera Pasifik dan laut maluku. Hal ini membuat pulau Halmahera bagian utara rentan terhadap bencana tsunami, terutama jika terjadi gempa bumi dengan magnitude besar di dasar laut. Tujuan penelitian ini adalah mendapatkan hasil kajian dari pemodelan bencana tsunami di Kabupaten Halmahera Barat. Dengan diberikan asumsi bahwa terjadi sebuah tsunami dengan magnitude 6,3-6,7 di 5 titik tsunami dengan 5 titik buoy yang dimodelkan dengan menggunakan software SiTPros maka diketahui tinggi run-up tertinggi yang akan terjadi adalah 3 m dengan waktu tempuh ke permukaan 21,39 menit. Hasil dari pemodelan ini menjadi acuan dalam pembuatan mitigasi secara struktural maupun non struktural. Dalam hal ini mitigasi struktural adalah pembuatan bangunan shelter yang akan ditempatkan di beberapa titik dan alat peringatan dini yang selanjutnya melakukan pembuatan peta bahaya tsunami dan sosialisasi kepada masyarakat dalam melakukan evakuasi mandiri pada saat terjadi bencana tsunami

Kata Kunci: Tsunami, Halmahera, Shelter, Mitigasi, *SiTPros*



## **ABSTRACT**

*F. A. Chaidir, Study of the Upcoming Tsunami in West Halmahera Regency, (Supervised by Dr. Eng. Achmad Yasir Baeda, ST., MT and Dr. Hasdinar Umar, ST., MT)*

*North Maluku is a region with a fairly high and complex seismic field influenced by three main plates, namely the Eurasian plate, the Pacific plate, and the Indo-Australian plate, which meet in the Halmahera Region. It is known that the intensity of earthquakes with a magnitude of more than 6 over the past 20 years in the northern Halmahera island region occurred 23 times, and Halmahera Regency, which is directly opposite the earthquake point, is feared to be the area with the highest level of damage. For this reason, the northern Halmahera island region in particular is prone to natural disasters, including earthquakes. The coastal area of West Halmahera district is directly adjacent to the Pacific Ocean and the Maluku Sea. This makes the northern part of Halmahera island vulnerable to tsunamis, especially if there is a large magnitude earthquake on the seabed. The purpose of this study is to obtain the results of the study of tsunami disaster modeling in West Halmahera Regency. Given the assumption that a tsunami with a magnitude of 6.3-6.7 occurs at 5 tsunami points with 5 buoy points modeled using SiTPros software, it is known that the highest run-up height that will occur is 3 m with a travel time to the surface of 21.39 minutes. The results of this modeling become a reference in making structural and non-structural mitigation. In this case, structural mitigation is the construction of a shelter building that can be used to protect the environment.*

*Keywords: Tsunami, Halmahera, Shelter, Mitigation, SiTPros*

## KATA PENGANTAR

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

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

### KAJIAN TSUNAMI MENDATANG DI KABUPATEN HALMAHERA BARAT

Penyusunan skripsi ini bukanlah suatu usaha yang mudah, tetapi kami percaya bahwa setiap perjuangan akan membuahkan hasil.

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

1. Kedua orang tua (**M. Nasir Apt., M. Kes dan dr. Andi Sitti Nurafiah, Sp.PK., M. Kes**) yang selalu memberikan kasih sayang, dukungan, dan nasihat kepada penulis agar dapat menyelesaikan skripsi ini dengan hasil yang baik. kepada saudara kandungku (**F. A. Chalik S.T**) karena memberikan perhatian lebih kepada penulis dalam melanjutkan pendidikan hingga saat ini
2. Bapak **Dr. Eng. Achmad Yasir Baeda, ST., MT** selaku dosen pembimbing yang telah memberikan pengetahuan, waktu, dan kesempatan kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi ini. Serta menjadi dosen penasihat sekaligus orang tua yang memberikan bimbingan, dukungan, serta nasehat kepada penulis selama berada di Departemen Teknik Kelautan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
3. Ibu **Dr. Hasdinar Umar, ST., MT** selaku dosen pembimbing Kedua yang memberikan bimbingan kesempatan kepada penulis dalam memberikan arahan kepada penulis untuk menyelesaikan penulisan skripsi.
4. Bapak **Dr. Ir. Chairul Paotonan, ST., MT** selaku Ketua Departemen Teknik Kelautan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang telah memberikan arahan selama menjadi mahasiswa di program studi Teknik Kelautan.
5. Bapak **Ashury, ST., MT.** selaku Sekretaris Mahasiswa Teknik Kelautan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang selalu memberikan bimbingan dan arahan tentang dunia kuliah selama di kampus..
6. Seluruh dosen Teknik Kelautan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yakni Bapak **Ir. H. Juswan, ST., MT**, Bapak **Dr. Ing. Firman Husain, ST., MT**, Bapak **Prof. Daeng Parokah, ST., MT., Ph.D**, Bapak **Dr. Ir. Taufiqur Rachman, ST., MT**, Bapak **Habibi ST., MT**, dan Bapak **Fuad Mahfud Assidiq, ST., MT.** menyumbangkan pengetahuan dan berbagi pengalaman yang sangat berguna selama berada di kampus
7. Ibu **Marwah, S. Sos**, dan Bapak **Muammar Yus'an, S. Sos.** sebagai Staff Tata Usaha Departemen Teknik Kelautan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

yang senantiasa membantu penulis dalam memenuhi kebutuhan administrasi untuk kebutuhan kuliah dan juga untuk administrasi kebutuhan skripsi.

8. Teman-teman **Mahasiswa Teknik Kelautan Angkatan 2019** yang selalu memberi dukungan dan semangat kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi baik dalam bentuk sharing ilmu dan pengalaman serta saling membantu dalam menyelesaikan pendidikan selama sarjana.
9. kepada seluruh seluruh anggota (**Aliansi BTP x SAMATA**) karena telah memberikan tempat tinggal yang nyaman selama penelitian ini berjalan.
10. Teman-teman Laboratorium Kajian Anomali Iklim dan Bencana Laut (**Maraya Abi Surya P dan Besse Hasrianti, S. T**) yang saling membantu dalam melaksanakan penelitiannya dan menjadikan pengalaman laboratorium menjadi sangat damai dan tenteram.
11. **PSICONE13, PAZZENGER19, dan PMM2 Kelompok 2 Modul Nusantara** memberikan pengalaman berharga bagi penulis selama menjadi mahasiswa Serta kepada pihak-pihak yang telah membantu dan mendukung penulis yang tidak sempat menulis setiap artikelnya satu per satu. Penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya.

Penulis sadar bahwa skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan, dan kami menerima semua kritik dan saran dengan tangan terbuka. Semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat dan kontribusi yang bermanfaat bagi ilmu pengetahuan dan masyarakat.

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

Terima kasih.

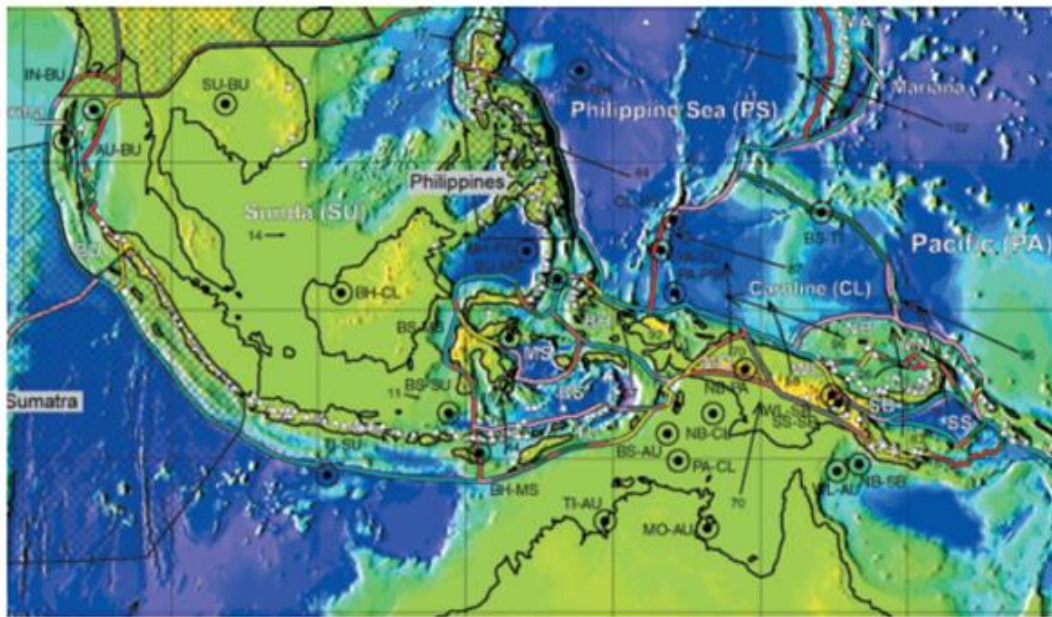
Makassar, ... November 2023

Penulis

## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

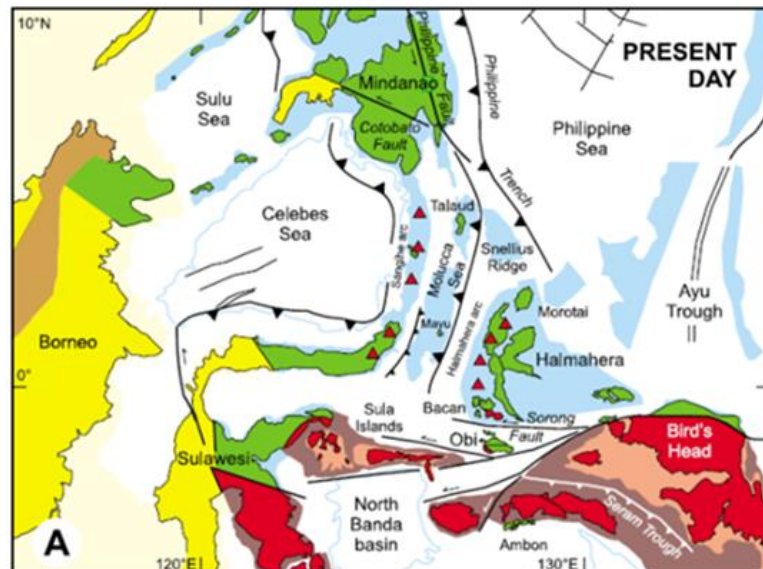
Indonesia merupakan bagian paling tenggara dari lempeng litosfer Euro-Asia. Lempeng Indo-Australia yang bergerak ke utara dan lempeng Laut Filipina yang bergerak ke barat mengikat Indonesia dan merupakan salah satu zona tektonik aktif yang paling kompleks di dunia (Aydan, 2008)



Gambar 1.1 lempeng tektonik utama di dalam/sekitar Indonesia

Sumber: (Aydan, 2008)

Dapat diketahui bahwa wilayah Maluku Utara merupakan wilayah yang didominasi oleh perairan dimana diketahui perbandingan luas antara daratan dan lautan adalah 1:3. Kawasan tersebut terdiri dari ratusan pulau kurang lebih 353 pulau dengan luas sekitar 32.000 km<sup>2</sup> dan tersebar di perairan seluas 107.381 km<sup>2</sup>. Kepulauan daerah Maluku Utara terdiri dari sebuah relief besar, lembah laut dan punggung gunung yang sangat menonjol yang berjejer secara terus menerus. Secara umum struktur fisiografi dari wilayah yaitu Maluku Utara terdiri dari zona pertemuan antara dua sistem bentang alam. Kedua sistem bentang alam tersebut adalah Sistem Bentang Sangihe dan Sistem Bentang Ternate yang dikatahui dibatasi oleh sebuah Cekungan Sulawesi di bagian sebelah barat dan sebuah Cekungan Halmahera di bagian sebelah timur. Zona tumbukan di Laut Maluku merupakan bagian yang paling kompleks. (Sumtaksi dkk., 2017)

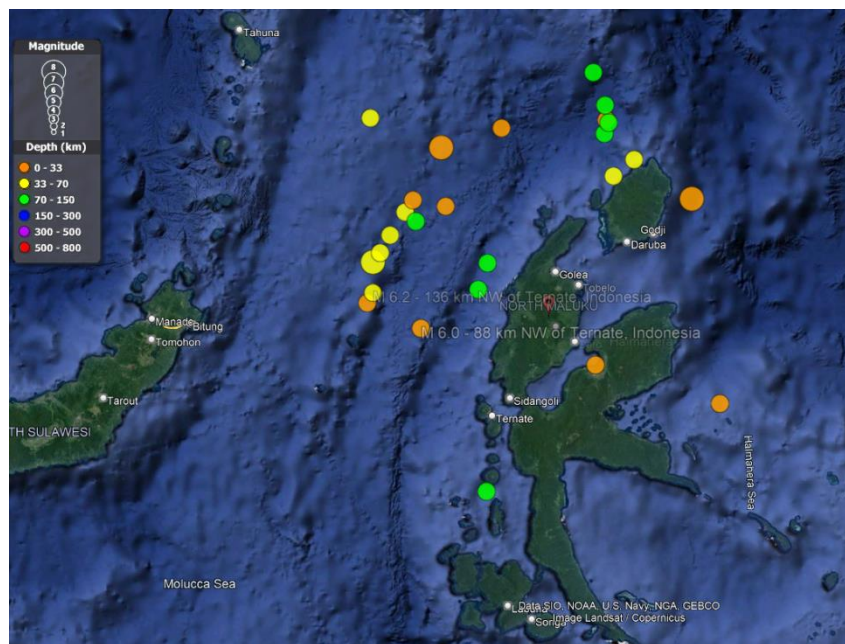


Gambar 1.2 sistem tektonik regional Pulau Halmahera dan sekitarnya  
(Sumber: (La Masinu dkk., 2018))

Dalam Gambar 1.2 secara tektonik, Maluku Utara merupakan wilayah dengan bidang seismik yang cukup tinggi dan kompleks yang dipengaruhi oleh tiga lempeng utama, yaitu lempeng Eurasia, lempeng Pasifik, dan lempeng Indo-Australia, yang bertemu di Kawasan Halmahera. Pertemuan beberapa lempeng tersebut menyebabkan saling dorong sehingga menimbulkan potensi seismik yang cukup aktif di wilayah Maluku Utara. (La Masinu dkk., 2018)

Widiwija, 2003 dalam (La Masinu dkk., 2018) menjelaskan bahwa tingkat kegempaan menunjukkan bahwa Lempeng Halmahera mencapai kedalaman kurang lebih 200 km dan Sangihe dan Halmahera tersingkap di permukaan, sedangkan Lempeng Danau Maluku terendam seluruhnya di bawah kedua lempeng mikro tersebut Lempeng Maluku juga menjadi batas antara Lempeng Laut Filipina dan Lempeng Australia. Batasnya meningkat. Karena Lempeng Sangihe dan Halmahera terhubung dengan Lempeng Maluku, berarti ketiga persilangan tersebut bergerak ke utara di bagian mantel tempat Lempeng Australia berada. Pada zona lebar dan cepat di bawah lempeng Kepala Burung yang memanjang hingga kedalaman 400-600 km diperkirakan merupakan sisa dari link subduksi di bawah lempeng Halmahera. Zona berkecepatan tinggi lain yang luas di bawah Laut Sulawesi, hingga kedalaman 700-1000 km, mungkin merupakan sisa dari tautan di bawah Lempeng Sangihe. Kedua fosil tersebut berasal dari persimpangan yang tersubduksi antara Filipina dan Busur Halmahera antara 45 dan 25 juta tahun yang lalu.

Menurut data dari USGS (United State Geological Survey) bagian utara Halmahera merupakan wilayah dengan tingkat intensitas gempa yang tinggi, yang ditunjukkan pada Tabel 1.1 dan Gambar 1.3



Gambar 1.3 titik gempa 20 tahun terakhir  
(Sumber: USGS, 2023)

Tabel 1.1 Data kejadian gempa 20 tahun terakhir dengan magnitudo 6 di wilayah pulau Halmahera bagian utara

| Waktu      | Latitude | Longitude | Kedalaman (m) | Magnitude |
|------------|----------|-----------|---------------|-----------|
| 2/23/2023  | 3,2796   | 128,1356  | 92            | 6,3       |
| 1/18/2023  | 2,7306   | 127,0221  | 29,708        | 7         |
| 7/10/2021  | 2,9494   | 126,4984  | 44,33         | 6,1       |
| 6/4/2020   | 2,911    | 128,248   | 112,86        | 6,4       |
| 1/6/2019   | 2,258    | 126,758   | 43,21         | 6,6       |
| 4/15/2018  | 1,4083   | 126,8759  | 34            | 6         |
| 2/17/2016  | 0,8597   | 129,0605  | 9             | 6         |
| 3/17/2015  | 1,6686   | 126,5217  | 44            | 6,2       |
| 12/21/2014 | 2,0892   | 126,6483  | 41            | 6,3       |
| 11/26/2014 | 1,9604   | 126,5751  | 39            | 6,8       |
| 11/21/2014 | 2,2999   | 127,0562  | 35            | 6,5       |
| 11/15/2014 | 1,8929   | 126,5217  | 45            | 7,1       |
| 11/19/2013 | 2,6403   | 128,4339  | 38            | 6         |

| Waktu      | Latitude | Longitude | Kedalaman (m) | Magnitude |
|------------|----------|-----------|---------------|-----------|
| 8/26/2012  | 2,19     | 126,837   | 91,1          | 6,6       |
| 10/8/2010  | 2,831    | 128,217   | 120           | 6,2       |
| 7/21/2010  | 3,039    | 128,222   | 100           | 6,1       |
| 10/13/2009 | 2,93     | 128,232   | 32            | 6         |
| 9/11/2008  | 1,885    | 127,363   | 96            | 6,6       |
| 1/20/2008  | 2,346    | 126,816   | 35            | 6,1       |
| 7/26/2007  | 2,872    | 127,464   | 25            | 6,9       |
| 11/29/2006 | 2,52     | 128,283   | 39            | 6,2       |
| 11/12/2003 | 1,593    | 126,48    | 33            | 6,2       |
| 8/11/2003  | 1,142    | 128,152   | 10            | 6         |
| 5/26/2003  | 2,354    | 128,855   | 31            | 7         |
| 5/5/2003   | 0,215    | 127,354   | 123,6         | 6,4       |
| 3/10/2003  | 1,692    | 127,296   | 93,8          | 6,4       |

*Sumber: USGS, 2023*

Dari Tabel 1.1 tersebut dapat diketahui bahwa intensitas gempa dengan magnitude lebih dari 6 selama 20 tahun terakhir di wilayah pulau Halmahera bagian utara terjadi sebanyak 23 kali. Serta titik gempa yang langsung berhadapan dengan Kabupaten Halmahera Barat.

Dengan alasan tersebut wilayah pulau Halmahera bagian utara termasuk wilayah dengan rawan terhadap bencana alam, termasuk gempa bumi khususnya kabupaten Halmahera Barat. Wilayah pesisir Pulau Kabupaten Halmahera Barat berada di perbatasan antara samudera pasifik dan laut maluku. Hal ini membuat Kabupaten Halmahera Barat rentan terhadap bencana tsunami, terutama jika terjadi gempa bumi dengan magnitude besar di dasar laut.

Maka dengan permasalahan tersebut dilakukanlah sebuah penelitian dengan menggunakan metode secara numerik tentang memprediksi gelombang tsunami dengan batasan wilayah penelitian berada di Kabupaten Halmahera Barat, Maluku Utara, serta cakupan penelitian ini adalah generasi, propagasi, inundasi, impak, dan mitigasi dari bencana tsunami itu sendiri, dan akan di disusun dalam bentuk tugas akhir atau skripsi dengan judul **Kajian Tsunami Mendatang di Kabupaten Halmahera Barat**



## **1.2 Rumusan Masalah**

Setelah gambaran latar belakang mengenai judul penelitian yang diajukan, dimana telah diketahui akan rawannya pulau Halmahera bagian utara terhadap bencana alam khususnya tsunami. Dengan demikian masalah yang ingin dipecahkan ialah bagaimana memodelkan gelombang tsunami mendatang di Kabupaten Halmahera Barat serta melakukan kajian dari hasil pemodelan tersebut.

## **1.3 Tujuan Penelitian**

Tujuan penelitian yang ini didapatkan sebagai berikut:

1. Mendapatkan hasil simulasi gelombang tsunami di daerah Kabupaten Halmahera Barat berupa nilai run-up terbesar serta menghitung waktu dari gelombang tsunami sampai ke daratan.
2. Menghitung inundasi dari besaran nilai run-up yang telah dimodelkan serta membuat peta inundasinya.
3. Membuat skema mitigasi yang cocok dari hasil simulasi gelombang tsunami dan jarak inundasi.

## **1.4 Manfaat Penelitian**

Manfaat yang ingin dicapai penulis dari hasil penelitian ini sebagai berikut:

1. Sebagai pengetahuan dan wawasan terbaru mengenai bencana tsunami serta pemodelan tsunami.
2. Sebagai referensi untuk penelitian selanjutnya yang berkaitan dengan bencana tsunami dan pemodelan tsunami.
3. Dapat dijadikan sebagai landasan berpikir dalam penelitian lanjutan yang relevan.

## **1.5 Batasan Penelitian**

Luasnya lingkup yang dapat diteliti serta keterbatasan peneliti dalam melakukan penelitian pemodelan gelombang tsunami sepatutnya penelitian ini dibuatkan sebuah batasan penelitian sebagai berikut:

1. Batasan wilayah penelitian hanya berada di wilayah pesisir Kabupaten Halmahera Barat.

2. Permasalahan yang akan dibahas adalah kajian gelombang tsunami berupa generasi, propagasi, dampak, inundasi dan mitigasi dan tidak membahas mengenai bencana alam lainnya yang akan terjadi di lokasi penelitian

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Teori Dasar Tsunami**

Tsunami merupakan istilah Jepang yang berasal dari kata (“tsu”) dan (“nami”) yang dapat diartikan sebagai gelombang di pelabuhan. Dimasa lalu tsunami biasa disebut sebagai “gelombang pasang” atau “gelombang laut seismik” akan tetapi kedua istilah tersebut keliru dengan alasan istilah-istilah pasang surut disebabkan oleh adanya gravitasi bulan terhadap bumi, sedangkan pasang surut yang disebabkan oleh tsunami tidak terjadi karena gravitasi bulan terhadap bumi. Tsunami tidak dapat disebut sebagai gelombang laut seismik karena mekanisme terjadinya tsunami tidak hanya diakibatkan oleh aktivitas lempeng bumi dibawah laut, melainkan adanya peristiwa lain seperti meteoroid dan longsor bawah laut. (IOC & JTIC, 2006)

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)

Panjang gelombang dan periode tsunami tergantung pada sifat dan dimensi mekanisme pembangkitnya. Jika tsunami disebabkan oleh gempa bumi bawah laut yang dahsyat di daerah yang sangat luas di dasar laut, maka panjang gelombang awal dan periodenya akan panjang. Sebaliknya, jika tsunami disebabkan oleh tanah longsor lokal, panjang gelombang awal dan periode gelombang menjadi relatif pendek. (Kr. Barman, 2020)

Panjang gelombang tsunami yang menjalar di permukaan laut terbuka dapat mencapai 150 hingga 200 kilometer, atau bahkan lebih, sedangkan periode gelombangnya dapat berkisar antara 5 hingga lebih dari 90 menit. Ketinggian atau amplitudo gelombang tsunami di atas permukaan laut dapat berkisar antara beberapa sentimeter hingga sekitar satu meter - ini juga tergantung pada sumber pembangkitnya. Karena ciri-ciri inilah, tsunami biasanya tidak terlihat dari atas

kapal atau kapal pukat di lautan lepas, ketika tsunami melintas di bawah kapal. (Kr. Barman, 2020)

Sama seperti gelombang air lainnya, tsunami mulai kehilangan energi ketika mereka menerjang ke daratan - sebagian energi gelombang dipantulkan ke lepas pantai, sementara energi gelombang yang merambat ke arah pantai dihamburkan melalui gesekan dan turbulensi dasar laut. Terlepas dari kerugian ini, tsunami masih mencapai pantai dengan jumlah energi yang sangat besar. Tergantung pada apakah bagian pertama dari tsunami yang mencapai pantai adalah puncak atau palung, tsunami dapat muncul sebagai air pasang yang naik atau turun dengan cepat. Batimetri lokal juga dapat menyebabkan tsunami muncul sebagai serangkaian gelombang pecah.

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.

Semua peristiwa tsunami terdiri dari lebih dari satu gelombang. Contoh seperti itu juga dapat ditemukan di Indonesia. Tsunami Flores tahun 1992 terjadi dengan datangnya lima gelombang dan berlangsung selama dua jam sampai semua gelombang tiba dan tsunami segera berlalu. Sangat penting untuk diketahui bahwa tsunami tidak berakhir saat gelombang pertama tiba. Oleh karena itu, kembali ke pantai setelah gelombang pertama berakhir dapat mengancam nyawa, karena bahayanya belum berlalu, dan gelombang berikutnya dapat menyapu bersih orang. Saat tsunami mencapai pantai, bentuknya bisa bermacam-macam tergantung pada ukuran dan durasi gelombang, batimetri perairan pantai (kedalaman dan bentuk dasar laut dekat pantai), bentuk pantai, kondisi pasang surut, dan seterusnya. dan faktor lainnya. Faktor-faktor ini mempengaruhi dampak tsunami di darat ketika menghantam pantai. Dalam beberapa kasus, tsunami hanya dapat menyebabkan banjir pantai yang kecil dan tidak berbahaya dan mencapai pantai sebagai air pasang yang naik dengan cepat. Dalam kasus lain, ia dapat mendarat di dinding vertikal air yang bergolak dan menyebabkan kerusakan serius. Faktor-faktor yang mempengaruhi ketinggian tsunami:

1. Bentuk pantai

Pembiasan adalah perubahan gelombang yang disebabkan oleh perubahan geometri dasar laut. Pada titik-titik di mana kontraksi terjadi, energi terkonsentrasi, menyebabkan tinggi gelombang bertambah pada titik tersebut.

2. Lereng pantai

Jangkauan tsunami ke daratan juga sangat ditentukan oleh morfologi pantai yang curam dan landai, dimana pada pantai yang curam tsunami tidak dapat menjangkau terlalu jauh ke daratan karena batuan pantai menahan dan memantul. Di pantai yang landai, tsunami menerjang beberapa kilometer ke daratan. Ketika tsunami menyebar ke pantai, kecepatan, ketinggian, dan arahnya berubah. Ini adalah proses yang sangat kompleks yang melibatkan pengerumunan, pembiasan, difraksi, dll. Shoaling adalah proses di mana tinggi gelombang meningkat karena penurunan dasar laut. Gempa bumi biasanya terjadi pada pertemuan antara lempeng benua dan samudera di laut dalam dan kemudian menyebar ke garis pantai yang dangkal. Aliran ini diperkuat oleh efek kawanan saat mendekati daratan.

3. Vegetasi dan struktur penghalang di sekitar pantai

Dampak tsunami hutan pantai menjadi lebih terasa ketika hutan semakin lebat. Misalnya, jika tsunami setinggi tiga meter menghantam hutan seluas 400 meter, ketinggian elevasi hanya 57%, sehingga ketinggian banjir setelah melewati hutan pantai tetap 18%, limpasan 24%. .

4. Difraksi

Difraksi adalah perubahan gelombang yang disebabkan oleh ada tidaknya suatu bangunan atau struktur penghalang. Ini terjadi ketika gelombang diblokir sehingga dipantulkan kembali. Bangunan vertikal dan stabil lebih rentan terhadap fraktur daripada struktur miring dan permeabel.

5. Arah gelombang tsunami

Tsunami yang tiba tegak lurus pantai tentunya akan menimbulkan ketinggian tsunami yang lebih tinggi dibandingkan dengan ketinggian tsunami yang datang sejajar atau pada sudut tertentu. Seperti datang dari arah barat, timur, barat daya atau tenggara.

6. Efek pantulan dari pulau lain

Gelombang tsunami yang ditimbulkan tidak langsung berasal dari sumbernya tetapi disebabkan oleh pengaruh gelombang tsunami terhadap pantulan gelombang yang datang dari daerah sekitar pulau.

## **2.2 Generasi Tsunami**

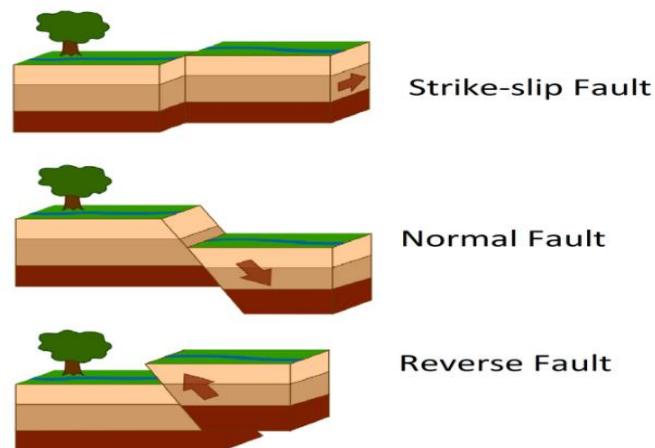
Menurut Whitemore pada tahun 2008 tsunami kemungkinan besar dihasilkan oleh gempa bumi bawah laut yang menyumbang sekitar 85% dari tsunami di seluruh dunia, atau tanah longsor besar atau letusan gunung berapi yang menyebabkan perpindahan massa air yang sangat besar di lautan. Secara umum, tsunami terjadi karena adanya perubahan seismik di kerak bumi di dekat atau di dasar laut. Tsunami dihasilkan oleh empat mekanisme yang berbeda:

1. Jenis yang paling umum adalah deformasi dasar laut secara tiba-tiba akibat gempa bumi tektonik di sepanjang batas subduksi. Sebuah representasi bergambar dari tsunami akibat pergeseran lempeng tektonik yang menyebabkan gempa bumi. Sebuah representasi bergambar dari tsunami akibat pergeseran lempeng tektonik yang menyebabkan gempa bumi.
2. Tanah longsor bawah laut yang dipicu oleh gempa bumi atau ketidakstabilan lokal di lereng benua.
3. Letusan gunung berapi besar yang memindahkan air dalam jumlah yang cukup banyak.
4. Penyebab lain dari tsunami ialah adanya tumbukan benda asing seperti meteor yang menyebabkan perpindahan air akan tetapi intensitasnya tidak sedahsyat faktor seismik, peristiwa tersebut terjadi karena sejumlah besar air berpindah akibat jatuhnya puing-puing dan dapat menyebabkan tsunami.

### **2.2.1. Generasi Tsunami Akibat Gempa Tektonik**

Permukaan bumi terdiri dari lempeng tektonik, yang merupakan lempengan batuan besar dan padat yang saling menyatu seperti potongan puzzle. Lempeng-lempeng ini bergerak dan akan saling bertemu di batas masing-masing lempeng. Ketika kedua lempeng ini bertemu maka, akan terjadi tekanan. Hal ini terjadi dalam jangka waktu yang lama, saat tekanan akibat pertemuan lempeng menjadi besar dan terjadi retakan maka kedua lempeng tersebut akan melepaskan energi yang sangat besar, dan menyebabkan guncangan pada permukaan bumi. (*Tsunami Generation: Earthquakes*, 2023)

Retakan ini disebut patahan. Batas-batas lempeng terdiri dari banyak patahan, dan di sinilah sebagian besar gempa bumi terjadi. Patahan juga bisa terjadi jauh dari batas lempeng, tetapi gempa bumi di lokasi ini (gempa bumi intraplate) lebih jarang terjadi. Gempa bumi umumnya terjadi pada tiga jenis sesar: normal, strike-slip, dan reverse (atau thrust). (*Tsunami Generation: Earthquakes*, 2023)



Gambar 2.1 Tsunami Akibat Pergesaran Lempeng Tektonik  
(Sumber: [www.kompas.com](http://www.kompas.com), 2023)

Tsunami dapat dihasilkan oleh gempa bumi pada semua jenis patahan ini, tetapi sebagian besar tsunami, dan yang terbesar, diakibatkan oleh gempa bumi pada patahan naik. Gempa bumi yang menghasilkan tsunami ini terutama berasal dari zona subduksi, di mana lempeng tektonik bertabrakan dan salah satu lempeng dipaksa masuk ke bawah lempeng lainnya. (*Tsunami Generation: Earthquakes*, 2023)

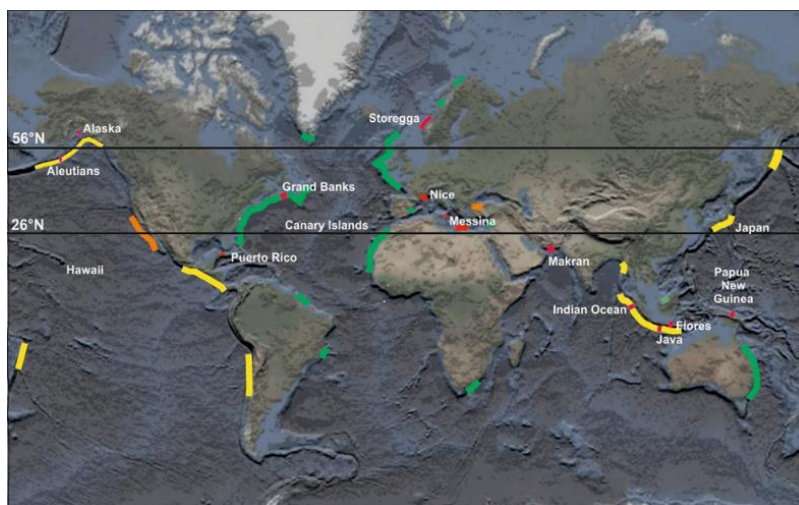
Jika cukup besar dan cukup dekat dengan dasar laut, energi dari gempa bumi semacam itu dapat menyebabkan dasar laut tiba-tiba naik (uplift) atau turun (subside). Pergeseran dasar laut secara vertikal secara tiba-tiba inilah yang biasanya menyebabkan tsunami. Ketika dasar laut naik atau turun, demikian juga air di atasnya. Ketika air bergerak naik dan turun untuk mendapatkan kembali keseimbangannya, maka terjadilah tsunami. Tidak semua gempa bumi menyebabkan tsunami. Karakteristik utama gempa bumi yang berkontribusi terhadap terjadinya tsunami adalah lokasi, magnitudo (ukuran), dan kedalaman. Sebagian besar tsunami dihasilkan oleh gempa bumi dengan magnitudo di atas 7,0 yang terjadi di bawah atau sangat dekat dengan lautan dan kurang dari 100 kilometer (62 mil) di bawah permukaan bumi (gempa bumi yang lebih dalam dari ini tidak mungkin menggeser dasar lautan). Umumnya, gempa bumi harus



berkekuatan di atas 8,0 SR untuk menghasilkan tsunami jauh yang berbahaya. Jumlah pergerakan dasar laut, luasnya area di mana gempa bumi terjadi, dan kedalaman air di atas gempa bumi juga merupakan faktor penting dalam ukuran tsunami yang dihasilkan. Sebagian besar tsunami (89%) dalam Global Historical Tsunami Database dihasilkan oleh gempa bumi besar atau tanah longsor yang disebabkan oleh gempa bumi. (*Tsunami Generation: Earthquakes*, 2023)

### 2.2.2. Tsunami Akibat Longsor Bawah Laut

Tanah longsor bawah laut, termasuk longsor, aliran puing-puing, dan turbidit, telah dikenal sebagai mekanisme tsunami yang potensial sejak abad ke-19 dan telah diteliti secara ilmiah selama beberapa dekade. Telah terjadi sejumlah peristiwa bersejarah yang merusak. Peristiwa-peristiwa tersebut antara lain pada tahun 1929 di Grand Banks, 1946 di Aleutians, 1964 di Alaska, 1975 di Kitimat, Kanada, dan 1992 di Pulau Flores, Indonesia (Gambar 2.2). Penelitian awal mengenai tanah longsor Storegga yang diterbitkan pada tahun 1982 menunjukkan bahwa tsunami yang signifikan dengan ketinggian 10–20-meter telah terjadi. Dari beberapa kejadian bersejarah, terdapat jumlah korban jiwa yang besar, contohnya di Flores, lebih dari 1.000 orang meninggal dalam tsunami. Pada kejadian lainnya, terdapat ketidakpastian mengenai kontribusi tanah longsor terhadap tsunami. Hanya tsunami pada tahun 1964 (Alaska) dan 1975 (Kitimat, Alaska) yang secara pasti terkait dengan longsor bawah laut. Pada beberapa kejadian, mekanisme tsunami masih belum pasti atau masih diperdebatkan, namun sebagian besar dikaitkan dengan gempa bumi, meskipun ada kecurigaan bahwa mungkin ada mekanisme lain, yaitu tanah longsor. (Tappin, 2017)



Gambar 2. 2 Distribusi global longsor bawah laut yang dipetakan.  
Sumber: (Tappin D, 2017)

Jarang sekali, gelombang tsunami dapat dihasilkan dari pemindahan peristiwa semacam itu dapat disebabkan oleh ketidakstabilan dan kegagalan lereng bawah laut yang tiba-tiba, yang terkadang dipicu oleh gerakan tanah akibat gempa bumi yang kuat. Sebagai contoh pada tahun 1980-an, pemindahan tanah dan pekerjaan konstruksi landasan pacu bandara di sepanjang pantai Prancis Selatan, memicu tanah longsor bawah laut, yang menghasilkan gelombang tsunami yang merusak di pelabuhan Thebes.

Gempa bumi besar diduga menyebabkan banyak tanah longsor bawah laut, yang dapat berkontribusi secara signifikan terhadap pembentukan tsunami. Sebagai contoh, banyak ilmuwan percaya bahwa tsunami tahun 1998, yang menewaskan sekitar 2.200 orang dan menghancurkan Sissano dan desa-desa di dekatnya di sepanjang pantai utara Papua Nugini, disebabkan oleh longsor sedimen bawah laut yang besar, yang dipicu oleh gempa bumi.

Secara umum, energi gelombang tsunami yang dihasilkan dari tanah longsor atau runtuhnya batu akan hilang dengan cepat saat mereka bergerak menjauh dari sumbernya dan menyeberangi lautan, atau di dalam badan air yang tertutup atau setengah tertutup - seperti danau atau fyord. Namun, perlu dicatat bahwa gelombang tsunami terbesar yang pernah diamati di dunia disebabkan oleh runtuhnya batu di Lituya Bay, Alaska pada tanggal 10 Juli 1958. Dipicu oleh gempa bumi di sepanjang patahan Fairweather, runtuhnya batu seberat 40 juta meter kubik di kepala teluk menghasilkan gelombang yang mencapai ketinggian luar biasa, yaitu 525 meter (~ 1750 kaki) di sisi berlawanan dari inlet. Gelombang tunggal yang sangat besar sekitar 180 meter (600 kaki) melaju dengan kecepatan sekitar 160 kilometer per jam (100 mph) di dalam teluk dan menumbangkan pepohonan di sepanjang jalurnya. Namun, energi dan ketinggian tsunami berkurang dengan cepat menjauh dari daerah sumbernya dan, begitu berada di lautan terbuka, tsunami hampir tidak terekam oleh stasiun pengukur gelombang. Hanya dua orang yang tewas dan tiga kapal hancur di Teluk Lituya. Di Teluk Yakutat yang berdekatan, kenaikan air setinggi 6,1 meter diukur dan tiga orang meninggal. (Tappin, 2017)

### **2.2.3. Tsunami Akibat Letusan Gunung**

Tsunami vulkanik didefinisikan sebagai tsunami dengan mekanisme sumber dari gunung berapi yang meletus dan gunung berapi yang tidak aktif, dan termasuk ledakan, aliran piroklastik dan lahar yang masuk ke dalam air, gempa

bumi sebelum atau selama letusan gunung berapi, kegagalan sisi gunung berapi (mulai dari runtuh batu hingga longsoran puing-puing yang sangat besar), runtuhnya dasar laut, runtuh kaldera, dan gelombang kejut akibat ledakan besar. Dari semua mekanisme ini, hanya aliran piroklastik, kegagalan sisi gunung, dan runtuh kaldera yang dapat menghasilkan tsunami yang merusak, karena volumenya lebih besar dari  $1\text{km}^3$ . Panjang gelombang tsunami vulkanik lebih pendek daripada tsunami akibat gempa bumi dan mengalami penyebaran yang lebih cepat selama penjarannya. Tsunami ini lebih berbahaya di garis pantai yang dekat dengan gunung berapi. Karena mekanisme potensial yang berbeda dan kemungkinan interaksinya, simulasi numerik tsunami gunung berapi, dan penilaian berbasis model terhadap bahaya dari tsunami gunung berapi, menjadi lebih sulit dibandingkan dengan gempa bumi. (Simon J. Day, 2015)

#### **2.2.4. Tsunami Akibat Asteroid**

Ketika sebuah objek kosmik menabrak Bumi, kemungkinan besar objek tersebut akan jatuh ke lautan. Tergantung pada energi tumbukan dan kedalaman lautan, sejumlah besar air akan berpindah, membentuk kawah sementara di kolom air. Gelombang besar seperti tsunami berasal dari runtuhnya rongga di dalam air dan percikan lontaran. Karena konsekuensi destruktif yang luas dari gelombang tersebut, dampak samudra telah disarankan untuk lebih parah daripada dampak serupa di daratan; dengan kata lain, dampak samudra mungkin akan melebihi beratnya. (Wünnemann & Weiss, 2015)

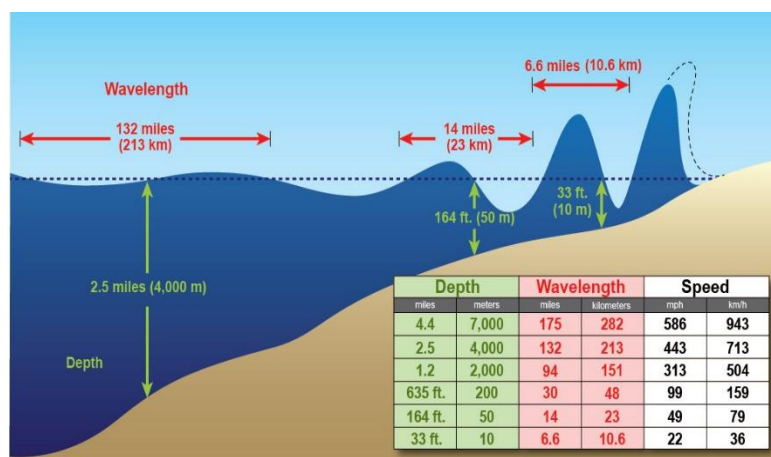
Menurut Sugito tahun 2008 Tumbukan yang diakibatkan oleh Asteroid atau benda luar angkasa lainnya dapat mengakibatkan gangguan terhadap air laut yang datang dari permukaan. Tsunami yang diakibatkan oleh asteroid sangat jarang terjadi. Akan tetapi jika peristiwa tersebut terjadi umumnya akan berlangsung sangat cepat dan jarang mempengaruhi wilayah pesisir yang jauh dari sumber jatuhnya asteroid. Sekalipun jika tumbukan yang diakibatkan oleh asteroid mempengaruhi lempeng di bawah laut maka peristiwa tsunami dahsyat dapat saja terjadi. (Dito & Pamungkas, 2015)

### **2.3 Propagasi Tsunami**

Setelah tsunami terbentuk, maka energi yang dihasilkan akan menjalar ke segala arah dari sumbernya. Tidak seperti angin yang energinya hanya mempengaruhi permukaan laut, tsunami dapat mempengaruhi dengan merambat

ke seluruh kedalaman lautan, dari permukaan hingga ke dasar. Tsunami bergerak dengan kecepatan tinggi dengan energi yang sangat besar, akan tetapi tsunami hanya kehilangan sedikit energinya dalam keadaan bergerak melintasi seluruh samudera. Kecepatan tsunami bergantung dengan kedalaman air yang dilaluinya, semakin dalam air semakin cepat tsunami bergerak. (Tsunami: Generation, 2023)

Di lautan dalam, tsunami dapat bergerak secepat pesawat jet, lebih dari 500 mph (800 km/jam), dan dapat menyeberangi seluruh samudra dalam waktu kurang dari satu hari. Jarak antar gelombang adalah panjang gelombang. Karena panjang gelombang tsunami yang panjang, yang dapat mencapai ratusan mil, tsunami hampir tidak terlihat di lautan dalam dan jarang sekali lebih dari tiga kaki (satu meter). Jarak antar gelombang adalah panjang gelombang. Karena panjang gelombang tsunami yang panjang, yang dapat mencapai ratusan mil, tsunami hampir tidak terlihat di lautan dalam dan jarang sekali lebih dari tiga kaki (satu meter). Para pelaut di laut biasanya tidak akan menyadari adanya tsunami ketika tsunami lewat di bawah lambung kapal mereka. Ketika tsunami memasuki perairan dangkal di dekat daratan, tsunami akan melambat, panjang gelombang berkurang, gelombang bertambah tinggi, dan arus bertambah kuat. Di pantai, sebagian besar tsunami melambat hingga mencapai kecepatan mobil, sekitar 20 hingga 30 mph (30 hingga 50 km/jam). (*Tsunami Propagation*, 2023)



Gambar 2.3 Penampang melintang tsunami saat gelombangnya yang panjang bergerak

Sumber: (*Tsunami Propagation*, 2023)

Tsunami dapat memiliki panjang gelombang mulai dari 10 hingga 500 km dan periode gelombang hingga satu jam. Akibat dari panjang gelombangnya yang panjang, tsunami bertindak sebagai gelombang air dangkal (*shallow water wave*). Dimana jika sebuah gelombang menjadi gelombang air dangkal (*shallow water*

wave) ketika panjang gelombangnya sangat besar dibandingkan dengan kedalaman air. Gelombang air dangkal bergerak dengan kecepatan,  $c$ , yang bergantung pada kedalaman air dan diberikan oleh rumus:

$$c = \sqrt{gd}$$

dimana,

$v$  = kecepatan gelombang (m/s)

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

$d$  = kedalaman air (m)

## 2.4 Dampak Tsunami

Ketinggian dan dampak tsunami di suatu lokasi pantai dipengaruhi oleh batimetri dan topografi setempat serta arah datangnya tsunami. Daerah dataran rendah seperti pantai, teluk, laguna, pelabuhan, muara sungai, dan daerah di sepanjang sungai dan anak sungai yang mengarah ke lautan adalah daerah yang paling rentan. Air bisa sama berbahayanya, bahkan lebih berbahaya, ketika kembali ke laut, membawa puing-puing dan manusia. Puing-puing di dalam air sangat berbahaya sebagaimana dibuktikan oleh memar pada tubuh banyak korban tsunami Samudra Hindia 2004.



Gambar 2.4 Sampah dan puing-puing menutupi jalan-jalan di Banda Aceh, Indonesia, setelah tsunami tahun 2004  
(Sumber: Michael L. Bak, 2007)

Selain hilangnya nyawa, dampak potensial lainnya termasuk kerusakan dan kehancuran rumah bisnis, dan pelabuhan, sumber daya budaya, serta infrastruktur dan fasilitas penting. Mungkin akan terjadi kehilangan akses terhadap layanan dasar seperti listrik, saluran pembuangan, dan air. Komunikasi, transportasi (darat, udara, dan laut), serta layanan kesehatan dan keselamatan publik. Dampak dari tsunami lokal yang besar kemungkinan besar akan menjadi

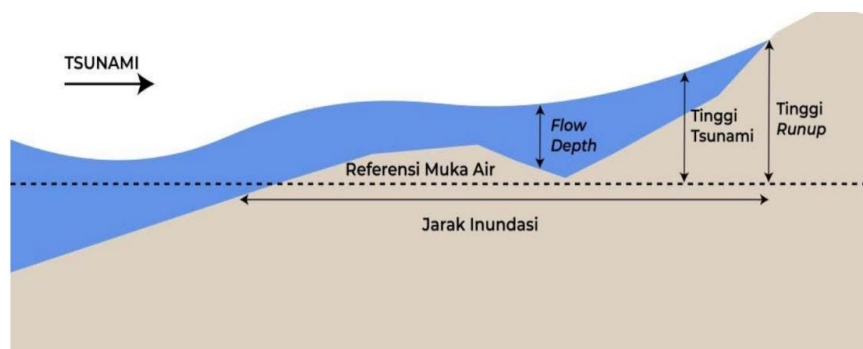
tambahan dari dampak gempa bumi sebelumnya, dan dampak dari keduanya dapat memicu bahaya sekunder, yang dapat lebih menghancurkan daripada kerusakan langsung. (*Tsunami Dangers*, 2023)

Gempa bumi dan tsunami dapat menyebabkan kebakaran, kecelakaan transportasi, dan pelepasan bahan berbahaya ke lingkungan, mencemari pasokan air dan mengancam kesehatan masyarakat. Dampak-dampak ini dapat mempersulit proses evakuasi, respons, dan pemulihan. Gempa bumi dan tsunami juga dapat mengubah daratan, baik di atas maupun di bawah air. Jika pantai surut (turun), banjir dapat meluas ke daerah yang tidak terduga dan penghalang tsunami dapat gagal atau terlampaui. Tanah longsor dan pergeseran serta pengendapan sedimen lainnya dapat membuat jalur air tidak dapat dilalui. (*Tsunami Dangers*, 2023)

Konsekuensi potensial lainnya termasuk perubahan permanen pada pantai dan fitur-fitur pesisir lainnya, hilangnya atau berubahnya habitat satwa liar, dan perubahan kualitas dan ketersediaan air tawar. Penggenangan oleh air asin, baik dalam jangka pendek maupun jangka panjang, dapat membuat lahan pertanian menjadi tidak berguna. Kekuatan air, polutan dan zat beracun, sedimen, sampah laut, dan spesies invasif juga dapat merusak lahan pertanian dan sumber daya alam di pesisir dan laut. Perubahan pada sumber daya ini dapat memengaruhi layanan yang mereka berikan (misalnya, biologis, ekologis, perlindungan, dan rekreasi). (*Tsunami Dangers*, 2023)

## 2.5 Inundasi Tsunami

Menurut Erwan Susanto, dkk 2020 bahwa Inundasi adalah jarak horizontal terjauh yang dijangkau oleh gelombang tsunami dari garis pantai. Semakin landai pantai maka jarak jangkauan inundasi semakin jauh dan panjang dari garis pantai.



Gambar 2.5 Gambaran inundasi tsunami  
(Sumber: Susanto, 2020)

Waktu yang dibutuhkan tsunami untuk mencapai pantai tergantung pada lokasi sumber tsunami relatif terhadap lokasi di mana tsunami akan menghantam daratan. Oleh karena itu, tsunami sering disebut sebagai tsunami lokal atau tsunami jauh. Sumber tsunami lokal berada dekat dengan pantai dan dapat tiba di pantai terdekat dalam waktu kurang dari satu jam, bahkan terkadang hanya dalam hitungan menit. Tsunami lokal, yang juga disebut tsunami sumber lokal dan tsunami jarak dekat, merupakan ancaman terbesar karena tsunami paling merusak di dekat sumbernya, dan hanya ada sedikit waktu untuk mengeluarkan peringatan resmi dan melakukan evakuasi. Selain itu, peringatan tsunami resmi mungkin tidak datang dengan cepat atau tidak sama sekali jika sumbernya bukan gempa bumi atau jika infrastruktur peringatan rusak. (*Tsunami Inundation*, 2023)

Sebaran spasial luasan wilayah terdampak inundasi tsunami digambarkan dengan perhitungan matematis yang dikembangkan oleh Berryman (2006) berdasarkan perhitungan kehilangan ketinggian tsunami per 1 m jarak inundasi (ketinggian genangan) berdasarkan harga jarak terhadap lereng dan kekasaran permukaan. (Nugroho dkk., 2018)

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

dimana,

$H_{loss}$  = Kehilangan ketinggian tsunami per 1m jarak inundasi

$n$  = koefisien kekasaran permukaan

$H_0$  = ketinggian gelombang tsunami di garis Pantai (m)

$S$  = besarnya lereng permukaan ( $^\circ$ )

Tabel 2.1 Koefisien Kekasaran Permukaan Per Jenis Penutup

| Jenis             | Nilai Koefisien |
|-------------------|-----------------|
| Badan Air         | 0.007           |
| Rawa              | 0.015           |
| Empang            | 0.007           |
| Tambak            | 0.01            |
| Pasir/bukit pasir | 0.018           |
| Semak/belukar     | 0.04            |
| padang Rumput     | 0.02            |
| hutan             | 0.07            |
| kebun/perkebunan  | 0.035           |
| tegalang/ladang   | 0.03            |

| Jenis                     | Nilai Koefisien |
|---------------------------|-----------------|
| sawah                     | 0.02            |
| lahan pertanian           | 0.025           |
| pemukiman/lahan terbangun | 0.05            |
| mangrove                  | 0.06            |

*Sumber: (Zayyanul Afwani dkk., 2017)*

## 2.6 Mitigasi Tsunami

Dari semua bahaya alam yang ada di Bumi, tsunami adalah yang paling jarang terjadi. Tsunami besar tidak sering terjadi, tetapi ketika terjadi, mereka dapat memiliki dampak yang signifikan terhadap kehidupan dan properti. Bahkan tsunami kecil yang lebih sering terjadi, dapat menyebabkan hilangnya nyawa, luka-luka, dan kerusakan yang cukup parah. Namun ada beberapa hal yang dapat dilakukan masyarakat sebelum, selama, dan setelah tsunami yang dapat menyelamatkan nyawa dan meminimalkan kerugian. Dampak tsunami dapat sangat bervariasi dari satu komunitas ke komunitas lainnya, tergantung pada batimetri dan topografi setempat. Jadi, untuk mempersiapkan diri menghadapi tsunami, masyarakat pesisir harus melakukan pengkajian bahaya untuk memahami bagaimana tsunami dengan berbagai ukuran dan sumber (lokasi dan jenis) dapat mempengaruhi mereka.

Masyarakat dapat menggunakan peta zona bahaya tsunami yang dihasilkan untuk menentukan di mana orang-orang dan aset-aset penting masyarakat lainnya (misalnya, bangunan, fasilitas, jembatan, sekolah, rumah sakit) berada dalam bahaya sehingga mereka dapat memutuskan di mana mereka harus memfokuskan kesiapsiagaan, respons, dan upaya mitigasi.

Menurut NOAA bahwa masyarakat yang memahami risiko tsunami akan lebih siap untuk melindungi masyarakat jika terjadi tsunami. Langkah-langkah perlindungan meliputi:

1. Merencanakan dan berlatih untuk tanggap terhadap tsunami;
2. Memberi peringatan kepada masyarakat;
3. Membuat, menandai, dan mempublikasikan rute evakuasi; dan
4. Mengedukasi masyarakat (penduduk dan pengunjung) tentang tsunami dan keselamatan dari tsunami sebelum tsunami terjadi.



## 2.7 Penelitian Terdahulu

Penelitian sebelumnya merupakan usaha para peneliti untuk mencari perbandingan dan kemudian menemukan inspirasi baru untuk penelitian selanjutnya. Selain itu, kajian sebelumnya juga membantu penelitian ini dapat memposisikan dirinya dan menunjukkan keorisinilan penelitian ini. Dalam bagian ini, peneliti menyertakan berbagai hasil studi sebelumnya yang berkaitan dengan penelitian yang akan dilakukan, kemudian merangkasnya, baik itu penelitian yang telah dipublikasikan maupun belum dipublikasikan. Berikut adalah riset sebelumnya yang masih relevan dengan topik yang penulis sedang ditelaah.

Tabel 2. 2 Pemetaan penelitian terdahulu

| No | Penulis                                                                                | Judul                                                                                                        | Variabel                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Hasil Penelitian                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|----|----------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1  | Mellisa Inggried Sumtakia, Guntur Pasaua, Seni H. J. Tongkukuta (2017)                 | Simulasi Penjalaran Gelombang Tsunami di Sofifi–Tidore Kepulauan Maluku Utara sebagai Upaya Mitigasi Bencana | Simulasi menggunakan perangkat lunak WinITDB dengan memasukkan koordinat sumber tsunami, koordinat daerah yang akan diterjang tsunami, panjang patahan, lebar patahan dan deformasi dasar laut dari data gempa yang pernah menimbulkan tsunami.                                                                                                                      | Hasil analisis dari ketiga kejadian gempa yang telah disimulasikan, dapat dinyatakan bahwa daerah Sofifi –Tidore Kepulauan merupakan daerah yang memiliki ancaman yang cukup berbahaya terhadap tsunami karena memiliki tinggi gelombang tsunami lebih dari 0,5 meter dengan waktu tiba 36 sampai 38 menit. Untuk itu perlu adanya suatu rencana tindakan preventif dan mitigasi untuk mengurangi potensi risiko tsunami |
| 2  | Didit Fahrudin Muhamad Saleh, Achmad Yasir Baeda, Sabaruddin Rahman (2022)             | Skema Mitigasi Tsunami Mendatang di Pelabuhan Garongkong, Barru, Sulawesi Selatan                            | Dalam artikel ini, penulis ingin meneliti mengenai sebaran tinggi tsunami di pelabuhan Garongkong, Barru, Sulawesi Selatan dengan menggunakan software <i>SITPros</i> serta melakukan peta jalur evakuasi yang berguna sebagai salah satu mitigasi bencana tsunami.                                                                                                  | Hasil yang diketahui bahwa tinggi gelombang tsunami model 3,22 m dengan arak tempuh 34,74 menit serta sebuah peta mitigasi vertikal.                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| 3  | Nisrina Ikbar Rahmawati Bagus Jaya Santosa Wiko Setyonegoro dan Bambang Sunardi (2017) | Pemodelan Tsunami Di Sekitar Laut Banda Dan Implikasi Inundasi Di Area Terdampak                             | Dalam artikel ini, penulis ingin memodelkan tsunami untuk memodelkan sumber, penjalaran dan run-up tsunami inundasi di area terdampak menggunakan software L2008. Pemodelan dilakukan menggunakan skenario gempabumi 26 Desember 2009 dengan memodifikasi kekuatan menjadi Mw=8.3, kedalaman 33 km dan mekanisme sumber gempa bumi ditentukan dengan software ISOLA. | Hasil pemodelan tsunami menunjukkan nilai vertical displacement maksimal sekitar 7,7 m, penjalaran tsunami ke segala arah dan pertama kali memasuki daerah Seram bagian timur pada menit ke 05.40. Run up tertinggi dijumpai di Tual sekitar 7,71 m dan inundasi tsunami berkisar antara 64,18 m di Kepulauan Aru hingga 1.009,49 m di Kota Tual.                                                                        |

Terdapat perbedaan dalam hasil dan proses penelitian yang digunakan dalam ketiga penelitian terdahulu dimana diketahui bahwa ketiga penelitian tersebut mempunyai perbedaan dalam penentuan lokasi penelitian, selain itu terdapat perbedaan cara pemodelan yang dikarenakan perbedaan *software* yang digunakan dan perbedaan hasil penelitian yang dimana tujuan penelitian saya ini lebih mengarah ke generasi, propagasi, inundasi, dampak, dan mitigasi tsunami