

# STUDI TSUNAMI INUNDATION MODELLING PADA PANTAI TANJUNG SETIA LAMPUNG DENGAN PEMANFAATAN SOFTWARE DELFT3D

(Study Of Modeling And Mapping Of Tsunami Inundation At Tanjung Setia Beach Lampung Province By Utilizing Delft3d Software)

M. Gilang Indra Mardika<sup>1</sup>, Mashuri<sup>1</sup> and Muhammad Dukhi Safaraz<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknologi Infrastruktur dan Kewilayahan, Institut Teknologi Sumatera  
Email: [m.indra@si.itera.ac.id](mailto:m.indra@si.itera.ac.id)

Diterima 8 April 2024, Disetujui 14 Oktober 2024

## ABSTRAK

Pantai Tanjung Setia berada di wilayah Pesisir Barat Provinsi Lampung, yang merupakan wilayah yang rentan terhadap terjadinya tsunami karena posisinya di zona geologis yang aktif dengan garis pantai menghadap ke Samudera Hindia dan terletak di persimpangan lempeng tektonik. Kondisi ini meningkatkan risiko terjadinya bencana tsunami yang dapat menyebabkan kerusakan di wilayah tersebut. Satu dari kelemahan di region wisata pantai Tanjung Setia Pesisir Barat Provinsi Lampung ini yakni belum ketersediaannya peta hazard atau peta KRB (Kerentanan Rawan Bencana) yang disusun oleh Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Nasional. Tujuan dari penelitian yaitu merencanakan dan menganalisis peta inundasi tsunami di daerah Pantai Tanjung Setia Pesisir Barat Provinsi Lampung menggunakan aplikasi Delft3D. Pemanfaatan perangkat lunak Delft3D 4.04.01, catatan serta tinjauan rancangan dapat menciptakan penyebaran gelombang di wilayah tersebut. Periode gelombang rencana dan tinggi dihitung dengan mengaplikasikan sistem hindcasting dan merujuk pada standar SPM 1984 serta diaplikasikan untuk input pada pembuatan model perangkat lunak Delft3D. Hasil kalkulasi, didapat periode gelombang dan tinggi rencana maksimum kala ulang 15 tahun setinggi 3,01 meter dengan rentang 8,21 sekon, kala ulang 25 tahun setinggi 3,16 meter dengan rentang 8,49 sekon dan kala ulang 50 tahun setinggi 3,37 meter dengan rentang 8,87 sekon. Sementara itu, tinggi gelombang dari histori tsunami, yaitu 3,6 meter, 8 meter, dan 15 meter juga dimanfaatkan untuk masukan dalam acuan Delft3D. Akibat dari pemodelan penyebaran gelombang rancangan tidak menghasilkan bahaya tsunami yang relevan. Berdasarkan luaran pemodelan penyebaran gelombang menggunakan tinggi tsunami dari histori yang di pakai sebagai parameter, gelombang dengan ketinggian 3,6 meter tidak mengakibatkan bahaya tsunami di area tersebut dan memerlukan waktu tempuh 35 menit untuk sampai ke area pesisir pantai. Namun gelombang dengan tinggi 8 dan 15 meter dapat mengakibatkan bahaya tsunami di daratan, yang memerlukan durasi tempuh 27-34 menit untuk sampai ke wilayah bibir pantai. Tiga rancangan tercantum memenuhi kriteria ketepatan model pada perairan tidak mendalam.

**Kata kunci:** Delft3D, Pemodelan Tsunami, Rambatan Gelombang

## ABSTRACT

Tanjung Setia Beach is located in the West Coast area of Lampung Province. This location is very vulnerable of disaster such as tsunami, because it is on the edge of a geologically active continent with a coastline facing the Indian Ocean and distinguished by the confluence of tectonic plates. With such conditions at any time a tsunami disaster can occur and cause damage to the area. One of the weaknesses in the Tanjung Setia coastal tourist area on, West Coast of Lampung Province, is non-exist of hazard maps or KRB (Disaster Prone Vulnerability) maps made by the National Center for Volcanology and Disaster Mitigation. The purpose of this research is to plan and analyze tsunami inundation maps in the Tanjung Setia Coast area of the West Coast of Lampung Province using the Delft3D application. Using Delft3D 4.04.01 software based on data and scenario analysis is capable of producing wave propagation in the area. The height and wave period of the plan are calculated using the hindcasting method and are based on the SPM 1984 standard and then used as input in Delft3D modeling software. From the calculation results, the height and wave period of the maximum plan for the 15 year is 3.01 m with a period of 8.21 s, the 25 year is 3.16 m with a period of 8.49 s and the 50 year is 3.37 m with a period of 8.87 s. In addition, historical tsunami wave heights of 3.6 m, 8 m and 15 m are also used as inputs in the Delft3D model. The results of propagation planned wave does not cause a significant tsunami disaster. As a result of wave propagation based on the historical height of tsunamis used, 3.6 m wave does not cause tsunami disasters in the area and take 35 minutes to reach coastal areas, while waves of 8 and 15 meters are able to cause tsunami disasters on land, which takes 27-34 minutes to reach the coast. All three scenarios qualify for model accuracy in shallow seas.

**Keywords:** Delft3D, Tsunami Modeling, Wave Propagation

## PENDAHULUAN

Tsunami adalah fenomena alam yang terjadi akibat gelombang air laut besar yang dipicu oleh berbagai faktor, seperti pusran air bawah laut karena pergeseran lempeng, tanah longsor, erupsi gunung api, dan bahkan dampak jatuhnya meteor. (WMO, 2010). Negara Indonesia masih rentan terkena bencana alam tersebut dikarenakan lokasinya berada di titik pertemuan 3 (tiga) lempeng tektonik utama di dunia, yang bergerak secara konstan. Lempeng-lempeng tersebut yaitu Lempeng Eurasia di utara, Lempeng laut Philipina, Lempeng Samudera Pasifik di timur, dan Lempeng Samudera Indo-Australia di selatan, hal ini membuat wilayah Indonesia rentan terhadap bencana tsunami. Tsunami disebabkan oleh gangguan impulsif di dasar laut, dan dapat membuat gelombang laut menyebar ke segala arah. Gangguan impulsif tersebut disebabkan oleh perubahan vertikal dalam bentuk struktur geologis pada dasar laut, terutama untuk waktu yang singkat.

Berdasarkan data BNPB atau Badan Nasional Penanggulangan Bencana daerah yang rawan akan terjadi tsunami yaitu salah satunya pada Provinsi Lampung. Secara keseluruhan, wilayah Provinsi Lampung rentan terhadap kenaikan gelombang laut akibat dampak perubahan iklim yang berasal dari perubahan kecepatan angin. Kawasan Pesisir Barat Provinsi Lampung yaitu wilayah pinggiran benua yang aktif secara geologis dengan garis pantai yang menghadap ke Samudera Hindia dan dibedakan oleh pertemuan antar Lempeng Tektonik Eurasia, dan Lempeng Oseanik Indo-Australia serta terdapat aktivitas seismik atau aktivitas kegempaan yang sangat tinggi (Pratiwi & Fitri, 2021).

Kelemahan yang terdapat di kawasan wisata Pesisir Barat Provinsi Lampung adalah ketiadaan peta hazard atau peta Kerentanan Rawan Bencana (KRB) yang telah dibuat dari Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Nasional pada tahun 2020. Oleh karena itu, dalam hal terjadi bencana tsunami, masyarakat belum memiliki informasi mengenai zona aman dan radius gelombang dari bibir pantai. Upaya mitigasi awal yang dapat diambil di kawasan Pesisir Barat Lampung adalah melakukan simulasi jalur persebaran gelombang tsunami. Dengan demikian, penelitian ini diimplementasikan dengan rencana untuk mengidentifikasi skema jaringan gelombang tsunami dengan menggambarkan sebagian nilai tinggi gelombang rancangan dan tinggi histori gelombang.

Berdasarkan kondisi tersebut, dapat dijadikan daerah penelitian dan pengkajian potensi bahayanya, terutama jika terjadi bencana tsunami. Dengan menggabungkan hasil penelitian dan pemodelan tsunami, sehingga memberikan gambaran terhadap dampak bencana tsunami pada wilayah pesisir pantai penelitian. Data tersebut diperlukan dalam perencanaan dan pengembangan wilayah pesisir pada Provinsi Lampung yaitu untuk menjadi dasar serta informasi. Sehingga, kesadaran masyarakat pun akan meningkat terhadap

potensi tsunami yang kapan saja bisa terjadi, serta untuk mengetahui bagaimana memanfaatkan potensi alam kawasan pantai dalam penyelamatan diri dan meminimalisir dampak tersebut (Pujiastuti, Aperus, & Billyanto, 2016).

Dalam mendapatkan perkiraan serta karakteristik tinggi gelombang signifikan, dapat digunakan suatu permodelan numerik dengan menggunakan *software*. Delft3D-WAVE adalah *software* berbasis SWAN (*Simulating Waves Nearshore*) yang banyak untuk memodelkan gelombang laut khususnya di perairan denat pesisir pantai (Aswad, Armono, Rahmawati, Ridlwan, & Ariefianto, 2021). Pendekatan melalui *software* akan menggunakan grid dalam perhitungan numerik. Dalam proses pendekatan dari hasil yang optimum maka dibutuhkan grid yang mendetail dengan kerapatan spasial yang secara signifikan lebih tinggi. (Wahyu, Djamaluddin, Mamuaya, Yatimantoro, & Priyobudi, 2018)

Tujuan dari penelitian kali ini yaitu, merencanakan dan menganalisis peta inundasi tsunami di daerah Pantai Tanjung Setia Pesisir Barat Provinsi Lampung menggunakan aplikasi Delft3D. Menghitung jarak maksimal jangkauan persebaran gelombang diukur dari tinggi gelombang rencana. Menghitung jarak maksimal jangkauan persebaran gelombang diukur dari historis tinggi gelombang tsunami. Hasil analisis penelitian diharapkan dapat menyediakan penjelasan dan keterangan secara mendasar untuk kepentingan ilmiah serta data dalam merencanakan atau pengelolaan infrastruktur kewilayahan akibat tsunami (Mardika, 2021).

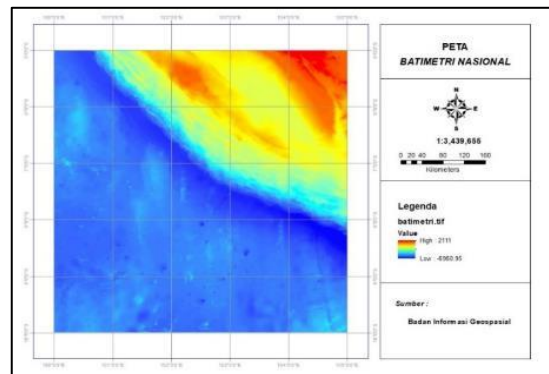
## METODE

Penelitian ini dilakukan di Pantai Tanjung Setia, yang merupakan salah satu destinasi wisata di Provinsi Lampung, Kabupaten Pesisir Barat. Pemilihan lokasi penelitian mengenai pemodelan tsunami dan gelombang pada wilayah Pantai Tanjung Setia didasari karena Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral memetakan wilayah tersebut sebagai zona merah dengan potensi gelombang lebih dari 3 meter. Batasan geografis Pantai Tanjung Setia sebagai berikut.

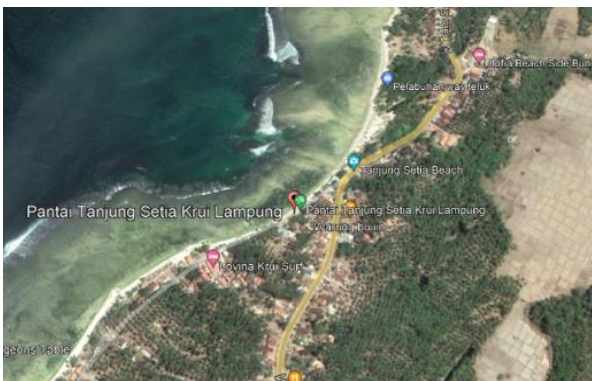
1. Batas utara Pantai Tanjung Setia terletak pada koordinat 104,004° bujur timur dan 5,18° lintang selatan.
2. Batas timur Pantai Tanjung Setia terletak pada koordinat 104,033° bujur timur dan 5,18° lintang selatan.
3. Batas selatan Pantai Tanjung Setia terletak pada koordinat 104,004° bujur timur dan 5,18° lintang selatan.
4. Batas barat Pantai Tanjung Setia terletak pada koordinat 103,593° bujur timur dan 5,18° lintang selatan.



**Gambar 1.** Peta Provinsi Lampung  
Sumber: Google Earth, 2022



**Gambar 3.** Peta Batimetri  
Sumber: Badan Informasi Geospasial, 2023



**Gambar 2.** Peta Lokasi Pantai Tanjung Setia  
Sumber: Google Earth, 2022

Dalam studi ini menerapkan jenis studi kuantitatif, dan studi kasus ditinjau secara numerik sebagai metode studi ini. Jenis penelitian kuantitatif adalah suatu pendekatan analisis data yang bertujuan untuk menyajikan gambaran objektif mengenai keadaan atau peristiwa tertentu pada saat dan tempat pengumpulannya (Sugiyono, 2013). Penelitian ini mengadopsi pendekatan tersebut dengan melakukan pemodelan bencana tsunami menggunakan *software* Delft3D. Pendekatan ini memberikan kerangka kerja yang kuat untuk menggali informasi kuantitatif yang mendalam terkait dengan perilaku dan dampak tsunami, memanfaatkan kecanggihan analisis numerik yang dimiliki oleh *software* tersebut. Hasil dari pemodelan dianalisis untuk mendapatkan informasi tentang tingkat genangan dari beberapa pola gelombang rencana yang direncanakan. Kemudian hasil simulasi dapat digunakan untuk solusi internal mengidentifikasi daerah-daerah yang rawan tsunami, sehingga bisa menjadi tolak ukur manajemen risiko yang presisi.

Data sekunder yang dimanfaatkan untuk mendukung penelitian ini adalah:

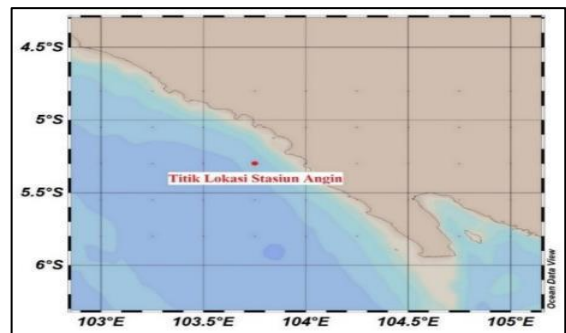
1. Batimetri

Batimetri adalah studi tentang kedalaman bawah air diperoleh dari *British Oceanographic Data Center* yaitu *General Bathymetric Chart of the Oceans* (GEBCO) dalam versi Gebco\_08.

2. Angin

Dalam merencanakan pembuatan peta inundasi, penggunaan data angin dengan interval 10 tahun menjadi fokus utama. Data angin tersebut diperoleh dari *Climate Data Store* (CDS) dan diolah untuk mendapatkan gelombang rencana (Fauzi, Mardika, Fatkhurrozi, & Martino, 2024).

Selanjutnya, hasil pengolahan data angin ini akan diintegrasikan ke dalam tahap perencanaan secara menyeluruh. Pemilihan stasiun angin didasarkan pada lokasi terdekat dengan pantai yang berposisi di laut dengan koordinat 5,3° lintang selatan dan 103,75° bujur timur, sebagaimana tergambar pada gambar di berikut ini.



**Gambar 4.** Titik Lokasi Stasiun Angin  
Sumber: Badan Informasi Geospasial, 2023

1. Peta Potensi Ketinggian Tsunami Pulau Sumatera Melalui peta Kerentanan Rawan Bencana (KRB) yang disusun oleh Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi (PVMBG) pada tahun 2020, dapat diketahui bahwa pesisir barat Provinsi Lampung memiliki potensi risiko tinggi terkait gelombang tinggi dan gelombang pasang yang dapat mencapai lebih dari 3 meter. Data ini secara jelas menyatakan bahwa kawasan tersebut berkesempatan bahaya yang tinggi terhadap kemungkinan terjadinya bahaya tsunami.



**Gambar 5.** Peta Potensi Gelombang Tinggi Wilayah Sumatera

Sumber: Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi, 2020

1. Data Histori Tsunami

Besarnya kemampuan tinggi gelombang secara spesifik dapat ditentukan berdasarkan analisis Peta Kerentanan Rawan Bencana (KRB). Faktor ini terkait erat dengan data historis tinggi tsunami di sekitar wilayah penelitian selama periode 2000-2018, yang diambil dari katalog yang diterbitkan oleh Pusat Gempa Bumi dan Tsunami Indonesia. Tinggi gelombang yang berpengaruh dalam rentang waktu tersebut menjadi acuan utama dalam proses pemodelan, memastikan hasil pemodelan mencerminkan situasi aktual dan berpotensi memberikan gambaran yang lebih akurat.

**Tabel 1.** Katalog Tinggi Tsunami Signifikan

No.	Waktu Kejadian	Mag. Gempa	Sumber Tsunami	Lokasi		H (m)	Referensi
				Lat	Lon		
1	11-11-2004	7.5	Barat Daya Banda Aceh, Megathrust Sumatera	3.295	95.982	5 - 30	BMG, Borrero (2005), EERI report.
2	12-09-2007	8.4	Bengkulu	-4.438	101.367	3.6	BMG, BAKOSURTANAL, Borrero <i>et al.</i> (2009).
3	25-10-2010	7.7	Mentawai, Sumatera Barat	-3.57	99.93	6 - 12	BMKG, LIPI, Kerpen <i>et al.</i> (2011).

Sumber: Tim Pusat Gempabumi dan Tsunami 2018

Data-data yang sudah dikumpulkan akan diolah untuk menjadi data *input* dalam proses pemodelan tsunami menggunakan Delft3D. Berikut merupakan pendekatan numerik persamaan pengatur pada Delft3D memanfaatkan Metode *Shallow Water Equation* dengan persamaan kontinuitas dan persamaan momentum yang ketetapanannya hanya berfungsi untuk gelombang yang

panjang sekali dengan  $kh < 0,25$  (panjang gelombang > 25 kedalaman air). Pada *software* Delft3D menggunakan Metode Sistem Multi Grid yang bertujuan untuk meningkatkan akurasi dan efisiensi pemodelan (Wang, 2009), seperti persamaan (1) dan (2).

$$\partial \zeta + \partial[(d + \zeta)U] + \partial[(d + \zeta)V] \tag{1}$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\omega}{d + \zeta} \frac{\partial u}{\partial \sigma} - fv = -\frac{1}{\rho} Pu + Fu + \frac{1}{(d + \zeta)^2} \frac{\partial}{\partial \sigma} \left( V_v \frac{\partial u}{\partial \sigma} \right)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\omega}{d + \zeta} \frac{\partial v}{\partial \sigma} + fu = -\frac{1}{\rho} Pv + Fv + \frac{1}{(d + \zeta)^2} \frac{\partial}{\partial \sigma} \left( V_v \frac{\partial v}{\partial \sigma} \right)$$

$$\frac{\partial \omega}{\partial \sigma} = -\frac{\partial \zeta}{\partial t} - \frac{\partial[(d + \zeta)u]}{\partial x} - \frac{\partial[(d + \zeta)v]}{\partial y} + H(q_{in} - q_{out}) + P - E \tag{2}$$

Dengan sistem 2D yang akan diterapkan dalam langkah pembuatan model, persamaan di atas disederhanakan maka mempertimbangkan komponen u dan v saja, untuk mengelola kecepatan rambat, yang berakibatkan akan

berdampak pada tinggi dan segmen gelombang persamaan (3) sebagai berikut.

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial[(d+\zeta)u]}{\partial x} + \frac{\partial[(d+\zeta)v]}{\partial y} = 0 \tag{3}$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + v \frac{\partial u}{\partial y} + u \frac{\partial u}{\partial x} - fv + g \frac{\partial \zeta}{\partial x} + gu \frac{\sqrt{u^2 + v^2}}{C^2(h+\zeta)} = \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x}$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} - fu + g \frac{\partial \zeta}{\partial y} + gv \frac{\sqrt{u^2 + v^2}}{C^2(h+\zeta)} = \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yy}}{\partial y}$$

Keterangan:

- t = waktu (s)
- x,y,z = sumbu koordinat arah longitudinal, transversal dan vertikal (°)
- u, v, w = kecepatan sesaat pada aliran arah x, y dan z (m/s)
- P, Q = fluks volume dalam arah x dan arah y (LT<sup>-1</sup>)
- gx, gy, gz = percepatan gravitasi arah x, y dan z (m<sup>2</sup>/s)
- tij = nilai tegangan geser arah j yang bekerja pada bidang tegak lurus sumbu i (Pa)
- H = kedalaman air total (m)
- fu, fv = gesekan di arah x dan y (N)

Komponen yang sangat penting dalam memvalidasi luaran pembuatan model adalah dengan mengecek dan mengetahui panjang gelombang yang dibentuk serta periode dengan persamaan berikut (Mardika, 2024).

$$T = \frac{t}{n} \tag{4}$$

$$L = \frac{gT^2}{2\pi} \tanh \frac{2\pi d}{L} \tag{5}$$

Dimana:

- L = Panjang gelombang (m)
- g = Percepatan gravitasi (m/s<sup>2</sup>)
- T = Periode (s)
- h = Tinggi gelombang (m)
- d = Kedalaman laut (m)

Pada skenario input berdasarkan data tinggi histori tsunami, dipilih kejadian-kejadian tsunami signifikan di masa lampau yang memiliki kesamaan karakteristik seperti letak posisi yang terletak di bagian barat Pulau Sumatera serta berhadapan langsung dengan Lempeng-Indoaustralia sehingga diharapkan dapat mendekati keadaan sebenarnya apabila bencana terjadi pada lokasi studi kasus yaitu di Pantai Tanjung Setia, Kabupaten Pesisir Barat, Provinsi Lampung. Dalam perencanaan pemodelan tsunami menggunakan *Delft3D-flow*, dibutuhkan besaran gempa yang kemudian akan dikonversikan oleh *toolbox* tsunami pada *Delft Dashboard* menjadi tinggi gelombang sesuai skenario histori tinggi tsunami (Sofiana *et al*, 2022). Berikut persamaan konversi besaran gempa menjadi tinggi gelombang (Triatmodjo, 1999).

$$m = 2,26 M - 14,18 \tag{6}$$

Keterangan:

- m = Besaran tsunami
- M = Besaran gempa (Magnitudo)

Sehingga didapat data-data input model sebagai berikut.

**Tabel 2.** Skenario Besaran Gempa

Tinggi skenario gelombang (m)	Batas Bawah (m)	Batas Atas (m)	Besaran Gempa (SR)
3,6	3,1	4,1	6,96
8	7	10	7,491
15	12,8	17,6	7,867

**Tabel 3.** Skenario Patahan Gempa

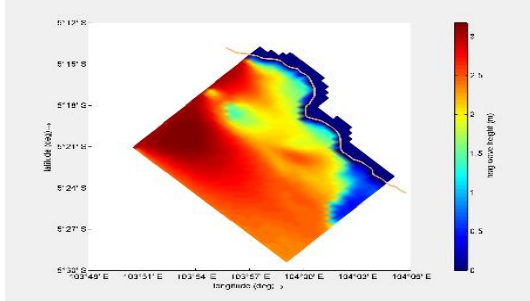
Tinggi Skenario Gelombang (m)	Besaran Gempa (SR)	Jarak Patahan Gempa ke Lokasi Studi Kasus (km)	Dip (°)	Slip (m)	Rake (°)
3,6	6,96	185	15	25	90
8	7,491		15	40	90

Tinggi Skenario Gelombang (m)	Besaran Gempa (SR)	Jarak Patahan Gempa ke Lokasi Studi Kasus (km)	Dip (°)	Slip (m)	Rake (°)
15	7,867		15	80	90

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

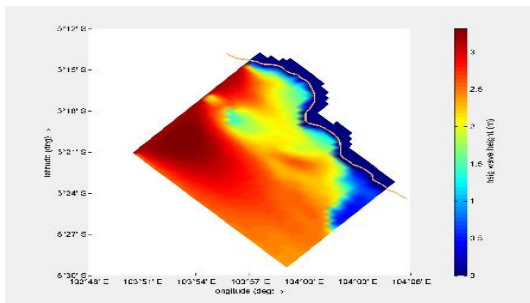
Skenario Pemodelan *Hindcasting*

1. Pemodelan 1 (h = 3,01 m, t = 8,21 s)



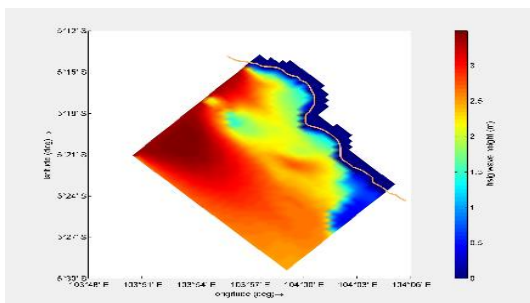
**Gambar 6.** Sebaran Gelombang Periode 8,21 Detik Dengan Ketinggian 3,01 Meter

2. Hasil pemodelan 2 (h = 3,16 m, t = 8,49 s)



**Gambar 7.** Sebaran Gelombang Periode 8,49 Detik Dengan Ketinggian 3,16 Meter

3. Hasil pemodelan 3 (h = 3,37 m, t = 8,87 s)



**Gambar 8.** Sebaran Gelombang Periode 8,87 Detik Dengan Ketinggian 3,37 Meter

Pada Delft3D-Wave, visualisasi hasil pemodelan yang disajikan merupakan sebaran ketinggian gelombang hanya pada kondisi ekstrem, di mana x adalah koordinat bujur dan y merupakan koordinat lintang. Berdasarkan hasil legenda dari simulasi pendistribusian sebaran gelombang 3,01 meter dengan periode 8,21 detik yang terbentuk pada **Gambar 6**, menunjukkan bahwa sebagian besar elevasi permukaan air maksimum pada model mencapai ketinggian 3,15 meter.

Pada simulasi pendistribusian sebaran gelombang 3,16 meter dengan periode 8,49 detik yang terbentuk pada **Gambar 7**, menunjukkan bahwa elevasi permukaan air tidak jauh berbeda dengan gelombang 3,01 meter,

yaitu gelombang maksimum mencapai 3,25 meter yang semakin menurun saat mendekati daratan.

Selanjutnya pada simulasi pendistribusian sebaran gelombang 3,37 meter dengan periode 8,87 detik yang terbentuk pada **Gambar 8**, juga menunjukkan bahwa elevasi permukaan air tidak jauh berbeda dengan gelombang 3,01 dan 3,16 meter, yaitu gelombang maksimum mencapai 3,35 meter yang cenderung berkurang saat gelombang mendekati daratan.

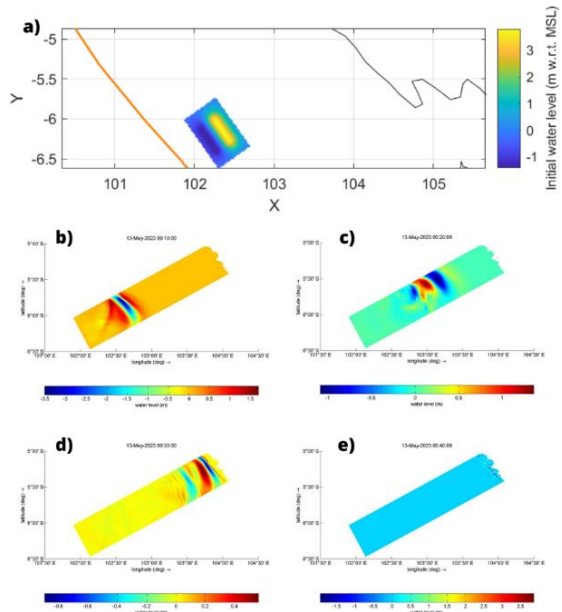
Dari visualisasi ketiga skenario yang disajikan, diketahui tidak ada skenario gelombang yang mampu menciptakan *run up* yang signifikan di daratan. Input tinggi dan periode gelombang serta *output* ketinggian maksimal yang dihasilkan pada sebaran gelombang dapat di amati pada **Tabel 4**.

**Tabel 4.** Input dan *Output* Gelombang Skenario 1

Lokasi	Input Tinggi Gelombang (meter)	Input Periode Gelombang (detik)	Output Tinggi Gelombang (meter)
Lautan Pantai Tanjung Setia	3,01	8,21	3,15
	3,16	8,49	3,25
	3,37	8,87	3,35

Penjalaran gelombang

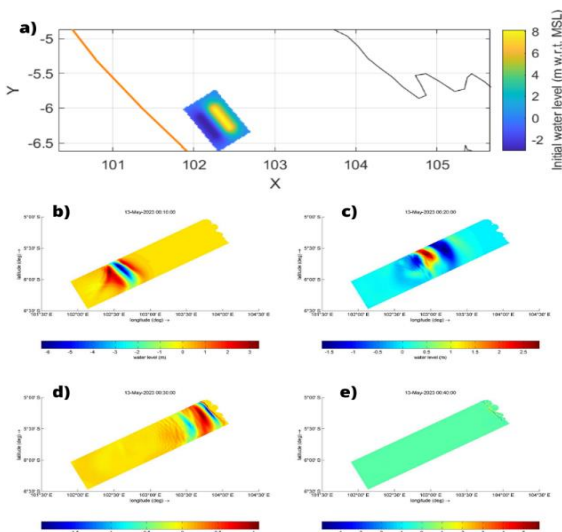
1. Skenario 1 (h = 3,6 m, Mw = 6,96)



**Gambar 9.** Ketinggian Permukaan Air Spasial Gelombang 3,6 Meter: a)Ketinggian Awal, b)10 Menit, c)20 Menit, d)30 Menit, e)40 Menit.

Visualisasi hasil pemodelan pada skenario ini digambarkan setiap 10 menit, di mana x adalah koordinat bujur dan y merupakan koordinat lintang. Berdasarkan hasil legenda dari simulasi pendistribusian sebaran gelombang 3,6 meter yang terbentuk pada **Gambar 9**, menunjukkan bahwa sebagian besar elevasi permukaan air maksimum pada model mencapai 0,6 – 3,6 meter. Pada 10 menit pertama, ketinggian maksimum gelombang mencapai 1,6 meter dan terus berkurang pada menit 30 dengan ketinggian 0,6 meter. Namun, ketinggian gelombang makin meningkat sampai dengan kurang lebih 3,5 meter seiring jarak yang semakin dekat dengan daratan.

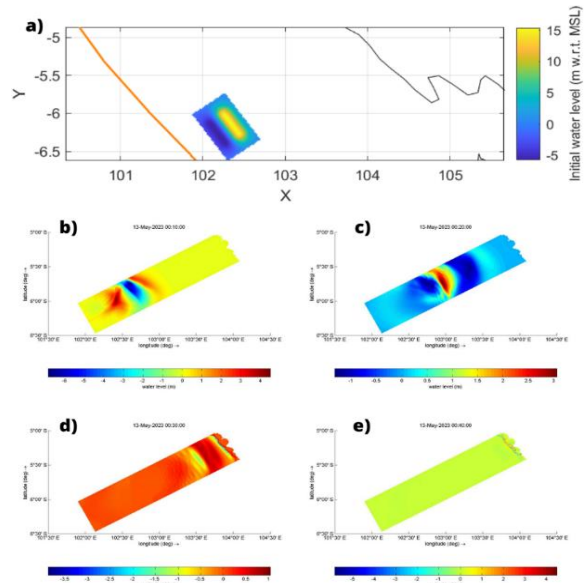
2. Skenario 2 (h = 8 m, Mw = 7,491)



**Gambar 10.** Ketinggian Permukaan Air Spasial Gelombang 8 Meter: a)Ketinggian Awal, b)10 Menit, c)20 Menit, d)30 Menit, e)40 Menit.

Pada simulasi pendistribusian sebaran gelombang 8 meter yang terbentuk pada **Gambar 10** menunjukkan bahwa elevasi permukaan air maksimum berkisar antara 1 – 6 meter. Pada menit ke-20, gelombang memiliki tinggi 2,6 meter yang semakin berkurang pada menit ke-30 dan bertambah tinggi kembali saat mendekati pesisir hingga mencapai tinggi 6 meter.

3. Skenario 3 (h = 15 m, Mw = 7,867)



**Gambar 11.** Ketinggian Permukaan Air Spasial Gelombang 15 Meter: a)Ketinggian Awal, b)10 Menit, c)20 Menit, d)30 Menit, e)40 Menit.

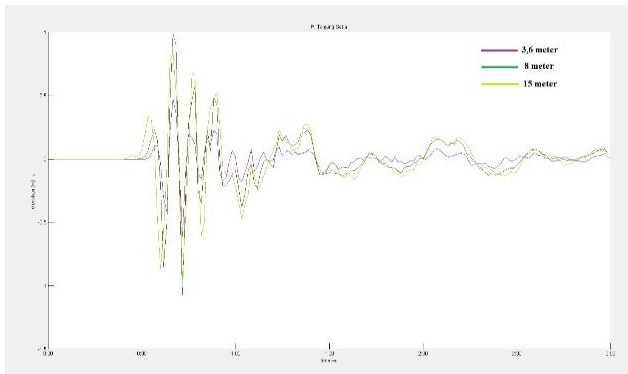
Selanjutnya pada simulasi pendistribusian sebaran gelombang tertinggi yaitu gempa yang menghasilkan gelombang 15 meter seperti pada **Gambar 11** menunjukkan bahwa elevasi permukaan air maksimum pada menit ke-10, 20, 30 dan 40 menit berkisar 1 – 4,5 meter. Elevasi maksimum pada gelombang 15 meter lebih rendah dibanding gelombang 8 meter dikarenakan pada visualisasi ditetapkan dalam waktu per-10 menit, sedangkan gelombang maksimum terjadi di antara celah waktu rentang tersebut.

Tinggi dan durasi kedatangan gelombang tsunami di lokasi peninjauan yaitu di Pantai Tanjung Setia berdasarkan elevasi permukaan air maksimum yang diperoleh dari simulasi. Berdasarkan skenario data histori tinggi tsunami, hasil analisis tinggi dan waktu tiba tsunami pada pesisir Pantai Tanjung Setia dapat diperhatikan pada **Tabel 5**.

**Tabel 5.** Tinggi dan Waktu Tiba Tsunami

Lokasi	Tinggi Tsunami (meter)	Waktu Tiba (menit)
Pantai Tanjung Setia	3,6	35
	8	34
	15	27

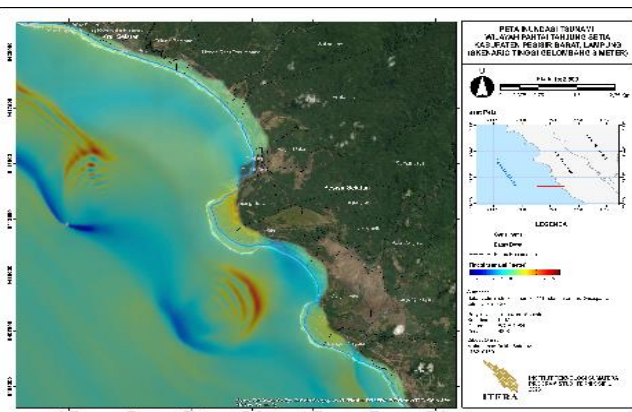
Ketinggian maksimum gelombang tsunami pada waktu tiba di pesisir Pantai Tanjung Setia yang diinput berdasarkan data histori tinggi tsunami yaitu mencapai 1 meter, yang membutuhkan waktu selama 27 – 35 menit. Perbandingan antara tinggi dan durasi kedatangan gelombang tsunami pada penyusunan rencana ini dapat ditinjau pada **Gambar 12**.



**Gambar 12.** Ketinggian Gelombang Tsunami

**Identifikasi Area Genangan Tsunami**

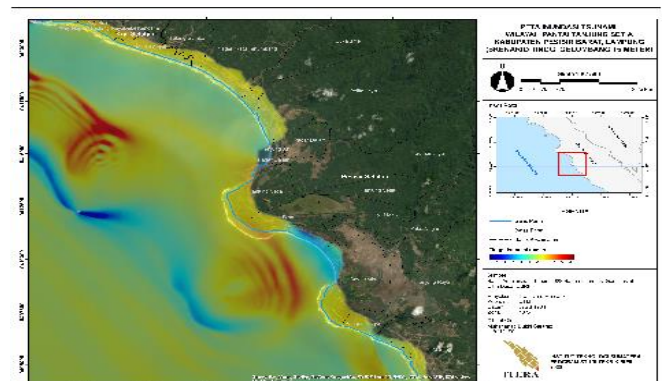
Hasil identifikasi tinggi gelombang dan jarak maksimum rambatan gelombang yang berhasil mencapai wilayah daratan Pantai Tanjung Setia yaitu pada skenario gelombang berdasarkan data tinggi histori tsunami dengan ketinggian 8 dan 15 meter. Pada studi ini dilakukan pemetaan dengan menggunakan bantuan *software* GIS. Berikut adalah peta genangan (inundasi) hasil pemodelan Delft3D akibat gelombang tsunami dengan ketinggian 8 dan 15 meter.



**Gambar 13.** Peta Inundasi Tsunami 8 Meter

Berdasarkan hasil identifikasi peta inundasi, terlihat bahwa skenario dengan bangkitan ketinggian gelombang akibat gempa setinggi 8 meter berhasil mencapai daerah pesisir pantai dalam waktu 34 menit setelah terjadi gempa, dan terus menjalar ke daratan. Dalam skenario tersebut, tercatat bahwa jarak maksimal rambatan tsunami adalah 803 meter dari tepi pantai pada wilayah wisata Pantai Tanjung Setia. Gelombang yang merambat di daratan mencapai tinggi maksimum sebesar 3,5 meter, menyebabkan terendamnya kawasan wisata Pantai Tanjung Setia.

Gelombang tsunami yang menghantam daerah skenario dengan kekuatan sedemikian besar menyebabkan kerugian yang signifikan terhadap infrastruktur dan fasilitas publik.



**Gambar 14.** Peta Inundasi Tsunami 15 Meter

Sedangkan hasil identifikasi peta inundasi dengan skenario bangkitan ketinggian gelombang akibat gempa setinggi 15 meter berhasil mencapai daerah pesisir pantai dalam waktu 27 menit setelah gempa terjadi dan terus menjalar ke daratan. Jarak jangkauan maksimal pada skenario ini yaitu sekitar 872 meter dari garis pantai. Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi skenario bangkitan tinggi gelombang, semakin cepat waktu yang diperlukan gelombang untuk mencapai wilayah daratan dan semakin jauh jangkauan maksimal dari rambatan gelombang tersebut. Berdasarkan jarak jangkauan gelombang yang diperoleh pada skenario ini menunjukkan hasil rambatan yang lebih jauh dibanding skenario bangkitan gelombang 8 meter, sehingga infrastruktur yang terdampak juga semakin banyak.

Faktor-faktor yang mempengaruhi tingginya gelombang tsunami yang menghantam kawasan wisata Pantai Tanjung Setia yaitu karena lokasi pantai tersebut berada pada limpasan datangnya gelombang tsunami yaitu dari arah depan. Tak hanya itu, refraksi dari pembentukan gelombang juga mengakibatkan penjalaran pola gelombang yang lebih dominan pada lokasi tersebut. Pengaruh lain seperti geografi dan topografi di sepanjang garis Pantai Tanjung Setia juga mengakibatkan pola gelombang cenderung mengarah ke lokasi pantai Tanjung Setia. Hal ini terjadi karena keberadaan Bukit Selalau di arah timur Pantai Tanjung Setia sehingga gelombang yang seharusnya menghempas secara bebas pada garis pesisir pantai, terhalang oleh bukit tersebut yang menyebabkan gelombang terakumulasi ke arah Pantai Tanjung Setia dan juga berdampak pada daerah wisata.

**Dampak Daerah yang Terkena Tsunami**

Tsunami berpengaruh terhadap kerusakan di beberapa daerah sekitar, adapun dampak yang dihasilkan dari skenario tsunami dapat diuraikan pada **Tabel 6**.



**Tabel 6.** Detail Kerusakan Tsunami Di Beberapa Daerah Skenario

Daerah	Keterangan
Way Teluk	Daerah tersebut terkena dampak tsunami setinggi 2,5-4 m, dengan waktu tsunami mencapai daratan yaitu 27-34 menit. Dampak dari tsunami tersebut yaitu kerusakan pada daerah pusat kota Tanjung Setia, pemerintahan pekon Tanjung Setia, pemukiman penduduk pekon Tanjung Setia, Masjid Nurul Thohar, PT. Indonesia Trans Network (ITN) dan Taman Pendidik Al-Qur'an (TPQ/TPA) Aisiyah.
Pantai Wisata	Daerah tersebut terkena dampak tsunami setinggi 3,5-6 m, dengan waktu tsunami mencapai daratan yaitu 27-34 menit. Dampak dari tsunami tersebut yaitu kerusakan pada Pantai Tanjung Setia, losmen daerah Pantai Wisata, beberapa <i>surf</i> camp, dan pemukiman penduduk daerah Pantai Wisata.

Pada **Tabel 6**, daerah Way Teluk dan Pantai Wisata terdapat pusat pemerintahan daerah dan tempat wisata, dapat dilihat bahwa dampak tsunami yang terjadi bisa menyentuh hingga daerah pusat pemerintahan Tanjung Setia di daerah Way Teluk dan tempat wisata Tanjung Setia yang berada di Pantai Wisata dalam waktu singkat, hal ini bisa menjadi mitigasi bencana untuk pemerintah setempat sehingga bisa memprediksi kerusakan akibat gelombang tsunami dan juga lebih mempersiapkan jika terjadinya gelombang tsunami, karena dapat kita lihat bahwa gelombang yang mencapai daratan bisa dibidang cukup tinggi.

**Tabel 7.** Periode dan Panjang Gelombang

Gelombang (m)	T (s)	L (m)	k
3,6	380	336,75	0,0029
8	380	476,07	0,0021
15	420	500,91	0,0019

**Akurasi dan Efisiensi Hasil Pemodelan**

Pendekatan efisiensi dan keakuratan dalam pemodelan gelombang tsunami merupakan tahap krusial untuk memastikan akurasi dan keandalan model. Salah satu parameter penting yang perlu divalidasi adalah Panjang gelombang. Validasi berdasarkan ketentuan yang dikembangkan oleh Wang pada tahun 2009 dapat membantu mengukur sejauh mana akurasi hasil pemodelan gelombang tsunami dengan Delft3D. Perhitungan periode gelombang dan panjang gelombang yaitu memanfaatkan Persamaan (4) dan (5) dengan mengambil sampel pada setiap periode gelombang pertama, serta menghitung nilai bilangan gelombang sebagai berikut. Berdasarkan ketentuan Wang (2009) mengenai akurasi pemodelan yang hanya berfungsi di gelombang yang panjang sekali yaitu  $kh < 0,25$ . (panjang gelombang)  $> 25$  (kedalaman air) dengan berasumsi jarak antara permukaan air rerata dan dasar laut pada sensor *gauge* di pesisir pantai yaitu maksimal 3 meter, maka perhitungannya sebagai berikut.

1. Gelombang skenario 3,6 m  
 $kh < 0,25$  (406,54 m)  $> 25$  (3 m)  
 $(0,007)(3) < 101,635$  m  $> 75$  m  
 $0,021$  m  $< 101,635$  m  $> 75$  m (Memenuhi)
2. Gelombang skenario 8 m  
 $kh < 0,25$  (651,12 m)  $> 25$  (3 m)  
 $(0,0015)(3) < 162,78$  m  $> 75$  m  
 $0,0045$  m  $< 162,78$  m  $> 75$  m (Memenuhi)
3. Gelombang skenario 15 m  
 $kh < 0,25$  (830,28 m)  $> 25$  (3 m)  
 $(0,0012)(3) < 207,57$  m  $> 75$  m  
 $0,0036$  m  $< 207,57$  m  $> 75$  m (Memenuhi)

Berdasarkan hasil dari perhitungan pengujian nilai akurasi dan efisiensi, hasil perhitungan panjang gelombang yang terbentuk dari ketiga skenario yang dibuat pada penelitian ini yaitu memenuhi syarat batas akurasi pemodelan pada laut dangkal, sehingga bisa dikatakan pemodelan menggunakan *software* Delft3D tervalidasi dan memiliki akurasi tinggi dalam memodelkan suatu gelombang tsunami.

**Validasi Pemodelan**

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh (Pratiwi, 2021) dilakukan dengan pemasangan alat *Gauge* pada daerah dekat dengan lokasi penelitian untuk mendeteksi tinggi gelombang yang mencapai garis pantai dan pada penelitian tersebut menjelaskan bahwa gelombang yang terbentuk akibat magnitudo 5,1 dan 6,0 tidak mencapai garis pantai sedangkan magnitudo 7,0 menghasilkan gelombang tertinggi hanya mencapai 3 cm dan magnitudo 8,0 menghasilkan gelombang tsunami tertinggi sebesar 1,14 m. Pada penelitian ini dengan kekuatan gempa magnitudo 6,96 SR gelombang yang dihasilkan belum mencapai garis pantai. Kemudian pada penelitian ini juga dengan besaran magnitudo 7,491 SR dan 7,867 SR menghasilkan tinggi gelombang yang menjangar ke garis pantai dengan ketinggian mencapai 1 m sampai 2 m.

## KESIMPULAN

Adapun kesimpulan dari penelitian yang telah diimplementasikan adalah sebagai berikut.

1. Dalam proses merencanakan peta inundasi menggunakan *software* Delft3D, didapat hasil kalkulasi tinggi gelombang rencana dengan memanfaatkan *hindcasting* metode SPM 1984, didapatkan tinggi gelombang dan periode rencana kala ulang 15 tahun setinggi 3,01 m dengan rentang 8,21 s, kala ulang 25 tahun setinggi 3,16 m dengan rentang 8,49 s, sedangkan kala ulang 50 tahun setinggi 3,37 m dengan rentang 8,87 s.
2. Berdasarkan hasil kajian ini, penjalaran gelombang pada skenario tinggi gelombang hasil *hindcasting* dengan ketinggian gelombang 3,01 m, 3,16 m, dan 3,37 m, gelombang yang terbentuk dari hasil inputan skenario gelombang tersebut mencapai 3,15 m, 3,25 m dan 3,35 m. Memperlihatkan gelombang yang lemah dan tidak mencapai daratan atau tidak terjadi *run-up* pada daerah Pantai Tanjung Setia, karena gelombang tersebut setara dengan gelombang laut yang terjadi pada umumnya di pantai tersebut.
3. Pada hasil penjalaran gelombang pada simulasi skenario data tinggi gelombang histori tsunami dengan ketinggian gelombang 3,6 m, *run up* tsunami ke daratan tidak terbentuk namun berhasil mencapai pesisir dengan membutuhkan waktu selama 35 menit. Penjalaran gelombang dengan ketinggian gelombang 8 m membutuhkan waktu 34 menit untuk mencapai daerah pesisir, sedangkan gelombang dengan ketinggian 15 m membutuhkan waktu hanya 27 menit untuk mencapai pesisir sejak terjadinya gempa. Kedua gelombang dengan tinggi 8 m dan 15 m diidentifikasi mengakibatkan tsunami pada daerah Pantain Tanjung Setia. Berdasarkan hasil pemodelan Delft3D, jarak maksimal rambatan yang berpotensi tergenang akibat gelombang histori tsunami setinggi 8 m yaitu sejauh 803 meter, sementara untuk gelombang histori tsunami setinggi 15 m yaitu sejauh 872 meter.
4. Perubahan bentuk garis pantai juga terpengaruhi oleh ketinggian gelombang akibat terjadinya tsunami. Dampak tsunami terhadap perubahan garis pantai meliputi abrasi pantai yang terjadi di daerah Pantai Tanjung Setia dan juga hilangnya beberapa jenis bangunan pantai.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengakui dukungan yang diterima dari Deltares sebagai pengembang perangkat lunak Delft3D dalam memberikan lisensi sumber terbuka untuk pemodelan numerik penelitian ini.

## REFERENSI

**Aswad, I.** (2021). Pemodelan Tinggi Gelombang Untuk Kajian Energi Gelombang Laut Di Perairan Barat Provinsi Lampung. *Jurnal Ilmiah Teknologi Maritim*. 15(2), 75-84.

**Deltares,** (2015). *Delft3D Model Description and Manual*. Unesco-IHE Institute for Water Education, Deltares and Delft University of Technology.

**Deltares.** (2014). *Delft3D-WAVE Simulation of Short-Crested Waves with SWAN User Manual*. Netherlands: Boussinesqweg.

**Mardika, M. G. I., Mashuri, Hakim, D. R.** (2024). Studi Modeling dan Mapping Inundasi Tsunami Menggunakan *Software* Delft3D Studi Kasus Pantai Labuan Jukung. PADURAKSA: Jurnal Teknik Sipil Warmadewa, 58.

**Mardika, M. G. I., & Pratama, M. I.** (2021). Analisis Pasang Surut Menggunakan Metode *Last Square* di Wilayah Perairan Muara Sungai Poso. *Journal of Infrastructure Planning, and Design* .1(2), 1-8.

**Fauzi, M. A. R., Mardika, M. G. I., Fatkhurrozi, M., Martino, A. F. H.** (2024). *Study Re-Analysis of High Wave Deformation in Re-Design Coastal Revetment Protection of Rajabasa Beach Kalianda*, *Journal of Science and Applicative Technology*, 8 (1), 25.

**Pratiwi, D., & Fitri, A.** (2021). Analisis Potensial Penjalaran Gelombang Tsunami di Pesisir Barat Lampung, Indonesia. *Jurnal Teknik Sipil ITP*, 8(1). <https://doi.org/10.21063/jts.2021.v801.05>

**Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi.** (2020). Pemodelan Inundasi dan Pemetaan Kawasan Rawan Bencana Tsunami. Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral.

**Sofiana, R., Wiyono, R. U. A., & Nurtjahjaningtyas, I.** (2022). *Tsunami Mitigation Strategy at Watu Ulo Beach Based on Numerical Modeling Using Delft3DFlow*. UKaRsT, 6(2), 158. <https://doi.org/10.30737/ukarst.v6i2.2959>.

**Susanto, E., Arsyad, M., Subaer, & Setyahagi, A., R.** (2021). Pemodelan Waktu Tiba Gelombang Tsunami di Wilayah Pesisir Provinsi Sulawesi Barat. *Prosiding Seminar Nasional Fisika PPs UNM*. 2, 80-83. <http://ojs.unm.ac.id/semnasfisika>

**Susanto, E., Nuranta, I. & Setyahagi, A. R.** (2020). Pemodelan Run – up Tsunami di Wilayah Pesisir Pantai Sulawesi Barat. *Buletin GAW Bariri (BGB)*. 1(2), 87-93.

**Tim Pusat Gempabumi dan Tsunami.** (2018). Katalog Tsunami Indonesia Tahun 416-2018. Jakarta: Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika. ISBN 972-602-52407-0-6.

**Triatmodjo, B.** (1999). Teknik Pantai. *Beta Offset*, Yogyakarta.

**Wahyu, R. O., Djamaluddin, R., Mamuaya, G. E., Yatimantoro, T., & Priyobudi.** (2018). Pemodelan Inundasi Tsunami di Sepanjang Pesisir Kota Manado Akibat Gempabumi M8,5 di Zona Subduksi Sulawesi Utara. *Jurnal Meteorologi dan Geofisika*, 19 (1), 13-18.

**Wang, X.,** (2009). User Manual For Comcot Version 1.7 (First Draft). Cornell University. USA.

Halaman ini sengaja dikosongkan