

## Identifikasi Wilayah Terdampak Tsunami Berdasarkan Peta Ancaman Tsunami di Kabupaten Lumajang, Jawa Timur

Sugeng Widada\*, Ikram Maulana Darda, Alfi Satriadi

Departemen Oseanografi Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Diponegoro  
Jl. Prof. H. Soedarto S.H, Tembalang, Semarang, Jawa Tengah 50275 Indonesia  
Email: swidada1@gmail.com

### Abstrak

Indonesia merupakan negara yang diapit oleh 3 lempeng tektonik yang saling mendesak satu sama lain, sehingga memiliki ancaman yang cukup tinggi terhadap tsunami. Salah satu sumber tsunami di Indonesia yaitu Zona Subduksi Jawa yang membentang sepanjang selatan pulau Jawa dan memiliki potensi gempa sebesar 8,9 Mw. Tsunami Banyuwangi 1994 dan Tsunami Pangandaran 2006 merupakan tsunami yang terjadi pada zona tersebut. Berdasarkan Indeks Resiko Bencana, Kabupaten Lumajang memiliki ancaman yang tinggi terhadap tsunami dan masuk ke dalam peringkat 37 nasional. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui karakteristik tsunami, tingkat ancaman, dan luas wilayah yang terdampak di Kabupaten Lumajang. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah pemodelan numerik 2D menggunakan aplikasi COMCOT v 1.7, yang kemudian diklasifikasikan menggunakan ArcGIS 10.5. Hasil dari penelitian ini yaitu tsunami yang terjadi dengan kekuatan 8,9 Mw memiliki waktu tempuh 31 – 38 menit untuk mencapai daratan dengan kecepatan yang mencapai 45,5 m/s. Ketinggian maksimal gelombang sebesar 49,7 m dengan jarak inondasi 14,83 km. Wilayah yang memiliki ancaman paling tinggi berada pada Kecamatan Yosowilangun dengan jangkauan tsunami mencapai 69,42 km<sup>2</sup> atau 99,08% dari total luas wilayahnya.

**Kata kunci :** Tsunami, COMCOT, Ancaman, Kabupaten Lumajang

### Abstract

#### *Identification of Tsunami Affected Areas Based on Tsunami Threat Map in Lumajang Regency, East Java*

Indonesia is a country flanked by 3 tectonic plates that urge each other, so it has a high enough threat to tsunamis. One of the sources of the tsunami in Indonesia is the Java Subduction Zone which stretches along the southern island of Java and has an earthquake potential of 8.9 Mw. The Banyuwangi tsunami in 1994 and the Pangandaran Tsunami in 2006 were tsunamis that occurred in the zone. Based on the Disaster Risk Index, Lumajang Regency has a high threat to tsunamis and is ranked 37th nationally. The purpose of this study is to find out the characteristics of the tsunami, the threat level, and the area affected in Lumajang Regency. The method used in the study was 2D numerical modeling using the COMCOT v 1.7 software, which was later classified using ArcGIS 10.5. The result of this study is that a tsunami that occurred with a magnitude of 8.9 Mw has a travel time of 31-38 minutes to reach land at a speed that reaches 45.5 m/s. The maximum height of the wave is 49.7 m with an inundation distance of 14.83 km. The area that has the highest threat is in Yosowilangun District with a tsunami range of 69.42 km<sup>2</sup> or 99.08% of the total area.

**Keywords :** Tsunami, COMCOT, Threat, Lumajang Regency

### PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara *triple junction convergent* atau negara yang terletak diantara 3 lempeng tektonik aktif yang bergerak saling

mendesak satu sama lain (konvergen). Lempeng tersebut yaitu lempeng Eurasia di utara, lempeng Indo-Australia di selatan, dan lempeng Pasifik di timur. Kondisi ini menyebabkan Indonesia

\*Corresponding author

DOI:10.14710/buloma.v11i3.44032

<http://ejournal.undip.ac.id/index.php/buloma>

Diterima/Received : 10-01-2022

Disetujui/Accepted : 19-07-2022

memiliki kerentanan yang cukup tinggi akan bencana geologis, salah satunya tsunami (Rusli dan Rudyanto, 2010).

Tsunami merupakan bencana alam berupa gelombang laut yang sangat tinggi sehingga menyebabkan dampak yang sangat merusak. Terdapat beberapa faktor yang menyebabkan terjadinya tsunami, salah satunya adalah gempa tektonik. Tsunami yang terjadi di Indonesia setidaknya tercatat 109 kali dan 89,9 % disebabkan oleh gempa tektonik (Mardiatno, 2006). Tsunami yang menimbulkan dampak kerusakan yang parah adalah tsunami Banyuwangi (1994), Aceh (2004), Pangandaran (2006), Mentawai (2010), dan Donggala (2018). Dampak kerusakan dari tsunami mencakup korban jiwa dan kerusakan material. Pada tsunami Donggala (2018) memberikan dampak kerusakan material yang cukup besar, yaitu 67.310 rumah penduduk, 99 fasilitas ibadah, dan 20 fasilitas kesehatan dan korban jiwa sejumlah 2.037 jiwa (BMKG, 2019).

Kabupaten Lumajang merupakan salah satu kabupaten yang terletak di provinsi Jawa Timur dan berbatasan langsung dengan Samudera Hindia yang merupakan wilayah pertemuan dua lempeng tektonik aktif yaitu Lempeng Eurasia dan Lempeng Australia. Jarak Kabupaten Lumajang dengan pertemuan lempeng tersebut berkisar 250 km ke arah selatan dari pesisir pantai (Abdillah *et al.*, 2020). Kabupaten Lumajang memiliki pantai yang berbentuk teluk, yang dapat menyebabkan penyebaran energi gelombang tsunami sehingga dampaknya akan lebih merusak dibandingkan pantai yang berbentuk tanjung (Suwarsono dan Harlianto, 2015). Jika dilihat dari bentuk topografi, Kabupaten Lumajang memiliki topografi yang beraneka ragam. Wilayah bagian barat terdapat pantai tebing dengan elevasi dan juga kelerengan yang lebih tinggi dibandingkan dengan bagian timur. Hal ini akan mempengaruhi dampak tsunami yang terjadi di daerah tersebut. Berdasarkan Indeks Rawan Bencana Indonesia, Kabupaten Lumajang memiliki resiko yang tinggi akan bencana tsunami dengan ranking 37 nasional (BNPB, 2020). Terdapat 6 kecamatan yang berbatasan langsung dengan pesisir dengan total jumlah penduduk 402.880 jiwa (BPS, 2021), sehingga akan menimbulkan dampak yang sangat merusak apabila tsunami terjadi. Hal ini membuat kajian – kajian yang berhubungan dengan upaya penanggulangan bencana tsunami menjadi sangat dibutuhkan untuk meredam dampak kerusakan jika tsunami terjadi. Penelitian ini dilakukan untuk

mengetahui karakteristik, tingkat ancaman, dan luas wilayah terdampak tsunami yang terjadi berdasarkan skenario terburuk yang kemungkinan terjadi.

## MATERI DAN METODE

Penelitian ini menggunakan data primer dan data sekunder. Data primer meliputi data kelerengan pantai dan litologi fisik pantai. Data sekunder berupa 1) Peta RBI Kab. Lumajang skala 1:25.000 publikasi BIG tahun 2017; 2) Peta Litologi Akuifer Kab. Lumajang skala 1:288.895 publikasi Kementrian Energi dan Sumberdaya Mineral tahun 2017; 3) Data batimetri skala 30 arc second GEBCO publikasi BODC tahun 2020; 4) Data BATNAS perairan Kab. Lumajang skala 6 arc second publikasi BIG tahun 2018; 5) Data DEMNAS Kab. Lumajang skala 0,27 arc second publikasi BIG tahun 2018; 6) Data pasang surut perairan Kab. Lumajang publikasi BIG pada bulan Juni 2020.

Penelitian ini menggunakan metode deskriptif - kuantitatif. Menurut Sugiyono (2013), metode kuantitatif adalah salah satu metode penelitian data yang disajikan dalam bentuk angka. Data tersebut kemudian dideskripsikan berdasarkan variabel dan masalah yang diteliti. Penelitian ini juga menggunakan pemodelan numerik 2D dengan bantuan perangkat lunak COMCOT v 1.7 untuk mengetahui penjaran gelombang tsunami dan dampaknya apabila terjadi di pesisir Kab. Lumajang, Jawa Timur.

Pembangkitan gelombang tsunami dengan COMCOT v 1.7 menggunakan persamaan *Linier Shallow Water Equation* (1) untuk gelombang perairan dalam dan *Non-Linier Shallow Water Equation* (2) untuk gelombang perairan dangkal dan daratan. P dan Q menunjukkan volume flux dalam arah x serta y, dan f merupakan koefisien Gaya Coriolis (Wang dan Liu, 2007).

$$\begin{aligned} \frac{\partial \eta}{\partial t} + \left\{ \frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial Q}{\partial y} \right\} &= \frac{\partial h}{\partial t} \\ \frac{\partial P}{\partial t} + gh \frac{\partial \eta}{\partial x} - fQ &= 0 \\ \frac{\partial Q}{\partial t} + gH \frac{\partial \eta}{\partial y} + fP &= 0 \end{aligned} \tag{1}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial \eta}{\partial t} + \left\{ \frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial Q}{\partial y} \right\} &= \frac{\partial h}{\partial t} \\ \frac{\partial P}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left\{ \frac{P^2}{H} \right\} + \frac{\partial}{\partial y} \left\{ \frac{PQ}{H} \right\} + gH \frac{\partial \eta}{\partial x} + F_x &= 0 \tag{2} \\ \frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left\{ \frac{PQ}{H} \right\} + \frac{\partial}{\partial y} \left\{ \frac{Q^2}{H} \right\} + gH \frac{\partial \eta}{\partial y} + F_y &= 0 \end{aligned}$$

**Pengukuran Data Lapangan**

Pengambilan data lapangan berupa kelerengan pantai menggunakan kompas geologi di Pantai Dampar, Kec. Pasiran, Lumajang. Titik pengukuran berjumlah 8 titik dengan masing – masing titik dilakukan 3 kali pengulangan dan tiap titik berjarak 50 meter. Data litologi fisik pantai dilakukan pengamatan struktur, konsistensi dan warna tanah. Jumlah titik pengamatan menyesuaikan dengan kondisi lapangan. Hasil dari pengukuran lapangan di validasi dengan metode RSR. Metode ini digunakan untuk mengetahui nilai *error* pada model secara statistik.

$$RSR = \frac{RMSE}{STDEV} = \frac{\sqrt{\frac{\sum(D-M)^2}{n}}}{\sqrt{\frac{\sum(D-\bar{D})^2}{n}}}$$

Keterangan: D = Kelerengan di lapangan; M = Kelerengan di model; N = Jumlah data

**Tabel 1.** Klasifikasi RSR

Nilai	Keterangan
0 – 0,5	Sangat Baik
0,5 – 0,6	Baik
0,6 – 0,7	Cukup
> 0,7	Tidak Baik

**Metode Pengolahan Data**

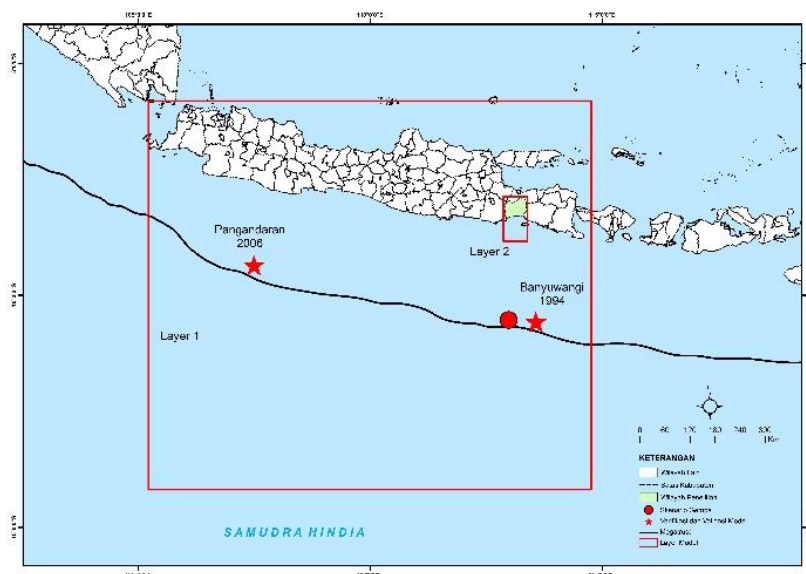
Proses pemodelan tsunami menggunakan perangkat lunak COMCOT v 1.7. Masukan data

yang digunakan berupa data batimetri, titik pengamatan virtual, data pasang surut, dan skenario gempa. Data batimetri dan titik pengamatan virtual diolah dengan format “.xyz” agar dapat terbaca oleh program. Titik pengamatan berjumlah 3 titik yaitu di perairan Pantai Nggodek, Pantai Dampar, dan Pantai Wotgalih. Penelitian ini menggunakan 2 layer dengan batas dan ukuran grid yang berbeda.

**Tabel 2.** Batas Model

Layer	Longitude	Latitude
1.	105,2188	-14,1854
2.	112,8770	-8,8378

Setelah dilakukan pemodelan menggunakan COMCOT v 1.7, maka akan dihasilkan data elevasi permukaan laut yang memiliki format .DAT. Data dengan format .DAT ini kemudian diolah menggunakan *MATLAB* sehingga menghasilkan gambar dengan format .PNG. Gambar dengan format .PNG ini merupakan gambar yang menunjukkan perambatan elevasi permukaan atau nilai z pada rentang waktu tertentu. Pemodelan menggunakan COMCOT v 1.7 juga akan menghasilkan time.DAT, ax\_amp.DAT, deform.DAT, dan ts\_location.DAT pada titik penelitian. Data – data ini kemudian diolah menggunakan *MATLAB* sehingga menghasilkan *output* tsunami.



**Gambar 1.** Batas model dan layer penelitian

Skenario gempa yang digunakan dalam penelitian ini berupa skenario terburuk. Berdasarkan PusGen (2017), Zona Subduksi Jawa memiliki kemungkinan gempa dengan kekuatan 8,9 Mw. Sudut pergeseran lempeng didasarkan pada kejadian tsunami di sekitar wilayah penelitian yaitu tsunami Banyuwangi tahun 1994 yang didapatkan dari USGS. Pada skenario gempa juga perlu mengetahui panjang sesar (L), lebar sesar (W), dan dislokasi (D) yang didapatkan melalui persamaan dari Wells dan Coppersmith (1994).

$$\begin{aligned} \text{Log } L &= - 3,55 + 0,74 \times \text{Magnitude} \\ \text{Log } W &= - 0,76 + 0,27 \times \text{Magnitude} \\ \text{Log } D &= - 7,03 + 1,03 \times \text{Magnitude} \end{aligned}$$

Masukan data tersebut kemudian dilakukan *running* model selama 2 jam atau 7.200 detik. Hasil dari proses tersebut menghasilkan *initial condition* atau kondisi awal tsunami sesaat setelah gempa, nilai  $z_{max}$ ,  $c_{max}$ , dan nilai tinggi gelombang tsunami secara *timeseries* pada titik pengamatan virtual. Daerah jangkauan tsunami diketahui dengan pengolahan data “ $z_{max\_layerxx}.dat$ ”

menjadi data *flowdepth*. Model skenario pemodelan serupa juga telah digunakan oleh Suardana *et al.*, (2019) dan Helmi *et al.*, (2020).

**Verifikasi dan Validasi Model**

Verifikasi dan validasi dimaksudkan untuk mengetahui akurasi dari model tsunami yang dibangun. Verifikasi dilakukan dengan pemodelan ulang dari kejadian tsunami yang telah lalu yang kemudian divalidasi dengan penelitian lapangan yang dilakukan di daerah tersebut. Kejadian tsunami yang digunakan adalah tsunami Banyuwangi 1994 dan tsunami Pangandaran 2006. Hasil dari pemodelan tersebut kemudian dihitung dengan metode MAPE berdasarkan persamaan dari Hanggara *et al.* (2015).

$$\text{Nilai error} = \frac{(a-b)}{b} \times 100\%$$

Keterangan: (a-b) = selisih hasil simulasi dengan nilai lapangan; b = hasil penelitian lapangan oleh peneliti sebelumnya

**Tabel 3.** Skenario Pemodelan (USGS, 2020)

Skenario	Mw	Epicenter		Depth (Km)	Strike	Dip	Slip	L (Km)	W (Km)	D (m)
		Long	Lat							
Lumajang	8,9	112,9857	- 10,5317	11,5	267	7	80	1086	44	137

**Tabel 4.** Range Nilai MAPE (Maricar, 2019)

Nilai	Keterangan
< 10 %	Sangat Baik
10 – 20 %	Baik
20 – 50 %	Layak
> 50 %	Buruk

**Tabel 5.** Data Parameter Gempa dan Tsunami Banyuwangi 1994 dan Pangandaran 2006 (USGS, 2020)

Tsunami	Mw	Epicenter		Depth (Km)	Strike	Dip	Slip	L (Km)	W (Km)	D (Km)
		Long	Lat							
Banyuwangi	7,8	113,50	-10,75	12	267	7	80	168	22	12
Pangandaran	7,7	108,594	-9,319	10	284	17	87	141	21	10

**Tabel 6.** Skor dan Bobot Komponen Ancaman Tsunami

Komponen	Kelas	Skor	Bobot
Run Up Tsunami (Sumber: Isnin, 2016)	< 2 m	1	0,17
	3 – 10 m	2	
	11 – 20 m	3	
	21 – 30 m	4	
	> 30 m	5	
Elevasi (Sumber : Mardiyanto <i>et al.</i> , 2013)	< 5 m	5	0,31
	5 – 10 m	4	
	11 – 20 m	3	
	21 – 30 m	2	
Kelerengan pantai (Sumber: Van Zuidam, 1985)	> 30 m	1	0,14
	< 2°	5	
	3 – 6°	4	
	7 – 13°	3	
Jarak dari garis pantai (Sumber: Bretschneider dan Wybro, 1976).	14 – 20°	2	0,10
	> 20°	1	
	< 500 m	5	
	501 – 1.500 m	4	
	1.501 – 2.500 m	3	
Jarak dari sungai (Sumber: Mardiyanto <i>et al.</i> , 2013)	2.501 – 3.500 m	2	0,08
	> 3.500 m	1	
	< 250 m	5	
	251 – 500 m	4	
	501 – 750 m	3	
Tutupan lahan (Sumber: Mardiyanto <i>et al.</i> , 2013)	751 – 1.000 m	2	0,08
	> 1000 m	1	
	Lahan Terbuka	5	
	Tambak	4	
Permeabilitas Lahan (Sumber: Kementerian ESDM, 2017)	Lahan Pertanian	3	0,02
	Pemukiman	2	
	Hutan	1	
Keberadaan Pulau (Sumber: Pramana, 2015)	Rendah	5	0,09
	Sedang	3	
	Tinggi	1	
	Tidak terhalang	5	0,09
	Terhalang	1	

Kelerengan pada peta diverifikasi dengan hasil kelerengan dari pengukuran lapangan. Metode yang digunakan adalah metode Standar Deviasi Observasi atau RSR dari Moriasi *et al.*, (2007).

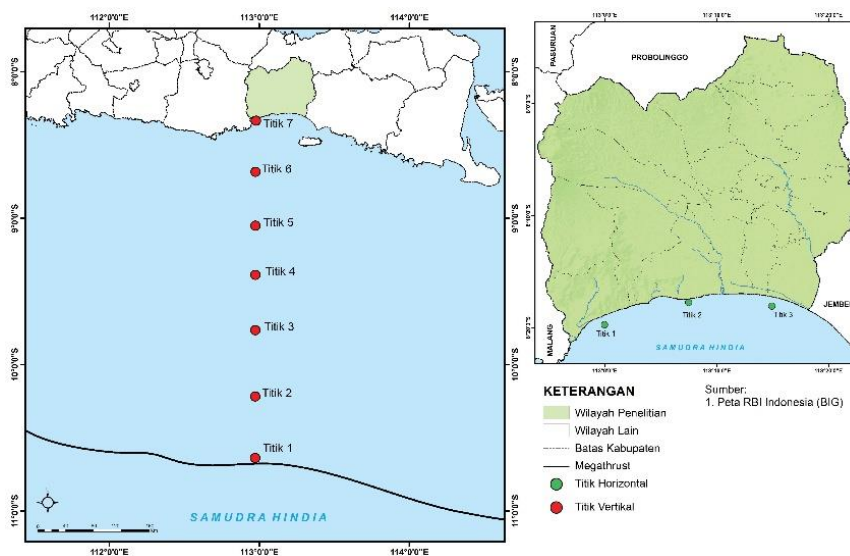
#### **Analisis Spasial Peta Ancaman Tsunami**

Peta ancaman tsunami dihasilkan dari *overlay* peta yang dibuat berdasarkan klasifikasi komponen ancaman tsunami menggunakan ArcGIS 10.5. Tingkat ancaman ini dapat diperoleh menggunakan metode skoring atau pembobotan. Metode skoring adalah pembobotan nilai

berdasarkan parameter yang ditentukan terhadap suatu bencana. Bobot dari tiap komponen ditentukan menggunakan metode AHP atau *Analytical Hierarchy Process* (Umbara, 2019). Helmi *et al.* (2020), mengemukakan bahwa untuk mengetahui rentang skor terlebih dahulu menentukan parameter dan bobotnya, yang kemudian dimasukkan kedalam persamaan berikut.

$$R_s = \frac{\sum(B_i \times S_i) \max - \sum(B_i \times S_i) \min}{5}$$

Keterangan :  $R_s$  = Rentang skor;  $B_i$  = Bobot pada tiap kriteria;  $S_i$  = Skor pada tiap kriteria



Gambar 2. Titik Pengukuran

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Verifikasi dan Validasi Kelerengan

Berdasarkan hasil pengukuran lapangan di Pantai Dampar, didapatkan nilai kelerengan rata – rata sebesar  $7,4^\circ$ . Apabila didasarkan pada klasifikasi kelerengan maka Pantai Dampar termasuk ke dalam pantai dengan karakteristik cukup landai yang memiliki pantai tebing. Nilai standar deviasi observasi kelerengan menunjukkan nilai 0,0614 yang berdasarkan Tabel 5 masuk dalam kategori sangat baik. Litologi fisik di pantai dampak memiliki pasir berwarna abu kehitaman dengan struktur tidak beragregat dan berbutir tunggal. Konsistensi pada saat basah menunjukkan adanya kelekatan saat dilepaskan oleh jari. Pada kondisi lembab termasuk dalam kategori gembur yang akan hancur jika ditekan agak kuat. Pada kondisi kering termasuk dalam kategori lepas – lepas yang sangat mudah hancur.

### Verifikasi dan Validasi Model

Verifikasi pemodelan tsunami menggunakan data kejadian tsunami di masa lalu yaitu tsunami Banyuwangi 1994 dan Pangandaran 2006. Ketinggian rata – rata pada tsunami Banyuwangi 1994 adalah 6,71288 meter, dan tsunami Pangandaran 2006 sebesar 3,645222 meter. Berdasarkan penelitian lapangan yang dilakukan oleh Maramai *et al.* (1997), ketinggian rata – rata untuk tsunami Banyuwangi yaitu 7,3

meter sedangkan berdasarkan Tejakusuma (2008), yang didukung oleh Aeda *et al.* (2017), ketinggian rata – rata tsunami Pangandaran 2006 yaitu 4 meter, sehingga diketahui nilai *error* sebesar 8,043% untuk tsunami Banyuwangi dan 8,870% untuk tsunami Pangandaran.

### Simulasi Penjalaran Tsunami

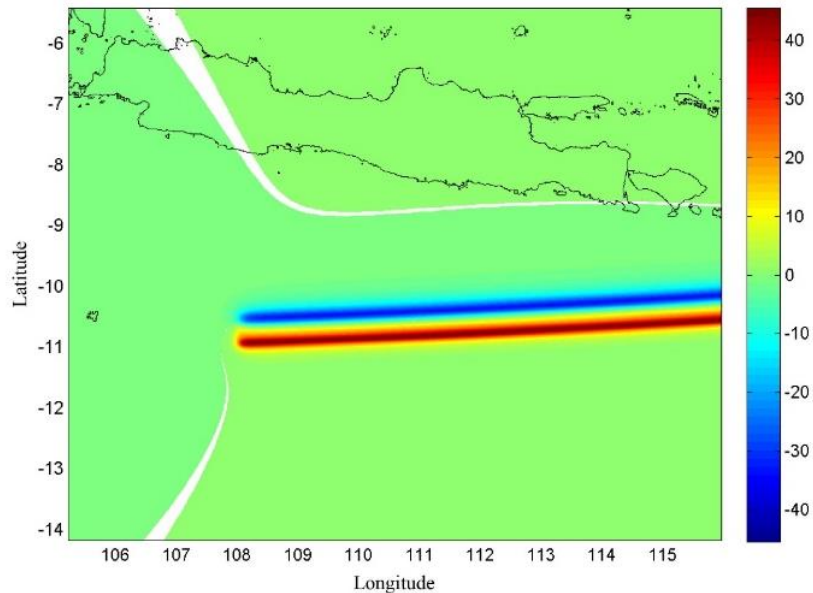
Hasil simulasi penjalaran pada Gambar 3 menunjukkan bentuk awal tsunami sebelum menjalar ke daratan dengan kecepatan maksimal penjalaran 45,5 m/s. Elevasi gelombang menunjukkan ketinggian maksimal pada saat penjalaran yaitu berada pada titik pengamatan 1 sebesar 49,7 m dan penurunan terendahnya sebesar -27,6 meter. Pada titik pengamatan 2 memiliki ketinggian maksimal sebesar 35,1 m dengan penurunan terendah -19,97 m. Ketinggian maksimal pada titik pengamatan 3 sebesar 29,3 m dengan penurunan terendah sebesar -11,08 m. Pada pusat gempa terjadi kenaikan muka laut sebesar 19,8 m (Gambar 4). Pada Gambar 5 diketahui waktu tiba gelombang tsunami di pesisir Kab. Lumajang. Pada titik 1 gelombang tsunami mencapai pesisir pada menit ke-32 dihitung dari penurunan muka laut pertama, pada titik 2 di menit ke-34 dan titik 3 pada menit ke-38.

### Jangkauan Wilayah Tsunami

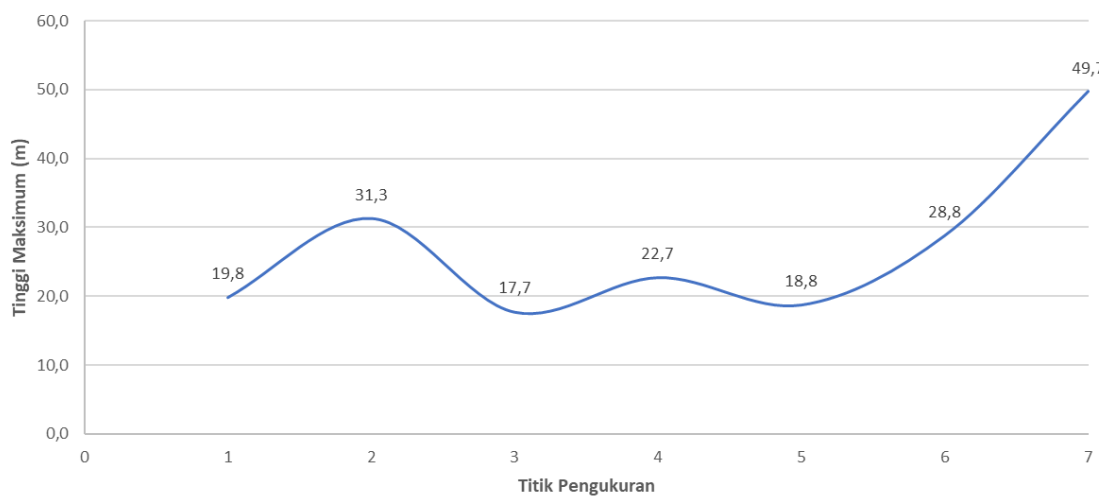
Berdasarkan hasil simulasi jangkauan tsunami, diketahui ketinggian tsunami di

Kabupaten Lumajang Jawa Timur dengan kekuatan 8,9 Mw berkisar antara 0–75 meter dengan jarak inundasi 14,8 km. Wilayah terdampak mencakup Kecamatan Tempursari,

Candipuro, Pasiran, Tempeh, Kunir, dan Yosowilangun. Wilayah yang paling terdampak berada pada kecamatan Yosowilangun yaitu sebesar 99,1% dari total luas wilayahnya.



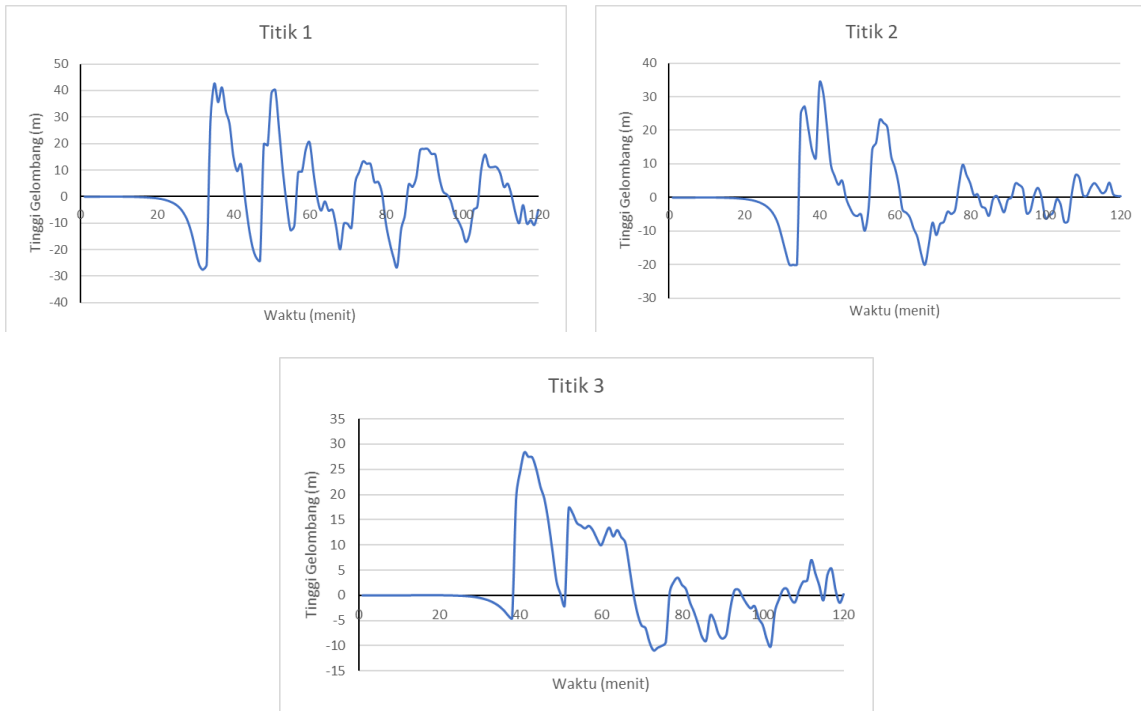
**Gambar 3.** Kondisi awal gelombang tsunami



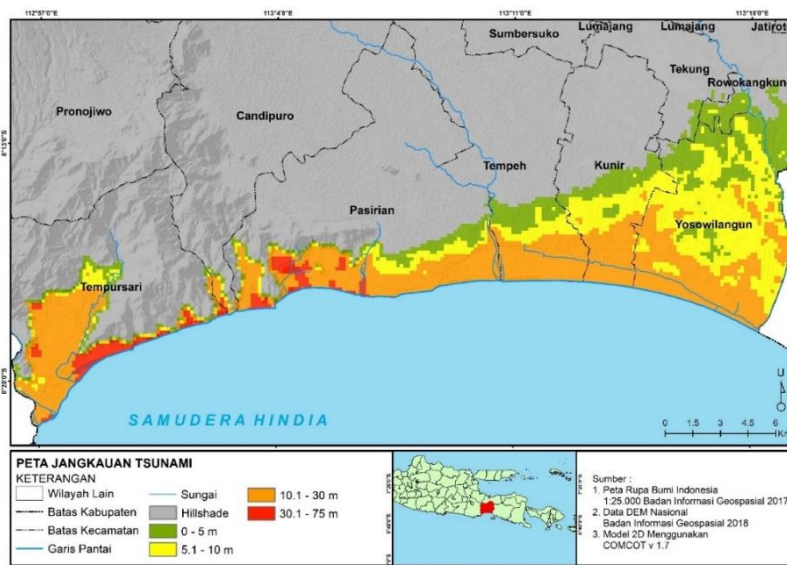
**Gambar 4.** Distribusi tinggi gelombang maksimum

**Tabel 7.** Persentase Luas Terdampak terhadap Luas Kecamatan

Kecamatan	Luas Kecamatan (km <sup>2</sup> )	Luas Wilayah Terdampak (km <sup>2</sup> )	Persentase (%)
Tempursari	102,9	31,3	30,6
Candipuro	141,1	1,6	1,1
Pasiran	125,9	37,06	29,4
Tempeh	77,5	19,6	25,2
Kunir	55,1	22,8	41,4
Yosowilangun	70,1	69,4	99,1



**Gambar 5.** Grafik waktu tiba dan tinggi gelombang tsunami



**Gambar 6.** Peta jangkauan (*run up*) tsunami Kab. Lumajang, Jawa Timur

**Ketinggian Wilayah Penelitian**

Hasil dari pengolahan data diketahui bahwa persentase untuk kelas >30 mdpl terhadap kecamatan yang berbatasan langsung dengan pesisir sebesar 70,8% atau seluas 402 km<sup>2</sup>. Kelas 20,1–30 mdpl di wilayah pesisir seluas 25,5 km<sup>2</sup>

atau seluas 4,5 % total luas wilayah pesisir. Kelas 10,1–20 mdpl seluas 56,99 km<sup>2</sup> atau 10,02 %. Kelas 5,1–10 mdpl seluas 40,5 km<sup>2</sup> atau 7,1 % dan kelas < 5 mdpl seluas 42,8 km<sup>2</sup> atau 7,5 % dari total luas pesisir. Berdasarkan peta ketinggian di wilayah pesisir Kabupaten Lumajang diketahui



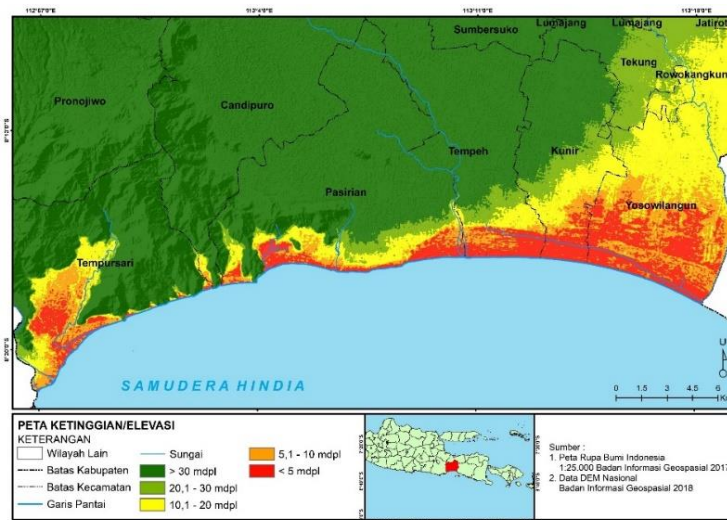
wilayah barat memiliki elevasi yang lebih tinggi dibandingkan dengan wilayah bagian timur.

**Kelerengan Wilayah Penelitian**

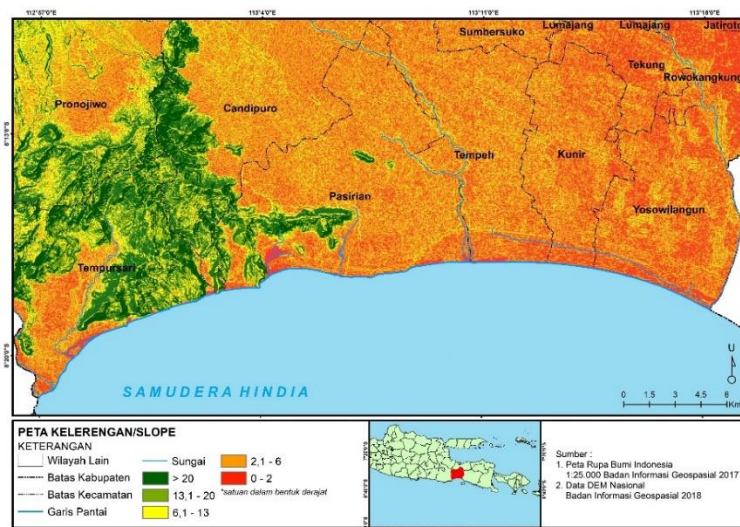
Kabupaten Lumajang memiliki tingkat kelerengan sangat landai dengan kelas kelerengan 2,1–6° sebesar 38,5% dengan luas 690,8 km<sup>2</sup>. Wilayah yang memiliki kelas Kelerengan >20° seluas 209,3 km<sup>2</sup> atau sebesar 11,7 %. wilayah pesisir bagian barat masih terdapat pantai tebing dengan kelerengan >20°. Kelerengan datar atau kelas 0–2° memiliki luas 118,5 km<sup>2</sup> yang didominasi oleh wilayah pesisir bagian timur yang mencakup 4 kecamatan, yaitu Pasiran, Tempeh, Kunir, dan Yosowilangun sehingga dapat dikatakan wilayah pesisir bagian timur memiliki ancaman terhadap tsunami yang lebih tinggi.

**Permeabilitas Lahan Wilayah Penelitian**

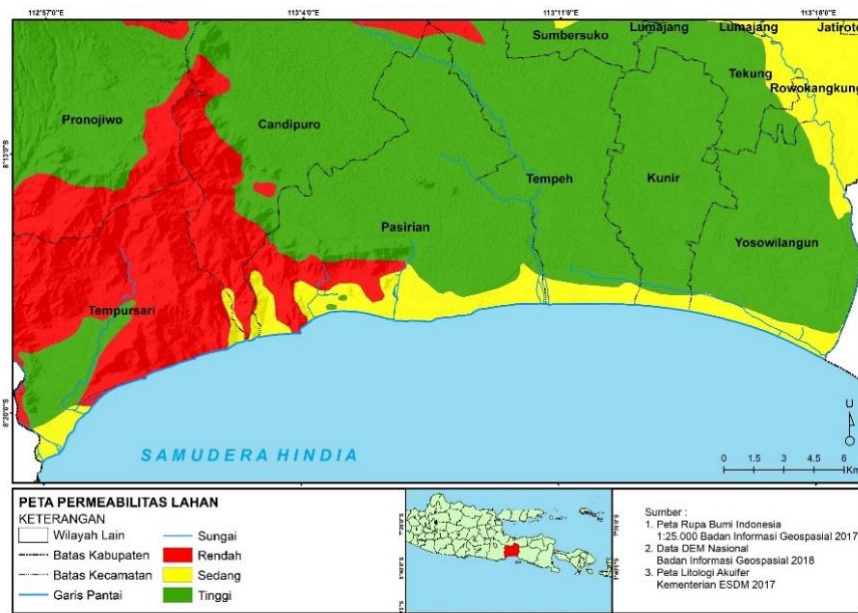
Wilayah pesisir Kabupaten Lumajang didominasi dengan permeabilitas sedang dan merupakan endapan lepas. Endapan lepas ini tersusun atas lapisan pasir, lempung, lumpur, dan kerikil. Pesisir bagian barat Kabupaten Lumajang terdapat bagian yang memiliki tingkat permeabilitas rendah. Bagian tersebut merupakan lapisan batuan padu yang tersusun atas breksi andesit dengan sisipan tuf, serta lapisan lava di bagian bawah. Jika dilihat secara umum, Kabupaten Lumajang didominasi oleh batuan vulkanik yang tersusun atas lava andesit basal, tuf, breksi gunung api, dan breksi lahar. Berdasarkan Putranto *et al.* (2017), lapisan ini memiliki tingkat permeabilitas yang tinggi.



Gambar 7. Peta ketinggian (elevasi) kab. Lumajang, Jawa Timur



Gambar 8. Peta kelerengan (*slope*) Kab. Lumajang, Jawa Timur



Gambar 9. Peta permeabilitas lahan Kab. Lumajang, Jawa Timur

### Tutupan Lahan Kab. Lumajang

Tutupan lahan di Kabupaten Lumajang sebanyak 65,6% merupakan lahan pertanian diikuti oleh hutan sebanyak 26,2%. Untuk kawasan yang paling kecil berupa tambak, yaitu seluas 40.1828,8 m<sup>2</sup> atau sebesar 0,02%.

### Ancaman Tsunami Kab. Lumajang

Tingkat ancaman tsunami di Kabupaten Lumajang didapatkan dari analisis berdasarkan komponen tingkat ancaman tsunami yaitu *run up*, elevasi, kelerengan, jarak dari garis pantai, jarak dari sungai, tutupan lahan, permeabilitas lahan, dan keterlindungan pulau. Hasil perhitungan pembobotan menggunakan *raster calculator* di perangkat lunak ArcGIS 10.5 dihasilkan nilai ancaman 1–5.

Wilayah dengan kelas sangat aman memiliki luas 1.203,3 km<sup>2</sup> atau 67,1 % dari total luas wilayah. Tingkat ancaman di pesisir Kabupaten Lumajang memiliki perbedaan antara bagian barat dan timur, wilayah barat memiliki tingkat ancaman yang lebih tinggi. Kecamatan Yosowilangun merupakan wilayah pesisir yang paling rentan akan ancaman tsunami. Wilayah aman di kecamatan Yosowilangun seluas 1,6 km<sup>2</sup> dan didominasi oleh kelas rawan yaitu seluas 33 km<sup>2</sup>.

Jika dipersentasikan, luas kelas ancaman terhadap luas pesisir maka diketahui kelas sangat

aman sebesar 47,9 % atau seluas 272,2 km<sup>2</sup>. Kelas sangat rawan seluas 52,6 km<sup>2</sup> atau sebesar 9,3 % dari luas kecamatan pesisir. Sedangkan luas kelas rawan yaitu 70,5 km<sup>2</sup> atau 12,4 % dari luas kecamatan pesisir. Kelas aman dan sedang berturut – turut sebesar 23,6 % dan 6,8 % atau seluas 133,97 km<sup>2</sup> dan 38,7 km<sup>2</sup>.

Kenaikan dan penurunan muka laut akibat gelombang tsunami dipengaruhi oleh kondisi batimetri dan juga besaran kekuatan gelombang tsunami. Kekuatan gempa (*magnitude*) akan mempengaruhi besaran nilai panjang, lebar, dan dislokasi sesar sebagai pemicu terjadinya tsunami (Simandjuntak, 1994). Nilai ketinggian dan waktu tiba tsunami pada tiga titik pengamatan vital menunjukkan nilai yang berbeda beda. Pada titik pertama memiliki ketinggian 49,7 m dengan waktu tiba 32, titik kedua ketinggian tsunami sebesar 35,1 m dengan waktu tiba 34 menit, dan titik ketiga memiliki ketinggian 24,3 m dengan waktu tiba 38 menit. Perbedaan waktu tiba dan tinggi gelombang menunjukkan adanya perbedaan batimetri antar titik. Lowrie dan Fichtner (2007); Sugito (2008), menyatakan perairan yang dangkal menyebabkan ketinggian gelombang semakin tinggi dan kecepatan berkurang. Pada titik ketiga lebih dipengaruhi oleh adanya pulau penghalang berupa Pulau Nusa Barong yang merupakan bagian dari Kabupaten Jember. Adanya pulau ini menyebabkan difraksi dan refleksi sehingga

ketinggian gelombang tsunami pada titik ketiga tereduksi (Triatmodjo, 1999).

Jika dilihat penjalaran secara vertikal, didapatkan pola penjalaran dari pusat gempa ke pesisir Kabupaten Lumajang. Pada titik pusat gempa terjadi kenaikan 19,83952 m lalu naik kembali menjadi 31,29366 m. Hal ini menunjukkan terdapat perbedaan batimetri dari pusat gempa. Kemudian gelombang menurun kembali dan cenderung lebih stabil lalu naik kembali pada saat mendekati wilayah pesisir. Variasi ketinggian ini menunjukkan adanya pendangkalan dasar laut sehingga menyebabkan periode gelombang semakin pendek dan adanya penumpukan massa air atau *shoaling*.

Tingkat ancaman tsunami di Kab. Lumajang dipengaruhi oleh beberapa faktor, yang pertama adalah elevasi. Elevasi di Kab. Lumajang bervariasi. Hal ini disebabkan oleh wilayah Kab. Lumajang yang secara geografis di kelilingi oleh 3 gunung, yaitu Gunung Api Tengger, Gunung Api Semeru dan Gunung Api Argopuro. Selain itu di wilayah barat relatif dekat dengan Gunung Api Semeru dan juga terdapat pantai bertebing yang bagian dari morfologi bukit yang ada di kecamatan Tempursari dan Pasirian. Kondisi ini menyebabkan wilayah bagian barat memiliki ketahanan akan tsunami sehingga relatif lebih aman. Elevasi yang cukup signifikan dapat mengurangi potensi dan ancaman dari jangkauan tsunami yang menjalar ke daratan (Sengaji dan Nababan, 2009). Adanya kawasan bukit ini juga

menyebabkan kelerengan di bagian barat relatif lebih landai dibandingkan bagian timur yang datar. Elevasi dan kelerengan ini juga mempengaruhi dampak dari jangkauan tsunami yang berada di bagian barat relatif lebih kecil dibandingkan bagian timur.

Selain komponen yang didominasi oleh ketiga faktor tersebut, terdapat faktor dari jarak dari garis pantai. Secara umum seluruh wilayah di pesisir di Kab. Lumajang memiliki ancaman yang tinggi jika berdasarkan jarak dari garis pantai. Wilayah yang berdekatan secara langsung dengan pantai memiliki pengaruh yang lebih besar karena berhadapan langsung dengan energi tsunami yang besar (Mardiyanto *et al.*, 2013). Namun energi yang besar dari tsunami mampu terdegradasi oleh adanya pulau penghalang dan juga tutupan lahan yang berada di pantai. Adanya Pulau Nusa Barong yang menjadi pulau penghalang menyebabkan terjadinya pemantulan gelombang tsunami kembali ke arah laut (Khasanah *et al.*, 2014). Wilayah yang terlindungi oleh adanya pulau ini yaitu kecamatan Yosowilangun, Kunir, dan Tempeh.

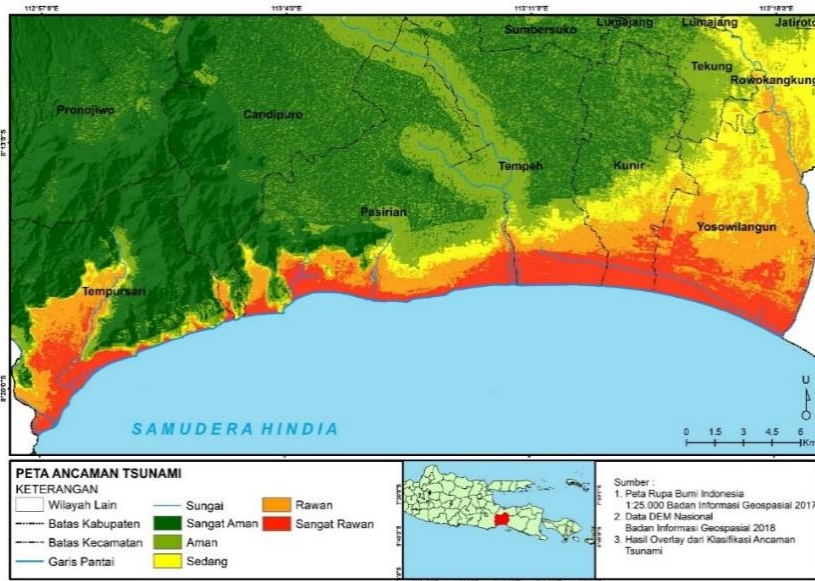
Tutupan lahan di Kab. Lumajang dibagi dan disederhanakan menjadi lima kelas yang mengacu pada peta RBI dan Klasifikasi Penutup Lahan dari BSN (Badan Standarisasi Nasional). Hasilnya diketahui tutupan lahan di Kab. Lumajang didominasi oleh lahan pertanian seluas 65,6 % dari total luas wilayahnya. Lahan pertanian mencakup sawah dan kebun. Abdillah *et al.* (2020) menyatakan bahwa lahan pertanian merupakan



Gambar 10. Peta tutupan Lahan Kab. Lumajang

**Tabel 8.** Nilai Kelas Ancaman Tsunami Kab. Lumajang, Jawa Timur

No.	Nilai	Kelas
1	1 – 1,5	Sangat Aman
2	1,6 – 2	Aman
3	2,1 – 2,5	Sedang
4	2,6 – 3,5	Rawan
5	3,6 - 5	Sangat Rawan



**Gambar 11.** Peta ancaman Tsunami kab. Lumajang, Jawa Timur

tutupan lahan yang memiliki daya redam rendah dibandingkan dengan hutan dan permukiman. Berdasarkan hasil pemetaan tutupan lahan, kawasan pesisir bagian barat masih terdapat hutan yang mencakup vegetasi di kawasan pantai dibandingkan dengan bagian timur.

Kawasan hutan di Kab. Lumajang seluas 26,2 % yang mencakup hutan dan tutupan vegetasi, termasuk yang berada di kawasan pesisir. Berdasarkan pengamatan lapangan dan pengamatan spasial, wilayah pantai Kab. Lumajang jarang memiliki kawasan vegetasi terutama mangrove. Berdasarkan Rencana Strategis Dinas Lingkungan Hidup Kabupaten Lumajang 2018 – 2023 luas kawasan mangrove di pesisir Lumajang pada 2016 333 Ha yang terdegradasi menjadi 0,89 Ha pada 2017. Hal ini disebabkan oleh pembangunan lahan yang berada di pesisir menjadi lahan terbangun. Selain itu terdapat faktor alam seperti kenaikan muka laut sehingga menyebabkan kawasan mangrove

terdegradasi oleh sapuan ombak. Substrat pantai yang berpasir juga berpengaruh dalam perkembangan dari mangrove namun terdapat mangrove yang mampu bertahan dalam kondisi ekstrim seperti *Rhizophora* (Lewerissa *et al.*, 2018). Perkembangan mangrove di kawasan pantai menjadi penting karena dengan mangrove selebar 200 m dengan kerapatan 30 pohon/100 m<sup>2</sup> dan diameter pohon 15 cm, mampu meredam energi tsunami sebesar 50 % (Riyandari, 2017).

Berdasarkan Edyanto (2011), selain adanya kawasan mangrove sebagai penahan alami gelombang perlu diperhatikan pula aspek penempatan kawasan terbangun. Kawasan terbangun seperti permukiman penduduk, jalan, dan infrastruktur lainnya harus memiliki jarak dari pantai dan terlindungi oleh tanggul pelindung dan sejajar dengan garis pantai. Jika dilihat secara spasial, kawasan permukiman di pesisir Kab. Lumajang didominasi oleh kawasan yang tegak

lurus pantai. Hal ini mengakibatkan penjaralan gelombang tsunami dapat lebih jauh.

Kabupaten Lumajang memiliki beberapa sungai yang panjangnya melebihi 10 km, yaitu Sungai Besuk Tengah, Sungai Bondoyudo, Sungai Ngrawan, dan Sungai Wotgalih. Beberapa wilayah pesisir di Kabupaten Lumajang memiliki ancaman yang tinggi berdasarkan keberadaan sungai. Kecamatan Tempursari di lewati Sungai Ngrawan dengan panjang 23,2 km. Kecamatan Pasiran dilewati sungai kecil berupa sungai Dampar, Pancing, dan Rejati dan dilewati juga oleh sungai Besuk Tengah dengan panjang 36,8 km. Kecamatan Tempeh dilewati juga oleh Sungai Besuk Tengah dan sungai Wotgalih. Keberadaan sungai akan mempengaruhi ancaman terhadap tsunami karena gelombang yang masuk melalui sungai akan menjaral lebih jauh ke daratan dan merusak objek yang berada di sekitarnya (Mardiyanto *et al.*, 2013).

Komponen permeabilitas lahan berpengaruh pada tanah menyerap air yang ada di atasnya (Jamulya dan Suratman, 1993). Komponen ini memiliki bobot paling kecil karena tsunami terjadi secara cepat dan tiba – tiba sedangkan proses penyerapan air oleh pori – pori tanah terjadi dalam waktu yang relatif cukup lama. Kabupaten Lumajang merupakan wilayah yang lapisannya didominasi oleh batuan vulkanik. Lapisan ini terbentuk oleh aktivitas gunung api yang ada di Lumajang yaitu Gunung Api Tengger, Gunung Api Semeru, dan Gunung Api Argopuro. Penyusun dari batuan vulkanik ini berupa andesit, breksi dan tuf. Berdasarkan Putranto *et al.* (2017), susunan batuan ini merupakan susunan yang memiliki fragmen kerikil dan memiliki permeabilitas sedang – tinggi. Hal ini menyebabkan *run up* tsunami yang masuk ke wilayah daratan akan masuk ke dalam pori – pori tanah dengan cukup baik. Wilayah pesisir Kabupaten Lumajang didominasi oleh lapisan Alluvial berupa endapan lepas yang tersusun atas kerikil, lanau, lumpur, dan pasir bertekstur kasar. Lanau merupakan salah satu lapisan yang sulit dalam penyerapan air sehingga permeabilitas wilayah ini termasuk kategori sedang. Hal ini dapat meningkatkan ancaman gelombang tsunami yang melanda Kabupaten Lumajang (Ekhaprathama, 2017).

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dari penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa tsunami dengan skenario 8,9 Mw di Kab. Lumajang

memiliki ketinggian maksimal 49,7 m dengan kecepatan dapat mencapai 45,5 m/s. Jarak inundasi mencapai 14,8 km dengan tinggi genangan maksimal 75 m. Waktu tiba tsunami berkisar antara 32–38 menit. Tingkat ancaman tsunami di pesisir Kabupaten Lumajang berdasarkan kelas ancaman sebesar 47,9 % sangat aman; 23,6 % aman; 6,8 % sedang; 12,4 % rawan; 9,3 % sangat rawan. Kecamatan Yosowilangun merupakan daerah yang paling terdampak yaitu seluas 69,42 km<sup>2</sup> atau 99,1 % dari total luas wilayahnya. Wilayah pesisir yang lain memiliki persentase luas wilayah terdampak yang berbeda – beda, Kecamatan Tempursari seluas 30,62 %; Candipuro 1,10 %; Pasiran 29,44 %; Tempeh 25,24 %; dan Kunir 41,37 %.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abdillah, Fahmi, I. & Muhsoni, F. 2020. Pemetaan Risiko Tsunami Berdasarkan Skenario Ketinggian Tsunami di Kecamatan Pasirian Kabupaten Lumajang Provinsi Jawa Timur. *Juvenil*. 1(4):486 – 497.
- Aeda, S. A., Saputro, S. & Subardjo, P. 2017. Simulasi Penjaralan dan Penentuan Run-Up Gelombang Tsunami di Teluk Pangandaran, Jawa Barat. *Jurnal Oseanografi*. 6(1):254–262.
- BMKG. 2019. Katalog Tsunami Indonesia Tahun 416-2018. Jakarta: BMKG.
- BNPB. 2020. Indeks Risiko Bencana Indonesia. Jakarta: BNPB.
- BPS. 2021. Kabupaten Lumajang dalam Angka. Lumajang: BPS. 320 hlm.
- Bretschneider, C.L. & Wybro, P.G. 1976. Tsunami Inundation Prediction. *Coastal Engineering*. 60(1):1006–1024.
- Edyanto, C.H. 2011. Analisa Kebijakan Penataan Ruang untuk Kawasan Rawan Tsunami di Wilayah Pesisir. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 12(3):309–318.
- Ekhaprathama, S.A., 2017. Analisis Potensi Sumber Air Berbasis Sistem Informasi Geografis (Studi Kasus : Wilayah Perbatasan Kabupaten Lumajang dan Kabupaten Probolinggo). *Thesis*. ITS.
- Hanggara, I., Limantara, L.M. & Sisinggih, D. 2015. Analisa Peramalan Debit Sungai Menggunakan Metode Arima (Auto Regressive Integrated Moving Average) di Sungai Brantas Hulu. *Jurnal Teknik Pengairan*. 6(2):197–205.

- Helmi, M., Pholandani, Y.H., Setiyono, H., Wirasatriya, A., Atmodjo, W., Widyaratih, R., & Suryoputro, A.D. 2020. Intergrated Approach of Tsunami Vulnerability Assessment At Coastal Area Of Kalianda Sub District, South Lampung District, Lampung Province, Indonesia. *International Journal of Scientific & Technology Research*. 9(3):1803–1808.
- Isnin, S.N. 2016. Analisis Tingkat Bahaya Tsunami di Desa Ulee Lheue Kecmatan Meuraxa Kota Banda Aceh. *Lentera*. 16(19):8–16.
- Kementrian ESDM 2017. Peta Litologi Akuifer Kab. Lumajang. ESDM One Map. Diakses pada: 1 Oktober 2021.
- Khasanah, L.U., Suwarsito, S. & Sarjanti, E., 2014. Tingkat Kerawanan Bencana Tsunami Kawasan Pantai Selatan Kabupaten Cilacap. *Geoedukasi*. 3(2):77-82.
- Lewerissa, Y.A., Sangaji, M. & Latumahina, M.B. 2018. Pengelolaan Mangrove Berdasarkan Tipe Substrat di Perairan Negeri Ihamahu Pulau Saparua. *Jurnal Triton*. 14(1):1 – 9.
- Lowrie, W. & Fichtner, A. 2007. Fundamentals of Geophysics. Cambridge: Cambridge University Press.
- Maramai, A., & Tinti, S. 1997. The 3 June 1994 Java Tsunami: A Post-Event Survey of the Coastal Effects. *Natural Hazards*. 15(1):31–49.
- Mardiatno, D. 2006. Risiko Tsunami di Pantai Selatan Jawa: Belajar dari Kejadian Tsunami di Banyuwangi pada Tahun 1994 dan di Pangandaran pada Tahun 2006. *Jurnal Kebencanaan Indonesia*. 1(1):23-27
- Mardiyanto, B., Rochaddi. B. & Helmi, M. 2013. Kajian Kerentanan Tsunami Menggunakan Metode Sistem Informasi Geografi di Kabupaten Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta. *Journal of Marine Research*. 2 (1):103-111.
- Maricar, M.A. 2019. Analisa Perbandingan Nilai Akurasi Moving Average dan Exponential Smoothing untuk Sistem Peramalan Pendapatan pada Perusahaan XYZ. *Jurnal Sistem dan Informatika*. 13(2):36–45.
- Moriasi, D.N., Arnold, J.G., Van Liew, M.W., Bingne, R.L., Harmel, R.D. & Veith, T.L. 2007. Model Evaluation Guidelines for Systematic Quantification of Accuracy in Watershed Simulations. *American Society of Agricultural and Biological Engineers*. 50(3): 885–900.
- Pramana, B.S. 2015. Pemetaan Kerawanan Tsunami di Kecamatan Pelabuhan Ratu Kabupaten Sukabumi. *Sosio Didaktika*. 2(1): 76–91.
- Pusat Studi Gempa Nasional. 2017. Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia Tahun 2017. Bandung: Kementerian PUPR. 400 hlm.
- Putranto, T.T., Hidajat, W.K. & Wardhani, A.K. 2017. Aplikasi Geospasial Analisis untuk Penentuan Zona Imbuhan Air Tanah di CAT Wonosobo, Provinsi Jawa Tengah. *Tata Loka*, 19(3):175-191
- Riyandari, R. 2017. Peran Mangrove dalam Melindungi Daerah Pesisir terhadap Gelombang Tsunami. *Jurnal Sains dan Teknologi Mitigasi Bencana*. 12(1):74–80.
- Rusli, I. & Rudyanto, A. 2010. Pemodelan Tsunami Sebagai Bahan Mitigasi Bencana Studi Kasus Sumenep Dan Kepulauannya. *Jurnal Neutrino*. 2(2):164–182.
- Sengaji, E. & Nababan, B. 2009. Pemetaan Tingkat Resiko Tsunami di Kabupaten Sikka, Nusa Tenggara Timur. *E-Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*. 1(1):48–61.
- Simandjuntak, T.O. 1994. Tsunami dan Gempa Bumi dalam Pinggiran Lempeng Aktif di Indonesia dan Aspek – Aspeknya. Bandung: Dewan Riset Nasional. 21 hlm.
- Suardana, A.M.A.P., Sugianto, D.N. & Helmi, M. 2019. Study of Characteristics and the Coverage of Tsunami Wave Using 2D Numerical Modeling in the South Coast of Bali, Indonesia. *International Journal of Oceans and Oceanography*. 13(1):237-250.
- Sugito, N.T. 2008. Tsunami. Jurusan Pendidikan Geografi. UPI. 49 hlm.
- Sugiyono. 2013. Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D. Bandung: Alfabeta. 346 hlm.
- Suwarsono., S. & Harlianto, B. 2015. Penguatan Ketinggian Gelombang Tsunami Akibat Jebakan Struktur Geometri Morfologi Teluk Sungai Serut Desa Rawa Makmur Kota Bengkulu. *Prosiding Semirata 2015 bidang MIPA BKS-PTN Barat Universitas Tanjungpura Pontianak*. 284 – 291.
- Tejakusuma, I.G. 2008. Analisis Pasca Bencana Tsunami Ciamis – Cilacap. *Jurnal Sains dan Teknologi Indonesia*. 10(2):78–83.
- Triatmodjo, B. 1999. Teknik Pantai. Yogyakarta: Beta Offset.
- Umbara, R.P. 2016. Metode Analytic Hierarchy Process dalam Menentukan Pembobotan

- Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Kerentanan Gedung di DKI Jakarta terhadap Ancaman Gempa. *Jurnal Sains dan Teknologi Mitigasi Bencan*, 11(2):19 – 27.
- USGS. 2020. USGS Search Earthquake Catalog. <https://earthquake.usgs.gov/>. Diakses: 14 Desember 2020.
- USGS. 2021. USGS Search Earthquake Catalog. <https://earthquake.usgs.gov/>. Diakses: 20 September 2021.
- Van Zuidam, 1985. Aerial Photo Interpretation in Terrain Analysis and Geomorphologia Mapping. USA:Smith Publishers.
- Wells, D.L. & Coppersmith, K.J. 1994. New Empirical Relationships Among Magnitude, Rupture Length, Rupture Width, Rupture Area, and Surface Displacement. *Bulletin of Seismological Society of America*. 31(2):68–78.