

## Pemetaan Bahaya Tsunami Wilayah Kabupaten Serang Bagian Barat Menggunakan Sistem Informasi Geografis

Padma Paramita<sup>1</sup>, Sesa Wiguna<sup>2</sup>, Fathia Zulfati Shabrina<sup>2</sup>, Aida Sartimbul<sup>1,3,\*</sup>

<sup>1</sup>*Ilmu Kelautan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Brawijaya  
Jl. Veteran Malang, 65149 Jawa Timur, Indonesia*

<sup>2</sup>*Direktorat Pemetaan dan Evaluasi Risiko Bencana, Badan Nasional Penanggulangan Bencana  
Jl. Pramuka Kav. 38, Jakarta Timur 13120*

<sup>3</sup>*Marine Resources Exploration and Management Research Group, Universitas Brawijaya  
Jl. Veteran Malang, 65149 Jawa Timur, Indonesia*

Email: aida@ub.ac.id

### Abstrak

Indonesia merupakan negara yang memiliki potensi tinggi akan kejadian tsunami. Salah satu wilayah tersebut adalah Kabupaten Serang bagian barat. Saat ini evolusi teknologi penginderaan jauh dan Sistem Informasi Geografis (SIG) dapat dimanfaatkan untuk membantu upaya mitigasi. Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis potensi tsunami dan menyediakan peta bahaya tsunami sebagai salah satu upaya mitigasi bencana berbasis Sistem Informasi Geografis (SIG) berdasarkan panduan dari Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB). Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode matematis yang dikembangkan oleh Berryman-2006. Metode ini merupakan metode yang sederhana namun cukup akurat dalam memperkirakan daerah yang berpotensi terdampak tsunami. Data *Digital Elevation Model* (DEM) dan *shapefile* rupa bumi yang bersumber dari Badan Informasi Geospasial (BIG) Indonesia merupakan data utama yang digunakan. Hasil analisis menunjukkan bahwa potensi bahaya tsunami di Kabupaten Serang bagian barat terdiri dari 3 kelas yaitu kelas rendah, sedang, dan tinggi yang didominasi oleh kelas bahaya tinggi dengan total luas area terdampak sebesar 377,64 ha. Peta bahaya tsunami ini selanjutnya dapat dijadikan sebagai salah satu basis informasi dalam perencanaan mitigasi bencana di Kabupaten Serang.

**Kata kunci :** tsunami, peta bahaya, SIG, Kabupaten Serang

### Abstract

#### *Tsunami Hazard Mapping in West Serang District Using Geographical Information System*

*Indonesia is a country that has a high potential for tsunami events. One of these areas is the western part of Serang Regency. Currently, the evolution of remote sensing technology and Geographic Information Systems (GIS) can be utilized to assist mitigation efforts. The purpose of this study is to analyze the potential for tsunamis and provide a tsunami hazard map as one of the efforts to mitigate disasters based on Geographic Information Systems (GIS) based on guidelines from the National Disaster Management Agency (BNPB). The method used in this research is a mathematical method developed by Berryman-2006. This method is a simple but fairly accurate method for estimating areas potentially affected by a tsunami. Digital Elevation Model (DEM) data and the shapefile of the earth's appearance sourced from the Indonesian Geospatial Information Agency (BIG) are the main data used. The results of the analysis show that the potential tsunami hazard in the western part of Serang Regency consists of 3 classes, namely low, medium, and high classes which are dominated by high hazard classes with a total area of 377.64 ha affected. This tsunami hazard map can then be used as one of the information bases in disaster mitigation planning in Serang Regency.*

**Keywords :** tsunami, hazard map, GIS, Serang District

## PENDAHULUAN

Tsunami merupakan rangkaian gelombang yang terbentuk akibat adanya gangguan di kolom perairan (Rusli *et al.*, 2010). Dampak dari kejadian ini seperti kehilangan harta benda, kehancuran sarana dan prasarana, timbulnya, gangguan pada psikologis masyarakat hingga menimbulkan korban jiwa. Indonesia berada pada urutan kedua sebagai negara yang sering dilanda bencana tsunami (Pratomo & Rudiarto, 2015). Hal ini disebabkan karena letak geografis Indonesia berada diantara tiga lempeng utama pembentuk kerak bumi.

Kabupaten Serang terletak di wilayah Provinsi Banten dengan luas wilayah sebesar 1.467,35 km<sup>2</sup> (Naryanto, 2019). Berdasarkan PERDA Provinsi Banten Nomor 3 Tahun 2010, Kabupaten Serang merupakan salah satu wilayah di Provinsi Banten yang memiliki potensi tsunami yang cukup tinggi. Wilayah ini terletak di bagian ujung barat Pulau Jawa yang berbatasan langsung dengan Selat Sunda dimana Gunung Anak Krakatau (GAK) berada. Hingga tahun 2022, bahaya tsunami setinggi 3 meter di garis pantai mungkin terjadi di Kabupaten Serang (Zahro, 2017).

Walaupun demikian, ternyata upaya mitigasi bencana tsunami di Kabupaten Serang masih sangat rendah karena keterbatasan informasi mengenai potensi bencana tsunami di wilayah tersebut. Kabupaten Serang merupakan wilayah dengan kepadatan penduduk dan aktivitas ekonomi yang cukup tinggi (BPS Kabupaten Serang, 2015). Tingginya jumlah nyawa terancam dan kerugian yang mungkin terdampak dari kejadian tsunami menyebabkan perlu ditingkatkannya upaya mitigasi di wilayah ini.

Evolusi dari teknologi penginderaan jauh dan Sistem Informasi Geografis dapat digunakan untuk membantu pembuatan rencana mitigasi bencana secara cepat, efektif dengan akurasi yang cukup tinggi (Sambah *et al.*, 2018). Pembuatan peta bahaya tsunami merupakan langkah pertama dalam proses pengkajian potensi bencana tsunami. Pemetaan bahaya dapat dilakukan dengan menerapkan berbagai metode, salah satunya Berryman-2006. Metode Berryman-2006 merupakan metode yang paling banyak diterapkan dalam penelitian bahaya tsunami karena sederhana dan cukup akurat dalam memperkirakan daerah yang berpotensi terdampak tsunami (Zahro, 2017). Metode ini merupakan metode resmi yang

diterapkan oleh Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB) dalam menganalisis bahaya tsunami di Indonesia (Nugroho *et al.*, 2018). Hasil peta bahaya tsunami dapat digunakan sebagai informasi dasar dalam proses perencanaan pembangunan untuk mengurangi risiko bencana tsunami secara lebih efektif, efisien, dan terpadu. Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis potensi tsunami, mengetahui area yang berpotensi terdampak tsunami, serta menyediakan peta bahaya tsunami sebagai salah satu upaya mitigasi bencana berbasis Sistem Informasi Geografis (SIG) berdasarkan panduan dari Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB). Peta bahaya tsunami selanjutnya dapat digunakan sebagai informasi dasar dalam proses perencanaan pembangunan untuk mengurangi risiko bencana tsunami secara lebih efektif, efisien, dan terpadu.

## MATERI DAN METODE

Proses pembuatan peta bahaya tsunami di Kabupaten Serang bagian barat dilakukan berdasarkan Modul Teknis Kajian Risiko Bencana Tsunami BNPB. Modul ini dikeluarkan oleh Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB) tahun 2018 dengan acuan dasar Peraturan Kepala BNPB No. 02 Tahun 2012 tentang Pedoman Umum Pengkajian Risiko Bencana (BNPB, 2012).

Secara garis besar, metode yang digunakan dalam pembuatan peta bahaya tsunami ini adalah metode perhitungan matematis yang dikembangkan oleh Berryman-2006. Metode Berryman menghitung kehilangan ketinggian tsunami per 1 m jarak inundasi (ketinggian genangan) dengan mempertimbangkan harga jarak terhadap lereng dan kekasaran permukaan (Zahro, 2017). Pada penelitian ini, tinggi gelombang maksimum yang digunakan adalah 10 meter. Ketinggian tsunami maksimum ini adalah ketinggian maksimum yang tiba di garis pantai berdasarkan hasil kajian BNPB (Nugroho *et al.*, 2018).

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

Keterangan:  $H_{loss}$  = Kehilangan ketinggian tsunami per 1 m jarak inundasi;  $n$  = Koefisien kekasaran permukaan;  $H_0$  = Ketinggian gelombang maksimum (meter);  $S$  = Kemiringan lereng (radian)

Pengolahan data dalam penelitian ini meliputi pembuatan peta kemiringan lereng, penggunaan lahan, garis pantai, bahaya tsunami dan perhitungan luas area bahaya tsunami. Pengolahan data dalam penelitian ini dilakukan dengan menggunakan *software ArcGIS 10.3*. Data yang digunakan meliputi: *Digital Elevation Model* (Sumber: DEMNAS BIG, 2020); *Shapefile* Rupa Bumi Indonesia (RBI) (Sumber: BIG, 2018); *Shapefile* penggunaan lahan Kabupaten Serang (Sumber: BIG, 2018); *Shapefile* garis pantai Kabupaten Serang (Sumber: BIG, 2018).

Proses pengolahan data dimulai dengan mengolah data parameter bahaya tsunami, yaitu data garis pantai, penggunaan lahan, dan kemiringan lereng. *Shapefile* penggunaan lahan yang diperoleh dari BIG Indonesia diklasifikasikan ulang menggunakan *tools merging* pada *software ArcGIS 10.3*. Koefisien kekasaran untuk masing-masing sektor penggunaan lahan kemudian di-*input* berdasarkan nilai koefisien kekasaran hasil modifikasi oleh BNPB (Tabel 1). *Digital Elevation Model* diolah menggunakan *tools slope* pada *software ArcGIS 10.3* untuk mendapatkan nilai kemiringan lereng wilayah Kabupaten Serang. Peta kemiringan lereng disajikan dengan satuan derajat, sedangkan untuk mengolah bahaya tsunami, nilai kemiringan lereng dikonversi menjadi radian.

$H_{loss}$  dihitung menggunakan *raster calculator* berdasarkan nilai kemiringan lereng dan

koefisien kekasaran permukaan yang sudah diperoleh. *Shapefile* garis pantai di-*input* sebagai acuan untuk menghitung jarak inundasi dengan menggunakan *tools cost distance*. Bahaya tsunami selanjutnya dianalisis dengan mengklasifikasikan jarak inundasi menjadi indeks bahaya yang kemudian dikelompokkan menjadi 3 kelas bahaya tsunami (Gambar 1). Pengklasifikasian jarak inundasi dilakukan menggunakan pendekatan logika *fuzzy*. Pendekatan logika *fuzzy* merupakan fitur pengelompokan suatu sebaran nilai ideal dari keanggotaan (*membership*) *fuzzy* berdasarkan aturan yang ditentukan, sedangkan pengelompokan kelas bahaya dilakukan menggunakan *raster calculator*. Luas area masing-masing kelas dikalkulasi dan disajikan pada *level* desa. Alur pengolahan data pada penelitian ini terdapat pada Gambar 2.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

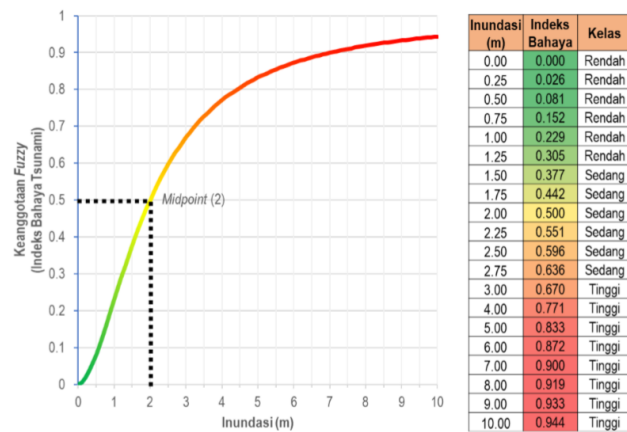
### *Kemiringan Lereng (Slope)*

Kemiringan lereng mempengaruhi jangkauan inundasi tsunami yang akan menimbulkan perbedaan pada luasan area bahaya tsunami. Pada dasarnya, semakin rendah nilai kemiringan lereng maka semakin jauh jangkauan inundasi tsunami. Berdasarkan peta kemiringan lereng pada Gambar 3, didapatkan informasi bahwa nilai kemiringan lereng di Kabupaten

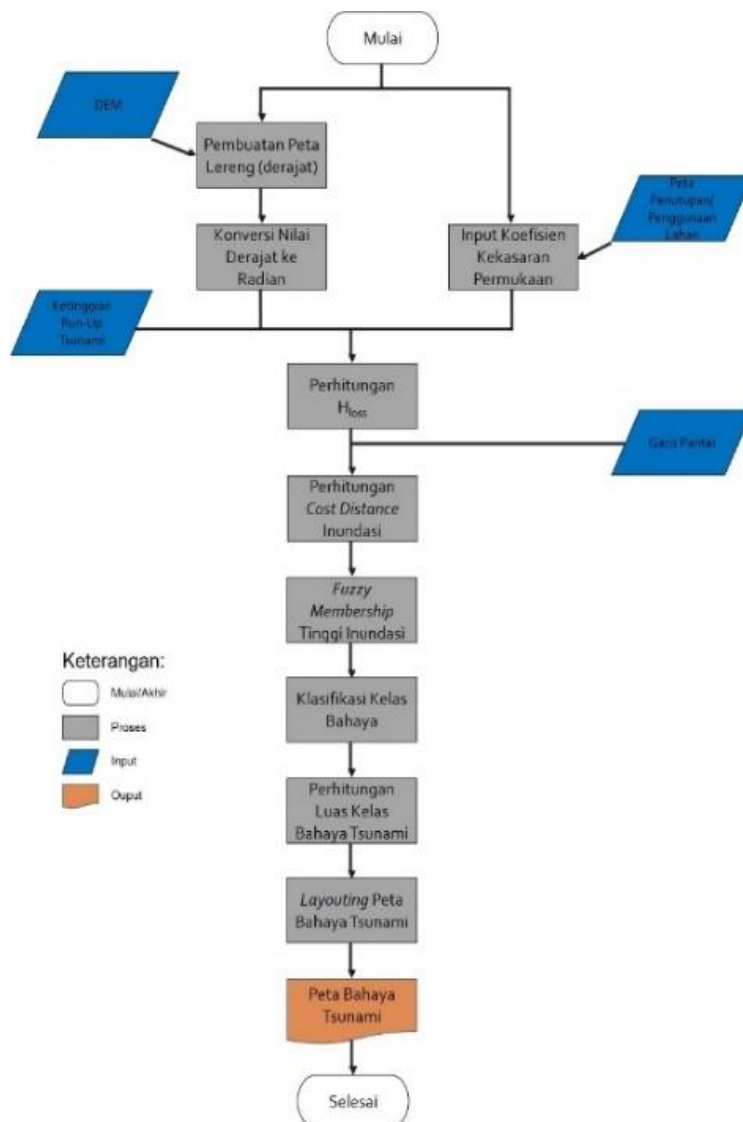
**Tabel 1.** Koefisien permukaan masing-masing jenis penggunaan lahan (modifikasi dari Berryman-2006)

Jenis Penggunaan Lahan	Koefisien Kekasaran Permukaan
Badan Air	0,007
Rawa	0,015
Empang	0,007
Tambak	0,010
Pasir/Bukit Pasir	0,018
Semak/Belukar	0,040
Padang Rumput	0,020
Hutan	0,070
Kebun/Perkebunan	0,035
Tagalan/Ladang	0,030
Sawah	0,020
Lahan Pertanian	0,025
Pemukiman/Lahan Terbangun	0,050
Mangrove	0,060

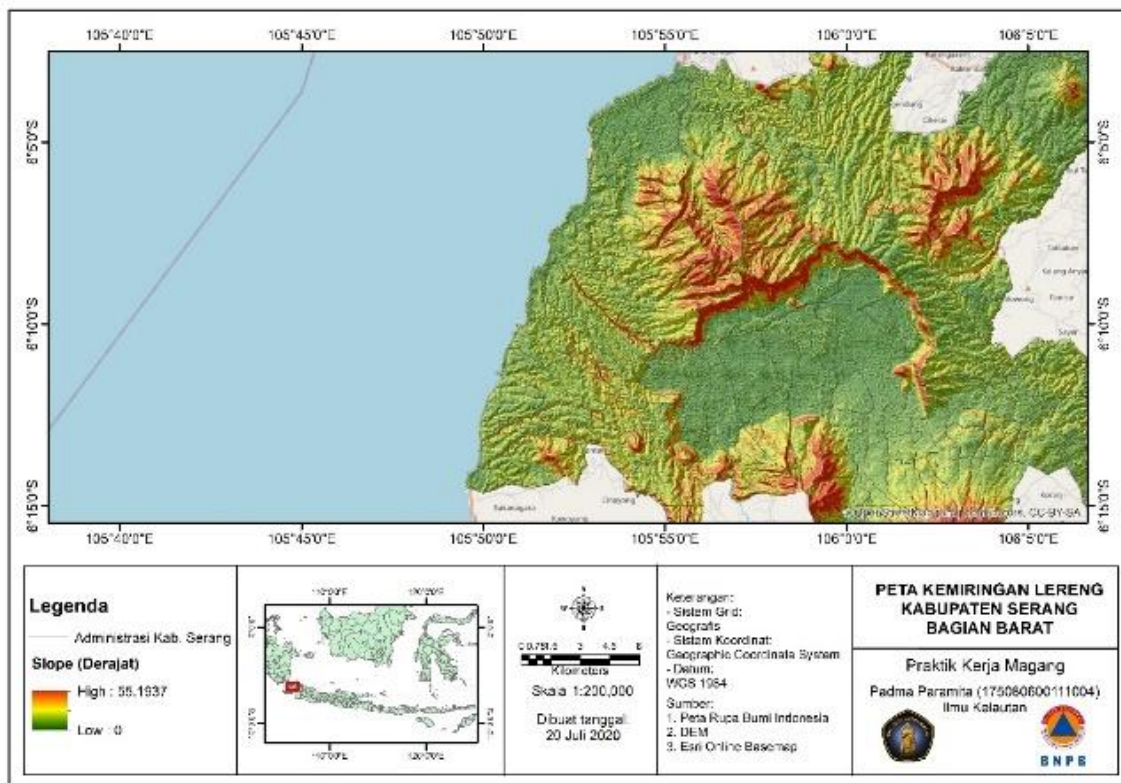
Sumber: BNPB, 2012



**Gambar 1.** Transformasi inundasi tsunami menjadi indeks bahaya dan kelas bahaya tsunami dengan fuzzy logic. Sumber: (Nugroho *et al.*, 2018)



**Gambar 2.** Alur Pengolahan Data yang dimulai dengan pengolahan data parameter bahaya sampai dengan pembuatan peta bahaya tsunami



**Gambar 3.** Kemiringan Lereng Kabupaten Serang Bagian Barat

Serang bagian barat berkisar antara 0-55,1937. Morfologi wilayah Kabupaten Serang didominasi oleh satuan morfologi dataran yang berupa daerah yang relatif datar hingga sedikit bergelombang (Naryanto, 2019).

**Penggunaan Lahan**

Masing-masing jenis penggunaan lahan memiliki nilai koefisien kekasaran permukaan yang berbeda-beda. Koefisien kekasaran mempengaruhi nilai dari *run up* tsunami. *Run up* tsunami merupakan ketinggian tsunami pada jarak maksimum inundasi yang dihitung berdasarkan muka air laut saat tsunami terjadi (Susanto *et al.*, 2020). Rendahnya nilai koefisien kekasaran permukaan akan memperluas jangkauan inundasi tsunami. Skenario ketinggian gelombang tsunami pada penelitian ini yaitu 10meter, yang merupakan data ketinggian tsunami maksimum yang tiba di garis pantai berdasarkan hasil kajian BNPB pada Perka BNPB No. 2 Tahun 2012 (Nugroho *et al.*, 2018).

Berdasarkan peta penggunaan lahan pada Gambar 4, didapatkan informasi bahwa penggunaan lahan di Kabupaten Serang bagian

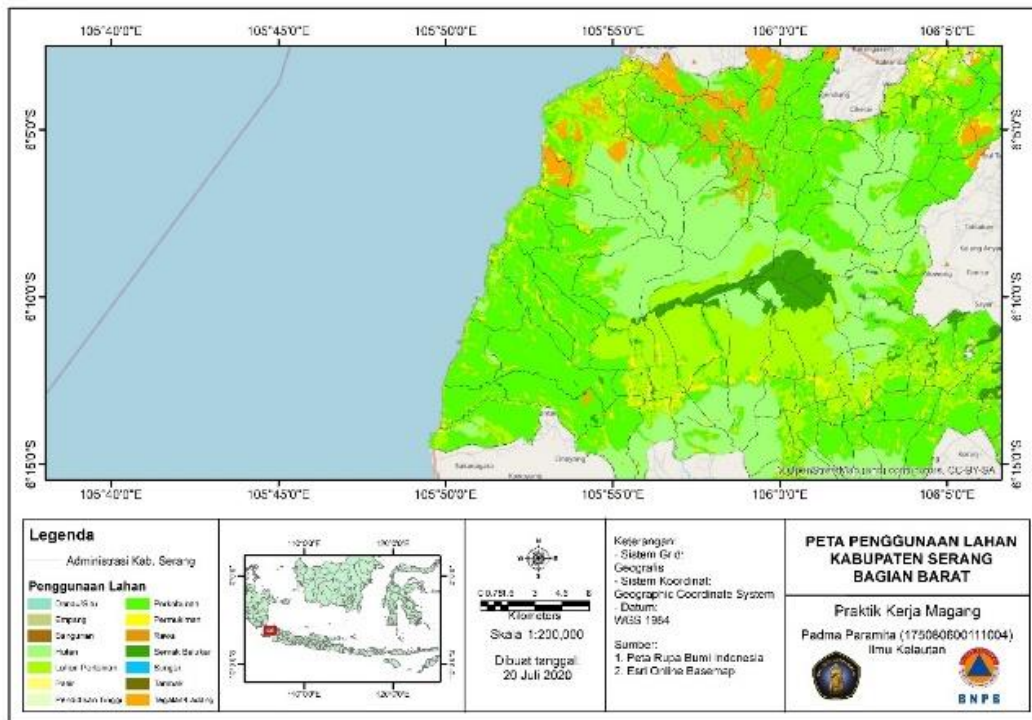
barat meliputi danau, empang, bangunan, hutan, lahan pertanian, pasir, perguruan tinggi, perkebunan, pemukiman, rawa, semak belukar, sungai, tambak dan ladang. Penggunaan lahan di Kabupaten Serang bagian barat didominasi dengan lahan pertanian dan perkebunan.

Hasil penelitian ini selaras dengan penelitian (Pravitasari *et al.*, 2019), dimana aktivitas agrikultur yang mendominasi penggunaan lahan di Kabupaten Serang. Persentase penggunaan lahan yang digunakan dalam aktivitas agrikultur ini mencapai 71% terdiri dari yaitu sawah 39% dan lahan kering 32%.

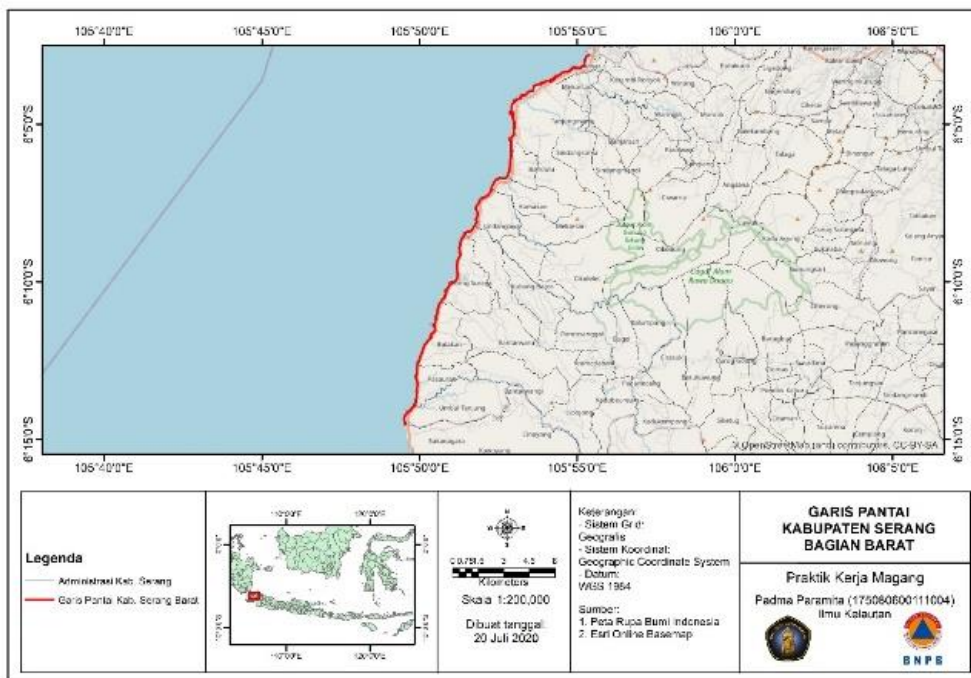
**Garis Pantai**

Data garis pantai dalam hal ini digunakan sebagai acuan dasar dalam perhitungan jarak inundasi tsunami. Garis pantai yang digunakan dalam penelitian ini membentang dari Desa Anyar, Kecamatan Anyar di bagian utara dan Desa Umbul Tanjung, Kecamatan Cinangka di bagian selatan Kabupaten Serang (Gambar 5). Kecamatan Anyar dan Kecamatan Cinangka menurut penelitian (Zahro, 2017), terindikasi merupakan daerah yang rawan tsunami.





Gambar 4. Penggunaan Lahan Kabupaten Serang Bagian Barat



Gambar 5. Garis Pantai Kabupaten Serang Bagian Barat

**Bahaya Tsunami**

Bahaya tsunami dalam penelitian ini merupakan hasil perhitungan matematis kehilangan ketinggian tsunami ( $H_{loss}$ ) berdasarkan

nilai dari masing-masing parameter yang digunakan. Bahaya tsunami Kabupaten Serang bagian barat dianalisis berdasarkan hasil pengkelasan bahaya tsunami menggunakan

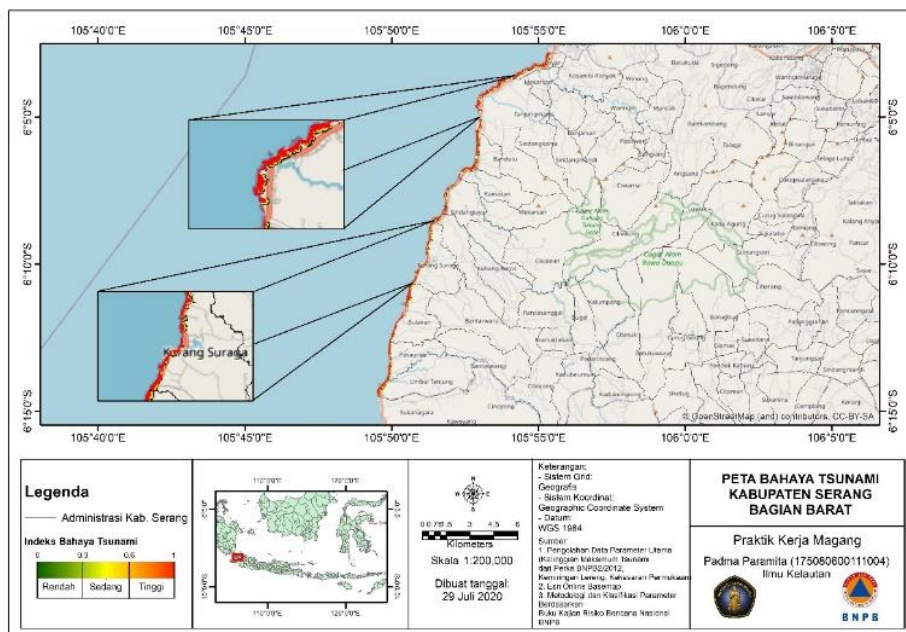
pendekatan logika *fuzzy* sesuai dengan Perka BNPB No. 2 Tahun 2012.

Berdasarkan Pesisir Gambar 6, dapat diindikasikan bahwa Kabupaten Serang bagian barat memiliki potensi bahaya tsunami dengan rentang kelas rendah-tinggi yang didominasi oleh kelas tinggi. Hasil penelitian ini didukung dengan pendapat (Zahro, 2017), yang menyatakan bahwa Kabupaten Serang merupakan wilayah yang berpotensi terjadi tsunami pada kelas tinggi mencapai 3 meter. Wilayah di belakangnya merupakan wilayah dengan kelas sedang dan rendah secara berturut-turut.

Hasil analisis menunjukkan bahwa total luas kelas bahaya tinggi di wilayah ini adalah 377,64 ha. Berdasarkan tabel luasan area kelas bahaya tsunami pada *level* desa di Kabupaten Serang bagian barat (Tabel 2), luas bahaya pada masing-masing kecamatan di Kabupaten Serang bagian barat yaitu 158,85 ha di Kecamatan Anyar dan 218,79 ha di Kecamatan Cinangka. Desa dengan luas bahaya tertinggi di Kecamatan Anyar yaitu Desa Cikoneng dengan total luas 50,43 ha. Desa dengan luas bahaya tertinggi di Kecamatan Cinangka yaitu Desa Karang Suraga dengan total luas 52,93 ha. Tingginya luas bahaya pada kedua desa ini disebabkan oleh kemiringan lereng yang cenderung datar dan nilai koefisien kekasaran

permukaan yang relatif rendah. Rendahnya hambatan inundasi menyebabkan meluasnya area yang mungkin terdampak dari kejadian tsunami.

Potensi bahaya pada setiap desa dianalisis berdasarkan kelas bahaya maksimum yang terdapat pada masing-masing desa (Nugroho *et al.*, 2018). Setiap desa yang terdapat pada Kabupaten Serang bagian barat memiliki potensi bahaya pada kelas tinggi (Tabel 2). Kabupaten Serang memiliki potensi bencana tsunami yang disebabkan oleh gempa di kawasan Selat Sunda dan Samudra Hindia, aktivitas letusan Gunung Anak Krakatau, serta longsoran bawah laut. Hasil dari pengamatan pasca-tsunami 2018 menyatakan bahwa ketinggian gelombang tsunami yang terjadi di sekitar pesisir Kabupaten Serang bagian barat mencapai 3 meter dengan *run up* tsunami mencapai 6 meter (Muhari *et al.*, 2019). Kejadian tsunami ini menjadi pelajaran penting bagi masyarakat dan pemerintah. Peningkatan upaya mitigasi dan pengurangan dampak risiko bencana tsunami di daerah Kabupaten Serang sangat diperlukan mengingat daerah Selat Sunda memiliki potensi tsunami yang sangat tinggi.



**Gambar 6.** Bahaya Tsunami Kabupaten Serang Bagian Barat

**Tabel 2.** Luasan area kelas bahaya tsunami *level* desa di Kabupaten Serang bagian barat

ID Desa	Desa	Kecamatan	Bahaya			Total Luas	Kelas
			Luas bahaya (ha)				
			Rendah	Sedang	Tinggi		
3604312011	Kamasan	Cinangka	3,15	3,33	13,32	19,8	Tinggi
3604312010	Sindang laya	Cinangka	5,13	5,13	13,5	23,76	Tinggi
3604312006	Umbul tanjung	Cinangka	5,13	4,95	17,28	27,36	Tinggi
3604312005	Karang suraga	Cinangka	6,84	11,34	34,74	52,92	Tinggi
3604312004	Bulakan	Cinangka	4,14	6,66	36,72	47,52	Tinggi
3604312003	Pasauran	Cinangka	3,33	5,04	22,59	30,96	Tinggi
3604312001	Cinangka	Cinangka	2,07	3,06	11,34	16,47	Tinggi
Cinangka Total			29,79	39,51	149,49	218,79	Tinggi
3604302011	Tambang ayam	Anyar	2,88	4,41	16,83	24,12	Tinggi
3604302005	Bandulu	Anyar	4,41	5,67	13,95	24,03	Tinggi
3604302003	Cikoneng	Anyar	7,47	8,19	40,77	56,43	Tinggi
3604302001	Anyar	Anyar	7,11	9,36	37,8	54,27	Tinggi
Anyar Total			21,87	27,63	109,35	158,85	Tinggi

## KESIMPULAN

Kabupaten Serang merupakan daerah yang memiliki potensi tsunami yang cukup tinggi. Kabupaten Serang bagian barat menunjukkan potensi bahaya tsunami dengan rentang kelas rendah-tinggi, dominan kelas tinggi dengan total luas area 377,64 ha. Pemetaan bahaya tsunami dengan Sistem Informasi Geografis (SIG) dapat membantu proses mitigasi bencana secara efektif, efisien, dan akurasi yang cukup tinggi. Peta bahaya tsunami ini dapat dijadikan sebagai salah satu basis informasi dalam perencanaan mitigasi bencana, seperti pembuatan jalur evakuasi dan penentuan daerah yang aman dari bencana tsunami. Peta ini dibuat tanpa mempertimbangkan energi dan kecepatan gelombang tsunami yang mungkin terjadi, sehingga direkomendasikan untuk mempertimbangkan faktor tersebut dalam menganalisis bahaya tsunami di masa mendatang.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih ditujukan kepada Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan (FPIK), Universitas Brawijaya (UB) dan Badan

Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB), serta semua pihak yang telah membantu terlaksananya penelitian ini. Terima kasih juga disampaikan kepada kedua reviewer yang telah menjadikan tulisan ini layak untuk dibaca. Publikasi ini didanani dari hibah *Research Group Marine Resources Exploration and Management (MEXMA)*.

## DAFTAR PUSTAKA

- BIG Indonesia. 2018. Diakses pada 8 Juli 2020, dari <https://tanahair.indonesia.go.id/portal-web/download/perwilayah>
- BNPB. 2012. Peraturan Kepala Badan Nasional Penanggulangan Bencana Nomor 02 Tahun 2012 tentang Pedoman Umum Pengkajian Risiko Bencana.
- BNPB. 2020. Potensi Ancaman Bencana. Diakses pada 30 Juli 2020, dari <https://bnpb.go.id/potensi-ancaman-bencana>.
- BPS Kabupaten Serang. 2015. Diakses pada 30 Juli 2020, dari <https://serangkab.bps.go.id>
- DEMNAS BIG. 2020. Diakses pada tanggal 8 Juli 2020, dari <http://tides.big.go.id/DEMNAS/DEMNAS.php>.
- Muhari, A., Heidarzadeh, M., Susmoro, H., Nugroho, H. D., Kriswati, E., Supartoyo,



- Wijanarto, A.B., Imamura, F., & Arikawa, T. 2019. The December 2018 Anak Krakatau Volcano Tsunami as Inferred from Post-Tsunami Field Surveys and Spectral Analysis. *Pure and Applied Geophysics*, 176(12):5219–5233.
- Naryanto, H.S. 2019. Kajian Bahaya Tsunami di Pantai Utara Kabupaten Serang. *Jurnal Alami : Jurnal Teknologi Reduksi Risiko Bencana*, 3(2):112-121
- Nugroho, P.C., Pinuji, S.E., Yulianti, G., Wiguna, S., Syauqi, Shabrina, F. Z., Septian, R.T., Hafiz, A., Nugraha, A., Ichwana, A.N., Adi, A.W., Randonkir, R.E., Handayaningsih, T.U., & Iriyansyah, A.A. 2018. Modul Teknis Penyusunan Kajian Risiko Bencana Tsunami. Direktorat Pengurangan Risiko Bencana Badan Nasional Penanggulangan Bencana.
- PERDA Provinsi Banten Nomor 3 Tahun 2010 tentang Badan Penanggulangan Bencana Daerah Provinsi Banten
- Pratomo, R.A., & Rudiarto, I. 2015. Permodelan Tsunami dan Implikasinya Terhadap Mitigasi Bencana di Kota Palu. *Jurnal Pembangunan Wilayah dan Kota*, 9(2):174-182
- Pravitasari, A.E., Suhada, A., Mulya, S.P., Rustiadi, E., Murtadho, A., Wulandari, S., & Widodo, C.E. 2019. Land use/cover changes and spatial distribution pattern of rice field decreasing trend in Serang Regency, Banten Province. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 399, 012033.
- Rusli, Irjan, & Rudyanto, A. 2010. Pemodelan Tsunami Sebagai Bahan Mitigasi Bencana Studi Kasus Sumenep dan Kepulauannya. *Jurnal Neutrino*, 2(2):164-182 DOI: 10.18860/neu.v0i0.1639
- Sambah, A. B., Miura, F., Guntur, & Fuad. 2018. Spatial multi criteria approach for tsunami risk assessment. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 162.
- Susanto, Erwan., I. Nurrana., A. R. Setyahagi. 2020. Pemodelan Run-Up Tsunami di Wilayah Pesisir Pantai Sulawesi Barat. *Buletin GAW Bariri*, 1(2):87-93
- Zahro, Q. 2017. Kajian Spasial Risiko Bencana Tsunami Kabupaten Serang, Banten. *Jurnal Sains dan Teknologi Mitigasi Bencana*, 12(1):44–52.