



Simulasi Gelombang *Tsunami* di Pesisir Pantai Nagari Ulakan Berdasarkan Skenario Gempa di Perairan Barat Mentawai

CORRESPONDENCE

Email :
Zulkarnain050101@gmail.com
Phone : 082218461592

ARTICLE INFORMATION

DOI :
10.24036/jccs/Vol2-iss1/25
Page : 39 - 49

Received : May 28, 2024
Revised : May 31, 2024
Accepted : May 31, 2024

Zulkarnain^{1*}, Widya Prarikeslan²

Department of Geography, Padang State University.

ABSTRACT

Padang Pariaman tercatat pernah terjadi gempa bumi pada tahun 2009 yang menghasilkan kekuatan gempa 7,6 Mw. (PUSGEN, 2017). Hasil observasi wilayah Ulakan memiliki berbagai permasalahan diantaranya belum adanya simulasi gelombang tsunami Nagari Ulakan, pengaruh yang diakibatkan dari pertemuan dua lempeng terhadap gelombang tsunami di Pesisir Barat Mentawai dimana merupakan salah satu wilayah tektonik aktif. Tujuan dari penelitian adalah untuk : 1. Menganalisis bentuk peta simulasi gelombang tsunami di Nagari Ulakan Tapakis dengan skenario gempa di Perairan Barat Mentawai. 2. Menganalisis pengaruh pertemuan dua lempeng terhadap gelombang tsunami di Nagari Ulakan.

Metode penelitian yang digunakan adalah metode kuantitatif. Menurut V.Wiratna Surjarweni (2014:39) dalam Amanatillah Putri Purba (2023), penelitian ini merupakan penelitian geografi dengan menggunakan pendekatan keruangan.

Dari skenario didapatkan hasil skenario 1: simulasi tsunami pada lokasi 1 dengan Mw 8,9, hasil simulasi gempa dan tsunami pada lokasi 1 dengan kekuatan gempa Mw 8,9 memiliki epicenter -0,87 LS dan 99,81 BT menghasilkan gelombang tsunami dengan ketinggian tsunami mencapai 3,5 meter dengan waktu kedatangan gelombang 30 menit. Skenario 2 : simulasi tsunami pada lokasi 2 dengan Mw 8,9, hasil simulasi gempa dan tsunami memiliki epicenter -1,44 LS dan 97,95 BT menghasilkan gelombang tsunami dengan ketinggian 2 meter dan waktu kedatangan gelombang 100 menit.

KEYWORDS : COMCOT, Ketinggian *Tsunami*, Penjalaran *Tsunami*



This is an open access article distributed under the Creative Commons 4.0 Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited. ©2023 by author and Universitas Negeri Padang.

INTRODUCTION

Bencana alam adalah peristiwa atau serangkaian peristiwa yang mengancam, mengganggu kehidupan dan penghidupan masyarakat yang disebabkan oleh faktor alam seperti gempa bumi, *tsunami*, gunung meletus, banjir, angin topan, dan tanah longsor, sehingga mengakibatkan timbulnya korban jiwa, kerusakan lingkungan, kerugian harta benda dan dampak psikologis (UUD No. 24/2007). Gempa besar yang terjadi di Sumatera pada tanggal 11 April 2012 ini sangat menarik karena beberapa alasan. Pertama, dengan kekuatan gempa 8.5 Mw yang terdiri dari dua gempa bumi *strike-slip* terbesar yang pernah tercatat dan merupakan salah satu gempa bumi terbesar *intraplate* pada catatan instrumental. Kedua, gempa bumi *intraplate* terbesar tersebut terjadi di litosfer samudera dari *Cocos Basin* (khatulistiwa Samudera Hindia), yang memiliki lingkungan *seismotektonik* yang unik (*Delescluse dan Chamot- Rooke, 2007*). Wilayah ini dibatasi oleh zona subduksi di sebelah utara, *Wharton Basin* di

sebelah selatan, *Ninety East Ridge* di sebelah barat dan *Investigator Fracture Zone* (IFZ) di sebelah timur. Seluruh daerah merupakan zona deformasi difus yang saat ini ditafsirkan sebagai batas yang memisahkan India dan Australia (Duputel et al., 2012).

Pulau Sumatera merupakan bagian dari lempeng Eurasia yang bergerak dan berinteraksi secara konvergen dengan Lempeng Indo-Australia. Zona pertemuan antar lempeng tersebut membentuk palung yang dikenal dengan nama zona tumbukan (*subduction zone*). Palung tersebut mengakomodasi pergerakan ke arah utara dari lempeng Indo-Australia terhadap lempeng Eurasia. Aktivitas Lempeng Indo-Australia dan Eurasia pada zona subduksi tersebut sering menimbulkan gempa sehingga Pulau Sumatera dianggap sebagai salah satu wilayah tektonik aktif di dunia (McCaffrey, 2009). Padang Pariaman tercatat pernah terjadi gempa bumi pada tahun 2009 yang menghasilkan kekuatan gempa 7,6 Mw. Berdasarkan hasil observasi dan sumber yang dibaca wilayah pesisir Padang Pariaman memiliki risiko terjadinya *tsunami* (PUSGEN, 2017). Wilayah yang menjadi objek observasi dalam penelitian ini merupakan Kecamatan Ulakan Tapakis dengan Nagari Ulakan yang merupakan wilayah dengan yang memiliki ketinggian lereng beragam yang ada beberapa wilayah yang memiliki dataran tinggi (7-100 meter di atas permukaan laut), sehingga hal tersebut yang menjadi salah satu faktor pendorong dilakukannya penelitian di wilayah ini agar dapat diketahui wilayah mana saja yang memiliki potensi aman akan gelombang *tsunami* di Nagari Ulakan. Nagari Ulakan juga memiliki populasi penduduk mencapai 3.320 jiwa. Rumusan masalah pada penelitian ini sebagai berikut : 1. Bagaimana bentuk peta simulasi gelombang *tsunami* di Nagari Ulakan Tapakis dengan skenario gempa di Perairan Barat Mentawai? 2. Bagaimana pengaruh pertemuan dua lempeng terhadap gelombang *tsunami* di Nagari Ulakan? Berdasarkan rumusan masalah yang dikemukakan di atas, tujuan dari penelitian adalah untuk : 1. Menganalisis bentuk peta simulasi gelombang *tsunami* di Nagari Ulakan Tapakis dengan skenario gempa di Perairan Barat Mentawai. 2. Menganalisis pengaruh pertemuan dua lempeng terhadap gelombang *tsunami* di Nagari Ulakan. Adapun manfaat penelitian adalah : 1. Memberikan informasi kepada masyarakat tentang potensi gempa dan penjalaran *tsunami* yang ada di wilayah Perairan Pantai Ulakan, Kecamatan Ulakan Tapakis agar tingkat kewaspadaan masyarakat lebih meningkat. 2. Membangun interaksi antara peneliti dengan masyarakat. 3. Mengetahui karakteristik gempa di daerah Perairan Pantai Ulakan Padang Pariaman sehingga dapat memprediksi karakteristik bila terjadi gempa di waktu yang akan datang. pada penelitian Brian Mambu (2019) yang berjudul Simulasi ketinggian dan waktu tiba gelombang *tsunami* di Tahunan sebagai upaya mitigasi bencana, Pada penelitian ini metode yang digunakan adalah metode deskriptif komparatif Berdasarkan hasil penelitian, maka dapat disimpulkan bahwa apabila gempa bumi dengan magnitudo 8,0 SR terjadi di Laut Sulawesi, maka gelombang *tsunami* dengan ketinggian gelombang 0,23 m dengan waktu tiba sekitar menit ke-50 dapat menerjang Tahunan dimana gelombang *tsunami* akan didahului dengan gelombang naik. hal ini yang menjadi acuan peneliti dalam melakukan penelitian terhadap simulasi penjalaran gelombang *tsunami* di Pantai barat Mentawai sebagai mitigasi bencana dalam meningkatkan kewaspadaan Masyarakat terhadap bencana *tsunami*.

METHODS

Nagari Ulakan berada di Kecamatan Ulakan Tapakis, Kabupaten Padang Pariaman, Provinsi Sumatera Barat. Luas nagari: 4,7 kilometer persegi atau 12,1 persen dari luas Kecamatan Ulakan Tapakis. Berdasarkan latar belakang, permasalahan dan tujuan penelitian maka metode penelitian yang digunakan adalah metode kuantitatif. Menurut V. Wiratna Surjarweni (2014:39) dalam Amanatillah Putri Purba (2023) penelitian kuantitatif adalah jenis penelitian yang menghasilkan penemuan penemuan

yang dapat dicapai (diperoleh) dengan menggunakan prosedur statistik atau cara lain dari kuantifikasi (pengukuran). Penelitian ini merupakan penelitian geografi dengan menggunakan pendekatan keruangan. Pendekatan keruangan merupakan pendekatan yang digunakan dengan menerapkan prinsip persebaran, interelasi, deskriptif dan kronologi. Dengan memanfaatkan analisis keruangan ini dapat diketahui perbedaan-perbedaan lokasi sebuah daerah dan sifat penting yang ada di daerah tersebut (Bakaruddin, 2010). Berdasarkan latar belakang, permasalahan dan tujuan penelitian, maka metode penelitian yang digunakan adalah metode kuantitatif.

Teknik pengumpulan data dalam penelitian ini adalah dengan melakukan pengajuan surat permohonan untuk meminta data dari berbagai instansi terkait dan melakukan pengunduhan data dari berbagai sumber yang mendukung dalam penelitian. Data-data yang dikumpulkan meliputi:

1. Data Primer

Data primer dalam penelitian ini merupakan hasil skenario gempa yang dibuat berdasarkan histori gempa yang terjadi di Pesisir Barat Pantai Sumatera. Jenis data yang dihasilkan berupa titik lokasi gempa dan kekuatan gempa yang terjadi.

2. Data Sekunder

Data sekunder yang diperoleh oleh penulis berupa jurnal dan tesis yang terkait dengan penelitian sebagai bahan acuan. Selain itu, data sekunder juga berupa gempa yang pernah terjadi di Pesisir Barat Pantai Sumatera yang diperoleh dari (PUSGEN 2017 dan BMKG Geofisika Padang Panjang) dan data citra CTSRT yang diperoleh dari situs <https://tanahair.indonesia.go.id/demnas/#/> dengan melakukan pengunduhan data citra sesuai dengan waktu akuisisi data citra yang diinginkan.

Pada penelitian ini dilakukan beberapa tahap dalam pengolahan data sebagai berikut:

1. Tahap awal yang dilakukan adalah perbandingan nilai kelereng pantai di lapangan dan model melalui verifikasi menggunakan Standar Deviasi Observasi (RSR). Setelah dilakukan proses verifikasi, selanjutnya disiapkan data *input* pada model. *Input* model, meliputi data *bathymetry*, data titik tinggi, koordinat lokasi pengukuran tinggi *tsunami* dan skenario gempa.
2. Selanjutnya data *bathymetry* dan titik tinggi diolah ke dalam format "xyz" agar dapat digunakan sebagai *input*-an. Data koordinat lokasi pengukuran tinggi *tsunami* merupakan koordinat titik pengukuran tinggi gelombang *tsunami* saat dilakukan pemodelan numerik. Titik ini di posisikan di Perairan Pantai Ulakan pada kedalaman 18 meter. Menurut Syamsidik, et. al (2015), peletakan titik pengukuran pada kedalaman 18 meter akan memberikan hasil yang lebih stabil. Penelitian ini menggunakan 4 *layer* dengan ukuran grid yang berbeda. Data skenario gempa pada penelitian ini didasarkan pada kejadian *tsunami* di Perairan Barat Mentawai pada periode 1835- 2023.
3. Dilakukan pembuatan dua skenario yang didasarkan pada kemiripan data parameter sudut patahan pada gempa penyebab *tsunami* 2009 (Padang Pariaman) dan *tsunami* 2010 (Mentawai).
4. Selanjutnya dilakukan interpretasi adanya struktur *backthrust* di Timur Mentawai dari hasil analisis data seismik refleksi dan data *bathymetry*. *Backthrust* dengan panjang lebih dari 300 km memiliki *strike* hampir sejajar dengan subduksi Sunda dan *dip* yang mengarah ke barat. Hasil relokasi dalam penelitian ini menunjukkan adanya beberapa gempa di sekitar struktur MBT yang menerus hingga kedalaman 20-30 km dan beberapa gempa memiliki mekanisme sesar naik dengan *dip* sekitar 60° yang sesuai dengan hasil interpretasi Singh dkk. (2010). Selain dua skenario tersebut, disusun juga satu skenario yang didasarkan parameter gempa sebenarnya pada gempa 2009.
5. Selanjutnya, dilakukan proses *running model* selama 5.400 detik. Melalui proses tersebut akan dihasilkan data kondisi awal *tsunami* dan tinggi gelombang *tsunami* secara *time series* pada koordinat pengukuran. Pada pengolahan daerah jangkauan *tsunami*, diperlukan pengolahan pada data "zmax_layerxx.dat" sebagai *output model* dan data peramalan pasang surut. Data pasang surut diolah untuk menghasilkan data MSL.

6. Selanjutnya, bersama data "zmax_layerxx.dat", data MSL diolah menjadi data *flowdepth* yang menggambarkan daerah jangkauan *tsunami*. Pada data *flowdepth* dilakukan interpolasi untuk mendapatkan interpretasi daerah jangkauan *tsunami*. Selanjutnya, data tersebut dilakukan *overlay* pada peta penggunaan lahan yang dihasilkan dari citra *Geo Eye 1*. Perhitungan luas daerah jangkauan, dilakukan menggunakan fungsi *calculate geometry*.

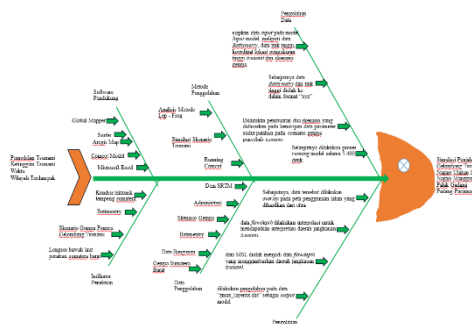
Teknik analisis data merupakan proses pengolahan data dan informasi yang sudah didapatkan setelah melakukan penelitian, dalam hal tersebut pada penelitian ini teknis analisis data sebagai berikut:

Tabel 1. Teknik analisis data dalam penelitian

No.	Tujuan Penelitian	Metode	Hasil
1.	Mengetahui bagaimana bentuk peta simulasi gelombang <i>tsunami</i> di Nagari Ulakan Tapakis dengan skenario gempa di Perairan Barat Mentawai. Sumatera terhadap Nagari Ulakan	COMCOT (<i>Cornell Multi-grid Coupled Tsunami</i>)	Simulasi gelombang <i>tsunami</i> di Nagari Ulakan
2.	Mengetahui bagaimana pengaruh gempa yang berada di sekitar pantai barat	Analisis	Peta jangkauan gelombang <i>tsunami</i>

Dalam melakukan prosedur penelitian ini dilakukan berbagai tahap-tahap pengerjaan. Tahap-tahap tersebut dilakukan agar dapat peneliti ketahui bagaimana alur proses pengolahan data yang dilakukan.

Berikut ini merupakan bagan dari prosedur penelitian, yaitu:



Gambar 1. Prosedur penelitian

RESULTS AND DISCUSSION

Results

1. Peta simulasi gelombang *tsunami* di Nagari Ulakan Tapakis dengan skenario gempa di Perairan Barat Mentawai
 - a. Skenario gempa yang terjadi di Pantai Barat Mentawai yang menimbulkan gelombang *tsunami* terhadap Nagari Ulakan

Tabel 2. Skenario gempa

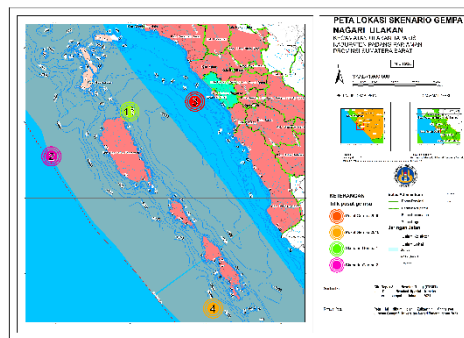
Skenario	Mw	Epicenter Long Lat	Dept (Km)	Strike	Dip	Slip	L (Km)	W (Km)	D (m)
----------	----	-----------------------	--------------	--------	-----	------	-----------	-----------	----------

1	8,9	99.81	-0.87	18	320°	6°	270°	184	110	24
2	8,9	97,95	-1,44	20	260°	8°	270°	150	105	27
3	7.6	99.87	0.72	81	193°	58°	120°	230	174	27
4	7.7	100.113.464	20,6	325°	11,62°	101,4°	190	70	12	
<i>Tsunami</i> 2010	7.7	100.113.464	20,6	325°	11,62°	101,4°	190	70	12	

Keterangan :

Mw = magnitudo momen L = *length* (panjang sesar)
Long = *longitude* (garis bujur) W = *width* (lebar sesar)
Lat = *latitude* (garis lintang) D = dislokasi
Depth = kedalaman

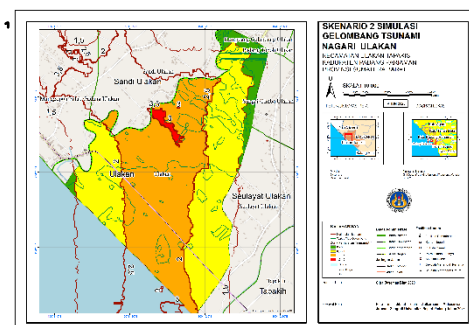
Berikut adalah peta pusat skenario episentrum gempa:



Gambar 2. Pusat episentrum gempa 2009 dan 2010, skenario pusat gempa (Sumber : Citra satelit 2020)

b. Skenario 1: simulasi *tsunami* pada lokasi 1 dengan Mw 8,9

Hasil simulasi gempa dan *tsunami* pada lokasi 1 dengan kekuatan gempa Mw 8,9 memiliki *epicenter* -0.87 LS dan 99.81 BT menghasilkan gelombang *tsunami* dengan ketinggian *tsunami* mencapai 3,5 meter dengan waktu kedatangan gelombang 30 menit. Hasil simulasi dapat dilihat dari gambar berikut:

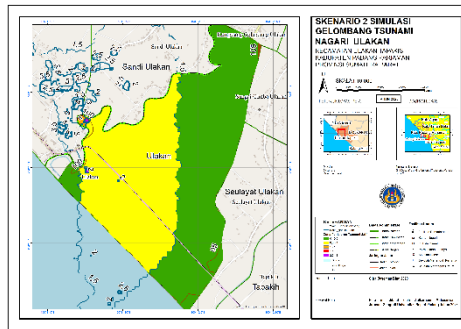


Gambar 3.Peta skenario 1 simulasi gelombang *tsunami* Nagari Ulakan

c. Skenario 2: simulasi *tsunami* pada lokasi 2 dengan Mw 8,9

Hasil simulasi gempa dan *tsunami* memiliki *epicenter* -1,44 LS dan 97,95 BT menghasilkan gelombang *tsunami* dengan ketinggian mencapai 2 meter dan waktu kedatangan gelombang selama 100 menit.

Hasil simulasi dapat dilihat dari gambar berikut:



Gambar 4.Peta skenario 2 simulasi gelombang *tsunami* Nagari Ulakan

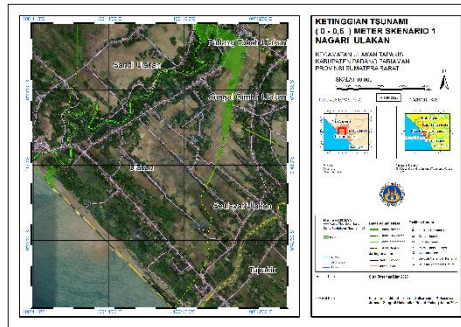
2. Pengaruh pertemuan dua lempeng terhadap gelombang *tsunami* di Nagari Ulakan

Dari hasil simulasi skenario gempa pemicu *tsunami* yang diskenariokan berdasarkan data gempa yang pernah terjadi di sekitar Pantai Barat Mentawai dengan menggunakan gempa maksimal berkekuatan 8,9 Mw terdapat sebuah perbedaan terhadap ketinggian dan waktu tiba *tsunami* di Nagari Ulakan. Hal tersebut dipengaruhi akan struktur geologi dan juga kedalaman laut di sekitar pesisir Pantai Barat Mentawai.

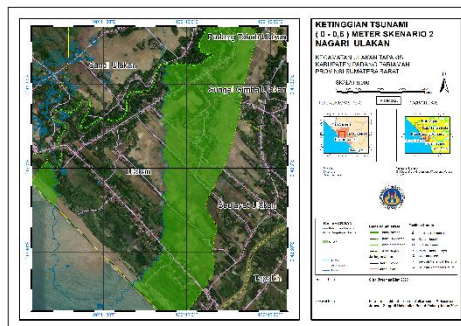
Hal ini mengakibatkan terjadinya pengaruh dari pertemuan dua lempeng terhadap gelombang *tsunami* disebabkan daerah pertemuan dua lempeng tersebut memang aktif dan selalu melakukan pergerakan, sehingga mengakibatkan terjadinya perbedaan tinggi dan waktu tiba gelombang *tsunami* di Nagari Ulakan. Agar lebih jelasnya perbedaan tersebut, dapat dilihat pada perbandingan 2 skenario pemicu *tsunami* berikut:

Kedalaman titik terjadinya gempa menimbulkan hasil gelombang *tsunami* yang berbeda pula. Dengan perbedaan hasil sebagai berikut: pada skenario 1 dengan kedalaman 18 km yang berpusat pada koordinat 99,81 BT -0,87 LS dengan panjang/lebar sesar 184 km/110 km gelombang *tsunami* mencapai bibir pantai pada waktu 50 menit dengan ketinggian gelombang mencapai 3,5 meter. Dan pada skenario 2 dengan kedalaman 20 km yang berpusat pada koordinat 97,95 BT -1,44 LS dengan panjang/lebar sesar 150 km/105 km gelombang *tsunami* mencapai bibir pantai pada waktu 100 menit dengan ketinggian gelombang 2 meter.

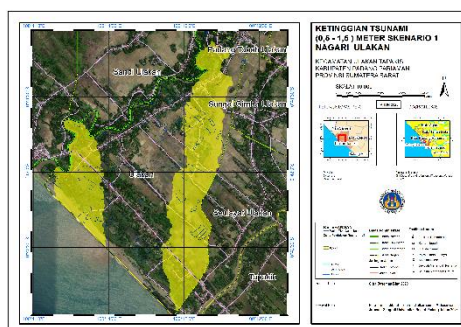
Berikut peta simulasi skenario ketinggian gelombang *tsunami* di Nagari Ulakan:



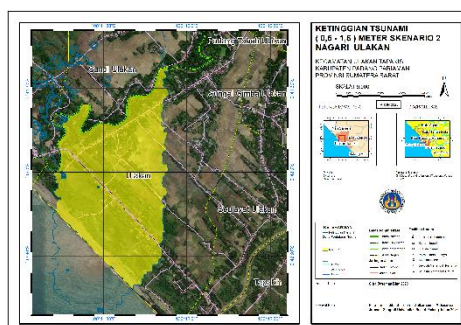
Gambar 5. Peta ketinggian tsunami (0-0,5) meter skenario 1 Nagari Ulakan



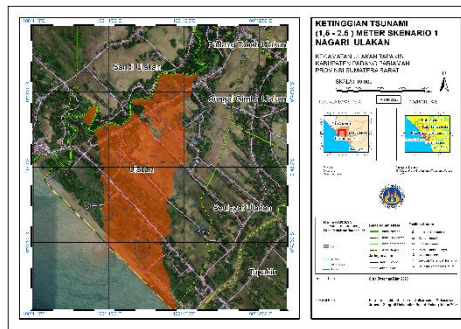
Gambar 6. Peta ketinggian tsunami (0-0,5) meter skenario 2 Nagari Ulakan



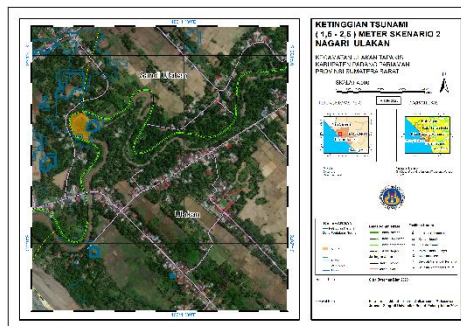
Gambar 7. Peta ketinggian tsunami (0,5-1,5) meter skenario 1 Nagari Ulakan



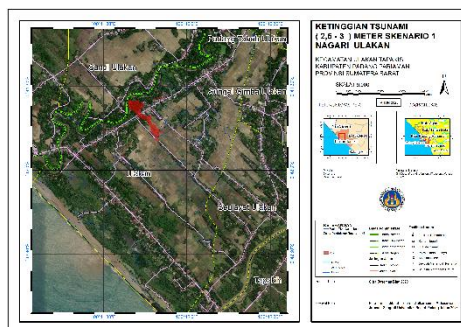
Gambar 8. Peta ketinggian tsunami (0,5-1,5) meter skenario 2 Nagari Ulakan



Gambar 9.Peta ketinggian *tsunami* (1,5-2,5) meter skenario 1 Nagari Ulakan



Gambar 10.Peta ketinggian *tsunami* (1,5-2,5) meter skenario 2 Nagari Ulakan



Gambar 11.Peta ketinggian *tsunami* (2,5-3) meter skenario 1 Nagari Ulakan

Discussion

1. Ketinggian gelombang *tsunami* berdasarkan magnitude dan lokasi gempa

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Zhang Lifen dengan judul *Estimation of the 2010 Mentawai tsunami earthquake rupture process from joint inversion of teleseismic and strong ground motion data* menghasilkan bahwa Gempa Bumi Mentawai tahun 2010 menimbulkan *tsunami* yang menghancurkan secara lokal jauh lebih besar dari perkiraan besaran gempa. Hasil inversi proses sumber menunjukkan kemiringan yang dangkal, konsisten dengan asal mula gaya dorong Sunda Mega. Pecahnya berinti di sekitar hiposenter dan menyebar ke barat daya dan memecahkan kekasaran pertama berpusat pada jarak 14 km dari pusat gempa dengan *slip* maksimum sebesar 3,9 m,

kemudian disebarkan sepanjang arah tumbukan ke arah barat laut dimana asperitas kedua dipatahkan, yang berpusat sekitar 78 km dari pusat gempa.

Sehingga pada hasil simulasi *tsunami* dengan menggunakan model COMCOT 1.7 pada penelitian peneliti menghasilkan ketinggian maksimum *tsunami* yang berbeda-beda. Hal ini dikarenakan tinggi gelombang dan kecepatan penjalaran yang dipengaruhi oleh magnitude dan *bathymetry*. Sehingga hasil yang diperoleh pada saat simulasi skenario 1 dengan magnitude 8,9 berbeda dengan hasil yang diperoleh pada saat simulasi skenario ke-2 yang berbeda titik lokasi skenario gempa. Perbedaan tinggi gelombang dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 4.1 Ketinggian dan waktu tiba gelombang

No.	Magnitude dan Lokasi	Durasi (Menit)	Tinggi Gelombang (Meter)
1.	8,4 Mw / 1	30	3,5
		50	6
		100	7,5
2.	8,9 Mw / 2	100	2
		105	1,5
		120	1

Pada tabel 4.5 dapat dilihat perbedaan tinggi gelombang saat gempa terjadi dengan magnitude 8,4 pada lokasi 1 gelombang setinggi 3,5 meter dan waktu tiba selama 30 menit dan lokasi 2 dengan magnitude 8,9 gelombang *tsunami* setinggi 2 meter dan waktu tiba selama 100 menit.

2. Bagaimana pengaruh pertemuan dua lempeng terhadap gelombang *tsunami* di Nagari Ulakan

Bahwa pengaruh dari kedalaman titik terjadinya gempa menimbulkan hasil gelombang *tsunami* yang berbeda pula, dengan perbedaan hasil sebagai berikut : pada skenario 1 dengan kedalaman 9 km yang berpusat pada koordinat 98,59 BT -2,47 LS dengan panjang/lebar sesar 250 km/170 km gelombang *tsunami* mencapai bibir pantai pada waktu 30 menit dengan ketinggian gelombang mencapai 3,5 meter. Dan pada skenario 2 dengan kedalaman 20 km yang berpusat pada koordinat 97,95 BT -1,44 LS dengan panjang/lebar sesar 150 km/105 km gelombang *tsunami* mencapai bibir pantai pada waktu 100 menit dengan ketinggian gelombang 2 meter. Pada penelitian Zhang Lifan dengan judul Estimation of the 2010 Mentawai tsunami earthquake rupture process from joint inversion of teleseismic and strong ground motion zona subduksi di lepas pantai Indonesia bagian barat mampu melakukannya mendukung slip megathrust yang dangkal. Ini menantang kebijaksanaan konvensional bahwa ujung subduksi dangkal megathrust bersifat aseismik dan, oleh karena itu, menimbulkan dampak penting pertanyaan baik tentang sifat mekanik dari zona sesar dangkal serta potensi seismik dan tsunamibahaya di wilayah dangkal ini.

CONCLUSION

Hasil skenario gempa gelombang *tsunami* dimulai dari wilayah utara Nagari Ulakan dengan ketinggian gelombang *tsunami* mencapai 3,5 meter dengan waktu tiba gelombang *tsunami* sekitar 30 menit untuk mencapai bibir pantai pada koordinat 100,11 BT -0,41 LS Pantai Ulakan. Hal tersebut dapat disimpulkan bahwa Nagari Ulakan berada pada zona merah *tsunami*. Namun, ada beberapa wilayah yang berada pada koordinat 100,12 BT - 0,41 LS gelombang *tsunami* hanya mencapai 1,5 meter dengan waktu tiba 50 menit yang merupakan wilayah dataran tinggi di Nagari Ulakan.

REFERENCES

- [1.] Arif, D. A., Prarikeslan, W., & Syaharani, L. (2020). Analysis of shoreline dynamics for coastal management practice in Pariaman, West Sumatera. *GEOMATE Journal*, 19(72), 166-172.
- [2.] Astafyeva, E. S. (2013). Ionospheric response to earthquakes of different magnitudes: larger quakes perturb the ionosphere stronger and longer. *Geophysical journal international*, 40: 1675-1681.
- [3.] Collings, R. D. (2012). Structure and seismogenic properties of the Mentawai segment of the Sumatra subduction zone revealed by local earthquake travelttime tomography. *Journal of Geophysical research*, 118: 5372-5390.
- [4.] Daryono, M. R. (2012). Twin-surface ruptures of the March 2007 $M > 6$ earthquake doublet on the Sumatran fault. *Bull. Seismol. Soc. Am*, 102(6), 2356-2367.
- [5.] Deighton, I. M. (2014). M. M. Mukti, S. Singh, T. Travis, A. Hardwick, And K. Hernon (2014), Nias Basin, Nw Sumatra – New Insight Into Forearc Structure And Hydrocarbon Prospectivity From Long-Offset 2d Seismic Data, In Proceedings, Indonesian Petroleum Association. *Thirty-Eighth Annual Convention & Exhibition*, May 2014, P. Ipa14-G-299, Jakarta.
- [6.] Delescluse, M. C.-R. (2007). Instantaneous deformation and kinematics of the India-Australia Plate. *Geophysical Journal International*, 168: 818-842.
- [7.] Duputel, Z. H. (2012). The 2012 sumatra great earthquake sequence. *Earth and planetary science letters*, 352: 247-257.
- [8.] Prarikeslan, W., Hermon, D., Suasti, Y., & Putra, A. (2019, August). Density, coverage and biomass of seagrass ecosystem in the Lobam Island, Bintan Regency-Indonesia. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 314, No. 1, p. 012024). IOP Publishing.
- [9.] Prarikeslan, W., Arif, D. A., Barlian, E., Syah, N., Nanda, Y., & Sutriani, W. (2022). Shoreline Change Detection Using Dsas in Pariaman City, West Sumatera. *Geography, Environment, Sustainability*, 15(2), 116-123.
- [10.] Prarikeslan, W., Suasti, Y., Novio, R., Chandra, D., & Syah, N. (2023, June). Threat Of Shoreline Change In Coastal Katapiang, Padang Pariaman. In *Proceedings of the 2nd International Conference of Geography, ICGEO 2022, 19-20 November 2022, Padang, West Sumatera, Indonesia*.
- [11.] Prarikeslan, W. (2022). *Model Pengaruh Faktro Hidro-Oseanografi dan Antropogenik terhadap Perubahan Luas Pantai di Kabupaten Padang Pariaman* (Doctoral dissertation, Universitas Negeri Padang).
- [12.] Pribadi, S. A. (2013). Characteristics of Earthquake- Generated *Tsunami* in Indonesia based on parameter analysis. *Journal Math. , Fund*, 45(2): 189-207.
- [13.] Suasti, Y., Prarikeslan, W., Syah, N., & Putra, A. (2020). A MAPPING OF CHANGES IN CORAL REEFS CONDITION BASED ON DEVELOPMENT THE MARINE ECOTOURISM IN THE SOUTHERN PART COAST OF PADANG CITY-INDONESIA. *GEOMATE Journal*, 19(76), 157-164.
- [14.] Sunil, A. M. (2015). Post-seismic ionospheric response to the 11 April 2012 East Indian Ocean doublet earthquake. *Earth planet space*, 63: 1-12.

- [15.] Vallée, M. J. (2010). A new technique for the rapid determination of seismic moment magnitude, focal mechanism and source time functions for large earthquakes using body-wave deconvolution. *Geophysical Journal International*, 184(1): 338-358.
- [16.] W. Prarikeslan-, N. Y. (2018). Evolution of the Coastline in Padang Pariaman Regency, West . *Pesisir pantai*, 2-4.
- [17.] Yudichara. (2008). Kaitan antara karakteristik pantai Provinsi Sumatera Barat dengan potensi kerawanan *tsunami*. *Jurnal Geologi Indonesia*, 3(2):95-106.
- [18.] Yue, H. T. (2012). En echelon and orthogonal fault ruptures of the 11 April 2012 great intraplate earthquakes. *Nature*, 490: 245-249.