

PENENTUAN ZONASI BENCANA TSUNAMI DI KABUPATEN DAN KOTA PESISIR PROVINSI SUMATERA BARAT

Tri Utami Vemileza Putri¹, Ira Kusuma Dewi², Lenny Marlinda³
Universitas Jambi^{1,2,3}

Abstract: The purpose of this study was to determine how the tsunami disaster zoning in the Regency and Coastal City of West Sumatra Province was determined. The survey results show that geographically the regencies and cities on the coast of West Sumatra are around the threat of a tsunami, in addition to economic activities, government activities, and high population density around the coastal area. Regencies and cities located on the coast of West Sumatra, including West Pasaman Regency, Agam Regency, Padang Pariaman Regency, Pariaman City, Padang City, Pesisir Selatan Regency, and the Mentawai Islands, are feared to be the following places to be hit by a tsunami, for this reason, efforts are needed - efforts to overcome the tsunami hazard. In conclusion, the tsunami risk zone in the province of West Sumatra, which is very dangerous, is in the Mentawai archipelago with a wave height of 20-35 m and a wave arrival time of 10-20 minutes with a warning level of alert. And the story of tsunami disaster risk in coastal districts and cities of West Sumatra province is divided into four zones, namely: Not dangerous, Less dangerous, namely West Pasaman district, the danger is Agam district, Pariaman city, Padang Pariaman district, Padang city, and Pesisir Selatan district, Very dangerous namely the Mentawai Islands.

Keywords: ArcGis 10.3, Comcot, Tsunami

Abstrak: Tujuan penelitian ini adalah untuk melihat bagaimana penentuan zonasi bencana tsunami di Kabupaten dan Kota Pesisir Provinsi Sumatera Barat. Hasil penelitian menunjukkan secara geografis Kabupaten dan Kota yang ada di pesisir Sumatera Barat berada disekitar ancaman tsunami, selain aktivitas ekonomi, aktivitas pemerintahan serta kepadatan penduduk yang tinggi di sekitar kawasan pantai. Kabupaten dan Kota yang berada di pesisir Sumatera Barat, antara lain Kabupaten Pasaman Barat, Kabupaten Agam, Kabupaten Padang Pariaman, Kota Pariaman, Kota Padang, Kabupaten Pesisir Selatan dan Kepulauan Mentawai dikhawatirkan akan menjadi tempat selanjutnya yang akan diterjang tsunami, untuk itu maka diperlukan upaya-upaya mengatasi bahaya tsunami. Simpulan, Zona risiko bencana tsunami di provinsi Sumatra barat yang sangat berbahaya berada di wilayah kepulauan Mentawai dengan tinggi gelombang 20 – 35 m dan waktu tiba gelombang berkisar 10 – 20 menit dengan tingkat peringatan awas. Serta tingkat risiko bencana tsunami di kabupaten dan kota pesisir provinsi Sumatra barat terbagi menjadi 4 zona yaitu : Tidak bahaya, Kurang bahaya yaitu kabupaten Pasaman Barat, bahaya yaitu kabupaten Agam, kota Pariaman, kabupaten Padang Pariaman, kota Padang dan kabupaten Pesisir Selatan, Sangat Bahaya yaitu Kepulauan Mentawai.

Kata Kunci: ArcGis 10.3, Comcot, Tsunami

PENDAHULUAN

Bencana alam merupakan peristiwa alam yang disebabkan oleh proses alam yang terjadi oleh alam itu sendiri maupun akibat ulah manusia, yang dapat menimbulkan resiko bahaya terhadap kehidupan. Bencana alam di Indonesia cenderung meningkat disebabkan oleh letak wilayah Indonesia berada diantara dua lempeng benua yaitu lempeng Indo-Australia dan Lempeng Eurasia. Karena pertemuan dua lempeng tersebut wilayah Indonesia sering mengalami bencana alam

seperti gempa dan tsunami. Tsunami merupakan gelombang air laut besar yang dipicu oleh pusran air bawah laut karena pergeseran lempeng, tanah longsor, erupsi gunung api, dan jatuhnya meteor (Sutarman, 2008).

Gempa-Tsunami Pagai pada tanggal 25 Oktober 2010 yang memakan korban sebanyak 456 jiwa Hal ini membuat masyarakat mulai memahami dan menyadari akan potensi gempa dan tsunami dapat terjadi di daerah lainnya

(Latif, 2012). Provinsi Sumatera Barat merupakan salah satu wilayah di Indonesia yang memiliki tatanan geologi yang kompleks karena letaknya berada pada daerah tumbukan dua lempeng besar yaitu dibagian selatan lempeng Indo-Australia dan bagian utara lempeng Eurasia dimana ditandai dengan adanya pusat gerakan tektonik di kepulauan Mentawai. Garis pantai terdapat dibagian sisi barat yang berbatasan dengan Samudera Hindia, daratan utama Provinsi Sumatera Barat merupakan daerah yang rentan akan bencana, terutama bencana tsunami. Kabupaten dan kota yang berada di pesisir Sumatera Barat berada disekitar ancaman tsunami yang merupakan termasuk kedalam wilayah padat penduduk yang tinggi disekitar pantai (Gersanandi et al., 2013).

Berdasarkan permasalahan diatas, Kabupaten dan Kota yang ada di Pesisir Sumatera Barat, antara lain yaitu Kabupaten Pesisir Selatan, Padang Pariaman, Kabupaten Agam, Pasaman Barat, Pasaman Kota, Kota Padang, Kota Pariaman dan Kepulauan Mentawai dikhawatirkan akan menjadi tempat selanjutnya yang akan diterjang tsunami, maka dari itu diperlukan upaya mengatasi bahaya tsunami. Salah satu upaya yang dapat dilakukan adalah membuat zonasi daerah yang akan terkena dampak tsunami berdasarkan parameter yang berpengaruh terhadap bahaya tsunami.

LANDASAN TEORI

Geologi Daerah Penelitian

Daerah penelitian termasuk kedalam salah satu Cekungan di Sumatra yaitu Cekungan Ombilin. Sudah banyak dilakukan penelitian terdahulu oleh beberapa peneliti untuk menunjang studi pendahuluan daerah penelitian. Studi pendahuluan daerah penelitian memberikan informasi mengenai fisiografi regional dan struktur geologi yang ada pada daerah penelitian.

Pulau Sumatra merupakan salah satu pulau di Indonesia yang berada di daerah pertemuan dua buah lempeng

tektonik yaitu lempeng Indo-Australia yang merupakan lempeng samudera dan lempeng Eurasia yang merupakan lempeng benua. Pertemuan kedua lempeng tersebut akhirnya mempengaruhi geomorfologi Pulau Sumatra. Penunjaman lempeng samudera Indo-Australia menjadikan bagian barat Pulau Sumatra terangkat, sedangkan bagian timur relatif turun. Dari penunjaman tersebut maka terbentuklah rangkaian pegunungan Bukit Barisan dengan jalur vulkanik di tengahnya, serta sesar besar Sumatera (*The Great Sumatra Fault*) yang membelah Pulau Sumatra mulai dari Lampung hingga Banda Aceh dan terus hingga Burma.

Bemmelen (1949) juga membagi fisiografi Sumatra Tengah menjadi zona pegunungan tiga puluh, zona sesar semangko, zona pegunungan bukit barisan, zona dataran rendah dan zona dataran bergelombang.

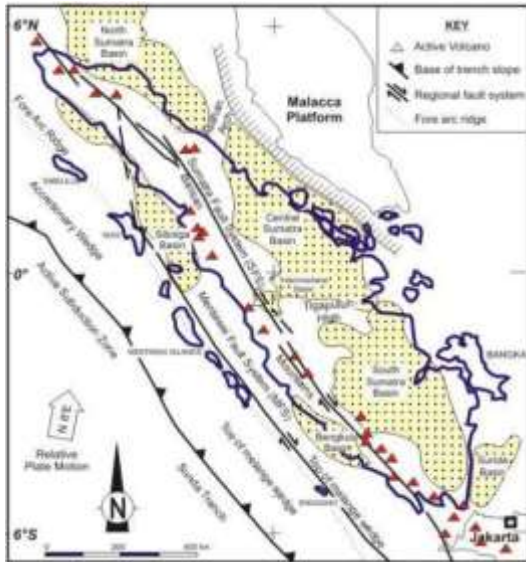


Gambar 1. Peta Zona Fisiografi Sumatra Tengah

Selain itu daerah penelitian juga berada di cekungan Mentawai. Cekungan Mentawai merupakan cekungan busur depan geometri cekungan memanjang dengan arah barat-laut-tenggara sejajar dengan Pulau Sumatra. Cekungan ini berada diantara jajaran Kepulauan Mentawai dan Pulau Sumatra. Cekungan ini didelinsi dari anomali gaya berat yang signifikan yang kemudian dikonfirmasi dengan seismik yang menunjukkan paket tebal sedimen dengan ketebal minimum 2.500 m pada batas cekungan. Cekungan Mentawai berada di perairan (Harbury, 1996).

Tektonik Pulau Sumatra

Menurut Triyono (2015) secara umum tatanan tektonik di Sumatra dicirikan oleh tiga sistem tektonik. Ketiga sistem tektonik tersebut, yaitu; Zona Subduksi antara lempeng tektonik India-Australia dengan lempeng Eurasia, *Mentawai Fault System* (MFS) dan *Sumatra Fault System* (SFS) atau sesar Sumatra.



Gambar 2. Peta Tektonik Pulau Sumatra (Darman & Sidi, 2000)

Jalur subduksi lempeng tektonik India-Australia dan Eurasia di Indonesia memanjang dari pantai barat Sumatra sampai ke selatan Nusa Tenggara. Lempeng India-Australia menunjam ke bawah lempeng Benua Eurasia dengan kecepatan $\pm 50-60$ mm/tahun. Batas antar 2 (dua) lempeng ini terdapat zona subduksi dangkal atau yang disebut sebagai "*Megathrust Subduction Sumatra*" inilah yang saat ini menjadi perhatian masyarakat karena diprediksi masih menyimpan potensi gempa bumi dengan magnitudo 8.9 SR di zona ini yang populer dengan istilah *Mentawai Megathrust*.

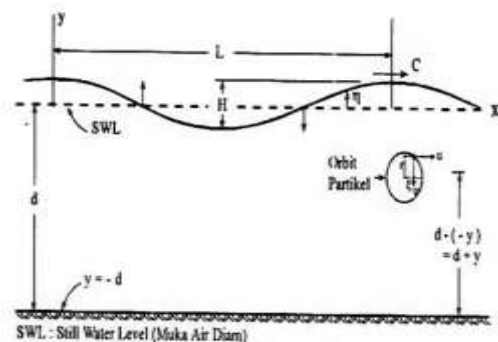
Selain jalur tumbukan dua lempeng tektonik, di sebelah barat pantai Sumatra Barat terdapat juga *Mentawai Fault System*. *Mentawai Fault System* adalah sesar mendatar yang disebabkan adanya proses penunjaman miring di sekitar Pulau Sumatra. Sesar Mentawai berada di laut

memanjang disekitar pulau-pulau Mentawai dari Selatan Hingga ke Utara menerus hingga ke sekitar Utara Nias.

Sumatra fault system atau Sesar Sumatra terjadi akibat adanya lempeng India-Australia yang menabrak bagian barat pulau Sumatra secara miring, sehingga menghasilkan tekanan dari pergerakan ini. Karena adanya tekanan ini, maka terbentuklah sesar Sumatra atau disebut juga "*The Great Sumatra Fault*" yang membelah pulau Sumatra membentang mulai dari Lampung sampai Banda Aceh, sesar ini menerus sampai ke Laut Andaman hingga Burma. Patahan ini merupakan daerah rawan gempa bumi dan tanah longsor. Sesar Sumatra merupakan sesar *strike slip* berarah dekstral yang terdiri dari 20 segmen utama sepanjang tulang punggung Sumatra (Sih & Natawidjaja, 2000). Sejarah mencatat sudah cukup banyak kejadian gempa bumi dengan magnitudo besar yang terjadi di sekitar patahan Sumatra.

Gelombang

Gelombang merupakan salah satu aspek penting di dalam kehidupan di bumi. Proses gelombang sangat mudah dijumpai di wilayah pantai. Proses gelombang yang terlihat diakibatkan oleh energi yang diterima pada permukaan maupun seluruh bagian air laut sehingga terlihat bergerak. Gelombang yang berada di laut dapat dikelompokkan menjadi 3 jenis yaitu gelombang akibat angin, gelombang akibat pasang surut dan gelombang tsunami (Ngabalin, 2020).



Gambar 3. Sketsa Definisi Gelombang (Triadmojo, 1999)

Dari gambar 3 dapat dilihat bahwa gelombang yang bergerak di laut, hanya dapat dilihat pergerakannya pada permukaan saja. Panjang gelombang yang diidentifikasi dari titik tertinggi gelombang ke titik tertinggi lainnya dan diberi symbol L . Sedangkan untuk tinggi gelombang dapat diidentifikasi sebagai tinggi titik tertinggi terhadap titik terendah gelombang. Titik tengah dari gelombang disebutkan sebagai SWL (*Still Water Level*) atau muka air diam (Triadmodjo, 1999).

Tsunami

Tsunami dalam bahasa Jepang artinya “Gelombang pasang di pelabuhan, yang dapat ditimbulkan oleh (Wiegel, 1970; Newmark & Rosenblueth, 1971 ; Dowrick, 1987); a) *Tectonic Displacement* atau pergeseran vertical kerak bumi di dasar laut yang berkaitan dengan gempa bumi tektonik. b) Longsor raksasa dari batuan tebing pada dasar laut yang dipicu oleh gempa bumi; c) Letusan gunung berapi di laut.

Tsunami berasal dari Jepang, tsu berarti pelabuhan, name berarti gelombang. Maka tsunami dapat diartikan gelombang pasang yang memasuki pelabuhan. Misalkan pada laut lepas terjadi gelombang pasang sebesar 8m tetapi begitu memasuki daerah pelabuhan yang menyempit tinggi gelombang pasang menjadi 30m. Tsunami biasa terjadi jika gempa bumi yang berada di dasar laut dengan pergerakan vertical yang cukup besar. Tsunami juga dapat disebabkan oleh gunung api laut atau terjadi longsor bawah laut (Nur, 2010).

Peristiwa tsunami umumnya terjadi akibat adanya energi yang terlepas dari dasar atau menuju ke daerah perairan tersebut. Dalam hal ini, maka energi yang bergerak di dalam air laut akan diteruskan dalam bentuk gelombang. Gelombang tsunami merupakan gelombang yang berbeda dengan gelombang di laut pada umumnya. Pada wilayah perairan kecepatan tsunami dapat mencapai 1000

km per jam dengan tinggi gelombang sekitar 1 meter sedangkan pada daerah pantai, kecepatannya dapat berkurang dengan tinggi gelombang yang dapat mencapai puluhan meter (Ngabalin, 2020).

Hal ini dapat dianalisis dengan menggunakan Hukum Kekekalan Energi Bernouli yang menjelaskan konsep dasar aliran fluida (benda cair dan gas) yang menyatakan :

$$P_1 + \frac{1}{2}\rho v h_1^2 + \rho g h_1 = P_2 + \frac{1}{2}\rho v h_2^2 + \rho g h_2 \quad (1)$$

Dengan persamaan ini dapat dilihat bahwa adanya pengaruh tekanan, kecepatan dan ketinggian air. Sedangkan percepatan gravitasi dan massa jenis fluida dianggap sama. Oleh karena itu pergerakan gelombang tsunami yang terjadi di laut lepas memiliki kecepatan yang tinggi dan muka air yang rendah sedangkan ketika mendekati pantai maka kecepatannya menjadi berkurang dan elevasi muka air yang meningkat. Ini menyebabkan tsunami sulit untuk dilihat pada perairan laut lepas (Puspito, 2000).

METODE PENELITIAN

Penelitian dilaksanakan di Stasiun BMKG Geofisika Padang Panjang. Dimana Lokasi penelitian yaitu Kabupaten dan Kota Pesisir Provinsi Sumatera Barat yaitu; Kabupaten Pesisir Selatan; Kota Padang; Kabupaten Pasaman Barat; Kabupaten Agam; Kabupaten Padang Pariaman; Kota Pariaman; Kepulauan Mentawai.



Gambar 4. Lokasi Penelitian

Data yang dibutuhkan dalam penelitian ini meliputi; Parameter Gempa (BMKG); Skenario Terburuk (Pusgen, 2017); Jumlah Penduduk (BPS, 2017); Batimetri (Gebco, 2020)

Adapun *software* yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

ComCot

Salah satu model yang sering digunakan adalah COMCOT. Permodel ini berbasis numerik yang mampu menggambarkan simulasi pembangkitan hingga dampaknya yang terjadi pada wilayah pantai. Penggunaan aplikasi ini didasarkan pada pembangkitan tsunami, perkiraan waktu terjadinya tsunami, tinggi limpasan atau run up dan jangkauannya yang dihasilkan. Selain itu model ini akan menggunakan prinsip dari Persamaan *Boussinesq* dan Persamaan Air Dangkal atau *Shallow Water Equations* (SWE).

Matlab

Matlab merupakan singkatan dari Matriks Laboratory yang diciptakan pada akhir tahun 1970-an oleh Cleve Moler di Universitas New Mexico. MATLAB (*Matrix Laboratory*) adalah sebuah program untuk analisis dan komputasi numerik dan merupakan suatu bahasa pemrograman matematika lanjutan yang dibentuk dengan dasar pemikiran menggunakan sifat dan bentuk matriks.

Proses output yang dihasilkan dari COMCOT merupakan data dengan bentuk .dat. Bentuk data ini membutuhkan aplikasi Matlab untuk mengolah dengan Bahasa pemrograman hingga menjadi gambar sebaran gelombang ataupun grafik.

Global Mapper

Global Mapper digunakan untuk interpolasi data yang akan menghasilkan .arcascii

ArcGis 10.3

ArcGis adalah aplikasi yang biasa digunakan untuk membuat peta.

Pengelolaan data penelitian dengan melakukan overlay untuk melihat daerah mana yang rentan terhadap bahaya tsunami. Pemetaan dibuat dengan menggunakan aplikasi ArcGis 10.3. Selanjutnya ditentukan arah jalur evakuasi berdasarkan jalan di wilayah yang disesuaikan dengan hasil daerah terdampak.

Tahapan Penelitian

Penelitian ini berdasarkan dari skenario terburuk menurut (Pusgen, 2017). Data masukkan yang digunakan bersumber dari parameter gempa bumi atau lebih tepatnya yang digunakan adalah data parameter patahan seperti data strike, slip, fault, panjang, lebar, dislokasi dan lainnya dimana data didapatkan dari BMKG Padang Panjang.

Pengolahan data menggunakan *software* Comcot hingga diperoleh data dalam bentuk .dat atau .arcscii. selanjutnya melakukan pengolahan dilakukan menggunakan *software* arcgis 10.3 untuk menghasilkan peta tinggi gelombang, peta waktu tiba gelombang, dan kemudian peta risiko daerah rawan bencana tsunami, selain itu untuk melakukan perbandingan juga dilakukan pengolahan pada Matlab untuk menampilkan peta tinggi gelombang dan waktu tiba gelombang.

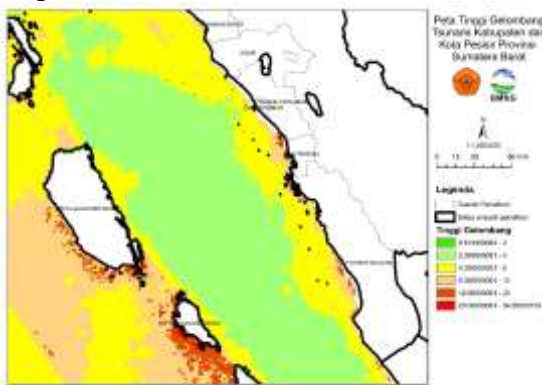
HASIL PENELITIAN

Dalam pengolahan data didapatkan hasil berupa data dalam bentuk .dat yang nantinya dapat diolah pada *software* matlab dan juga dapat diinterpolasikan pada global mapper yang kemudian dapat digunakan pada *software* arcgis. Berdasarkan hasil pengolahan Arcgis 10.3 didapatkan dua parameter yaitu tinggi gelombang dan waktu tiba gelombang.

Tinggi Gelombang

Berdasarkan hasil pengolahan dari *software* ArcGis dapat dilihat ketinggian gelombang tsunami di wilayah kabupaten dan kota pesisir Provinsi Sumatra Barat dapat dilihat pada gambar 5. Ketinggian gelombang dari rendah ketinggian berkisar 0

– 35 m. Pada Kabupaten Pasaman Barat ketinggian gelombang berada pada nilai 8 – 12 meter, Kabupaten Agam 4 – 8 meter, Kabupaten Padangpariaman ketinggian gelombang 4 - 8 meter tetapi tidak melewati garis pantai, Kota Pariaman 8 – 12 meter tetapi tidak mencapai garis pantai, Kota Padang 12 -20 meter, Kabupaten Pesisir Selatan 12 – 20 meter dan Kepulauan Mentawai 20 – 35 meter. Nilai tinggi gelombang dengan skenario terburuk saat terjadi tsunami yang akan sangat berdampak berada pada wilayah Kepulauan Mentawai.



Gambar 5. Peta Tinggi Gelombang

Menurut klasifikasi kawasan bencana tsunami oleh PVMBG membagi ketinggian gelombang dengan 3 klasifikasi yaitu tinggi, menengah dan rendah. Serta tingkat peringatan dini tsunami menurut BMKG dibagi menjadi 3 yaitu waspada, awas, dan siaga. Maka wilayah kabupaten dan kota pesisir provinsi Sumatra barat.

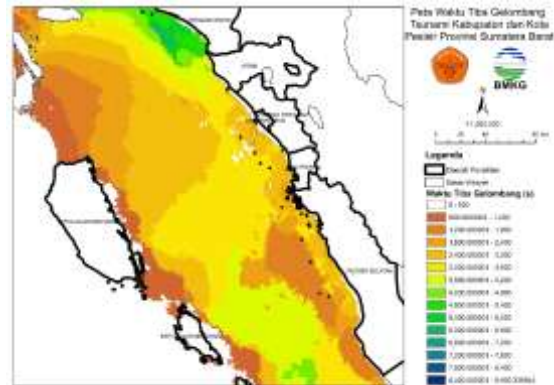
Tabel 1. Tabel Klasifikasi Wilayah Kabupaten dan Kota Pesisir Provinsi Sumatra Barat

No.	Kapupaten/ Kota	Tinggi Gelombang (m)	Klasifikasi	Tingkat peringatan
1.	Pasaman Barat	8 -12	Tinggi	Awas
2.	Agam	4 – 8	Tinggi	Awas
3.	Padang Pariaman	4 – 8	Rendah	Awas
4.	Pariaman	8 -12	Rendah	Awas
5.	Padang	12 – 20	Tinggi	Awas
6.	Pesisir Selatan	12 – 20	Tinggi	Awas
7.	Kepulauan Mentawai	20 – 35	Tinggi	Awas

PEMBAHASAN

Waktu Tiba Gelombang

Berdasarkan pengolahan data pada software comcot yang kemudian di interpolasi kan dan menghasilkan data dalam format .arcscii kemudian di input kedalam arcgis hingga menghasilkan peta waktu tiba gelombang dapat dilihat pada gambar 6.



Gambar 6. Peta Waktu Tiba Gelombang

Waktu tiba gelombang tsunami dapat dilihat pada gambar 6 dalam satuan detik hingga bisa dijadikan satuan menit. Dimana pada kabupaten pasaman barat waktu tiba gelombang berkisar dari 80 – 90 menit, kabupaten agam selama 30 – 40 menit, kabupaten padang pariaman selama 30 - 40 menit, kota pariaman selama 20 – 30 menit, kota padang selama 30 - 40 menit, kabupaten pesisir selatan selama 30 - 40 menit dan kepulauan Mentawai selama 10 – 20 menit.

Waktu tiba gelombang tsunami biasanya berkisar 60 – 100 menit, jika waktu tiba gelombang sudah melebihi dari 1 jam (60 menit) maka sudah tidak beresiko tsunami, walaupun gelombang yang cukup tinggi namun dengan waktu yang lama juga tidak akan beresiko sampai ke daratan.

Risiko Rawan Bencana

Latief (2012) menerangkan bahwa tingkat bahaya tsunami ditentukan berdasarkan tinggi gelombang tsunami di pantai dengan klasifikasi dapat dilihat pada tabel 3. Sumtaki et al., (2017) menganalisa tiga kejadian gempa yang telah distimulasikan hingga menyatakan 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.

Berdasarkan nilai tinggi gelombang dan waktu tiba gelombang maka dapat dilihat daerah yang tergolong mengalami risiko bahaya tsunami, dengan analisis sebagai berikut; Ketinggian gelombang tinggi dengan waktu tiba gelombang yang cepat maka daerah tersebut sangat bahaya; Ketinggian gelombang tinggi dengan waktu tiba gelombang lambat maka daerah tersebut kurang bahaya; Ketinggian gelombang rendah dengan waktu tiba gelombang cepat maka daerah tersebut kurang bahaya; Ketinggian gelombang rendah dengan waktu tiba gelombang yang lambat maka daerah tersebut tidak bahaya

Dari analisa diatas maka dapat dilakukan analisa dari data tinggi gelombang dan waktu tiba gelombang dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Analisa Tinggi Gelombang dan Waktu Tiba Gelombang

N o.	Kabupat en/Kota	Tinggi Gelomba ng (m)	Waktu tiba gelomb ang (m)	Analisa
1.	Pasaman Barat	8 – 12	80 – 90	Kurang Bahaya
2.	Agam	4 – 8	30 – 40	Bahaya
3.	Padang Pariaman	4 – 8	30 – 40	Bahaya
4.	Pariaman	8 -12	20 – 30	Bahaya
5.	Padang	12 – 20	30 – 40	Bahaya
6.	Pesisir Selatan	12 – 20	30 – 40	Bahaya
7.	Kepulauan Mentawai	20 – 35	10 – 20	Sangat Bahaya

Dari analisa diatas maka dapat didapatkan daerah yang sangat bahaya akan bencana tsunami adalah kepulauan Mentawai, kemudian kabupaten agam, padang pariaman, pesisir selatan, kota pariaman dan kota padang dalam kondisi yang bahaya dan kabupaten pasaman barat

dalam kondisi kurang bahaya dapat dilihat pada gambar 7.



Gambar 7. Peta Risiko Bencana Tsunami di Provinsi Sumatera Barat

SIMPULAN

Zona risiko bencana tsunami di provinsi Sumatra barat yang sangat berbahaya berada di wilayah kepulauan Mentawai dengan tinggi gelombang 20 – 35 m dan waktu tiba gelombang berkisar 10 – 20 menit dengan tingkat peringatan awas. Serta tingkat risiko bencana tsunami di kabupaten dan kota pesisir provinsi Sumatra barat terbagi menjadi 4 zona yaitu : Tidak bahaya, Kurang bahaya yaitu kabupaten Pasaman Barat, bahaya yaitu kabupaten Agam, kota Pariaman, kabupaten Padang Pariaman, kota Padang dan kabupaten Pesisir Selatan, Sangat Bahaya yaitu Kepulauan Mentawai

DAFTAR PUSTAKA

- Bemmelen, R. W. V. (1949). *The Geology of Indonesia, Vol. IA : General Geology of Indonesia and Adjacent Archipelagoes*. The Hague, Gov, Printing Office, Martinus Nijhoff. <http://langka.lib.ugm.ac.id/viewer/index/1461>
- Darman, H., & Sidi, F. H. (2000). *An Outline of the Geology of Indonesia*. Jakarta: Lereng Nusantara
- Dowrick, D. J. (1987). *Earthquake Resistant Design*. Singapore: John Wiley & Son, Ltd

- Gersanandi, G., Subardjo, P., & Anugroho, A. D. (2013). Analisa Spasial Kerentanan Bencana Tsunami di Kabupaten dan Kota Pesisir Provinsi Sumatera Barat. *Jurnal Oseanografi*, 2(3), 232-237. <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/joce/article/view/4564>
- Latif, H. (2012). *Kajian Resiko Tsunami di Provinsi Sumatera Barat dan Upaya Mitigasinya*. Institut Teknologi Bandung. <https://www.researchgate.net/publication/271194706>
- Newmark, N. M., & Rosenblueth, E. (1971). *Fundamental of Earthquake Engineering*. Universitas Indonesia. <https://lib.ui.ac.id/detail?id=20210025&lokasi=lokal>
- Ngabalin, J.C. (2020). *Studi Komputasi Gambaran Karakteristik Gelombang Tsunami Palu 2018*. Universitas Hassanudin. <http://repository.unhas.ac.id/id/eprint/1763>
- Nur, A. M. (2010). *Balai Informasi dan Konservasi Kebumian Karangsembung-Lipi*. Kebumen. <https://karangsambung.brin.go.id/>
- Sieh, K., & Natawidjaja, D. (2000). Neotectonics of the Sumatran Fault, Indonesia, *Journal of Geophysical Research*, 105(B12), 28295-28326. <https://doi.org/10.1029/2000JB900120>
- Sumatki, M. I., Pasau, G., & Tongkukut, S. H. J. (2017). Simulasi Penjalaran Gelombang Tsunami di Sofifi-Tidore Kepulauan Maluku Utara sebagai Upaya Mitigasi Bencana. *Jurnal MIPA Unsrat Online*, 6(1), 83-87. <http://ejournal.unsrat.ac.id/index.php/jmuo>
- Sutarman, K. (2008). *Pemetaan Bahaya dan Resiko Bencana Alam di Kabupaten Pesisir Selatan Sumatera Barat*. Universitas Negeri Padang. <http://repository.unp.ac.id/id/eprint/1193>
- Triatmodjo, B. (1999). *Teknik Pantai*. Yogyakarta: Beta Offset
- Triyono, R. (2015). *Ancaman Gempabumi di Sumatera Tidak Hanya Bersumber dari Mentawai Megathrust*. BMKG
- Wiegel, R. L. (1970). *Eartquake Engineering*. New Jersey: Prentice Hall-Inc