

**Penentuan Lokasi dan Jalur Evakuasi Tsunami Berdasarkan Historis Tsunami Gunung Api Anak Krakatau di Pesisir Desa Carita, Banten*****Determination of Tsunami Evacuation Shelters and Routes Based on the Historical Tsunami of Anak Krakatau Volcano in the Coast of Carita Village, Banten***

Bachtiar W. Mutaqin, Antika Heni Hestiwi, Dian Pertiwi, Djati Mardiatno

Kelompok Riset Kepesisiran dan Daerah Aliran Sungai, Fakultas Geografi, Universitas Gadjah Mada  
Jalan Kaliurang, Bulaksumur, Yogyakarta, 55281, Indonesia

e-mail: mutaqin@ugm.ac.id

Naskah diterima 2 Maret 2021, selesai direvisi 30 Juli 2023, dan disetujui 10 Agustus 2023

**ABSTRAK**

Wilayah pesisir Desa Carita di Provinsi Banten merupakan lokasi pariwisata yang rawan akan bencana tsunami, baik yang disebabkan oleh aktivitas lempeng tektonik maupun erupsi gunung api. Pada Desember tahun 2018, wilayah pesisir Desa Carita dihantam tsunami yang dipicu oleh longsor sebagian tubuh Gunung Api Anak Krakatau sehingga menimbulkan korban jiwa dan kerusakan material yang cukup signifikan. Berdasarkan historis tsunami di Selat Sunda, dilakukan kajian terhadap lokasi dan jalur evakuasi tsunami dengan memanfaatkan data penginderaan jauh dan Sistem Informasi Geografis. Penentuan lokasi dan jalur evakuasi mengacu pada skenario inundasi dengan ketinggian tsunami 5 m dan diidentifikasi menggunakan *Google Map*. Terdapat tiga bangunan yang dianggap layak untuk dijadikan sebagai lokasi evakuasi yaitu Masjid Jami Al-Barokah, Puskesmas Carita, dan Kantor Kecamatan Carita. Waktu tempuh yang dibutuhkan masyarakat berjalan kaki dari pinggir pantai hingga lokasi evakuasi tsunami berkisar antara 9 hingga 16 menit.

**Kata kunci:** Banten, Carita, evakuasi, inundasi, SIG, tsunami**ABSTRACT**

*The coast of Carita Village in Banten Province is a tourism location that is prone to tsunamis, either caused by tectonic plate activity or volcanic eruptions. In December 2018, the coast of Carita Village was hit by a tsunami triggered by the flank collapse of the Anak Krakatau volcano, causing significant casualties and material damage. Based on this historical tsunami in Sunda Strait, a study of tsunami evacuation shelters and routes was carried out using remote sensing data and the Geographical Information System. Determination of the location and evacuation route refers to the inundation scenario with a tsunami height of 5m and is identified using a Google Map. There are 3 buildings that are deemed fit to be used as evacuation sites, namely the Jami Al-Barokah Mosque, Carita Health Center, and the Carita District Office. The community's travel time on foot from the beach to the tsunami evacuation shelters ranges from 9 to 16 minutes.*

**Keywords:** Banten, Carita, evacuation, inundation, GIS, tsunami**PENDAHULUAN**

Indonesia adalah negara yang tiga perempat wilayahnya terdiri dari lautan dengan garis pantai terpanjang kedua di dunia, yaitu sepanjang 95.161 km (Lasabuda, 2013). Wilayah pesisir yang begitu luas menjadikan Indonesia memiliki banyak potensi, baik potensi sumberdaya mau-

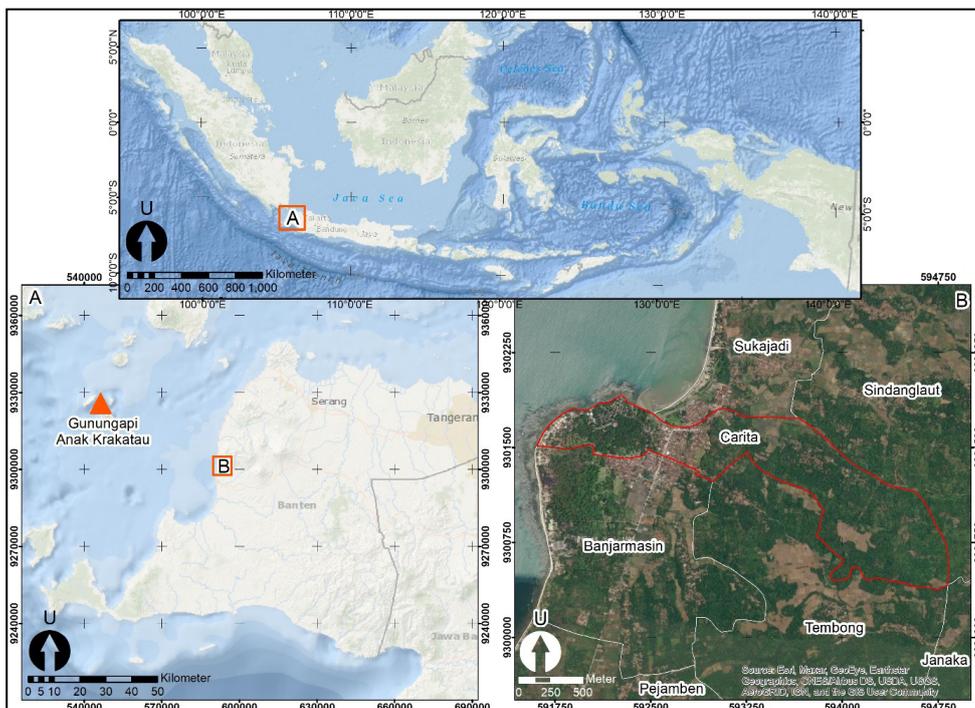
pun bencana (Nurkholis dr., 2016). Tingginya potensi sumberdaya di pesisir mendorong kegiatan perekonomian, khususnya pariwisata yang semakin berkembang. Keindahan dan kekayaan ekosistem pesisir Indonesia didukung dengan fasilitas yang terus dikembangkan dengan baik memberikan daya tarik bagi wisatawan,

tidak hanya dari dalam negeri, namun juga dari luar negeri (Kementerian Pariwisata Republik Indonesia, 2017). Namun, pemanfaatan wilayah pesisir sebagai upaya untuk mengoptimalkan perekonomian terkadang melupakan potensi bencana, salah satunya adalah bencana tsunami (Rosaji, 2017; Mutaqin dr., 2020).

Indonesia rawan akan bencana alam seperti gempa bumi, erupsi gunung api, dan tsunami karena terletak di zona pertemuan lempeng Indo-Australia, Eurasia dan Pasifik. Tsunami adalah gelombang raksasa yang disebabkan oleh berbagai gangguan di dasar samudra, berupa gempa bumi, longsor, dan erupsi gunung api (Sahwilliza dr., 2018; Mutaqin dr., 2019). Tsunami yang mencapai pantai memiliki kecepatan hingga 50 km/jam dengan energi yang sangat merusak (Nugroho & Sadisun, 2015). Berdasarkan data yang dihimpun oleh Latief dr. (2000), 8% dari tsunami yang terjadi di Indonesia disebabkan oleh aktivitas gunung api. Sekalipun jarang terjadi, tsunami yang diakibatkan oleh aktivitas gunung api sering kali menimbulkan korban jiwa yang cukup besar (Paris, 2015; Day, 2015; Mutaqin dr., 2019; Grilli dr., 2019).

Ancaman bencana tsunami di Selat Sunda tidak hanya dipicu oleh adanya pergerakan lempeng, namun juga aktivitas vulkanik Gunung Api Anak Krakatau, dimana aktivitas vulkanik juga dapat menyebabkan longsor di bawah permukaan laut yang berpotensi menimbulkan tsunami (Utami dr., 2019; Mutaqin dr., 2019). Pesisir Selat Sunda, seperti pesisir Pulau Jawa pada umumnya, memiliki tingkat populasi yang tinggi dan bangunan yang padat dengan konstruksi yang kurang memadai, sehingga tsunami dengan ketinggian dan kekuatan yang tidak terlalu besar dapat menyebabkan kerugian yang signifikan (Reid, 2016). Contohnya bencana tsunami di Provinsi Banten tahun 2018 yang mengakibatkan korban meninggal hingga mencapai 437 jiwa (BNPB, 2018).

Pesisir barat Kabupaten Pandeglang, khususnya Pantai Carita, merupakan destinasi wisata yang cukup diminati oleh wisatawan karena keindahan pantainya yang berpasir putih, serta pemandangan Gunung Api Anak Krakatau yang dapat dinikmati dari pinggir pantai (Tabel 1). Pesisir Desa Carita (Gambar 1) yang merupakan bagian dari wisata tersebut memiliki berbagai fasilitas



Gambar 1. Peta lokasi penelitian di Desa Carita, Pandeglang, Banten.

Tabel 1. Data jumlah wisatawan Kabupaten Pandeglang tahun 2014 - 2018 (Sumber: BPS Kabupaten Pandeglang, 2019a).

No.	Tahun	Jumlah Wisatawan
1	2014	3.766.661
2	2015	3.150.900
3	2016	6.010.090
4	2017	2.934.478
5	2018	3.105.051

penunjang pariwisata seperti penginapan, tempat makan, penyewaan kapal, area *snorkeling*, dan fasilitas umum lainnya (Budiman, 2012). Namun, karena kondisi topografinya yang landai dan berhadapan langsung dengan Gunung Api Anak Krakatau, kawasan pesisir Desa Carita rawan terhadap bencana tsunami, terutama yang disebabkan oleh aktivitas Gunung Api Anak Krakatau, seperti tsunami tahun 2018 yang dipicu oleh longsornya sebagian tubuh Gunung Api Anak Krakatau.

Dalam upaya mengurangi dampak korban jiwa dan kerusakan akibat tsunami, diperlukan informasi daerah rawan bencana, lokasi, dan jalur evakuasi tsunami. Informasi tersebut dapat dihasilkan dengan memanfaatkan data satelit penginderaan jauh dan pendekatan Sistem Informasi Geografis (SIG) (Trisakti drr., 2007). Peta evakuasi dikembangkan dengan mempertimbangan zona bahaya tsunami yang didapatkan dari hasil pemodelan tsunami dan komponen evakuasi yang dapat diterapkan (Mück, 2007), berupa jaringan jalan dan lokasi evakuasi berupa lapangan, bukit, bangunan yang ada, maupun bangunan baru yang khusus dibuat sebagai tempat evakuasi (Aji, 2019).

Jaringan jalan merupakan hal penting dalam perencanaan maupun proses evakuasi karena berhubungan langsung dengan jalur evakuasi. Jaringan jalan yang dibangun sejajar dengan pantai, tidak adanya lokasi dan jalur evakuasi yang jelas, serta pengetahuan evakuasi masyarakat yang rendah dapat menyebabkan pergerakan evakuasi masyarakat menjadi tidak terkendali dan menghambat proses evakuasi (BNPB, 2016).

Estimasi waktu kedatangan gelombang tsunami di Pantai Carita akibat aktivitas Gunung Api

Anak Krakatau kurang lebih 35-45 menit dengan *run-up* tsunami maksimum 5 m sehingga diperlukan waktu yang singkat untuk melakukan upaya evakuasi (Giachetti drr., 2012). Oleh karena itu, perlu diperhatikan lokasi evakuasi yang mudah dicapai dengan berjalan kaki, karena secara teori proses evakuasi tidak diperkenankan untuk menggunakan kendaraan agar menghindari kemacetan pada jalur evakuasi. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menentukan lokasi serta jalur evakuasi di wilayah pesisir Desa Carita berdasarkan historis tsunami Gunung Api Anak Krakatau dengan *run-up* tsunami maksimum 5 m (Giachetti drr., 2012; BMKG, 2019).

## METODE PENELITIAN

Wilayah kajian penelitian merupakan wilayah pesisir Desa Carita yang termasuk dalam Kecamatan Carita dan terletak di pesisir barat Kabupaten Pandeglang, Banten. Data yang digunakan pada penelitian ini yaitu citra satelit *Google Earth* resolusi tinggi tahun 2015, peta Rupabumi Indonesia (RBI) skala 1:25.000 dan data *Digital Elevation Model* (DEM) Kabupaten Pandeglang dengan resolusi spasial 0,27-arcsecond dari Badan Informasi Geospasial (BIG). Citra *Google Earth* digunakan untuk memutakhirkan peta penggunaan lahan yang didapatkan dari peta RBI di wilayah penelitian dan digitasi garis pantai dilakukan secara manual, sedangkan data DEM Nasional digunakan untuk menghitung kemiringan lereng.

Langkah pertama dalam penelitian ini dimulai dengan pemilihan skenario *run-up* tsunami. Skenario *run-up* tsunami dipilih berdasarkan data historis tsunami vulkanik akibat aktivitas Gunung Api Anak Krakatau yang pernah terjadi di sekitar Selat Sunda, yaitu ketinggian 1,4 m dan 5 m (BMKG, 2019).

Untuk memodelkan inundasi (luas wilayah terdampak genangan tsunami) digunakan pendekatan matematis dari Berryman (2006) seperti yang disajikan pada Persamaan (1).

$$H_{loss} = (167 n^2 / H_0^{1/3}) + 5 \sin S \dots\dots\dots (1)$$

dimana:

$H_{loss}$  = ketinggian gelombang yang hilang per m jarak genangan;

$H_0$  = tinggi gelombang di pantai (m);

$n$  = koefisien kekasaran permukaan; dan

$S$  = kemiringan lereng (°).

Pemodelan inundasi tsunami dalam penelitian ini dijalankan menggunakan perangkat lunak ArcGIS. Tinggi gelombang di pantai ( $H_0$ ) didapat dari pemilihan skenario ketinggian *run-up* tsunami. Koefisien kekasaran permukaan ( $n$ ) diperoleh dari peta penggunaan lahan. Peta ini dihasilkan melalui pemutakhiran peta RBI dengan cara interpretasi dan digitasi citra *Google Earth*. Ketahanan tiap jenis penggunaan lahan terhadap gelombang tsunami yang masuk ke darat berbeda-beda, dimana hal ini akan sedikit banyak mempengaruhi ketinggian *run-up* maupun kecepatan tsunami saat melewatinya. Oleh karena itu, nilai koefisien kekasaran permukaan penting digunakan dalam penentuan zona bahaya tsunami (Prasojo dr., 2017). Adapun nilai koefisien permukaan masing-masing penggunaan lahan sesuai dengan Tabel 2. Sedangkan nilai kemiringan lereng ( $S$ ) dalam satuan derajat diperoleh dari data raster DEM Nasional.

Area inundasi tsunami dihitung menggunakan perangkat *Cost Distance* dalam ArcGIS pada ekstensi *Spatial Analyst Toolbox* menggunakan dua parameter utama yaitu hasil perhitungan dari  $H_{loss}$  dan garis pantai. Hasil perhitungan  $H_{loss}$  digunakan sebagai *input cost raster* dan garis pantai digunakan sebagai *input raster*.

Hasil dari analisis inundasi tsunami digunakan untuk memperoleh zona rawan tsunami dan zona evakuasi (zona aman), kemudian dilakukan identifikasi terhadap bangunan maupun area yang sesuai untuk dijadikan tempat perlindungan terhadap tsunami (*shelter*) serta jaringan jalan untuk jalur evakuasi.

Bangunan yang dipilih sebagai lokasi evakuasi merupakan bangunan yang mudah diakses oleh masyarakat umum, misalnya bangunan milik pemerintah daerah dan juga tempat ibadah. Bangunan diutamakan memiliki dua lantai, hal ini dikarenakan kondisi topografi pada sebagian besar daerah penelitian yang landai sehingga sulit menemukan lokasi evakuasi dengan elevasi permukaan tanah yang ideal. Baik lokasi evakuasi maupun jaringan jalan diinterpretasi dan dianalisis dengan menggunakan *Google Map*. *Google Map* memiliki kemampuan untuk menentukan jalur yang terdekat dan tercepat, serta menghitung waktu menuju ke lokasi evakuasi yang merupakan unsur penting dalam penentuan jalur evakuasi.

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

Carita merupakan salah satu desa di Kecamatan Carita yang turut terkena dampak langsung dari adanya tsunami di Selat Sunda, termasuk tsunami yang terjadi sebagai akibat longsornya sebagian tubuh Gunung Anak Krakatau pada tahun 2018. Desa Carita memiliki luas wilayah 1,8 km<sup>2</sup> dan berada di wilayah pesisir dengan ketinggian 36 m dari permukaan laut (BPS Kabupaten Pandeglang, 2019b). Penggunaan lahan di Desa Carita terbagi menjadi badan air, perke-

Tabel 2. Nilai koefisien permukaan masing masing penggunaan lahan (Sumber: Berryman, 2006 dalam BNPB, 2016).

Jenis Penggunaan Lahan	Nilai Koefisien Kekasaran Permukaan
Badan air	0,007
Belukar/semak	0,040
Hutan	0,070
Kebun/perkebunan	0,035
Lahan kosong/terbuka	0,015
Pemukiman/Lahan terbangun	0,045
Mangrove	0,025
Tambak/empang	0,010

bunan, gedung, lahan pertanian, lahan terbuka, semak/belukar, dan pemukiman (Gambar 2).

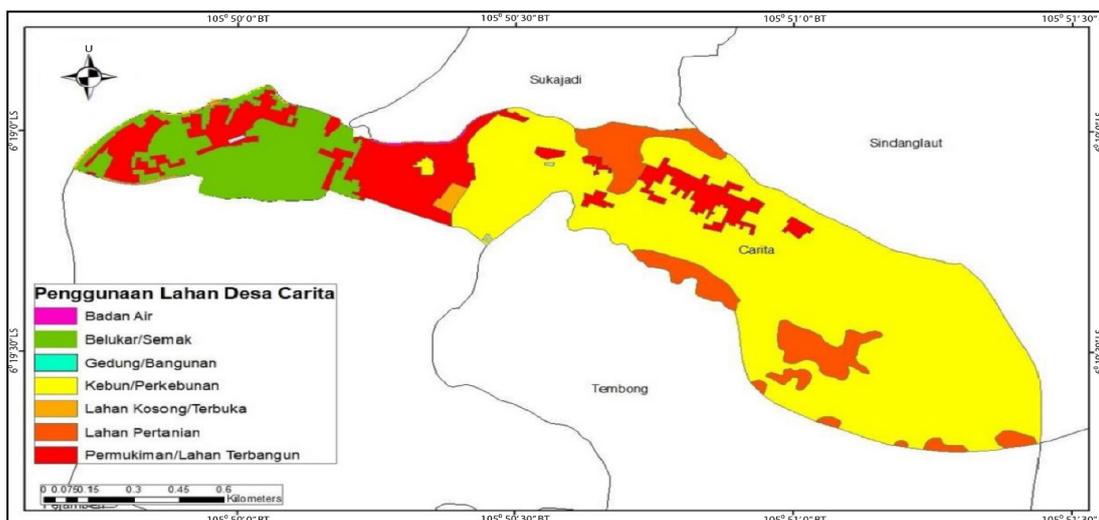
Dampak tsunami akan berbeda pada tiap tipe penggunaan lahan. Faiqoh drr. (2013) dalam penelitiannya di wilayah Pantai Pangandaran menyatakan tipe penggunaan lahan yang paling berisiko terhadap ancaman tsunami adalah wilayah pemukiman, perkebunan, dan sawah. Dalam penelitiannya, Pantai Pangandaran memiliki kerentanan yang tinggi terhadap ancaman tsunami, karena tipe penggunaan lahannya didominasi oleh perkebunan.

Hasil tutupan lahan Desa Carita didominasi oleh perkebunan dengan luas 1,02 km<sup>2</sup> atau menempati sekitar 62% dari luas total desa Carita (Tabel 3). Disusul dengan pemukiman, semak belukar, dan sawah yang masing masing menempati 15%, 12% dan 9% dari luas total Desa Carita. Badan air, gedung, dan lahan kosong hanya menempati kurang dari 1% luas Desa Carita. Lahan perkebunan yang masih mendominasi tipe penggunaan lahan Desa Carita serta pemukiman yang berada di wilayah pesisir mengakibatkan Desa Carita masih masuk dalam wilayah terancam inundasi tsunami.

Kemiringan lereng dapat dinyatakan dalam bentuk persen maupun derajat. Dalam penelitian ini, kemiringan lereng dinyatakan dalam derajat sebagai data input untuk melakukan pemodelan

inundasi tsunami (Gambar 3). Kemiringan lereng mengambil peranan cukup penting terhadap pengaruh *run-up* di suatu wilayah. Semakin landai derajat kemiringan lereng, maka semakin tinggi pengaruh *run-up* tsunami di wilayah tersebut (Sengaji dan Nababan, 2009). Bustomi drr. (2016) melakukan penelitian di wilayah pesisir Garut dan menyatakan bahwa wilayah dengan kemiringan lereng berkisar antara (0-15%) atau (0-8°) merupakan wilayah yang rentan terhadap ancaman inundasi tsunami. Gambar 3 menunjukkan Desa Carita masih didominasi oleh wilayah dengan derajat kemiringan berkisar antara (0 - 4°) atau masih berada dalam kategori wilayah yang landai. Hal ini mengakibatkan Desa Carita masih termasuk ke dalam zona bahaya ancaman inundasi tsunami.

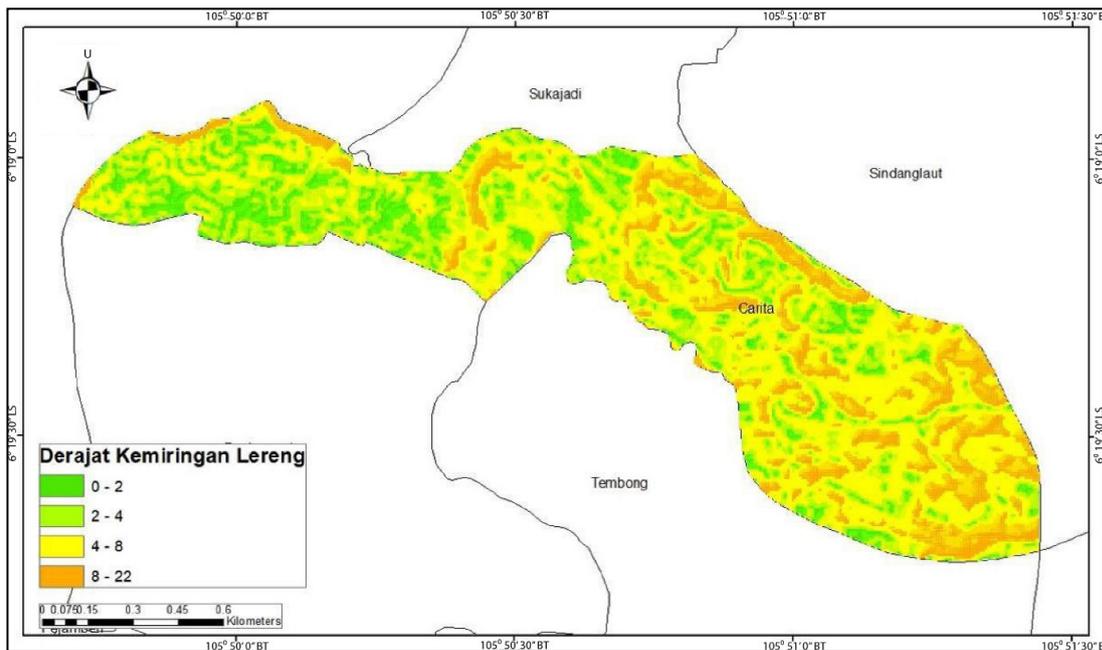
Skenario zona genangan tsunami dalam penelitian ini dilakukan berdasarkan data historis kejadian tsunami di Selat Sunda yang dipicu oleh aktivitas Gunung Api Anak Krakatau sesuai dengan Katalog Tsunami BMKG tahun 2019 yaitu 1,4 m dan 5 m. Analisis awal dalam penelitian ini dilakukan dengan menganalisis jumlah bangunan yang terdampak oleh inundasi tsunami dengan ketinggian 1,4 maupun 5 m (Gambar 4). Dari pemodelan tersebut, inundasi tsunami dengan ketinggian 1,4 m tidak memberikan dampak besar bagi pemukiman maupun



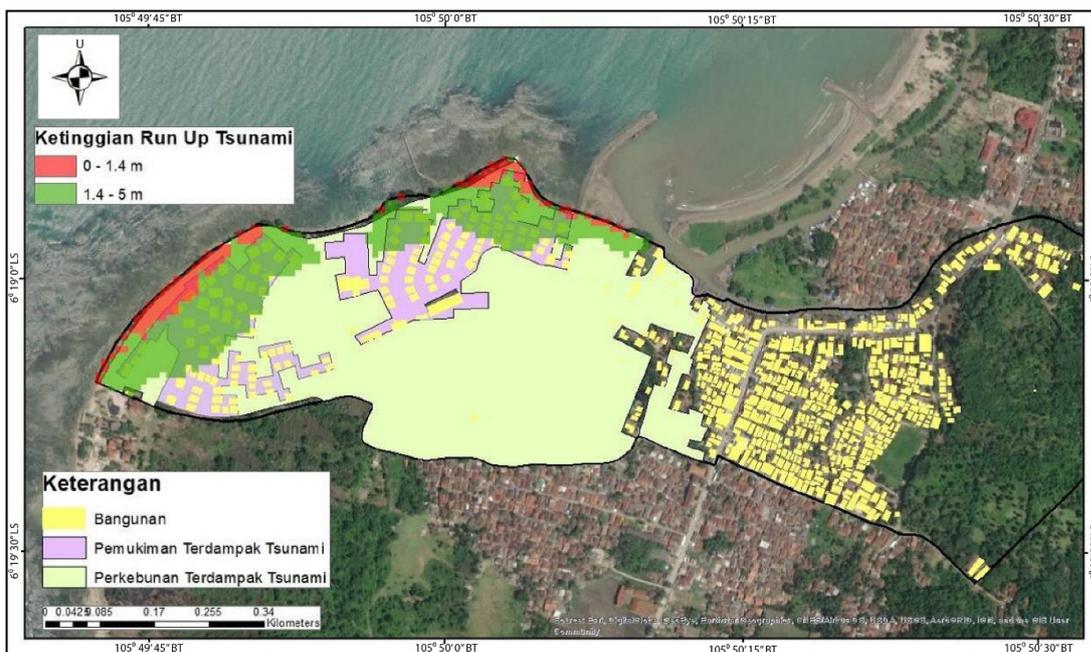
Gambar 2. Penggunaan lahan di Desa Carita, Pandeglang, Banten.

Gambar 3. Kemiringan lereng di Desa Carita, Pandeglang, Banten

Jenis Penggunaan Lahan	Luas (m <sup>2</sup> )	Persentase (%)
Badan air	2.566	0,15
Belukar/semak	200.742	12,25
Gedung/bangunan	1.502	0,09
Kebun/perkebunan	1.020.902	62,32
Lahan kosong/terbuka	10.043	0,61
Lahan pertanian	149.982	9,16
Pemukiman	252.427	15,41



Gambar 3. Kemiringan lereng di Desa Carita, Pandeglang, Banten.



Gambar 4. Skenario inundasi tsunami dan dampaknya di Desa Carita, Pandeglang, Banten.

bangunan, dan hanya berdampak pada sebagian wilayah pesisir yang berbatasan dengan Desa Carita. Jumlah bangunan yang terdampak tsunami dilakukan dengan memanfaatkan *tools select by location* antara layer skenario inundasi tsunami dan layer bangunan (Pratomo dan Rudiarto, 2013).

Skenario inundasi tsunami 1,4 m dan 5 m berdasarkan katalog tsunami BMKG (2019) berdampak pada pemukiman (RT 009 RW 003 dan RT 018 RW 003) dan perkebunan di pesisir Carita (Tabel 4). Skenario inundasi tsunami 1,4 m hanya menggenangi 10 bangunan dari jumlah total 835 bangunan yang ada di Desa Carita. Dampak inundasi tsunami pada bangunan di Desa Carita termasuk di dalamnya pemukiman warga, mulai terlihat signifikan pada skenario inundasi 5 m. Skenario inundasi tsunami dengan ketinggian 5 m tidak hanya menggenangi pesisir, namun juga pemukiman di pesisir Desa Carita. Dari model tersebut, inundasi tsunami dengan ketinggian 5 m menyebabkan tergenangnya 97 bangunan dari total 835 bangunan yang ada di Desa Carita. Area perkebunan yang terkena dampak dari adanya inundasi tsunami dengan skenario 1,4 m adalah 9.300 m<sup>2</sup>, dan untuk skenario 5 m mencapai 5 kali lipat dari luas dengan skenario 1,4 m yaitu 55.000 m<sup>2</sup>. Berdasarkan fakta bahwa inundasi tsunami dengan ketinggian 5 m memberikan dampak yang jauh lebih signifikan dibandingkan inundasi tsunami 1,4 m, maka pembahasan selanjutnya mengenai saran lokasi dan jalur evakuasi tsunami hanya akan didasarkan pada skenario inundasi tsunami dengan ketinggian 5 m.

Penelitian ini berfokus pada evakuasi horisontal yaitu dengan mencari lokasi yang aman di luar area yang terdampak inundasi tsunami. Evakuasi vertikal sebenarnya dibutuhkan karena penelitian yang dilakukan oleh Aji (2019) me-

nyatakan bahwa evakuasi vertikal dinilai cukup strategis untuk wilayah pantai yang landai, padat penduduk dan bangunan serta jika *golden time* yang tersisa cukup sempit. Namun, dikarenakan kondisi wilayah Desa Carita yang belum memiliki bangunan yang memadai di wilayah terdampak tsunami, maka evakuasi horizontal lebih diutamakan.

Bangunan yang dipilih untuk lokasi evakuasi tsunami adalah bangunan yang aman dari bahaya inundasi tsunami. Jumlah total bangunan di Desa Carita yang aman dari bahaya inundasi tsunami berjumlah 738 termasuk di dalamnya adalah rumah warga, villa, swalayan, dan fasilitas pemerintahan lainnya. Bangunan-bangunan yang dijadikan prioritas utama dalam penentuan lokasi evakuasi tsunami adalah kantor pemerintahan, sekolah, rumah sakit, dan fasilitas umum lainnya (Trisakti dr., 2007). Kriteria selanjutnya dalam pemilihan lokasi evakuasi dalam penelitian ini diutamakan pada bangunan di lokasi yang mudah diakses, berada dekat jalan nasional, terhindar dari sungai (Rosadji, 2017), memiliki kapasitas/daya tampung yang cukup besar dan lebih baik memiliki 2 lantai (Fauzan, 2014).

Berdasarkan kriteria tersebut, terpilih empat bangunan dan satu lapangan yang dapat digunakan sebagai rekomendasi lokasi evakuasi tsunami (Tabel 5). Kapasitas lokasi evakuasi dihitung dengan membagi luas bangunan dengan rata-rata luas ruang yang dibutuhkan tiap orang yaitu 1,64 m<sup>2</sup> (*The American National Red Cross Evacuation Shelter Standard*). Luas wilayah tiap lokasi evakuasi dan jumlah kapasitas dijelaskan dalam Tabel 5. Luas area bangunan yang dijadikan rekomendasi lokasi evakuasi tsunami dihitung menggunakan *tools measure* ArcGIS pada data vektor bangunan yang telah tersedia di *Open Street Map*. Hal ini dikarenakan adanya keterbatasan untuk memperoleh data luas bangunan untuk rekomendasi lokasi evakuasi dari dinas terkait.

Dari 4 saran lokasi evakuasi, Masjid Jami Al-Barokah, Puskesmas Carita, dan Kantor Keca-

Tabel 4. Dampak inundasi tsunami di Desa Carita

Skenario Inundasi Tsunami (m)	Jumlah Bangunan Terdampak (unit)	Luas Perkebunan Terdampak (m <sup>2</sup> )
1,4	10	9.300
5,0	97	55.000

Tabel 5. Luas dan kapasitas lokasi evakuasi di Desa Carita

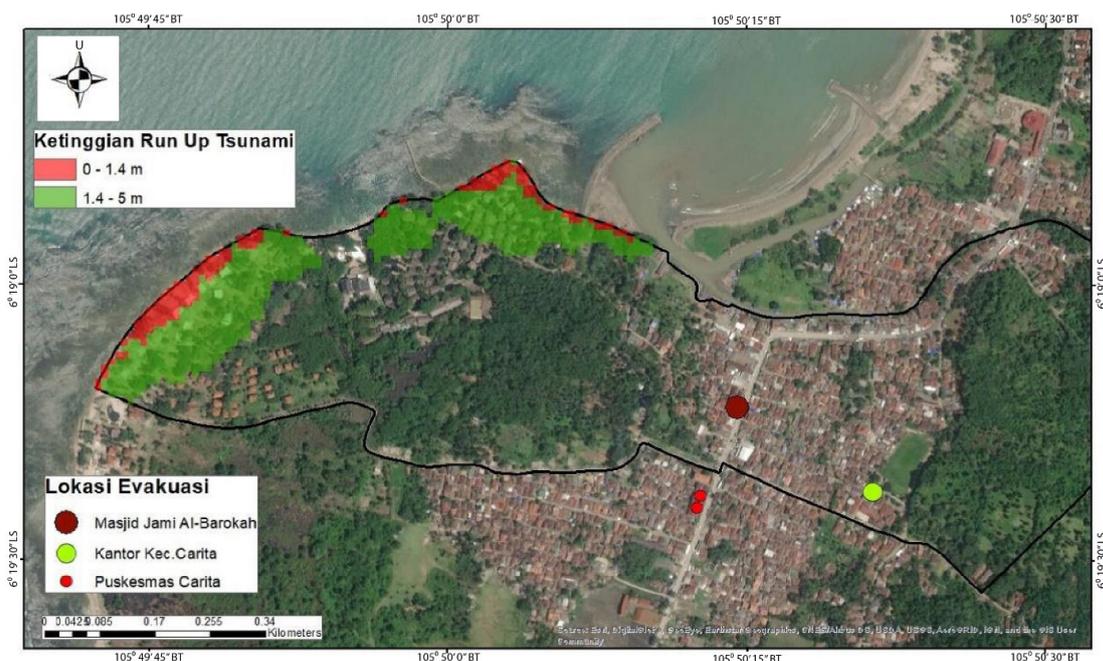
Nama Lokasi	Luas Wilayah (m <sup>2</sup> )	Kapasitas (orang)	Jumlah Warga Terdampak
Kantor Kecamatan Carita	530	324	422 jiwa (174 dari RT 009 RW 003 dan 248 dari RT 018 RW 003)
Masjid Jami Al-Barokah	647	394	
Lapangan Kecamatan Carita	3.900	2.300	
Puskesmas Carita	518	315	

matan Carita dinilai dapat dijadikan rekomendasi karena kapasitasnya yang cukup besar meskipun hanya memiliki satu lantai. Lapangan di samping Kecamatan Carita yang memiliki kapasitas paling banyak, lebih cocok digunakan sebagai tempat penampungan korban tsunami. Berdasarkan kriteria dan kondisi bangunan, didapatkan tiga lokasi bangunan yang dapat digunakan sebagai tempat evakuasi tsunami (Gambar 5). Jumlah total kapasitas lokasi evakuasi bangunan yang telah ditentukan berjumlah 1.033 jiwa, sehingga dirasa mampu menampung jumlah warga yang terdampak tsunami. Ukuran simbol lokasi evakuasi tsunami menunjukkan kapasitas yang dimiliki. Masjid memiliki simbol paling besar karena memiliki daya tampung paling besar.

Jalur evakuasi tsunami yang digunakan dalam penelitian ini adalah evakuasi horisontal yang lebih fokus pada mencari lokasi yang jauh

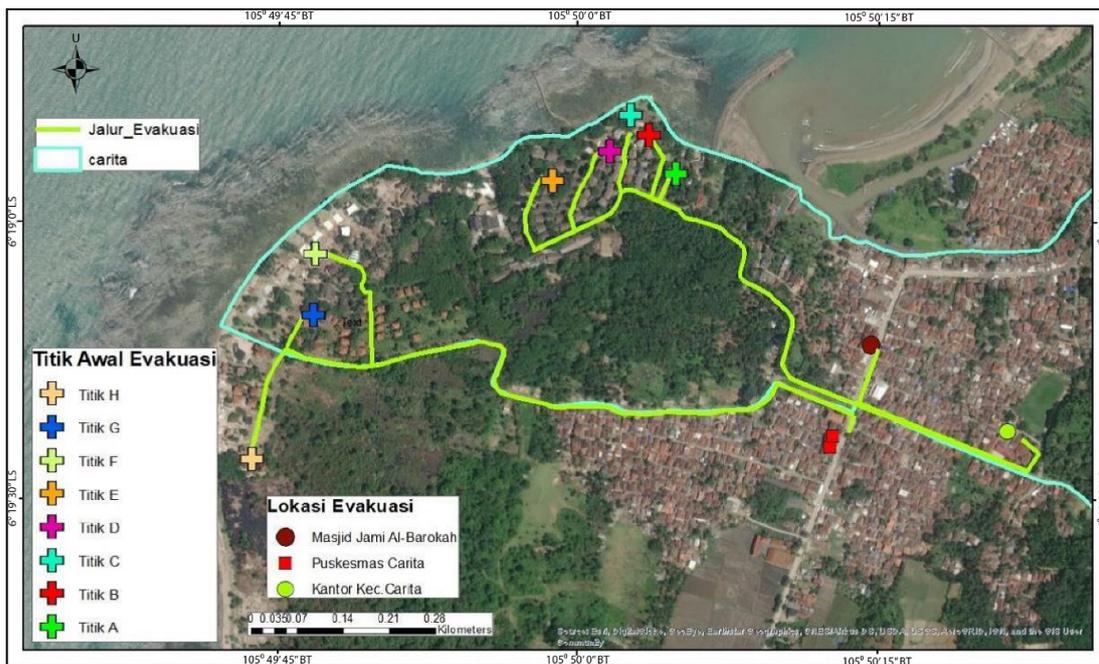
dari wilayah pantai dan terbebas dari ancaman genangan tsunami. Jalan yang digunakan sebagai jalur evakuasi tsunami adalah jalan nasional yang cukup lebar hingga dapat dilewati kendaraan dan bukan jalan sempit, tidak melewati sungai, dan diusahakan jalur evakuasi dibuat tegak lurus garis pantai/tidak sejajar garis pantai. Keterbatasan akan data pendukung seperti data kendaraan mengakibatkan penelitian ini hanya berfokus pada jalur evakuasi bagi pejalan kaki. Rute tercepat dan paling efektif dicari menggunakan *Google Maps* sehingga diketahui waktu yang dibutuhkan dari tiap titik di pinggir pantai menuju lokasi evakuasi tsunami (Tabel 6), lalu jalur evakuasi tersebut dilakukan digitasi secara manual dalam format vektor di perangkat lunak ArcGIS (Gambar 6).

Waktu yang dibutuhkan dari titik awal (Titik A,B,C,D,E,F,G,H) menuju lokasi evakuasi tsunami (Gambar 6) dirangkum dalam Tabel 6.



Gambar 5. Lokasi evakuasi tsunami di Desa Carita, Pandeglang, Banten.

## Penentuan Lokasi dan Jalur Evakuasi Tsunami Berdasarkan Historis Tsunami Gunung Api Anak Krakatau di Pesisir Desa Carita, Banten



Gambar 6. Jalur evakuasi tsunami di Desa Carita, Pandeglang, Banten.

Waktu yang ditempuh berkisar antara 9-16 menit masih cukup untuk proses evakuasi karena rata-rata waktu kedatangan tsunami vulkanik adalah 35-45 menit (Giachetti dr., 2012).

### KESIMPULAN

Pemodelan inundasi tsunami merupakan salah satu langkah awal yang dapat ditempuh untuk mengetahui wilayah yang rentan akan bahaya tsunami maupun yang terbebas dari ancaman tsunami. Hasil pemodelan ini selanjutnya dapat digunakan sebagai dasar dari penentuan lokasi evakuasi dan jalur evakuasi horisontal. Berdasarkan kriteria penentuan lokasi evakuasi tsunami, Desa Carita memiliki tiga bangunan yang layak digunakan sebagai lokasi evakuasi tsunami yaitu Masjid Jami Al-Barokah, Kantor Kecamatan Carita, dan Puskesmas Carita. Waktu perkiraan jalur tempuh evakuasi tsunami dibuat berdasarkan asumsi rute tercepat dengan jalan kaki dari *Google Maps*. Waktu tempuh yang diperlukan berkisar antara 9 hingga 16 menit. Meskipun demikian, perlu dilakukan penentuan lokasi dan jalur evakuasi vertikal untuk mempersingkat waktu tempuh tsunami.

### UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada program S2 Pengelolaan Pesisir dan Daerah Aliran Sungai, Fakultas Geografi Universitas Gadjah Mada dan Pemerintah Daerah Kabupaten Pandeglang atas kesempatan dan dukungan yang diberikan hingga terselesaikannya kegiatan ini. Penulis juga menyampaikan terima kasih kepada reviewer atas masukan yang membangun terhadap artikel ini.

### DAFTAR PUSTAKA

- Aji, L. W., 2019. Identifikasi Jalur dan Tempat Evakuasi Tsunami Pada Pantai Siung-Nglambor-Jogan di Kabupaten Gunungkidul. *Integrated (Journal of Information Technology and Vocational Education)*, 1(1), 1-9.
- BMKG., 2019. *Katalog Tsunami Indonesia Tahun 416-2018: Per-Wilayah* (2nd ed.; M. Sady, Ed.). Jakarta: Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika.
- BNPB., 2016. *Risiko Bencana Indonesia* (R. Jati & M. R. Amri, Eds.). Retrieved from [http://inarisk.bnpb.go.id/pdf/Buku RBI\\_Final\\_low.pdf](http://inarisk.bnpb.go.id/pdf/Buku_RBI_Final_low.pdf).

- BNPB., 2018. *Info Bencana - Informasi Kebencanaan Bulanan Teraktual*. Retrieved from Badan Nasional Penanggulangan Bencana website: <https://bnpb.go.id/uploads/24/info-bencana-desember-2018.pdf>.
- BPS Kabupaten Pandeglang., 2019a. *Jumlah Wisatawan Menurut Bulan di Kabupaten Pandeglang*. Retrieved from <https://pandeglangkab.bps.go.id/dynamictable/>.
- BPS Kabupaten Pandeglang., 2019b. *Kecamatan Carita dalam Angka 2019*. Retrieved from <https://pandeglangkab.bps.go.id/dynamictable/>.
- Budiman, D., 2012. *Pengaruh Produk Wisata Untuk Meningkatkan Brand Image Pantai Anyer : Survei Dilakukan Terhadap Wisatawan Nusantara yang Datang ke Pantai Anyer* (Universitas Pendidikan Indonesia). Retrieved from repository.upi.edu.
- Bustomi, M. Z., Asyam, R., Cahyadi, T. H., Muslim, H., & Dicky., 2016. Analisis Tingkat Kerentanan Tsunami Di Wilayah Pesisir. *Seminar Nasional Ke -III Fakultas Teknik Geologi Universitas Padjadjaran*. Bandung.
- Day, S. J., 2015. *Volcanic Tsunamis*. In *The Encyclopedia of Volcanoes* (Second Edi, pp. 993–1009). <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-385938-9.00058-4>.
- Giachetti, T., Paris, R., Kelfoun, K., & Ontowirjo, B., 2012. Tsunami hazard related to a flank collapse of Anak Krakatau Volcano, Sunda Strait, Indonesia. *Geological Society, London, Special Publications*, 361(1), 79–90. <https://doi.org/10.1144/SP361.7>.
- Grilli, S. T., Tappin, D. R., Carey, S., Watt, S. F. L., Ward, S. N., Grilli, A. R., Engwell, S. L., Zhang, C., Kirby, J. T., Schambach L., & Muin, M., 2019. Modelling of The Tsunami from The December 22, 2018 Lateral Collapse of Anak Krakatau Volcano in The Sunda Straits, Indonesia. *Scientific Reports*, 9(1), 1–14. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-48327-6>.
- Faiqoh, I., Gaol, J. L., Ling, M. M., 2013. Vulnerability Level Map of Tsunami Disaster in Pangandaran Beach, West Java. *International Journal of Remote Sensing and Earth Sciences*, 10(2). <http://doi.org/10.30536/ijreses.2013.v10.a1848>.
- Fauzan., 2011. Evaluasi Existing Building dan Pembuatan Peta Evakuasi Vertikal Terhadap Tsunami di Kota Padang. *Jurnal Rekayasa Sipil*, 7(January), 1–70.
- Kementerian Pariwisata Republik Indonesia., 2017. *Lampiran Peraturan Menteri Pariwisata Republik Indonesia Nomor 13 Tahun 2018 Tentang Rencana Strategis Kementerian Pariwisata Tahun 2018-2019*. Jakarta.
- Lasabuda, R., 2013. Tinjauan Teoritis Pembangunan Wilayah Pesisir dan Lautan dalam Perspektif Negara Kepulauan Republik Indonesia. *Jurnal Ilmiah Platax*, I(2), 92–101.
- Latief, H., Puspito, N. T., & Imamura, F., 2000. Tsunami Catalog and Zones in Indonesia. *Journal of Natural Disaster Science*, 22(1), 25–43. <https://doi.org/10.2328/jnds.22.25>.
- Mück, M., 2007. *Pengembangan Kapasitas di Komunitas Lokal Kerjasama Jerman-Indonesia untuk Sistem Peringatan Dini Tsunami*. Newsletter GTZ-GITEWS, p. 8.
- Mutaqin, B. W., Lavigne, F., Hadmoko, D. S., & Ngalawani, M. N., 2019. Volcanic Eruption-Induced Tsunami in Indonesia: A Review. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 256(1), 1–7. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/256/1/012023>.
- Mutaqin B. W., Amri, I. & Aditya, B., 2020. Pola Kejadian Tsunami dan Perkembangan Manajemen Bencana di Indonesia setelah Tsunami Samudra Hindia Tahun 2004: Sebuah Tinjauan. *Jurnal Lingkungan dan Bencana Geologi*. 11(2), 73-86. <http://doi.org/10.34126/jlbg.v11i2.302>.
- Nugroho, S. H., & Sadisun, I. A., 2015. Tinjauan Tentang Mitigasi Bahaya Tsunami di Pesisir Pantai dan Pulau-Pulau Kecil. *Oseana*, XL(1), 41–52.
- Nurkholis, A., Jayanto, G. D., & Jurnawan, N. Y., 2016. Analisis Bentuklahan Sebagai Landasan Terwujudnya Sustainable Coastal Area di Indonesia. *LKTI IGSS 2016 : Sus-*

- tainable Coastal Area*, 1–29. <https://doi.org/10.31227/osf.io/muq85>.
- Paris, R., 2015. Source mechanisms of volcanic tsunamis. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 373(2053), 20140380. <https://doi.org/10.1098/rsta.2014.0380>.
- Prasojo, K., Afwani, M. Z., Lestari, I., Bramono, A. M. C. W., & Bustomi, A. F., 2017. Berryman Tsunami Inundation Modelling on Temon: The Location of NYIA. *International Conference on Environmental Resource Management in Global Region*, (November), 1–8. Bali.
- Pratomo, R. A., & Rudiarto, I., 2013. Permodelan Tsunami dan Implikasinya Terhadap Mitigasi Bencana di Kota Palu. *Jurnal Pembangunan Wilayah & Kota*, 9(2), 174. <https://doi.org/10.14710/pwk.v9i2.6534>.
- Reid, A., 2016. Two Hitherto Unknown Indonesian Tsunamis of The Seventeenth Century: Probabilities and Context. *Journal of South-east Asian Studies*, 47(1), 88–108. <https://doi.org/10.1017/S002246341500048X>.
- Rosaji, F. S. C., 2017. *Pemanfaatan Teknologi Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Untuk Perencanaan Evakuasi Tsunami di Kawasan Wisata Pantai Studi Kasus: Pantai Pulang Syawal dan sekitarnya, Kabupaten Gunungkidul*. Universitas Gadjah Mada.
- Sengaji, E., & Nababan B., 2009. Tsunami risk level mapping in Sikka County, East Nusa Tenggara, *Journal of Tropical Marine Science and Technology*, 1(1):48-61.
- Sahwilliza, S., Isya, M., & Fatimah, E., 2018. Analisis Ketersediaan Jalur Evakuasi Bencana Tsunami Di Kecamatan Kuta Alam Kota Banda Aceh (Studi Kasus Lampulo, Kampung Mulia, Lamdingin). *Jurnal Arsip Rekayasa Sipil Dan Perencanaan*, 1(3), 104–112. <https://doi.org/10.24815/jarsp.v1i3.11774>.
- Trisakti, B., Carollta, I., & Nur, M., 2007. Simulasi Jalur Evakuasi untuk Bencana Tsunami Berbasis Data Penginderaan Jauh (Studi Kasus: Kota Padang, Propinsi Sumatera Barat). *Jurnal Penginderaan Jauh Dan Pengolahan Data Citra Digital*, 4(1), 9–17.
- Utami, W., Wibowo, Y. A., & Afiq, M., 2019. Analisis Spasial untuk Lokasi Relokasi Masyarakat Terdampak Tsunami Selat Banten Tahun 2018. *BHUMI: Jurnal Agraria Dan Pertanian*, 5(1), 112. <https://doi.org/10.31292/jb.v5i1.323>.