



Pemodelan Spasial Bencana Tsunami Dengan Skenario Multi Ketinggian Genangan: Studi Kasus Desa Girijati, Gunungkidul

Nabila Putri Maharani^{1*}, Izzulhaq Ramadan², Leani Kristin³, Dwi Septi Rosmala Devi⁴, Afdalul Roihan⁵, Bayu Muhammad Nabiil Makarim⁶, Tri Wandi Januar⁷

^{1,2,3,4,5,6,7}Program Studi Geografi, Universitas Negeri Jakarta, Jakarta Timur, Indonesia

Email : *nabila_1411622047@mhs.unj.ac.id, izzulhaq_1411622017@mhs.unj.ac.id,
leani_1411622039@mhs.unj.ac.id, dwi_1411622025@mhs.unj.ac.id,
afdalul_1411622002@mhs.unj.ac.id, bayu_1441622060@mhs.unj.ac.id,
triwandijanuar@unj.ac.id

Dikirim: 28 Juni 2025; Revisi: 9 April 2026; Diterima: 11 April 2026

Abstrak: Wilayah pesisir selatan Pulau Jawa, khususnya Desa Girijati, Kabupaten Gunungkidul, memiliki tingkat kerawanan tinggi terhadap bencana tsunami karena letaknya yang berhadapan langsung dengan zona subduksi aktif. Permasalahan yang dihadapi adalah keterbatasan informasi spasial yang menggambarkan potensi sebaran genangan tsunami berdasarkan variasi ketinggian gelombang sebagai dasar mitigasi bencana. Penelitian ini bertujuan memodelkan sebaran genangan tsunami menggunakan skenario multi ketinggian gelombang serta menganalisis pengaruh topografi dan penggunaan lahan terhadap pola genangan. Metode yang digunakan adalah pemodelan spasial dengan pendekatan *Hloss* yang mempertimbangkan ketinggian gelombang tsunami 4 m, 6 m, dan 12 m, koefisien kekasaran permukaan, serta kemiringan lereng. Data diperoleh dari citra Sentinel-2, *Digital Elevation Model* Nasional (DEMNAS), peta penggunaan lahan, dan survei lapangan untuk validasi elevasi menggunakan metode *Root Mean Square Error* (RMSE). Hasil penelitian menunjukkan bahwa genangan tsunami 4 meter terbatas di zona pesisir, skenario 6 meter mulai menggenangi area permukiman dan lembah, sedangkan skenario 12 meter berdampak luas hingga mencakup hampir seluruh wilayah pesisir. Topografi karst berperan penting dalam membatasi dan mengarahkan sebaran genangan. Penelitian ini merekomendasikan penerapan mitigasi berbasis spasial dan penataan ruang adaptif terhadap risiko tsunami.

Kata kunci: Tsunami, Pemodelan Spasial, Genangan

Abstract: The southern coastal region of Java Island, particularly Girijati Village, Gunungkidul Regency, has a high level of vulnerability to tsunami disasters due to its direct exposure to an active subduction zone. The main issue addressed in this study is the limited availability of spatial information that represents the potential distribution of tsunami inundation based on variations in wave height as a basis for disaster mitigation. This study aims to model the spatial distribution of tsunami inundation using multi-wave height scenarios and to analyze the influence of topography and land use on inundation patterns. The method employed is spatial modeling using the *Hloss* approach, which considers tsunami wave heights of 4 m, 6 m, and 12 m, surface roughness coefficients, and slope gradients. Data were obtained from Sentinel-2 imagery, the National Digital Elevation Model (DEMNAS), land use maps, and field surveys for elevation validation using the *Root Mean Square Error* (RMSE) method. The results indicate that tsunami inundation at a height of 4 meters is confined to the coastal zone, the 6-meter scenario begins to inundate residential areas and valleys, while the 12-meter scenario results in extensive impacts covering nearly the entire coastal area. Karst topography plays a significant role in limiting and directing the spatial extent of inundation. This study recommends the implementation of spatially based mitigation strategies and adaptive spatial planning to reduce tsunami risk.

Keywords: Tsunami, Spatial Modeling, Inundati

This is an open access article under the [CC-BY](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/) license.



Pendahuluan

Indonesia merupakan negara kepulauan yang berada di wilayah pertemuan tiga lempeng tektonik utama dunia, yaitu Lempeng Eurasia, Lempeng Indo-Australia, dan Lempeng Pasifik. Ketiga lempeng ini memiliki pergerakan aktif dan saling berinteraksi sehingga menimbulkan aktivitas tektonik yang tinggi di kawasan Indonesia (Suri & Syafiudin, 2024). Lempeng Indo-Australia yang bergerak ke arah utara menekan Lempeng Eurasia di bagian selatan Pulau Jawa, menghasilkan zona subduksi aktif yang sering memicu gempa bumi dan tsunami (Syafitri et al., 2019). Seismisitas tinggi di wilayah ini menyebabkan Indonesia tergolong sebagai salah satu negara dengan tingkat risiko bencana alam tertinggi di dunia (Isdianto et al., 2021).

Tsunami adalah bencana alam yang jarang terjadi dengan periode ulang yang panjang, tetapi berpotensi menimbulkan dampak bermagnitudo besar serta memiliki pola kemunculan yang tidak menentu sehingga sulit diprediksi secara akurat. (Mutaqin et al., 2020). Tsunami umumnya dipicu oleh gempa bumi bawah laut, yang mengakibatkan pergeseran dasar laut dan menghasilkan gelombang besar yang menghantam wilayah pesisir (Usman, 2019). Dalam konteks ini, gempa bumi dan tsunami memiliki dampak multidimensional baik dari aspek korban jiwa, kerusakan infrastruktur, maupun gangguan sosial-ekonomi masyarakat. Beberapa studi menunjukkan bahwa wilayah pesisir selatan Pulau Jawa, khususnya Daerah Istimewa Yogyakarta (DIY), termasuk dalam zona rawan tsunami. BNPB (2021) mengidentifikasi Kabupaten Bantul, Kulon Progo, dan Gunungkidul sebagai wilayah yang sangat rentan terhadap tsunami karena letaknya yang berhadapan langsung dengan zona megathrust Indo-Australia (Dewi & Iskandar, 2021).

Desa Girijati di Kecamatan Purwosari, yang secara geografis bersentuhan langsung dengan pantai selatan, tergolong dalam wilayah berisiko tinggi (Robiana et al., 2018). Selain itu, kondisi topografi di wilayah pesisir DIY yang bervariasi turut memengaruhi tingkat kerentanan bencana. Desa Girijati sendiri memiliki kemiringan lereng berkisar antara 2–8% yang tergolong landai (Suryani et al., 2021). Hal ini diperkuat oleh fakta bahwa kawasan pesisir dengan elevasi rendah cenderung lebih rentan terhadap gelombang tsunami, karena ketinggian wilayah memengaruhi sejauh mana gelombang dapat menjangkau daratan. Semakin tinggi suatu wilayah, semakin kecil kemungkinan gelombang tsunami mencapainya (Firdaus et al., 2023). Selain faktor fisik, secara historis wilayah pesisir selatan Jawa telah beberapa kali mengalami kejadian tsunami, seperti peristiwa tahun 1994 di Banyuwangi, 2006 di Pangandaran, dan 2018 di Selat Sunda. Riwayat kejadian ini menegaskan bahwa kawasan pesisir selatan, termasuk Desa Girijati, merupakan wilayah dengan risiko tsunami yang signifikan.

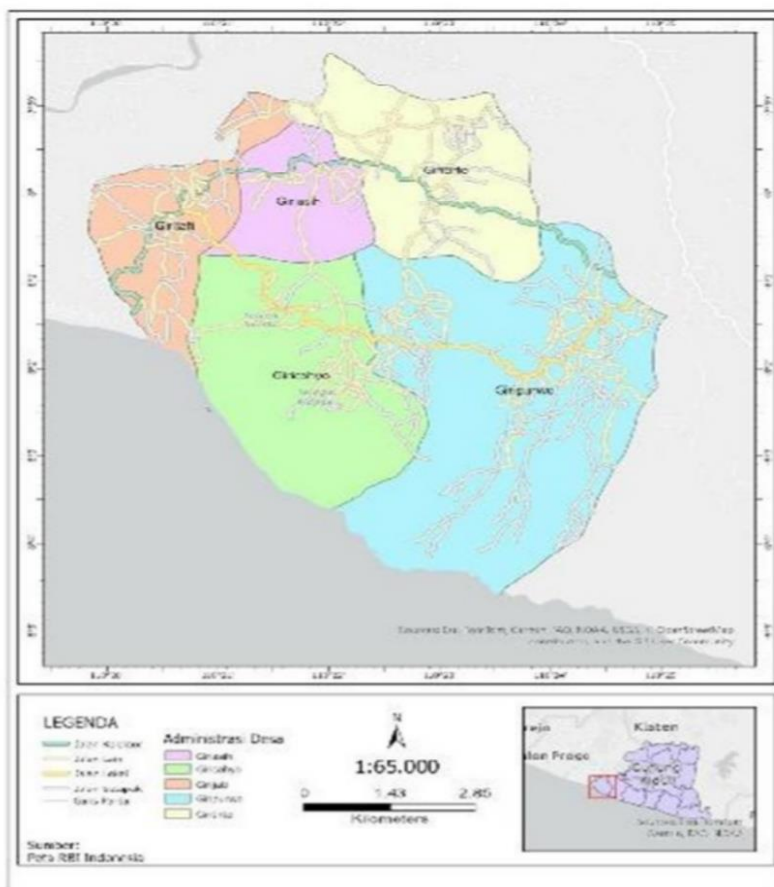
Sejumlah penelitian juga memperkuat potensi bahaya tersebut, hasil penelitian Widiyantoro et al. (2021) melalui pemodelan gempa *megathrust* dan analisis *seismic gap* di selatan Jawa menunjukkan adanya potensi besar terjadinya tsunami di masa depan. Studi tersebut memodelkan skenario gelombang tsunami dengan ketinggian rata-rata mencapai 4,5 meter dan maksimum hingga 20 meter. Demikian pula Budiman et al. (2022) dalam penelitiannya tentang pemetaan kerentanan tsunami di Kabupaten Bantul menemukan bahwa dalam skenario gelombang tsunami 10–20 meter, luas genangan dapat mencapai lebih dari 20 km², berdampak langsung pada permukiman dan lahan pertanian. Melihat tingginya potensi bahaya tersebut, maka penting dilakukan pemodelan spasial untuk mengidentifikasi sejauh mana wilayah terdampak tsunami serta menghitung tingkat kerentanan wilayah, khususnya di Desa Girijati. Penelitian ini bertujuan untuk memetakan luas genangan tsunami berdasarkan skenario ketinggian gelombang dan menganalisis tingkat kerentanan wilayah berdasarkan tutupan lahan dan juga aspek sosial spasial. Kajian ini diharapkan dapat menjadi dasar dalam upaya

mitigasi dan perencanaan tata ruang berbasis risiko di wilayah pesisir selatan Yogyakarta.

Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan rancangan penelitian deskriptif kuantitatif dengan pendekatan pemodelan spasial (*spatial modeling*). Pendekatan ini dipilih karena mampu mensimulasikan skenario bencana tsunami yang bersifat kompleks dan sulit diprediksi waktu kejadiannya, sehingga memungkinkan identifikasi zona bahaya secara presisi tanpa harus menunggu kejadian bencana yang sebenarnya. Fokus utama penelitian adalah memetakan jangkauan genangan (*inundation*) berdasarkan variabel fisik wilayah melalui simulasi matematis.

Lokasi penelitian berada di Pantai Parangendog di kawasan pesisir selatan Desa Girijati Kecamatan Purwosari, Kabupaten Gunung Kidul yang berbatasan langsung pada pantai Parangtritis. Pemilihan lokasi ini didasarkan pada karakteristik wilayah yang memiliki area terbangun (*build up area*) yang sangat dekat dengan garis pantai serta posisi geografisnya yang menghadap langsung ke zona subduksi aktif selatan Jawa, sehingga memiliki tingkat kerentanan tinggi terhadap potensi sapuan gelombang tsunami.



Gambar 1. Peta Batas Administrasi Kecamatan Purwosari (Sumber: Penulis, 2025)

Pengumpulan data dilakukan menggunakan teknik dokumentasi data sekunder dan survei lapangan untuk validasi. Data spasial utama yang digunakan meliputi Citra Sentinel-2A untuk interpretasi penggunaan lahan, data *Digital Elevation Model Nasional* (DEMNAS) untuk ekstraksi nilai elevasi/ketinggian lahan, serta Peta Rupa Bumi Indonesia (RBI) dari Ina-Geoportal untuk batas administrasi dan garis pantai. Selain itu, survei lapangan dilakukan untuk uji validasi ketinggian (elevasi) pada titik-titik sampel menggunakan GPS guna mengukur

akurasi data model digital yang digunakan, keterangan data lebih detail tertera pada **Tabel 1**.

Analisis data pada penelitian ini untuk pemodelan wilayah terdampak inundasi tsunami menggunakan metode *Hloss* yang dikembangkan oleh Berryman (2006). Metode ini dipilih karena mampu memodelkan penurunan ketinggian gelombang tsunami per satu meter jarak inundasi dengan mempertimbangkan hambatan fisik berupa koefisien kekasaran permukaan (*roughness coefficient*) dan kemiringan lereng (*S*) (BNPB, 2018). Rumus *Hloss* menghitung degradasi energi gelombang berdasarkan ketinggian awal tsunami di garis pantai (*H0*) dan jenis tutupan lahan yang dilalui air. Nilai koefisien kekasaran ditentukan melalui reklasifikasi peta penggunaan lahan, di mana setiap kelas (seperti badan air, hutan, semak, hingga permukiman) diberi bobot nilai yang berbeda sesuai ketentuan BNPB (2018) guna mendekati kondisi riil hambatan di lapangan. Perhitungan *Hloss* didasarkan pada ketinggian *run up* saat di garis pantai (Budiman & Syafiudin, 2024). Simulasi pemodelan dilakukan dengan tiga skenario variasi ketinggian gelombang, yaitu 4 meter, 6 meter, dan 12 meter, untuk menganalisis perbedaan luas dan jangkauan dampak genangan pada berbagai tingkat ancaman. Data yang digunakan dalam penelitian ini meliputi:

Tabel 1. Data Yang Digunakan

<i>No</i>	<i>Data</i>	<i>Sumber</i>	<i>Keterangan</i>
1	Penggunaan lahan Kab. Gunung Kidul	Citra Sentinel 2A	Sekunder
2	Ketinggian/Elevasi Kab. Gunung Kidul	DEMNAS	Sekunder
3	Peta garis Pantai Kab. Gunung Kidul	Citra Rupa Bumi Indonesia	Sekunder
4	Batas Administrasi Kab. Gunung Kidul	Rupa Bumi Indonesia - Ina Geoportal	Sekunder

(Sumber: Penulis, 2025)

Pengolahan data dilakukan di perangkat lunak ArcGIS 10.8 dengan tiga variasi ketinggian gelombang tsunami, yaitu 4 meter, 6 meter, dan 12 meter. Perhitungan *Hloss* diformulasikan sebagai berikut:

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

Keterangan :

Hloss : Kehilangan ketinggian tsunami per 1 meter jarak

n : Koefisien kekasaran permukaan

H0 : Ketinggian gelombang tsunami di garis pantai (m)

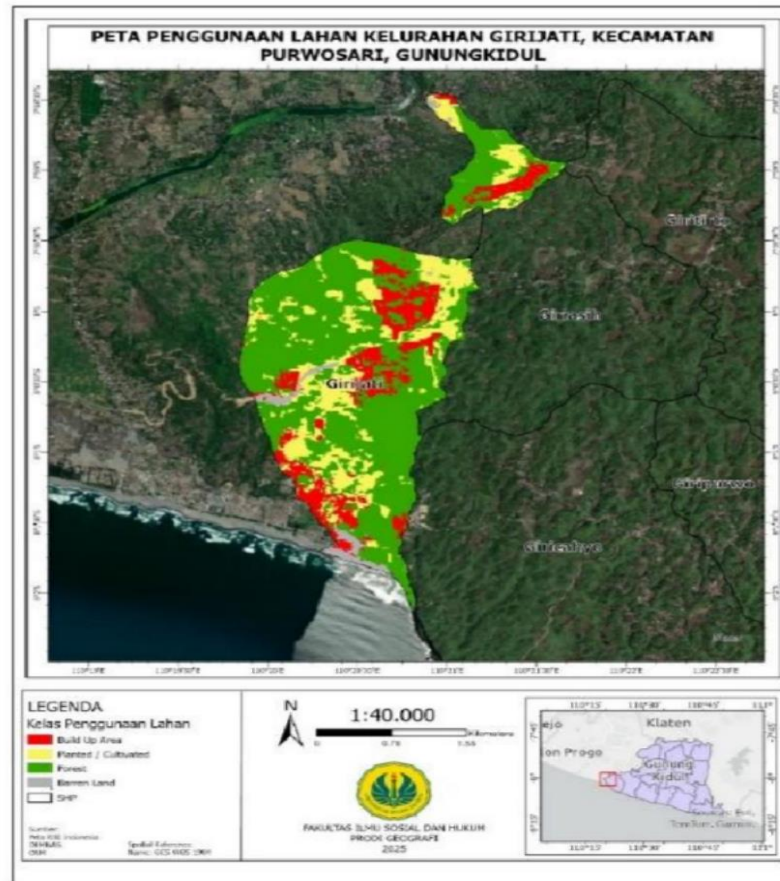
S : Besarnya lereng permukaan (derajat)

Salah satu parameter dalam perhitungan *Hloss* adalah koefisien kekasaran permukaan. Nilai koefisien kekasaran diperoleh melalui interpretasi peta tutupan lahan, di mana masing-masing kelas tutupan lahan diberikan skor tertentu. Pembuatan peta kekasaran permukaan bertujuan untuk mendekati hasil simulasi rambatan tsunami dari garis pantai ke daratan dengan kondisi nyata di lapangan (Humam, 2015)

Tabel 2. Koefisien Kekasaran Permukaan Per Jenis Penutup/Penggunaan Lahan

<i>Jenis</i>	<i>Nilai Koefisien</i>
Badan Air	0.007
Rawa	0.015
Empang	0.007
Tambak	0.010
Pasir/Bukit Berpasir	0.018
semak/belukar	0.040
Padang Rumput	0.020
Hutan	0.070
Kebun/Perkebunan	0.035
Tegalan/Ladang	0.030
Sawah	0.020
Lahan Pertanian	0.025
Pemukiman/Lahan Terbangun	0.050
Mangrove	0.060

(Sumber: Dimodifikasi dari Berryman (2006) dalam Modul Teknis Penyusunan Kajian Risiko Bencana Tsunami)



Gambar 2. Peta Penggunaan Lahan (Sumber: Penulis, 2025)

Selain itu, penggunaan lahan juga digunakan untuk melihat sejauh mana hasil pemodelan berdampak ke area mana saja. Berdasarkan peta penggunaan lahan yang telah dibuat, Kelurahan Girijati yang berada di dekat Pantai Parangendog didominasi oleh hutan yang ditandai dengan warna hijau, lalu terdapat perkebunan berwarna kuning dan area terbangun berwarna merah, serta barren land berwarna abu.

Hasil Penelitian

Pengukuran dan Validasi Lapangan

Analisis terhadap hasil pengukuran dan validasi lapangan merupakan tahapan krusial dalam memastikan reliabilitas serta validitas data yang diperoleh. Validasi lapangan dilakukan sebagai bentuk triangulasi terhadap metode pengukuran yang digunakan, dengan tujuan meningkatkan akurasi temuan. Pengambilan titik sampel pemodelan tsunami diambil pada tanggal 13 Mei 2025 dan 14 Mei 2025 berdasarkan pada ketinggian genangan tsunami 4 m, 6 m, dan 12 m.

Pengukuran dan uji validasi ketinggian dilakukan menggunakan aplikasi Avenza Maps dengan memanfaatkan fitur GPS untuk memperoleh data elevasi secara langsung di lapangan. Sebanyak 34 titik sampel ketinggian dipilih berdasarkan ketinggian, penggunaan lahan, dan wilayah yang dapat dijangkau di berbagai lokasi studi untuk merepresentasikan variasi topografi wilayah. Titik-titik ini digunakan sebagai acuan dalam memverifikasi akurasi data ketinggian dari peta topografi atau model digital elevasi (DEM) yang digunakan dalam analisis. Pengukuran data elevasi secara langsung dilakukan dalam dua hari dengan mengambil beberapa titik yang mewakili ketinggian tertentu.

Tabel 3. Titik Ketinggian Berdasarkan Sampel Avenza dan DEM

<i>Ketinggian Meter (Avenza)</i>	<i>Ketinggian Meter (DEM)</i>
14.74	1
15.92	5
17.42	-1
26.09	32
26.83	29
28.31	13
28.63	16
29.33	-5
31.11	34
32.18	33
34.57	46
34.66	37
37.93	41
41.86	40
46.55	63
46.57	46
51.06	80
64.24	84
33.76	34
46.19	46
48.58	45
54.38	51
54.98	54
55.39	56
56.72	59
57.21	55
57.78	62
61.08	65
65.55	67
68.41	68
72.27	74
73.52	72

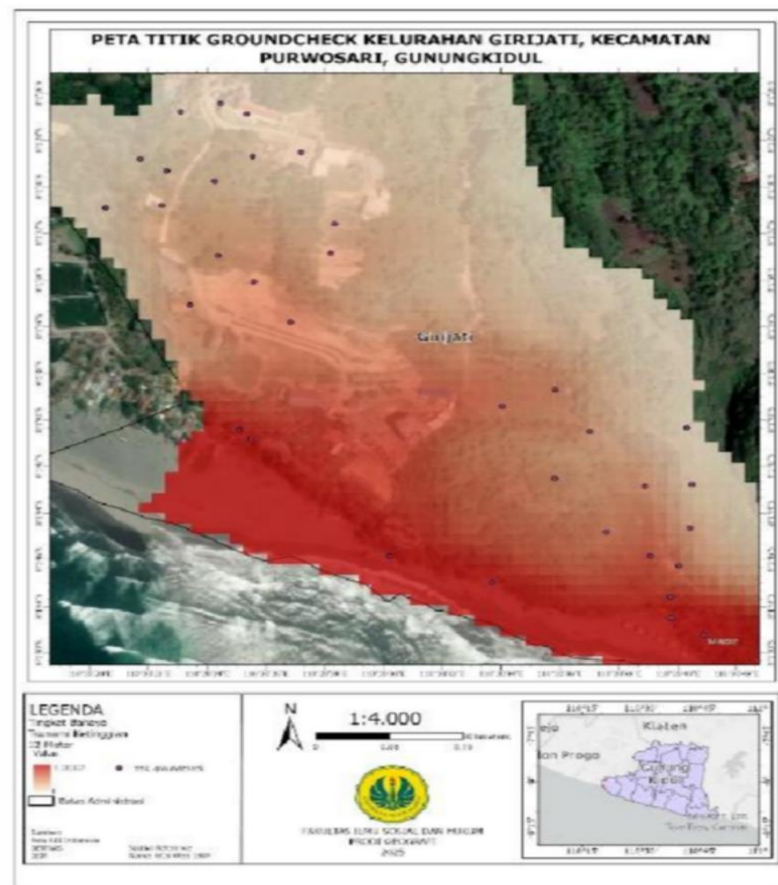
77.15
79.46

79
75

(Sumber: Penulis, 2025)

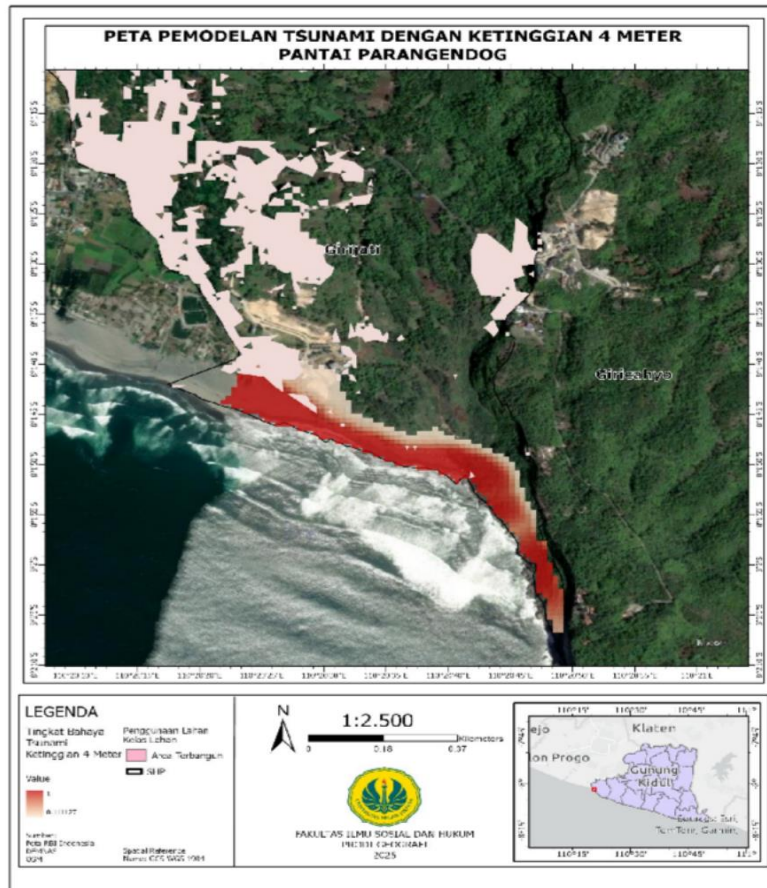
Titik-titik sampel ketinggian yang diperoleh dari pengukuran lapangan kemudian dibandingkan dengan nilai ketinggian yang diekstrak dari data DEM. Selisih antara nilai aktual dan nilai DEM tersebut dihitung dan dianalisis menggunakan metode Root Mean Square Error (RMSE) untuk mengetahui tingkat akurasi data DEM terhadap kondisi sebenarnya di lapangan. Root Mean Square Error adalah metode penjumlahan kuadrat error atau selisih antara nilai riil da nilai prediksi. Berdasarkan perhitungan RSME diperoleh nilai sebesar 940,3895439. Nilai ini menunjukkan bahwa terdapat rata rata selisih sebesar ± 940 meter antara data ketinggian hasil ekstraksi DEM dengan data ketinggian yang diambil pada titik sampel.

Perbedaan yang cukup signifikan tersebut disebabkan oleh keterbatasan presisi alat ukur yang digunakan dalam pengambilan data lapangan, yaitu aplikasi Avenza Maps yang memanfaatkan GPS internal pada perangkat seluler. Sistem GPS pada perangkat non-survei memiliki tingkat akurasi yang relatif rendah, khususnya dalam pengukuran elevasi. Akurasi ini sangat dipengaruhi oleh berbagai faktor eksternal, seperti tutupan vegetasi, kondisi atmosfer, keberadaan penghalang fisik, serta kualitas dan jumlah sinyal satelit yang diterima.



Gambar 3. Peta Titik *Groundcheck* Kelurahan Girijati (Sumber: Penulis, 2025)

Inundasi Skenario Multi Ketinggian Tsunami Inundasi 4 Meter



Gambar 4. Peta Pemodelan Tsunami Ketinggian 4 meter (Sumber: Penulis, 2025)

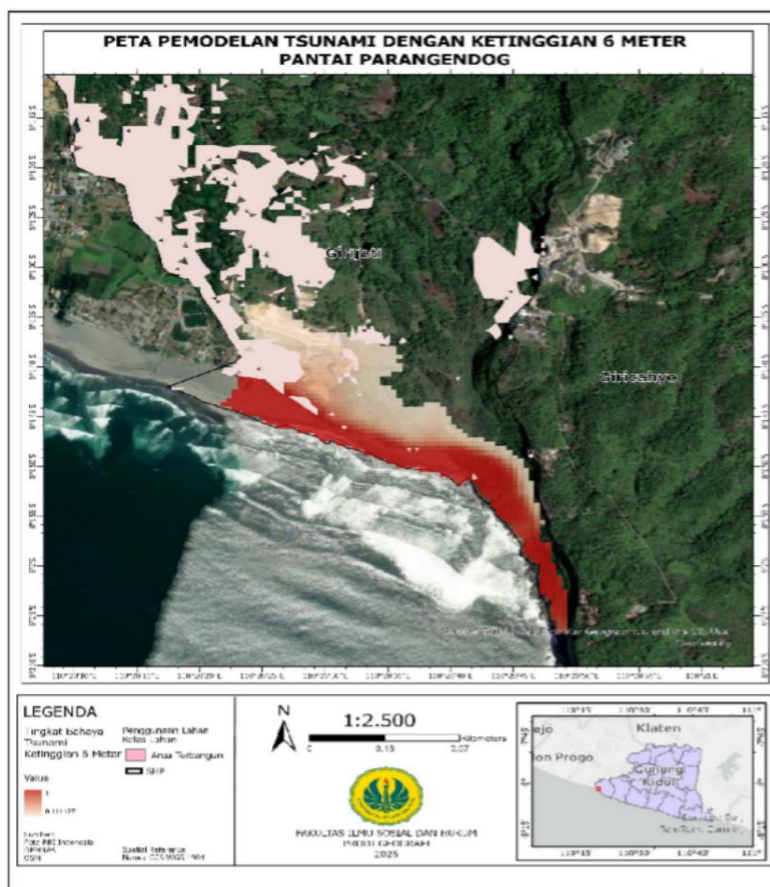
Berdasarkan hasil pemodelan ketinggian gelombang tsunami setinggi 4 meter menunjukkan hanya berdampak pada wilayah pantai dan menjangkau beberapa titik area terbangun yang berbatasan dengan garis pantai. Genangan inundasi tidak meluas ke arah timur laut karena pantai Parangendog memiliki bentang alam berupa tebing curam yang dengan elevasi yang cukup tinggi sehingga mampu menghambat pergerakan gelombang menuju daratan yang lebih tinggi. Kondisi topografi ini turut menjelaskan alasan zona merah pekat yang merepresentasikan tingkat bahaya tinggi lebih terkonsentrasi di area pesisir, sementara wilayah di bagian atas tebing relatif tidak terdampak langsung oleh gelombang.

Inundasi 6 Meter

Pemodelan Tsunami dengan Ketinggian 6 Meter di Pantai Parangendog menunjukkan perluasan signifikan wilayah yang terdampak dibandingkan skenario tsunami 4 meter **Gambar 5**. Zona bahaya tsunami ditandai dengan gradasi warna merah yang lebih meluas ke arah daratan, menandakan peningkatan cakupan genangan. Dengan bertambahnya ketinggian gelombang menjadi 6 meter, area yang sebelumnya aman pada skenario 4 meter kini mulai teridentifikasi sebagai area yang memiliki tingkat bahaya sedang hingga tinggi. Genangan tsunami menjangkau lebih jauh ke area dataran yang relatif rendah dan terbuka di belakang

zona pantai, termasuk daerah yang lebih dekat dengan permukiman dan area terbuka lainnya. Di sisi timur, gelombang tsunami juga merambah lebih dalam ke wilayah yang secara topografi merupakan lembah antara dua perbukitan, terutama mendekati batas wilayah Giricahyo. Wilayah ini cenderung menjadi jalur masuk gelombang air karena bentuk morfologinya yang memudahkan arus masuk.

Secara umum, perluasan zona merah tua (nilai indeks bahaya tertinggi) terlihat dominan di sepanjang garis pantai hingga beberapa ratus meter ke arah utara dan timur laut. Ini menunjukkan bahwa dengan kenaikan 2 meter dari skenario sebelumnya, potensi bahaya meningkat secara eksponensial. Beberapa area terbangun yang sebelumnya berada di zona aman kini termasuk dalam zona terdampak, yang berimplikasi pada kebutuhan relokasi darurat atau pembangunan infrastruktur evakuasi di lokasi yang lebih tinggi.



Gambar 5. Peta Pemodelan Tsunami Ketinggian 6 meter (Sumber: Penulis, 2025)

Inundasi 12 Meter

Peta pemodelan tsunami dengan ketinggian 12 meter menunjukkan skenario terburuk yang memperlihatkan cakupan genangan maksimum di wilayah pesisir Desa Girijati, Kecamatan Purwosari **Gambar 6**. Hal ini sesuai dengan penelitian Widiyantoro et al. (2020), kawasan pantai selatan Jawa, termasuk wilayah Yogyakarta dan Jawa Tengah, secara geologi berada di atas zona subduksi aktif yang mampu menghasilkan tsunami dengan ketinggian gelombang antara 4 hingga 12 meter, akibat pergeseran megathrust di zona pertemuan Lempeng Indo-Australia dan Eurasia.

Hasil Pemodelan ini 12 meter menjangkau sangat luas ke arah pedalam. Tidak hanya area pesisir dan vegetasi pantai, namun pemukiman penduduk, lahan perkebunan, dan fasilitas publik yang sebelumnya beradada di zona aman atau sedang pada skenario 4 dan 6 meter kini

pada kawasan pantai datar dan lekukan dangkal, luas wilayah terendam masih kecil. Pada skenario 6 meter, genangan meluas secara signifikan ke daratan dan dapat menenggelamkan pemukiman pesisir. Pada penelitian oleh Cahyadi (2017) pemodelan di Pantai Sadeng (Gunungkidul) menunjukkan bahwa pada gelombang setinggi 6 m seluruh permukiman pesisir akan tenggelam. Skenario 12 meter memperlihatkan penetrasi maksimum ke darat, dengan genangan mencapai pedalaman lembah karst dan sebagian besar infrastruktur pesisir. Skenario 12 m dipilih sebagai kasus ekstrim karena penelitian seismik menunjuk potensi tsunami setinggi 12–20 m di selatan Jawa (Widiyantoro et al., 2020). Hasil pemodelan wilayah tsunami menunjukkan bahwa skenario 12 m dapat merendam sebagian besar bangunan di kawasan pesisir Girijati seperti pantai Parangendog. Dengan kata lain, kenaikan ketinggian gelombang tsunami secara dramatis memperluas luas genangan dan meningkatkan kedalaman air, dari cakupan terbatas (4 m) hingga bahaya total (12 m).

1. Skenario 4 m: Genangan hanya di pantai pesisir rendah; sebagian besar daerah pemukiman tidak tersentuh.
2. Skenario 6 m: Genangan mencakup desa pesisir; di teluk-teluk dangkal sepanjang pantai Parangritis, seluruh pemukiman terendam.
3. Skenario 12 m: Kasus ekstrem; aliran air menembus lembah dan dataran rendah lebih jauh. sebagian besar bangunan pesisir Gunungkidul terendam pada 12 m.

Pengaruh Topografi dan Morfologi Wilayah

Topografi karst kawasan Gunung Sewu memiliki peran signifikan dalam memengaruhi pola sebaran dan intensitas genangan tsunami. Secara geomorfologis, keberadaan lembah dan dataran rendah berfungsi sebagai koridor alami yang memfokuskan aliran gelombang tsunami ke arah daratan, sehingga meningkatkan kedalaman dan jangkauan genangan. Kondisi ini sejalan dengan temuan Marfai et al. (2013) dan Mustafa & Yudhicara (2016) yang menyatakan bahwa pantai berkarakter datar hingga landai di kawasan karst selatan Yogyakarta cenderung memiliki tingkat kerentanan tsunami lebih tinggi dibandingkan pantai bertebing curam. Sebaliknya, perbukitan kapur dan tebing karst yang curam berfungsi sebagai penghalang alami (*natural barrier*) terhadap rambatan tsunami. BNPB (2018) menegaskan bahwa elevasi tinggi, lereng curam, dan relief terjal secara signifikan mampu mereduksi energi gelombang tsunami sehingga menurunkan tingkat genangan di area belakangnya. Studi Isdianto et al. (2021) dan Budiman & Syafiudin (2024) juga menunjukkan bahwa wilayah pesisir dengan topografi berbukit memiliki indeks kerentanan tsunami yang lebih rendah dibandingkan kawasan dataran pantai terbuka. Pada konteks kawasan karst Gunung Sewu, morfologi perbukitan yang menghadap langsung ke laut membentuk tebing-tebing kapur yang relatif tinggi dan curam. Karakter ini menyebabkan gelombang tsunami cenderung terhalang, terpantulkan, atau kehilangan energi sebelum mencapai area permukiman di bagian belakang pantai. Hal ini diperkuat oleh tipologi pesisir karst yang dikemukakan Cahyadi et al. (2017), di mana pantai bertipe tebing terjal dan berbatu memiliki fungsi protektif yang lebih baik dibandingkan pantai berpasir lebar yang bersifat akumulatif terhadap energi gelombang.

Hasil pemodelan genangan dalam penelitian ini menunjukkan bahwa pada skenario ketinggian tsunami 4 meter, genangan hanya berdampak pada zona pantai dan beberapa area terbangun yang berada dekat garis pantai. Area terbangun yang terletak di atas tebing karst, seperti fasilitas akomodasi dan permukiman di perbukitan kapur, relatif tidak terdampak genangan. Temuan ini konsisten dengan hasil simulasi tsunami di wilayah pesisir lain yang memiliki topografi curam, di mana elevasi dan kemiringan lereng berperan penting dalam membatasi penetrasi gelombang ke daratan (Usman, 2019; Suri & Syafiudin, 2024). Selain faktor fisik, pola permukiman masyarakat pesisir Gunungkidul juga secara tidak langsung memperkuat fungsi perlindungan alami topografi. Dewi & Iskandar (2021) mencatat bahwa

masyarakat pesisir selatan DIY umumnya tidak bermukim permanen di garis pantai, melainkan di kawasan perbukitan karst di belakangnya. Pola ini menyebabkan permukiman relatif berada pada elevasi yang lebih aman terhadap tsunami, meskipun aktivitas ekonomi dan pariwisata tetap terpusat di wilayah pesisir. Dengan demikian, kombinasi antara topografi karst yang berbukit dan pola pemanfaatan ruang masyarakat berkontribusi dalam menurunkan tingkat risiko tsunami secara lokal, meskipun tidak sepenuhnya menghilangkan potensi bahaya.

Implikasi Ketinggian Gelombang terhadap Dampak Sosial

Meningkatnya ketinggian tsunami berdampak besar secara sosial. Gelombang tinggi akan merusak pemukiman dan fasilitas publik dengan skala lebih luas. Sebagaimana Rumamby (2024) ungkapkan pada bukunya: sejarah Aceh 2004 menggambarkan bagaimana tsunami >30 m menghancurkan segala di depannya termasuk rumah, bangunan, dan infrastruktur umum. Dalam skenario lokal, tsunami 12 m dapat menenggelamkan sebagian besar bangunan di desa pesisir sehingga puluhan hingga ratusan jiwa berada dalam bahaya. Imbasnya, korban jiwa dan luka-luka meningkat drastis. Di sisi lain, fasilitas kritis (sekolah, puskesmas, jembatan, jalan utama) yang terkena genangan parah akan putus hubungan. Pipa air, listrik, komunikasi, dan akses transportasi dapat terganggu sehingga menunda evakuasi dan penanganan darurat. Tsunami Aceh 2004 contohnya memutus jaringan transportasi sehingga penyaluran bantuan sulit. Untuk konteks Gunungkidul, meskipun banyak penduduk pesisir yang tidak menetap di tepi pantai, tetapi kebanyakan objek vital seperti destinasi wisata atau fasilitas nelayan tetap berada di pesisir. Pada gelombang rendah (4–6 m) mungkin hanya area terbatas terkena; namun gelombang tinggi (12 m) bisa menenggelamkan dermaga, masjid di tepi pantai, pasar desa, dan mematikan jalur akses utama. Secara psikososial, meningkatnya ancaman ini menambah stres masyarakat: warga yang sebelumnya hanya beraktivitas di pantai menjadi benar-benar terdampak tsunami.

Hasil pemodelan ini sejalan dengan temuan penelitian terdahulu. Widiyantoro et al. (2020) yang memperkirakan skenario terburuk tsunami selatan Jawa mencapai 12~20 m. Kajian Marfai & Cahyadi (2013) juga menegaskan pola serupa di Gunungkidul, di mana tsunami setinggi 6 m mampu merendam sebagian besar pemukiman pantai. Kawasan lembah karst datar memiliki kerentanan tinggi pada skenario 12 m. Secara morfologi karst, literatur Gunung Sewu (Haryono 2011; Kusumayudha 2009; Marfai dkk. 2013) menjelaskan bentuk relief kegel karst – bukit kerucut berulang dan lembah-lembahnya – yang relevan dengan pola tsunami. Kondisi karst ini sejalan dengan pengamatan bahwa desa-desa Gunungkidul tidak berada di dataran pantai yang luas namun setiap tebing pelindung dapat mencegah sebagian masuknya gelombang. Lebih jauh, pedoman risiko tsunami nasional (BNPB 2011) menyarankan tinggi tsunami Jawa maksimal 11–13,9 m mendukung pemilihan skenario multiketinggian (4–12 m) dalam studi ini. Secara umum, literatur mitigasi spasial menekankan perlunya mempertimbangkan variasi topografi dan skenario ekstrem.

Kesimpulan

Penelitian ini menunjukkan bahwa pemodelan spasial dengan skenario multi ketinggian genangan tsunami memberikan skenario mengenai potensi dampak bencana di wilayah pesisir selatan, khususnya Desa Girijati. Berdasarkan simulasi ketinggian 4 meter, genangan terbatas di wilayah pesisir; pada ketinggian 6 meter, genangan meluas hingga ke permukiman dan lembah; sedangkan pada skenario 12 meter, hampir seluruh wilayah pesisir termasuk permukiman, lahan pertanian, dan fasilitas publik terdampak secara signifikan. Faktor topografi dan morfologi kawasan karst sangat memengaruhi arah dan sebaran genangan. Hasil ini menekankan pentingnya perencanaan mitigasi berbasis spasial serta penyusunan tata ruang yang mempertimbangkan skenario bencana terburuk guna meminimalisir risiko sosial dan

ekonomi di masa depan. Penelitian selanjutnya disarankan untuk mengembangkan kajian resiko tsunami yang lebih komprehensif dengan memasukan aspek kerentanan sosial dan kapasitas masyarakat serta penggunaan data topografi resolusi tinggi guna meningkatkan akurasi pemodelan.

Ucapan Terimakasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Program Studi Geografi Universitas Negeri Jakarta atas dukungan akademik selama proses penelitian. Penghargaan juga disampaikan kepada Pemerintah Desa Girijati dan masyarakat setempat atas bantuan dan kerjasamanya dalam pengumpulan data lapangan. Apresiasi juga diberikan kepada seluruh tim penulis atas kontribusi kolektif dalam penyusunan artikel ini.

Referensi

- BNPB. (2018). Modul Teknis Penyusunan Kajian Risiko Bencana Tsunami. *Direktorat Pengurangan Risiko Bencana Badan Nasional Penanggulangan Bencana*, 1–95.
- Budiman, M. J., & Syafiudin, M. F. (2024). Pemetaan Kerentanan Bahaya Tsunami dengan Pemodelan Inundansi (Studi Kasus: Kabupaten Bantul). *Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan*, 9(2), 157-166. <https://doi.org/10.29244/jsil.9.2.157-166>
- Cahyadi, A., Yananto, A., & Hidayat, F. N. (2017). Tipologi Pesisir Kawasan Karst Kabupaten Wonogiri.
- Dewi, M. K., & Iskandar, D. A. (2021). Ketangguhan Wilayah Pesisir Selatan Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta Terhadap Bahaya Bencana Tsunami. *Jurnal Perencanaan dan Pengembangan Kebijakan*, 1(1), 1-13.
- Fatchurohman, H., Cahyadi, A., Adji, T. N., & Riyanto, I. A. (2023). *An Example of Karst Features Identification Using High-Resolution Aerial Photograph for Environmental Management at Pindul Cave Area, Gunung Sewu Karst, Indonesia*. Atlantis Press. https://doi.org/10.2991/978-94-6463-122-7_15
- Firdaus, A. N., Alfaris, L., Fitira, P. T., & Latuputty, G. (2023). Zonasi Rawan Bencana Tsunami Di Pesisir Kabupaten Pangandaran. *Aurelia Journal*, 5(1), 167–176. <https://ejournal-balitbang.kkp.go.id/index.php/aureliajournal/index>
- Humam, K. (2015). Pemetaan Jalur Evakuasi Tsunami Berdasarkan Skenario Ketinggian Gelombang Tsunami Di Sebagian Wilayah Pesisir Kota Banda Aceh.
- Isdianto, A., Kurniasari, D., Subagiyo, A., Haykal, M. F., & Supriyadi. (2021). Pemetaan kerentanan tsunami untuk mendukung ketahanan wilayah pesisir. *Jurnal Permukiman*, 16(2), 90–100.
- Marfai, M. A., Cahyadi, A., & Anggraini, D. F. (2013, December). Tipologi, Dinamika dan Potensi Bencana di Pesisir Kawasan Karst Kabupaten Gunungkidul. In *Forum Geografi* (Vol. 27, No. 2, pp. 151-162).
- Mustafa, M. A., & Yudhicara. (2016). Karakteristik Pantai Dan Resiko Tsunami Di Kawasan Pantai Selatan Yogyakarta. *Jurnal Geologi Kelautan*, 5(3), 159-167. <http://dx.doi.org/10.32693/jgk.5.3.2007.143>
- Mutaqin, B. W., Amri, I., & Aditya, B. (2020). Spatial Pattern of Tsunami Events and Disaster Management Development in Indonesia Following the 2004 Indian Ocean Tsunami: A Review. *Jurnal Lingkungan Dan Bencana Geologi*, 11(2), 73-85. <https://jlbgeologi.esdm.go.id/index.php/jlbgeologi>
- Robiana, R., Adiminarno, P., & L, A. P. (2018). Penentuan Zona Bahaya Tsunami Berdasarkan Pemodelan Di Wilayah Gunung Kidul, Yogyakarta. *J. Geomin. (jurnal Geol. Miner. Dan Batubara)*, 3(2), 105-114. <https://doi.org/10.58522/ppsdm22.v3i2.89>

- Rumambi J. Freddy. (2024). *Bencana Tsunami dan Dampaknya terhadap Lingkungan di Indonesia* (Zulfa, Ed.; 1st ed.). Haura Utama.
- Suri, S. A., & Syafiudin, M. F. (2024). Analisis Dampak Bencana Tsunami dan Perencanaan Jalur Evakuasi (Studi Kasus: Kabupaten Sukabumi). *Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan*, 9(1), 11-20.
- Suryani, N., Yusliana, Y., & Fitria, L. M. (2021). Potensi Pengembangan Pusat Pertumbuhan Berdasarkan Tipologi Perkotaan Wilayah Pesisir Daerah Istimewa Yogyakarta. *MATRA*, 2(3), 35–44. <https://journal.itny.ac.id/index.php/matra/index>
- Syafitri, Y., Bahtiar, B., & Didik, L. A. (2019). Analisis pergeseran lempeng bumi yang meningkatkan potensi terjadinya gempa bumi di pulau Lombok. *Konstan-Jurnal Fisika Dan Pendidikan Fisika*, 4(2), 139-146.
- Usman, F. (2019). Predicting the Vulnerable Area of Tsunami Hazard Using CADMAS Surf 3D Case Study: Kolaka City, Southern Sulawesi, Indonesia. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 620(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/620/1/012028>