

Analisis Tingkat Kerawanan dan Upaya Mitigasi Bencana Tsunami Studi Kasus: Pesisir Kabupaten Tasikmalaya

Rizqi Fahma Sidik¹, Yuli Suharnoto^{1*} dan Sutoyo¹

¹Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknologi Pertanian, IPB University, Bogor, 16680, Indonesia

*penulis koresponden: suharnoto@apps.ipb.ac.id

Abstrak: Kondisi geografis dan geologis, menjadikan Indonesia rawan terhadap bencana geologis seperti gempa bumi dan tsunami. Secara historis, tercatat sejak tahun 1900 hingga tahun 2018, terdapat 134 kejadian tsunami yang melanda wilayah pesisir Indonesia. Salah satu wilayah pesisir yang memiliki potensi terjadinya tsunami adalah wilayah pesisir Kabupaten Tasikmalaya. Berdasarkan hal tersebut, diperlukan adanya analisis tingkat kerawanan dan upaya mitigasi tsunami di Kabupaten Tasikmalaya. Penelitian ini bertujuan untuk memperkirakan luas wilayah yang terdampak tsunami dengan skenario tinggi gelombang 10 m, 15 m, dan 20 m. Selain itu, penelitian ini juga bertujuan untuk menganalisis tingkat kerawanan tsunami, memperkirakan jumlah penduduk yang terdampak, memetakan *shelter*, tempat evakuasi, dan jalur evakuasi tsunami, serta merencanakan upaya mitigasi struktural. Metode yang digunakan, yaitu dengan *tool model builder*, *weighted overlay*, InaSAFE, dan *Network Analyst*. Hasil pemodelan menunjukkan tsunami setinggi 10, 15, dan 20-meter dapat menggenangi wilayah seluas 12,25 km², 18,47 km², dan 24,69 km². Wilayah Pesisir Kabupaten Tasikmalaya didominasi oleh tingkat kerawanan rendah sebesar 54,62%, kemudian tingkat kerawanan sangat rendah sebesar 26,25%, tingkat kerawanan sedang sebesar 12,61%, tingkat kerawanan tinggi sebesar 5,30%, dan tingkat kerawanan sangat tinggi sebesar 1,22%. Jumlah penduduk terdampak tsunami setinggi 10, 15, dan 20-meter adalah sebanyak 8.280, 12.320, dan 17.770 orang. Terdapat 59 jalur evakuasi, dimana jalur yang termasuk kategori sedang sebanyak 27 jalur, kategori dekat 14 jalur, kategori sangat dekat dan jauh masing-masing sebanyak 9 jalur. Upaya mitigasi lain direkomendasikan secara struktural dengan membuat *green belt* dan *sea wall* yang efektif mereduksi tsunami dengan tinggi di bawah 15 meter.

Diterima: 16 Juli 2024
Diperbaiki: 11 September 2024
Disetujui: 10 Oktober 2024

Kata kunci: tsunami, tingkat kerawanan, inundasi, mitigasi, pesisir, Tasikmalaya

1. Pendahuluan

Secara geografis, Indonesia berbentuk negara kepulauan yang terletak di garis khatulistiwa dengan wilayahnya yang sebagian besar terdiri dari lautan dan relief yang sangat beragam sehingga meningkatkan peluang terjadinya bencana. Secara geologis, Indonesia terletak di zona pertemuan tiga lempeng besar, yaitu lempeng Eurasia, Indo-Australia, dan Pasifik sehingga menjadikan Indonesia rawan terhadap bencana geologis seperti gempa bumi dan tsunami [1]. Selain itu, tatanan geologi tersebut juga menyebabkan Indonesia mempunyai beberapa gunung api bawah laut yang dapat menimbulkan gempa vulkanik dan potensi terjadinya tsunami bila gempa terjadi di dasar perairan Indonesia [2].

Kejadian gempa dan tsunami di Indonesia sering kali terjadi dan mengakibatkan kerugian fisik, harta, serta korban jiwa. Tercatat sejak tahun 1900 hingga tahun 2018, terdapat 134 kejadian tsunami yang melanda wilayah pesisir Indonesia. Salah satu kejadian tsunami dengan dampak paling besar, yaitu tsunami Aceh yang menelan korban jiwa hingga 227.898 jiwa [3]. Berdasarkan tingkat kejadian tsunami tersebut, upaya mitigasi dan pengurangan risiko bencana menjadi semakin penting untuk meminimalkan kerusakan dan kerugian akibat bencana tsunami di Daerah Pesisir Indonesia [3]. Wilayah pesisir sendiri sudah diatur dalam UU No. 1 Tahun 2014 tentang Pengelolaan Wilayah Pesisir dan Pulau-Pulau Kecil, yang mencakup wilayah pesisir ke arah darat mencakup wilayah administrasi kecamatan hingga laut sejauh 12 mil menurut batas yurisdiksi suatu negara [4].

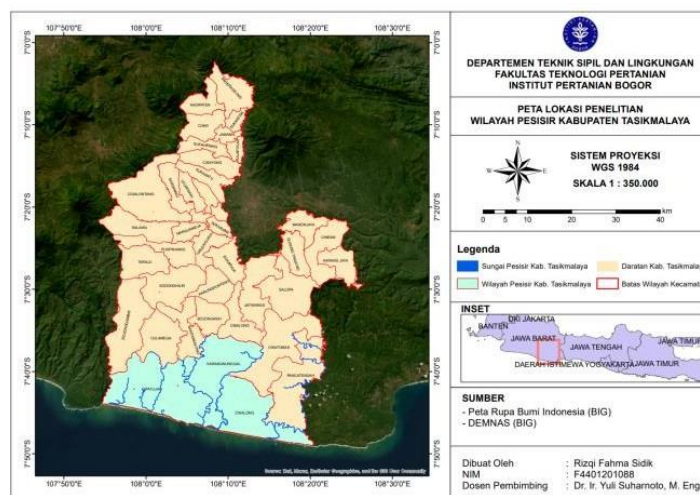
Salah satu wilayah pesisir yang memiliki potensi terjadinya tsunami adalah wilayah pesisir Kabupaten Tasikmalaya. Letak wilayah Kabupaten Tasikmalaya di Pesisir Selatan Jawa yang langsung berhadapan dengan pertemuan antara lempeng Indo-Australia dan Eurasia sehingga rentan terhadap gempa bumi dan tsunami [5]. Secara historis, Kabupaten Tasikmalaya beberapa kali dilanda gempa dan tsunami, termasuk gempa di Selatan Jawa pada tanggal 17 Juli 2006 dengan magnitudo 6,8 SR yang menyebabkan terjadinya tsunami dan menelan korban jiwa sebanyak 664 jiwa. Selain itu, gempa lainnya di Tasikmalaya pada 2 September 2009 dengan magnitudo 7,3 SR pada kedalaman 30 km di bawah permukaan laut yang berpotensi tsunami [6].

Berdasarkan hal tersebut, perlu adanya analisis tingkat kerawanan tsunami di Kabupaten Tasikmalaya dan upaya mitigasi, seperti perencanaan *shelter* dan jalur evakuasi tsunami. Selain itu, rencana mitigasi bencana tsunami struktural di daerah rawan tsunami juga perlu dilakukan untuk meminimalisir kerugian jika bencana tsunami terjadi di masa mendatang. Adapun tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengidentifikasi luas wilayah yang terdampak tsunami dengan skenario tinggi gelombang 10, 15, dan 20-meter, analisis tingkat kerawanan tsunami, prediksi jumlah penduduk yang terdampak di Pesisir Kabupaten Tasikmalaya, memetakan *shelter* dan jalur evakuasi tsunami, serta merencanakan upaya mitigasi struktural di daerah rawan tsunami di Kabupaten Tasikmalaya.

2. Metode

2.1. Waktu dan Tempat

Penelitian “Analisis Tingkat Kerawanan serta Pemetaan Shelter dan Jalur Evakuasi Tsunami Studi Kasus: Kabupaten Tasikmalaya” dilakukan pada bulan Maret – Juni 2024. Lokasi penelitian terletak di $107^{\circ}56'-108^{\circ}8'$ BT dan $7^{\circ}10'-7^{\circ}49'$ LS yang mencakup daerah Pesisir Kabupaten Tasikmalaya, Jawa Barat yang terdiri dari Kecamatan Cipatujah, Karangnunggal, dan Cikalong. Peta lokasi penelitian dapat dilihat pada **Gambar 1**.



Gambar 1. Peta lokasi penelitian di Kabupaten Tasikmalaya

2.2. Alat dan Bahan

Alat yang digunakan pada penelitian ini berupa perangkat laptop yang dilengkapi *software* untuk melakukan pengolahan data spasial, yaitu ArcGIS 10.4.1, Google Earth Pro, dan QGIS. Sedangkan, data yang digunakan dalam penelitian ini diantaranya peta Rupa Bumi Indonesia (RBI) dan *Digital Elevation Model* (DEM) dari Badan Informasi Geospasial (BIG), serta data penduduk Kabupaten Tasikmalaya dari BPS.

2.3. Prosedur Penelitian

2.3.1. Pemodelan Inundasi Tsunami

Pemodelan inundasi digunakan untuk menghitung jarak terjauh air tsunami yang sampai ke daratan. Melalui pemodelan ini, luas area genangan atau luas wilayah terdampak tsunami dapat diidentifikasi. Pemodelan ini didasarkan pada penurunan ketinggian tsunami per 1 meter jarak inundasi ketika mencapai daratan yang diakibatkan lereng dan kekasaran permukaan. Pemodelan inundasi dilakukan dengan asumsi tinggi gelombang 10, 15, dan 20-meter. Persamaan yang digunakan dalam pemodelan ini dapat dilihat pada persamaan (1) [7].

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

dengan,

H_{loss} : Kehilangan ketinggian gelombang tsunami per 1 m jarak inundasi

n : Koefisien kekasaran permukaan dari jenis tutupan lahan

H_o : Ketinggian awal gelombang tsunami saat di garis Pantai (m)

S : Kelerengan permukaan (°)

Kemiringan lereng dihasilkan dari pengolahan data spasial raster DEM menggunakan salah satu fitur *spatial analysis* ArcGIS, yaitu *slope*. Nilai koefisien kekasaran permukaan lahan berbeda untuk tiap jenis tutupan lahan. Nilai koefisien tersebut dapat dilihat pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Nilai koefisien kekasaran berdasarkan jenis tutupan lahan [7]

Jenis Tutupan Lahan	Nilai Koefisien Kekasaran
Badan Air	0,070
Semak Belukar	0,040
Hutan	0,070
Kebun/Perkebunan	0,035
Lahan Kosong/Terbuka	0,015
Lahan Pertanian	0,025
Permukiman/Lahan Terbangun	0,045
Mangrove	0,025
Tambak/Empang	0,010

2.3.2. Analisis Tingkat Kerawanan Tsunami

Analisis tingkat kerawanan tsunami dilakukan dengan metode *weighted overlay* menggunakan salah satu fitur dalam aplikasi ArcGIS. Analisis tersebut dilakukan dengan cara perhitungan skor (*scoring*) terhadap parameter-parameter kerawanan tsunami yang memiliki bobot dan klasifikasi kelas kerawanan masing-masing. Pembobotan dari masing-masing parameter dapat dilihat pada **Tabel 2**.

Tabel 2 Bobot dan klasifikasi kelas dari parameter analisis tingkat kerawanan [8] [9] [10]

Jenis Tutupan Lahan (Satuan)	Sangat Tinggi (Skor = 5)	Tinggi (Skor = 4)	Sedang (Skor = 3)	Rendah (Skor = 2)	Sangat Rendah (Skor = 1)	Bobot (%)
Elevasi Daratan (m)	< 5	5 – 10	10 – 20	20 – 30	> 30	25
Kelerengan (%)	< 2	2 – 6	6 – 13	13 – 20	> 20	20
Jarak dari Garis Pantai (m)	0,070	< 500	500 – 1000	1000 – 1500	> 1500	20
Jarak dari Garis Sungai (m)	< 100	100 – 200	200 – 300	300 – 500	> 500	20
Tutupan Lahan	Permukiman, Sungai	Lahan Pertanian	Lahan Kosong	Semak Belukar, Kebun	Hutan, Bebatuan	15

Nilai dari masing-masing parameter didapatkan dari pengolahan data sekunder, yaitu DEM dan peta RBI yang bersumber dari Badan Informasi Geospasial (BIG). Pengolahan data sekunder tersebut dilakukan menggunakan fitur-fitur analisis spasial dalam aplikasi ArcGIS, diantaranya *reclassify*, *slope*, *buffer*, *clip*, dan lain-lain. Pengklasifikasian kelas dilakukan dengan fitur *reclassify* dan mengatur *value* dari *features* yang ada pada *data layer* untuk masing-masing kelas dan parameter.

2.3.3. Analisis Jumlah Penduduk Terdampak

Data yang digunakan dalam analisis ini diantaranya data raster kepadatan populasi dari WorldPop, peta wilayah Kabupaten Tasikmalaya, dan peta inundasi tsunami dengan skenario tinggi gelombang 10, 15, dan 20 meter. Hasil dari analisis ini berupa jumlah penduduk yang terdampak tsunami dengan skenario inundasi 10, 15, dan 20 meter.

2.3.4. Pemetaan Bangunan Shelter dan Jalur Evakuasi Tsunami

Bangunan *shelter* diutamakan berada di lokasi yang mudah terjangkau oleh daerah yang memiliki tingkat kerawanan tsunami sedang hingga sangat tinggi. Lokasi *shelter* ditentukan berdasarkan analisis jangkauan menggunakan fitur *multiple ring buffer* pada aplikasi ArcMap. Keterjangkauan lokasi *shelter* ditentukan berdasarkan jarak dan waktu tempuh menuju lokasi *shelter* yang dapat dihitung dengan mengacu pada kecepatan rata-rata terendah manusia, yaitu 0.751 m/detik (The Japan Institute for Fire Safety and Disaster Preparedness.1987). Berdasarkan hal tersebut jangkauan *shelter* diklasifikasikan menjadi sangat dekat (jarak < 225 m), dekat (jarak 225 - 450 m), sedang (jarak 450 - 900 m), jauh (900 - 1350 m), dan sangat jauh (jarak >1350 m) [11].

Selanjutnya dilakukan perhitungan kapasitas bangunan yang akan dijadikan *shelter* tsunami. Perhitungan dilakukan dengan memperkirakan luas atap bangunan menggunakan aplikasi Google Earth Pro. Analisis lokasi *shelter* dilakukan hingga penduduk di daerah rawan bencana tsunami dapat ditampung kapasitas *shelter* yang tersedia (kepadatan ruangan 0,5 orang/m²) [12]. Setelah jumlah penduduk dapat tertampung, dilakukan penentuan jalur evakuasi menuju *shelter* tsunami dengan menggunakan fitur *tools network analyst* pada aplikasi ArcMap. Jalur evakuasi ditentukan dengan mempertimbangkan jarak dan waktu tempuh terpendek menuju *shelter* tsunami. Selain itu, pembuatan jalur evakuasi juga memperhatikan titik genangan dimana pada wilayah yang terdapat genangan maka tidak dapat dijadikan sebagai jalur evakuasi karena akan mempersulit proses evakuasi [13].

2.3.5. Perencanaan Mitigasi Struktural Tsunami

Setelah dilakukan analisis tingkat kerawanan tsunami, perlu dilakukan upaya mitigasi bencana tsunami di daerah yang tergolong rawan tsunami. Salah satu upaya mitigasi struktural yang dapat dilakukan diantaranya dengan pembuatan *green belt* atau area hijau pantai. Hutan pantai dapat mereduksi tsunami jika tinggi gelombang dihitung dari permukaan tanah tidak melebihi 4 m dan jika lebih dari 4 m, pohon akan mulai rusak. Oleh karena itu, hutan pantai lebih efektif berada di daerah yang elevasinya tidak terlalu rendah, kemiringan pantai tidak terlalu landai, dan berjarak 100 m dari garis pantai [14].

Pembuatan *sea wall* yang sejajar dengan garis pantai juga dapat dilakukan untuk melindungi pantai dari gelombang tsunami dan mengurangi limpasan akibat gelombang tsunami. Tembok laut dibangun di daerah rawan tsunami yang wilayah pemukiman atau fasilitas umumnya tergolong sangat dekat dari garis pantai (kurang dari 150 m), elevasi daratan rendah, dan kemiringan sempadan pantai yang landai [15]. Selain itu, upaya mitigasi struktural dengan cara relokasi penduduk juga dapat dilakukan apabila sudah tidak memungkinkan upaya mitigasi lainnya [16].

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Hasil Pengolahan Data

3.1.1. Peta Elevasi

Peta elevasi dibuat dengan menggunakan data DEM yang bersumber dari Badan Informasi Geospasial (BIG) dan diklasifikasikan berdasarkan kelas parameter pada Tabel 2. Berdasarkan hasil pengolahan data elevasi, pesisir Kabupaten Tasikmalaya sebagian besar berada pada kelas kerentanan sangat rendah (30 – 511 m), yaitu sebesar 83,33 % dari luas wilayah pesisir. Lalu, kelas kerentanan sedang (10 – 20 m) sebesar 6,31 %, kerentanan rendah (20 – 30 m) sebesar 5,06 %, kerentanan tinggi (5 - 10 m) 2,70 %, dan kerentanan sangat tinggi (0 – 5 m) sebesar 2,58 %.

3.1.2. Peta Kemiringan Lahan

Peta kemiringan merupakan hasil pengolahan data menunjukkan bahwa sebagian besar pesisir Kabupaten Tasikmalaya berada pada kelas kerentanan sangat rendah (> 20%), yaitu sebesar 42,05% dari luas wilayah pesisir. Sementara itu, kategori kerentanan sedang (6 – 13%) sebesar 24,37%, kerentanan rendah (2 - 6%) sebesar 23,66%, kerentanan tinggi (13 – 20%) sebesar 8,06%, dan kerentanan sangat tinggi (< 2%) sebesar 1,86%.

3.1.3. Peta Jarak dari Garis Pantai dan Garis Sungai

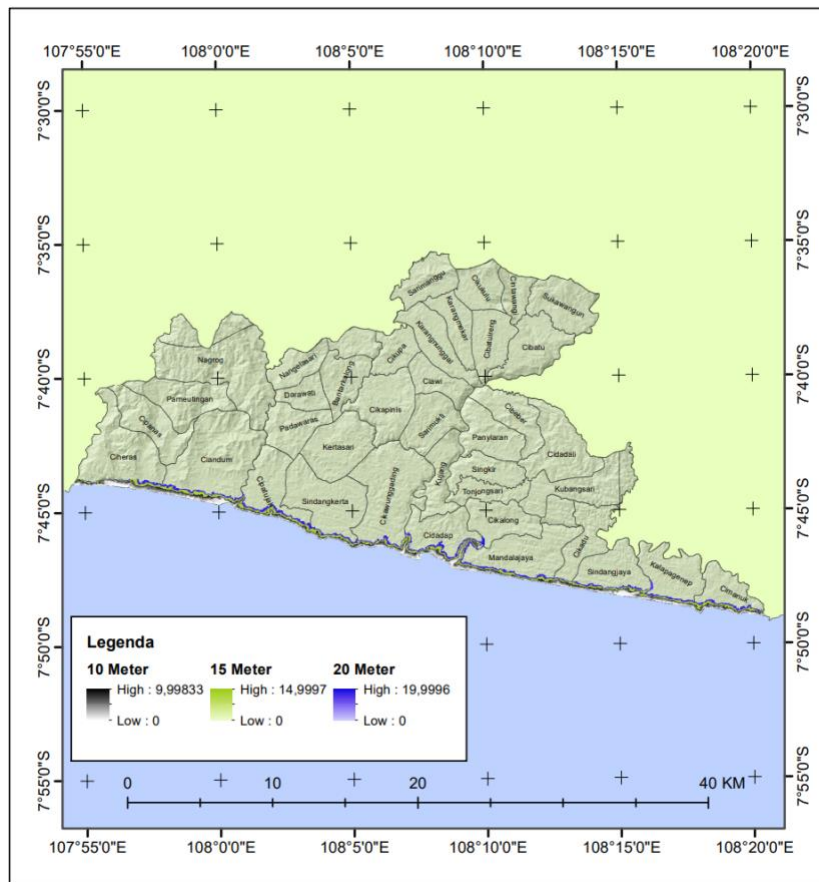
Peta jarak dari garis pantai dibuat menggunakan *tool multiple ring buffer* pada aplikasi ArcGIS. Berdasarkan hasil pengolahan data garis pantai, wilayah Pesisir Kabupaten Tasikmalaya sebagian besar berada pada kelas kerawanan sangat rendah (> 3000 m), yaitu sebesar 74,03%. Kemudian, kelas kerawanan rendah (1500 – 3000 m) sebesar 12,56%, kerawanan sangat tinggi (0 – 500 m) sebesar 4,60 %, kerawanan tinggi (500 – 1000 m) sebesar 4,46%, dan kerawanan sedang (1000 – 1500 m) sebesar 4,35 %. Berdasarkan hasil pengolahan data garis sungai, wilayah Pesisir Kabupaten Tasikmalaya sebagian besar berada pada kelas kerawanan sangat rendah (> 500 m), yaitu sebesar 77,26%. Sedangkan, kelas kerawanan rendah (300 – 500 m) sebesar 7,81%, kelas kerawanan sangat tinggi (0 – 100 m) sebesar 6,17%, kelas kerawanan tinggi (100 – 200 m) sebesar 4,52, dan kelas kerawanan sedang (200 – 300 m) sebesar 4,23%.

3.1.4. Peta Jenis Tutupan Lahan

Berdasarkan hasil pengolahan data jenis tutupan lahan, pesisir Kabupaten Tasikmalaya sebagian besar didominasi oleh kebun, yaitu sebesar 40,15% dari luas wilayah pesisir. Selanjutnya, wilayah pesisir didominasi oleh lahan pertanian sebesar 26,78%, hutan sebesar 14,21%, semak belukar sebesar 12,69 %, permukiman sebesar 4,32%, badan air sebesar 1,42%, dan lahan kosong sebesar 0,42%.

3.2. Pemodelan Inundasi Tsunami

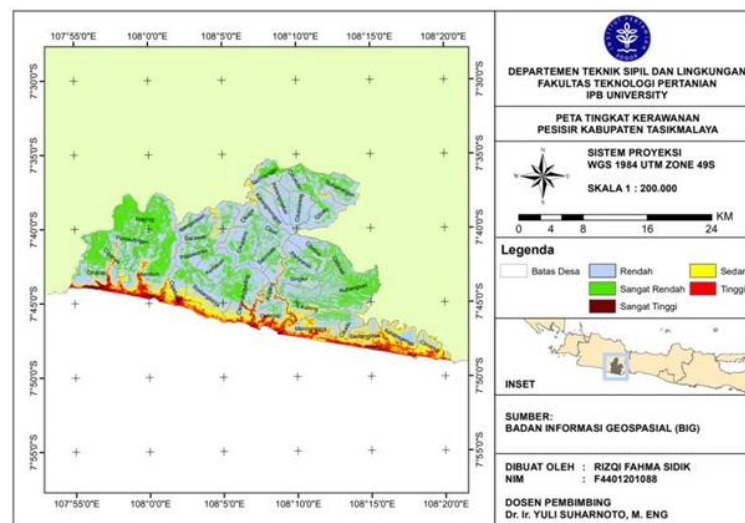
Pemodelan inundasi tsunami dilakukan dengan menggunakan data hasil pengolahan dan dirancang menggunakan *model builder tool* pada aplikasi ArcGIS berdasarkan persamaan (1). Setelah pemodelan inundasi tsunami dilakukan, dapat ditentukan luasan wilayah yang terkena gelombang tsunami dengan skenario gelombang 10 m, 15 m, dan 20 m. Tsunami dengan tinggi gelombang 10 m dapat menggenangi kawasan Pesisir Kabupaten Tasikmalaya seluas 12,25 km², ketinggian gelombang 15 m seluas 18,47 km², dan ketinggian gelombang 20 m seluas 24,69 km². Kecamatan dengan luas genangan paling besar adalah Desa Ciandum dan Ciheras di Kecamatan Cipatujah, serta Mandalajaya di Kecamatan Cikalong. Hal tersebut karena ketiga desa tersebut berada pada ketinggian yang tergolong sangat rendah dengan kemiringan yang landai. Data hasil pemodelan inundasi tsunami di Pesisir Kabupaten Tasikmalaya dapat dilihat pada **Gambar 2**.



Gambar 2 Peta model inundasi tsunami di Pesisir Kabupaten Tasikmalaya

3.3. Analisis Tingkat Kerawanan

Peta tingkat kerawanan tsunami dibuat dengan memproses parameter-parameter kerawanan tsunami yang telah dibedakan berdasarkan skor kerawannya dengan menggunakan fitur *weighted overlay* yang ada pada aplikasi ArcGIS. Sebagian besar wilayah Pesisir Kabupaten Tasikmalaya memiliki tingkat kerawanan rendah, yaitu sebesar 45,01%. Kemudian, tingkat kerawanan sangat rendah sebesar 41,72%, tingkat kerawanan sedang sebesar 9,09%, tingkat kerawanan tinggi 3,28%, dan tingkat kerawanan sangat tinggi sebesar 0,90%, seperti ditampilkan pada **Gambar 3**.



Gambar 3. Peta kerawanan tsunami di Pesisir Kabupaten Tasikmalaya

3.4. Analisis Jumlah Penduduk Terdampak

Analisis jumlah penduduk terdampak dilakukan dengan menggunakan *tool* inaSAFE pada aplikasi QGIS. Data yang digunakan diantaranya peta jumlah penduduk, peta luas genangan di tiap skenario tsunami, serta peta kerawanan bencana tsunami di Pesisir Kabupaten Tasikmalaya. Hasil analisis tersebut menunjukkan bahwa jumlah penduduk terdampak tsunami dengan tinggi gelombang 10 m, 15 m, dan 20 m, masing-masing sebanyak 8.280 orang, 12.320, dan 17.770 orang. Jumlah penduduk merupakan hasil luasan genangan pada kepadatan penduduk menurut inaSAFE. Hasil analisis menunjukkan desa dengan jumlah penduduk terdampak paling banyak diantaranya adalah Desa Ciandum, Ciheras, dan Cipatujah di Kecamatan Cipatujah, serta Desa Mandalajaya di Kecamatan Cicalong.

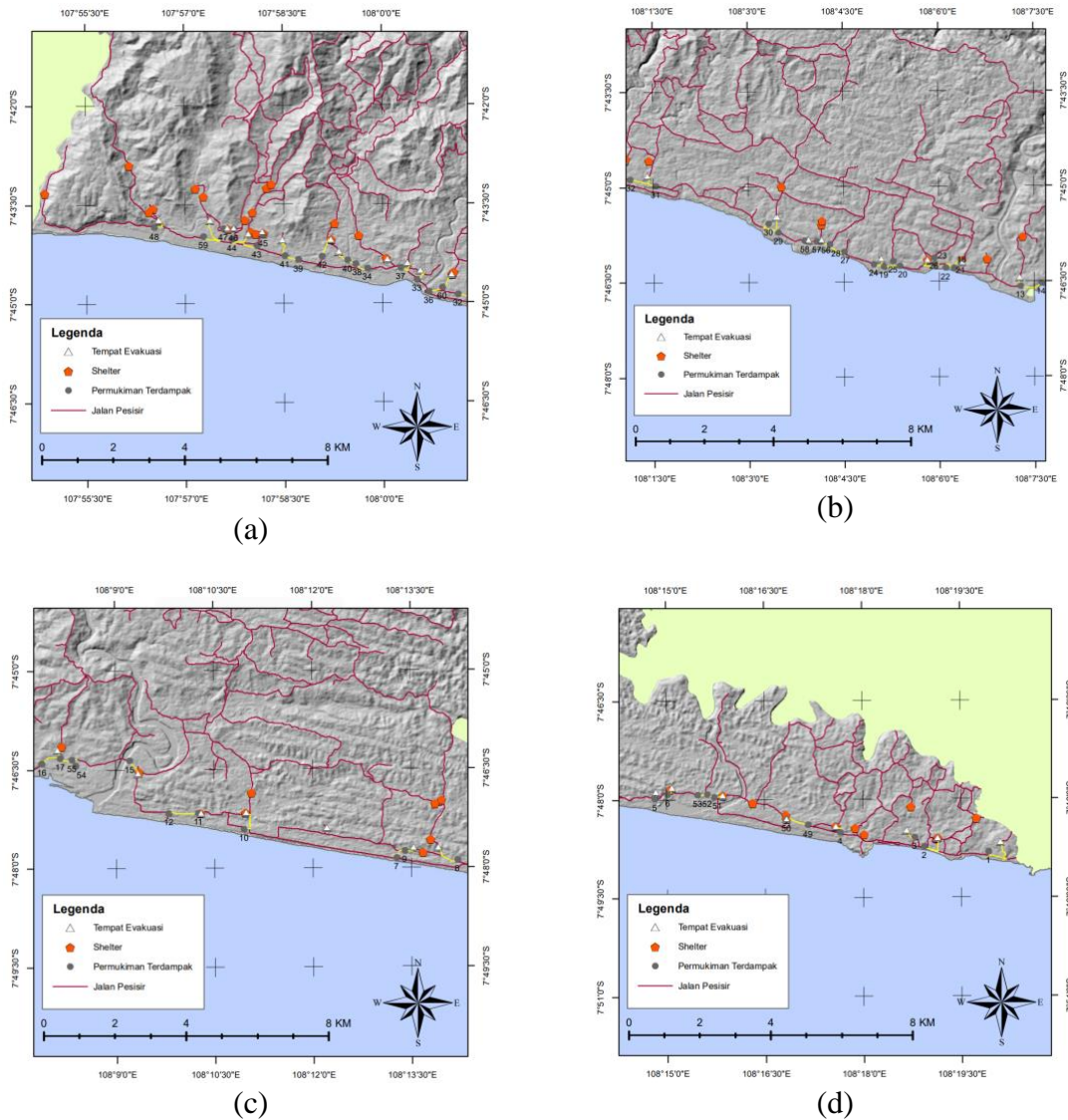
3.5. Analisis Shelter, Tempat Evakuasi, dan Jalur Evakuasi Tsunami

Analisis *shelter* dan tempat evakuasi tsunami dilakukan dengan mempertimbangkan lokasi dan kapasitas yang dibutuhkan untuk menampung penduduk yang terdampak tsunami. Lokasi *shelter* dan tempat evakuasi bencana tsunami harus berada di lokasi yang tidak terkena dampak tsunami setinggi 20 meter dengan jenis lahan berupa bangunan fasilitas umum atau lapangan terbuka. Berdasarkan hasil analisis, terdapat 50 lokasi yang dapat digunakan sebagai *shelter* bencana tsunami dan terdapat 38 lokasi yang dijadikan sebagai tempat evakuasi bencana tsunami sebelum menuju ke *shelter* tsunami. Berdasarkan hasil analisis, kapasitas *shelter* di Pesisir Kabupaten Tasikmalaya berjumlah 28.201 orang. Kecamatan Cipatujah memiliki kapasitas sebanyak 14.801 orang, Kecamatan Karangnunggal memiliki kapasitas sebanyak 1.713 orang, dan Kecamatan Cicalong memiliki kapasitas sebanyak 7.622 orang. Jumlah kapasitas tersebut sudah dapat menampung seluruh penduduk terdampak di tiap desa di Pesisir Kabupaten Tasikmalaya.

Berdasarkan hasil pemodelan, terdapat 59 area permukiman yang terdampak tsunami setinggi 20 meter. Selain itu, di Pesisir Kabupaten Tasikmalaya terdapat beberapa tempat wisata ramai pengunjung seperti Pantai Sindangkerta, Pantai Pamayang, dan Pantai Karangtawulan yang perlu diperhitungkan dalam penentuan jalur evakuasi tsunami. Berdasarkan hasil analisis menggunakan *tool Network Analyst*, terdapat 59 jalur evakuasi tsunami di Pesisir Kabupaten Tasikmalaya yang terdiri dari kategori jauh, sedang, dekat, dan sangat dekat. Jalur evakuasi tersebut sebagian besar termasuk dalam kategori sedang sebanyak 27 jalur, lalu kategori dekat sebanyak 14 jalur, kategori sangat dekat dan jauh masing-masing sebanyak 9 jalur. Hasil dari analisis *shelter*, tempat evakuasi, dan jalur evakuasi tsunami dapat dilihat pada **Gambar 4**.

Salah satu penyebab adanya jalur evakuasi yang termasuk kategori jauh adalah akses jalan dari permukiman terdampak menuju tempat evakuasi yang berputar terlebih dahulu sehingga menambah hasil analisis jarak dan waktu evakuasi. Penyebab lain dari jalur evakuasi yang berada jauh dari titik evakuasi

terdekat, sehingga memerlukan waktu yang cukup lama untuk menuju tempat tersebut. Untuk mengatasi masalah ini, perlu dilakukan pembuatan akses jalan baru dan lahan terbuka yang dapat dipakai untuk jalur dan tempat evakuasi penduduk yang jaraknya lebih dekat. Selain itu, upaya mitigasi struktural juga dapat dilakukan untuk mengurangi energi tsunami sehingga dapat mengurangi luas genangan dan dapat menambah waktu evakuasi.



Gambar 4 Hasil analisis *shelter*, tempat evakuasi, dan jalur evakuasi tsunami

3.6. Analisis Upaya Mitigasi Struktural Tsunami

Upaya mitigasi struktural dilakukan untuk mengurangi energi gelombang tsunami sehingga dapat mengurangi dampak dari gelombang tsunami. Upaya mitigasi yang akan dilakukan diantaranya pembuatan *green belt* di daerah yang elevasinya tidak terlalu rendah, kemiringan pantai tidak terlalu landai, dan berjarak 100 m dari garis pantai. Upaya lainnya adalah pembuatan *sea wall* di wilayah pesisir yang permukimanya tergolong sangat dekat dari garis pantai (kurang dari 150 m), elevasi daratan rendah, dan kemiringan sempadan pantai yang landai [17]. Upaya mitigasi struktural tersebut dilakukan di daerah terdampak tsunami yang memiliki area permukiman padat dan memiliki jarak evakuasi lebih dari 750 m atau waktu evakuasi lebih dari 15 menit. *Green belt* tersebut terdiri dari pohon berkayu berukuran besar seperti pohon waru laut, ketapang laut, atau kelapa, dengan kerapatan 10 pohon per 100 m². Hasil analisis pembuatan *green belt* di Pesisir Kabupaten Tasikmalaya dapat dilihat pada **Tabel 3**.

Pembuatan *green belt* di Pesisir Kabupaten Tasikmalaya bervariasi antara 100 meter hingga 170

meter. Lebar hutan tersebut menyesuaikan dengan lahan yang tersedia di sekitar permukiman yang terdampak tsunami. Berdasarkan hasil analisis dapat dilihat bahwa pembuatan *green belt* di daerah terdampak tsunami dapat mereduksi energi tsunami sebesar 67% hingga 89% dan dapat mereduksi jarak inundasi sebesar 17% hingga 34%. Reduksi tsunami yang efektif terjadi jika gelombang tsunami telah mengalami *head loss* dan mencapai *green belt* dengan tinggi gelombang ≤ 4 meter [14]. Oleh karena itu, *green belt* dapat mereduksi tsunami secara efektif jika ketinggian tsunami di garis pantai sebesar 10 meter dan 15 meter. Jika tinggi gelombang tsunami melebihi tinggi tersebut, *green belt* akan mulai rusak dan tidak efektif dalam mereduksi dampak gelombang tsunami.

Tabel 3 Hasil perencanaan *green belt*

Desa	Lokasi	Lebar	Reduksi Energi	Reduksi Jarak Inundasi	Efektif (<i>Run up</i>)
Ciandum	Lokasi 39	170 m	81 % - 89 %	20 % - 34 %	10 m
	Lokasi 34	100 m	67 % - 89 %	17 % - 29 %	10 m
Cipatujah	Lokasi 36	100 m	67 % - 89 %	17 % - 29 %	10 m
Cikawung-gading	Lokasi 20	120 m	71 % - 85%	18 % - 30 %	10 m
	Lokasi 25	120 m	71 % - 85%	18 % - 30 %	15 m
Cidadap	Lokasi 14	130 m	74 % - 86 %	18 % - 31 %	10 m
	Lokasi 16	120 m	71 % - 85%	18 % - 30 %	10 m
Mandalajaya	Lokasi 12	150 m	77 % - 87 %	19 % - 32 %	15 m
Sindangjaya	Lokasi 8	130 m	74 % - 86 %	18 % - 31 %	10 m

Mitigasi struktural tsunami dengan *sea wall* dapat dilakukan di lokasi 44 Desa Ciheras, lokasi 20 Desa Cikawung-gading, dan lokasi 2 Desa Cimanuk. Tembok laut dengan ketinggian rendah (≤ 5 meter) tidak efektif untuk tingkat tsunami yang besar [18]. Oleh karena itu, *sea wall* di sekitar area permukiman terdampak direncanakan memiliki ketinggian 9 meter. *Sea wall* dengan tinggi 9-meter dapat mereduksi energi tsunami dengan tinggi gelombang 20-meter sebesar 16% - 21%. Pada kejadian tsunami dengan tinggi gelombang 15 meter, energi tsunami dapat direduksi sebesar 37% - 45%. Pada kejadian tsunami dengan tinggi gelombang 10 meter, tingkat reduksi tsunami mendekati 100% atau hampir tereduksi sepenuhnya [19]. Pada lokasi rencana *sea wall*, terdapat area hutan pantai atau *green belt* yang cukup lebar yang dapat menambah tingkat reduksi gelombang tsunami. Kombinasi antara *sea wall* dan *green belt* dapat menambah tingkat reduksi gelombang tsunami sebesar 30% - 40% dibandingkan mitigasi struktural hanya menggunakan *sea wall* [20]. Oleh karena itu, pembuatan *sea wall* dapat dikatakan efektif untuk mereduksi gelombang tsunami dengan tinggi ≤ 15 meter.

4. Kesimpulan

Tsunami dengan tinggi gelombang 10 m dapat menggenangi wilayah pesisir seluas 12,59 km², tinggi gelombang 15 m dapat menggenangi wilayah pesisir seluas 19,27 km², dan tinggi gelombang 20 m dapat menggenangi wilayah pesisir seluas 25,62 km². Tingkat kerawanan tsunami, wilayah Pesisir Kabupaten Tasikmalaya didominasi oleh tingkat kerawanan rendah sebesar 54,62 %, kemudian tingkat kerawanan sangat rendah sebesar 26,25 %, tingkat kerawanan sedang sebesar 12,61 %, tingkat kerawanan tinggi 5,30 %, dan tingkat kerawanan sangat tinggi sebesar 1,22 %. Dari hasil analisis jumlah penduduk terdampak, terdapat 8280 penduduk yang terdampak tsunami dengan tinggi 10 meter, penduduk yang terdampak tsunami dengan tinggi 15-meter sebanyak 12320, dan penduduk yang terdampak tsunami dengan tinggi 20-meter sebanyak 17.770. Berdasarkan hasil analisis, terdapat 59 jalur evakuasi tsunami di Pesisir Kabupaten Tasikmalaya yang sebagian besar termasuk dalam kategori sedang, yaitu sebanyak 27 jalur, lalu kategori dekat sebanyak 14 jalur, kategori sangat dekat dan jauh masing-masing sebanyak 9 jalur. Berdasarkan hasil analisis, upaya mitigasi struktural dengan pembuatan *green belt* dapat mereduksi energi tsunami sebesar 67% - 89% dan mereduksi jarak inundasi tsunami sebesar 17% - 34% pada ketinggian maksimum tsunami 10 m dan 15 meter. Upaya mitigasi struktural dengan pembuatan *sea wall*

direncanakan setinggi 9 meter dan dapat mereduksi energi tsunami dengan tinggi gelombang 20 meter sebesar 16 % - 21 %, energi tsunami dengan ketinggian 15 meter dapat direduksi sebesar 37% - 45%, dan tsunami dengan tinggi gelombang 10 meter hampir dapat direduksi sepenuhnya atau mendekati 100%.

Daftar Pustaka

- [1] Fariza A, Handayani BL. 2022. Tindakan struktural mitigasi bencana pemerintah di Indonesia. *Jurnal Analisa Sosiologi*. 11(2): 288 - 305.
- [2] Rakuasa H, Lasaiba MA. 2023. Pemetaan kondisi fisik wilayah sebagai upaya dalam mitigasi bencana tsunami di Kecamatan Moa Lakor, Kabupaten Maluku Barat Daya, Provinsi Maluku. *Jurnal Geografi dan Pendidikan Geografi*. 2(1): 13-20.
- [3] [BMKG]. Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika. 2019. *Katalog Tsunami Indonesia Tahun 416- 2018*. Jakarta (ID): Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika.
- [4] [UU] Undang-undang Republik Indonesia No. 1 Tahun 2014 tentang Pengelolaan Wilayah Pesisir dan Pulau-Pulau Kecil. 2014.
- [5] Kasman, Triokmen E. 2021. Analisis risiko bencana tsunami di Pesisir Selatan Jawa studi kasus: Kabupaten Garut. *Jurnal Kelautan Tropis*. 24(2): 265-274.
- [6] As'ari R. 2017. Kajian kesiapsiagaan masyarakat pesisir dalam menghadapi bencana gempa bumi dan tsunami di Kecamatan Cipatujah Kabupaten Tasikmalaya. Prosiding Seminar Nasional Geografi UMS 2017. Pengelolaan Sumberdaya Wilayah Berkelanjutan.
- [7] Berryman K. 2005. *Review of Tsunami Hazard and Risk in New Zealand*. Lower Hutt (NZ): Institute of Geological & Nuclear Science.
- [8] Gornitz VM, White TW. 1992. *A Coastal Hazards Data Base for The U.S. East Coast*. Oak Ridge (US): Oak Ridge National Laboratory.
- [9] Isdianto A, Kurniasari D, Subagiyo A, Haykal MF, Supriyadi. 2021. Pemetaan kerentanan tsunami untuk mendukung ketahanan wilayah pesisir. *Jurnal Pemukiman*. 16(2): 90-100.
- [10] Faiqoh I, Gaol JL, Ling MM. 2013. Vulnerability level map of tsunami disaster in Pangandaran Beach, West Java. 2013. *International Journal of Remote Sensing and Earth Science*. 10(2): 90-103
- [11] Ashar F, Amaratunga D, Haigh R. 2014. The analysis of tsunami vertical shelter in Padang City. 4th International Conference on Building Resilience ; 2014 Sep 8-11; Salford Quays, United Kingdom. Salford Quays : Procedia Economics and Finance. hlm 916-923
- [12] Yunarto, Anwar HZ, Wibowo YS. Perencanaan evakuasi vertikal di Pulau Sarangan, Provinsi Balisebagai alternatif pengurangan risiko bahaya tsunami. *Jurnal Lingkungan dan Bencana Geologi* . 6(2): 107-118.
- [13] Waluyo FA, Wardhani MK. Perencanaan wilayah pesisir berbasis mitigasi bencana tsunami studi kasus di Kabupaten Bantul Daerah Istimewa Yogyakarta. *Juvenil*. 2(3): 226-235.
- [14] Shuto N. 1987. The effectiveness and limit of tsunami control forests. *Coastal Engineering Journal*. 30(1): 143-153.
- [15] Sangari CP, Jansen T, Tawas H. Perencanaan bangunan pengaman pantai di Pantai Kalinaung Kabupaten Minahasa Utara. *Jurnal Sipil Statik*. 7(8): 975-984.
- [16] Noviantoro KM, Widjaja HR, Ridwan M. 2022. Penataan ruang wilayah pesisir sebagai upaya mitigasi bencana tsunami di Pantai Watu Pecak, Kabupaten Lumajang. *Jurnal Wilayah dan Lingkungan*. 10(3):236-245.
- [17] Saleh DFM, Baeda AY, Rahman S. 2022. Skema mitigasi tsunami mendatang di Pelabuhan Garongkong, Barru, Sulawesi Selatan. *Jurnal Riset dan Teknologi Terapan Kemaritiman*. 1(2): 42-46.
- [18] Nateghi R, Bricker JD, Gulkerna SD, Bessho A. 2016. Statistical analysis of the effectiveness of seawalls and coastal forests in mitigating tsunami impacts in Iwate and Miyagi Prefectures. *PLoS ONE*. 11(8): 1-21.
- [19] Nurhasanah A, Nizam, Triatmadja R. 2014. Tsunami force on a building with sea wall protection. 3rd International Conference on Engineering and Technology Development; Okt 2014; Bandar Lampung, Indonesia. Hlm 62-64.
- [20] Muhammad RAH, Tanaka N. 2019. Energy reduction of a tsunami current through a hybrid defense system comprising a sea embankment followed by a coastal forest. *Geoscience*. 9(6): 1-27