



Analisis Spasial Kerentanan Kabupaten Mandailing Natal Terhadap Bencana Tsunami dengan Menggunakan Sistem Informasi Geografis

Spatial Analysis of Mandailing Natal Regency's Vulnerability to Tsunami Disasters Using Geographic Information Systems

Grace Indah Situmeang^{1*}, Nurintan², Rud Sahanaia Sari Nona³, Melani Astika Rahayu⁴

Universitas Negeri Medan

Email: graceindahsitumeang@gmail.com^{1*}, intannasution1254@gmail.com²

sahanaia120@gmail.com³, Melaniastika6@gmail.com⁴

Article Info

Article history :

Received : 02-12-2025

Revised : 03-12-2025

Accepted : 05-12-2025

Pulished : 07-12-2025

Abstract

This study aims to analyze tsunami vulnerability in Mandailing Natal Regency using a Geographic Information System (GIS)-based spatial approach. The research employed a quantitative descriptive method by integrating five physical and environmental parameters, namely slope, elevation, land use, distance from rivers, and distance from the coastline. Secondary spatial data were obtained from official institutions and processed through map standardization and thematic classification. Each parameter was assigned a score and weighted using the Weighted Overlay Analysis method to generate a tsunami vulnerability index. The results were then classified into five vulnerability levels: very low, low, moderate, high, and very high. The analysis shows that areas with high to very high vulnerability are concentrated in the western coastal zone, characterized by low elevation, flat slopes, proximity to the coastline, and dense settlements. In contrast, the central and eastern regions, dominated by mountainous terrain, tend to exhibit low to very low vulnerability. This spatial distribution indicates that tsunami risk in Mandailing Natal is locally concentrated but highly significant in coastal areas. The results of this study are expected to support disaster mitigation planning and coastal spatial management.

Keywords : tsunami vulnerability, geographic information system, weighted overlay

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis tingkat kerentanan tsunami di Kabupaten Mandailing Natal dengan pendekatan analisis spasial berbasis Sistem Informasi Geografis (SIG). Metode yang digunakan adalah kuantitatif deskriptif dengan mengintegrasikan lima parameter fisik dan lingkungan, yaitu kemiringan lereng, elevasi, tutupan lahan, jarak dari sungai, dan jarak dari pantai. Data yang digunakan berupa data sekunder yang diperoleh dari instansi resmi dan diolah melalui proses standarisasi peta serta klasifikasi parameter. Setiap parameter diberi skor dan bobot menggunakan metode Weighted Overlay Analysis untuk menghasilkan indeks kerentanan tsunami. Selanjutnya, hasil analisis diklasifikasikan ke dalam lima kelas kerentanan, yaitu sangat rendah, rendah, sedang, tinggi, dan sangat tinggi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa wilayah dengan kerentanan tinggi hingga sangat tinggi terkonsentrasi di zona pesisir barat yang memiliki elevasi rendah, lereng datar, jarak dekat dengan pantai, serta dominasi permukiman. Sebaliknya, wilayah tengah dan timur yang didominasi kawasan perbukitan menunjukkan tingkat kerentanan rendah hingga sangat rendah. Temuan ini memperlihatkan bahwa risiko tsunami di Kabupaten Mandailing Natal bersifat lokal dan signifikan pada kawasan pesisir. Hasil penelitian diharapkan dapat menjadi dasar dalam perencanaan mitigasi bencana dan penataan ruang wilayah pesisir.

Kata Kunci : kerentanan tsunami, sistem informasi geografis, weighted overlay



PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara yang rawan terhadap berbagai jenis bencana alam, salah satunya adalah tsunami. Hal ini disebabkan oleh letak geografis Indonesia yang berada pada pertemuan tiga lempeng besar dunia, yaitu Lempeng Eurasia, Indo-Australia, dan Pasifik. Kabupaten Mandailing Natal sebagai bagian dari wilayah pesisir barat Sumatra memiliki potensi tinggi terhadap kejadian tsunami karena berhadapan langsung dengan zona subduksi aktif di Samudra Hindia. Kabupaten Mandailing Natal merupakan wilayah pesisir yang memiliki potensi risiko tinggi terhadap bencana tsunami. Wilayah pesisir secara geografis rentan terhadap dampak gelombang tsunami yang dapat menyebabkan kerusakan infrastruktur, kehilangan nyawa, dan kerugian ekonomi yang besar.

Kerentanan suatu wilayah terhadap bencana tsunami tidak hanya ditentukan oleh aspek fisik semata, tetapi juga dipengaruhi oleh faktor lingkungan dan karakteristik penggunaan lahan. Variabel seperti kemiringan lereng, tinggi elevasi, jenis tutupan lahan, serta jarak wilayah dari garis pantai dan sungai memegang peranan penting dalam menentukan tingkat bahaya dan potensi dampak tsunami. Wilayah dengan elevasi rendah, lereng landai, dan dekat dengan pantai cenderung memiliki tingkat kerentanan yang lebih tinggi dibandingkan wilayah lainnya.

Tsunami merupakan gelombang laut besar yang terjadi akibat aktivitas tektonik, longsoran dasar laut, atau letusan gunung api bawah laut. Dampak tsunami sangat luas, meliputi kerusakan fisik, korban jiwa, serta gangguan terhadap aktivitas sosial ekonomi masyarakat. Oleh sebab itu, diperlukan upaya mitigasi yang berbasis pada pemahaman kerentanan wilayah. Pemanfaatan Sistem Informasi Geografis (SIG) dalam kajian kebencanaan menjadi sangat penting karena mampu mengintegrasikan berbagai parameter spasial untuk menghasilkan peta kerentanan yang akurat. Melalui analisis SIG, daerah-daerah rentan dapat diidentifikasi sehingga membantu pemerintah daerah dalam penyusunan kebijakan pengurangan risiko bencana.

Pemanfaatan Sistem Informasi Geografis (SIG) dalam kajian kebencanaan menjadi sangat penting karena mampu mengintegrasikan berbagai parameter spasial untuk menghasilkan peta kerentanan yang akurat. Melalui analisis SIG, daerah-daerah rentan dapat diidentifikasi sehingga membantu pemerintah daerah dalam penyusunan kebijakan pengurangan risiko bencana. SIG memungkinkan pengolahan dan analisis data spasial secara tepat dan komprehensif yang dapat memetakan zona-zona rawan bencana, jalur evakuasi, serta tingkat kerentanan wilayah secara rinci berdasarkan berbagai parameter seperti elevasi wilayah, jarak dari garis pantai, dan aksesibilitas. Dengan menggunakan SIG, pemerintah daerah dan pihak terkait dapat mengambil keputusan mitigasi berbasis data spasial yang akurat sehingga dapat menyusun rencana tanggap darurat yang lebih baik dan meminimalisir risiko korban jiwa dan kerusakan materiil (Budiyanto, 2020).

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini dilakukan untuk menganalisis kerentanan wilayah Kabupaten Mandailing Natal terhadap bencana tsunami dengan memanfaatkan Sistem Informasi Geografis menggunakan beberapa parameter utama, yaitu kemiringan lereng, tinggi elevasi, tutupan lahan, jarak dari sungai, dan jarak dari pantai. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi dasar dalam perencanaan mitigasi bencana, penataan ruang wilayah pesisir, serta meningkatkan kewaspadaan masyarakat terhadap ancaman tsunami.



METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif deskriptif dengan pendekatan analisis spasial berbasis Sistem Informasi Geografis (SIG). Pendekatan kuantitatif digunakan untuk mengolah data numerik dan spasial, sedangkan pendekatan deskriptif digunakan untuk menjelaskan tingkat kerentanan tsunami di Kabupaten Mandailing Natal berdasarkan hasil pengolahan data spasial.

Lokasi penelitian berada di Kabupaten Mandailing Natal, Provinsi Sumatera Utara, yang merupakan wilayah pesisir barat Sumatra dan memiliki potensi tsunami akibat aktivitas tektonik pada zona subduksi. Penelitian dilakukan pada tahun 2025 meliputi tahapan pengumpulan data, pengolahan data, analisis, dan penyusunan hasil penelitian.

Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data sekunder yang terdiri atas data spasial dan data nonspasial. Data spasial meliputi peta kemiringan lereng, elevasi (DEM), tutupan lahan, jaringan sungai, garis pantai, dan batas administrasi wilayah. Data nonspasial berupa referensi literatur dan laporan kebencanaan yang relevan dengan penelitian. Data diperoleh dari instansi resmi seperti Badan Informasi Geospasial (BIG), Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB), serta sumber ilmiah lainnya.

Pengumpulan data dilakukan melalui metode dokumentasi dan studi pustaka. Seluruh data spasial yang diperoleh kemudian diproses menggunakan perangkat lunak SIG dengan tahapan praproses berupa penyamaan sistem koordinat dan pemotongan data sesuai wilayah penelitian. Selanjutnya, dibuat peta tematik untuk masing-masing parameter kerentanan, yaitu kemiringan lereng, elevasi, tutupan lahan, jarak dari sungai, dan jarak dari pantai.

Setiap parameter diklasifikasikan ke dalam beberapa kelas kerentanan dan diberi skor sesuai tingkat pengaruhnya terhadap potensi tsunami. Selanjutnya, seluruh parameter dianalisis menggunakan metode Weighted Overlay Analysis dengan memberikan bobot pada setiap parameter untuk menghasilkan nilai kerentanan total.

Nilai kerentanan tsunami dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$\text{Kerentanan} = (W_1 \times X_1) + (W_2 \times X_2) + (W_3 \times X_3) + (W_4 \times X_4) + (W_5 \times X_5)$$

Keterangan:

W = Bobot parameter

X = Nilai skor parameter

Nilai kerentanan yang diperoleh selanjutnya diklasifikasikan menjadi lima kelas, yaitu sangat rendah, rendah, sedang, tinggi, dan sangat tinggi. Hasil klasifikasi digunakan untuk menyusun peta kerentanan tsunami Kabupaten Mandailing Natal serta menghitung luas wilayah pada setiap kelas kerentanan.



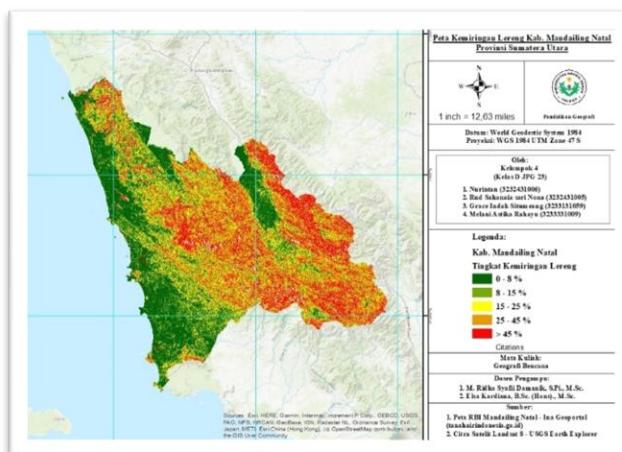
HASIL DAN PEMBAHASAN

Peta Parameter Penyusun Kerentanan Tsunami

Analisis kerentanan tsunami di Kabupaten Mandailing Natal dilakukan dengan memanfaatkan Sistem Informasi Geografis (SIG) menggunakan pendekatan multicriteria spatial analysis. Pendekatan ini mengikuti kerangka yang digunakan oleh Pratiwi (2017) dalam pemetaan kerentanan tsunami di Pesisir Barat Provinsi Banten, di mana kerentanan ditentukan melalui integrasi beberapa parameter fisik dan lingkungan yang berpengaruh terhadap dinamika gelombang tsunami.

Pratiwi (2017) menekankan bahwa parameter topografi (elevasi dan kemiringan lereng), kondisi penggunaan lahan, serta kedekatan terhadap sumber bahaya (pantai dan sungai) merupakan variabel paling penting dalam membentuk karakter kerentanan suatu wilayah. Oleh karena itu, penelitian ini menerapkan parameter yang sama agar hasil analisis bersifat ilmiah, terukur, dan sesuai praktik penelitian sebelumnya.

Peta Kemiringan Lereng (Slope)



Gambar 1. Peta Kemiringan Lereng Mandailing Natal

Peta kemiringan lereng Kabupaten Mandailing Natal disusun berdasarkan hasil ekstraksi data Digital Elevation Model (DEM), kemudian diklasifikasikan menjadi lima kelas kemiringan, yaitu 0–8%, 8–15%, 15–25%, 25–45%, dan >45%. Klasifikasi ini mengacu pada matriks parameter kerentanan tsunami yang digunakan Pratiwi (2017), di mana kemiringan lereng berpengaruh penting terhadap sejauh mana gelombang tsunami dapat masuk ke daratan. Pada area dengan kemiringan datar atau landai, gelombang akan menyebar lebih jauh, sedangkan lereng curam dapat mengurangi jangkauan genangan, sedangkan lereng curam dapat mengurangi jangkauan genangan.

Berdasarkan peta (Gambar 1), tampak bahwa wilayah pesisir barat Mandailing Natal didominasi oleh lereng 0–8% (kelas sangat tinggi) yang ditampilkan dalam warna hijau. Zona ini membentang hampir sepanjang garis pantai dari bagian utara hingga selatan. Kondisi lereng yang landai ini menunjukkan bahwa kawasan pesisir memiliki potensi keterpaparan tsunami yang tinggi, karena tidak adanya hambatan topografis yang signifikan bagi pergerakan gelombang.

Lebih ke arah tengah kabupaten, lereng 8–15% dan 15–25% (kelas sedang dan rendah) terlihat cukup luas dengan sebaran warna kuning dan oranye. Area ini merupakan transisi dari



dataran pesisir menuju perbukitan. Meskipun tidak selandai wilayah pantai, kelas lereng ini tetap memungkinkan penetrasi tsunami terutama bila terdapat jalur sungai atau lembah yang mengarah ke daratan.

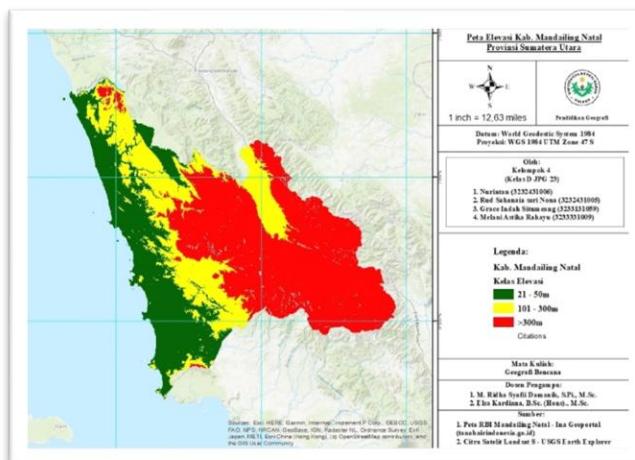
Sementara itu, bagian timur Mandailing Natal yang ditandai oleh warna merah dan merah tua memiliki kemiringan lereng 25–45% hingga >45%, menunjukkan kawasan perbukitan dan pegunungan. Zona ini tergolong rendah hingga sangat rendah kerentanannya terhadap genangan tsunami sebagaimana klasifikasi skor Pratiwi (2017), karena kemiringan signifikan akan menghambat perambatan gelombang.

Secara keseluruhan, pola spasial kemiringan menunjukkan bahwa:

1. Pesisir Mandailing Natal mayoritas terdiri dari lereng datar (0–8%), sehingga secara morfologi sangat rentan terhadap bahaya tsunami.
2. Area tengah memiliki lereng sedang, yang dapat tetap tergenang terutama sepanjang lembah sungai atau dataran banjir.
3. Bagian timur didominasi lereng curam, sehingga menjadi zona paling aman secara topografis.

Temuan ini sejalan dengan hasil Pratiwi (2017), yang menempatkan lereng datar (0–2% dan 2–5% pada penelitiannya) sebagai kelas kerentanan sangat tinggi dengan skor 5, karena area datar terbukti menjadi zona yang menerima dampak tsunami paling besar. Dengan demikian, kondisi lereng Mandailing Natal mendukung penilaian bahwa wilayah pesisir barat merupakan zona kunci yang memerlukan perhatian utama dalam mitigasi tsunami.

Peta Elevasi Daratan (Elevation)



Gambar 2. Peta Elevasi Kab. Mandailing Natal

Peta elevasi Kabupaten Mandailing Natal dibuat berdasarkan data DEM yang kemudian diklasifikasikan menjadi tiga kelas elevasi, yaitu 21–50 meter, 101–300 meter, dan >300 meter. Klasifikasi ini disesuaikan dengan pola topografi wilayah penelitian serta mengacu pada pendekatan Pratiwi (2017), yang menempatkan elevasi sebagai parameter paling penting dalam penentuan tingkat kerentanan tsunami. Dalam matriks parameter Pratiwi, elevasi rendah (<10 m hingga 25 m) memperoleh skor kerentanan tertinggi karena berpotensi terlanda gelombang tsunami secara langsung dan dalam jangkauan yang luas.

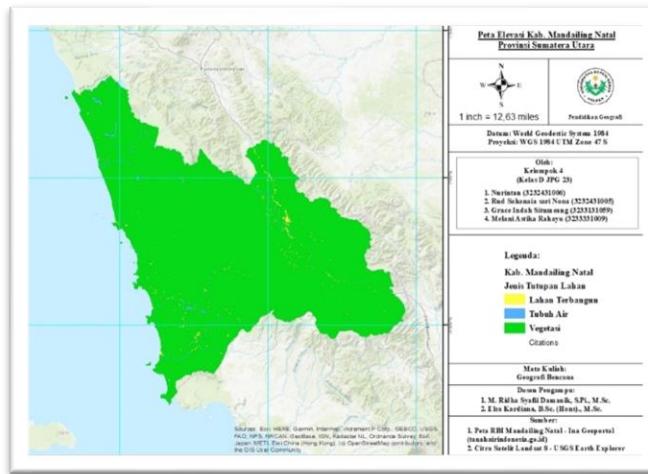


Berdasarkan peta elevasi Mandailing Natal (Gambar 2), wilayah pesisir barat didominasi oleh kelas elevasi 21–50 meter yang ditunjukkan oleh warna hijau tua. Meskipun tidak berada pada elevasi <10 meter seperti pada penelitian Pratiwi (2017), elevasi ini tetap termasuk kategori rendah, khususnya untuk wilayah pesisir yang berhadapan langsung dengan Samudera Hindia. Elevasi 21–50 meter masih memungkinkan terjadinya genangan tsunami dengan jangkauan yang cukup signifikan, terlebih jika dipengaruhi oleh morfologi wilayah yang didominasi dataran landai. Zona ini merupakan area yang paling berpotensi terdampak dan menjadi dasar penetapan kerentanan tsunami yang lebih tinggi di sepanjang pesisir.

Kelas elevasi 101–300 meter, tampak dalam warna kuning, tersebar pada bagian tengah kabupaten dan merupakan daerah transisi menuju perbukitan. Elevasi sedang ini termasuk kategori kerentanan rendah hingga sangat rendah karena ketinggiannya dapat membatasi pergerakan gelombang tsunami. Wilayah ini umumnya tidak terdampak langsung, kecuali pada koridor sungai yang dapat membawa aliran tsunami lebih jauh ke pedalaman.

Sementara itu, bagian timur Mandailing Natal didominasi elevasi >300 meter yang ditampilkan dalam warna merah. Zona ini merupakan kawasan perbukitan dan pegunungan Bukit Barisan yang secara alami memiliki kerentanan sangat rendah terhadap tsunami. Topografi yang tinggi dan curam membuat wilayah ini aman dan tidak berpotensi tergenang gelombang tsunami.

Peta Tutupan Lahan (Land Use/Land Cover)



Gambar 3. Peta Tutupan Lahan Kab. Mandailing Natal

Peta tutupan lahan Kabupaten Mandailing Natal dibuat berdasarkan interpretasi citra satelit menggunakan klasifikasi sederhana yang terdiri dari tiga kategori utama, yaitu: vegetasi, lahan terbangun, dan tubuh air. Pembagian ini mengikuti pendekatan klasifikasi praktis yang umum digunakan dalam praktikum pemetaan dasar dan analisis kebencanaan, di mana klasifikasi disederhanakan untuk memudahkan proses analisis kerentanan berbasis SIG. Meskipun hanya terdiri dari tiga kelas, pendekatan ini sejalan dengan prinsip dasar analisis kerentanan tsunami seperti yang digunakan oleh Pratiwi (2017), yaitu menilai tingkat kerentanan berdasarkan tingkat keterpaparan dan fungsi ekologis lahan.

Berdasarkan peta tutupan lahan (Gambar 3), wilayah Mandailing Natal secara dominan tertutupi oleh vegetasi (warna hijau), yang mencakup hutan, kebun campuran, semak belukar, dan

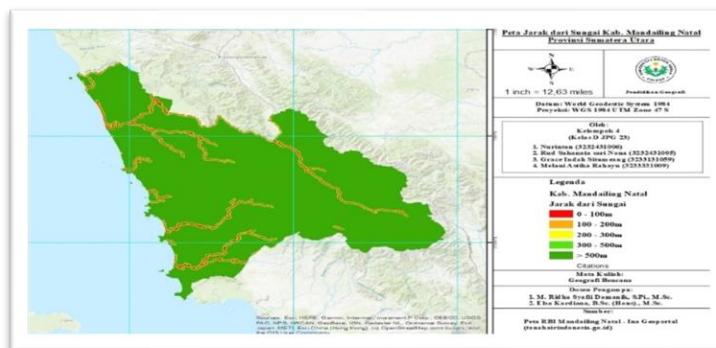


vegetasi non-permukiman lainnya. Dalam konteks kerentanan tsunami, area vegetasi umumnya memiliki tingkat kerentanan rendah hingga sedang. Vegetasi berperan sebagai peredam energi gelombang, terutama vegetasi pantai seperti mangrove atau hutan rawa. Namun demikian, pada wilayah pesisir Mandailing Natal yang tidak memiliki vegetasi pantai yang rapat, fungsi protektif ini dapat berkurang.

Kategori kedua adalah lahan terbangun (warna kuning), yang tersebar dalam bentuk permukiman dan infrastruktur, terutama di sepanjang jalur utama di bagian tengah dan pesisir. Berdasarkan matriks skor Pratiwi (2017), permukiman diklasifikasikan sebagai kerentanan sangat tinggi, karena merupakan area dengan tingkat eksposur paling besar terhadap tsunami. Kehadiran konsentrasi permukiman di dataran rendah pesisir Mandailing Natal menunjukkan bahwa kawasan ini merupakan zona kritis yang perlu diperhatikan dalam mitigasi dan perencanaan tata ruang.

Kelas terakhir adalah tubuh air (warna biru), yang mencakup sungai, danau kecil, dan badan air lainnya. Meskipun tubuh air bukan objek yang memiliki kerentanan, keberadaannya sangat penting karena sungai dapat menjadi jalur masuk gelombang tsunami ke arah pedalaman, dimana muara sungai dan alur sungai memfasilitasi penetrasi tsunami lebih jauh ke daratan, sehingga kawasan di sekitar tubuh air dapat memiliki kerentanan bertambah.

Peta Jarak dari Sungai (Distance to River)



Gambar 4. Peta Jarak dari Sungai Kab. Mandailing Natal

Peta jarak dari sungai Kabupaten Mandailing Natal dibuat dengan metode buffering terhadap jaringan sungai utama. Pembagian kelas jarak mengikuti parameter yang digunakan oleh Pratiwi (2017), yaitu 0–100 meter, 100–200 meter, 200–300 meter, 300–500 meter, dan >500 meter. Pembagian kelas ini mempertimbangkan bahwa sungai merupakan jalur yang secara topografis lebih rendah dari wilayah sekitarnya, sehingga dapat menjadi koridor alami bagi penjalaran gelombang tsunami dari muara ke arah pedalaman.

Berdasarkan peta (Gambar 4), kelas 0–100 meter (warna merah) menjadi zona yang paling rentan karena berada tepat di tepi sungai. Jika terjadi tsunami, gelombang yang memasuki muara dapat mengalir ke hulu dan menyebabkan limpasan pada area yang sangat dekat dengan sungai. Pratiwi (2017) juga menegaskan bahwa jarak terdekat ke sungai memiliki tingkat kerentanan tertinggi karena aliran tsunami cenderung mengikuti jalur sungai.

Kelas 100–200 meter dan 200–300 meter (warna oranye dan kuning) masih termasuk area yang berpotensi terdampak, terutama pada sungai-sungai besar yang bermuara langsung ke pantai. Pada kondisi gelombang yang kuat, dorongan tsunami dapat memperluas jangkauan genangan di



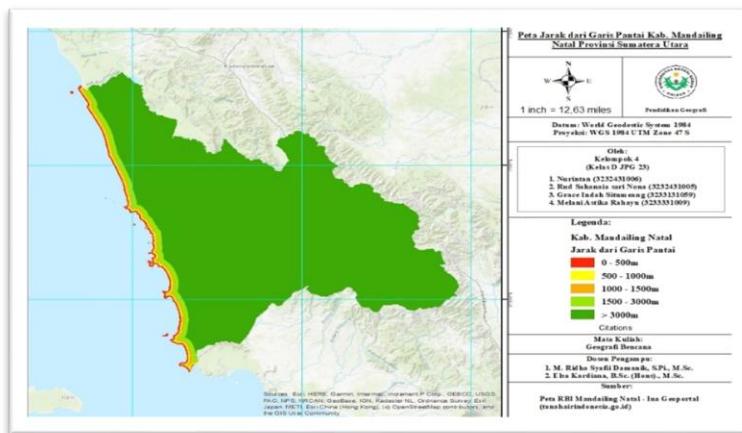
sepanjang koridor sungai. Prinsip ini juga sejalan dengan temuan umum dalam kajian tsunami lainnya, bahwa sungai dapat memperpanjang rute penjalaran gelombang ke daratan (misalnya disebutkan oleh Berryman, 2005).

Zona 300–500 meter (hijau muda) menunjukkan penurunan tingkat kerentanan, karena aliran air yang mengikuti sungai biasanya kehilangan energinya sebelum mencapai jarak tersebut. Sementara itu, kelas >500 meter (hijau tua) dianggap sebagai area dengan kerentanan sangat rendah karena sudah berada cukup jauh dari pengaruh langsung aliran sungai.

Secara keseluruhan, pola jarak sungai menunjukkan bahwa:

1. Kawasan 0–100 meter dari sungai merupakan zona yang perlu diwaspada, terutama pada segmen sungai yang bermuara di pesisir barat Mandailing Natal.
2. Kerentanan menurun secara bertahap sesuai bertambahnya jarak, konsisten dengan pembobotan parameter yang digunakan oleh Pratiwi (2017).
3. Jarak dari sungai menjadi faktor penting, terutama pada wilayah pesisir berlereng datar, karena sungai berpotensi menjadi jalur masuk gelombang tsunami.

Peta Jarak dari Pantai (Distance to Coastline)



Gambar 5. Peta Jarak dari Garis Pantai Kab. Mandailing Natal

Peta jarak dari pantai Kabupaten Mandailing Natal dibuat dengan metode buffering terhadap garis pantai dengan lima kelas jarak, yaitu 0–500 meter, 500–1000 meter, 1000–1500 meter, 1500–3000 meter, dan >3000 meter. Pembagian ini mengacu pada prinsip umum analisis kerentanan tsunami, di mana kedekatan terhadap garis pantai merupakan faktor paling menentukan tingkat keterpaparan. Pratiwi (2017) juga menggunakan parameter jarak pantai sebagai penentu utama dalam pemberian skor kerentanan.

Berdasarkan peta (Gambar 5), zona 0–500 meter (warna merah) merupakan area yang paling rentan karena berada tepat di sepanjang garis pantai. Wilayah ini merupakan zona pertama yang akan terkena dampak langsung gelombang tsunami. Selain itu, sebagian besar daerah pada radius ini memiliki elevasi rendah, sehingga risiko genangan semakin besar.

Kelas 500–1000 meter (warna oranye) masih termasuk area yang berpotensi terdampak gelombang, terutama pada wilayah pesisir yang memiliki kemiringan lereng landai. Jika gelombang tsunami memiliki energi besar, zona ini dapat mengalami genangan sekunder. Prinsip ini juga



sejalan dengan kajian bahaya tsunami lainnya, yang menyebutkan bahwa jangkauan tsunami dapat meluas ke kilometer pertama dari pantai pada wilayah datar (Berryman, 2005).

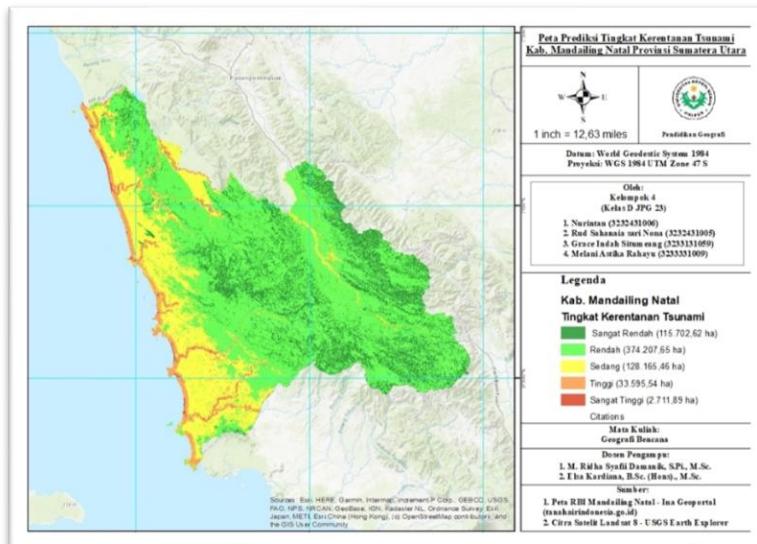
Zona 1000–1500 meter dan 1500–3000 meter (warna kuning dan hijau muda) menunjukkan penurunan kerentanan. Pada area ini, risiko genangan bergantung pada kondisi topografi lokal, seperti alur sungai atau lembah yang mengarah langsung ke pantai.

Adapun zona >3000 meter (hijau tua) merupakan wilayah yang paling aman dari paparan langsung tsunami. Area ini umumnya berada jauh dari garis pantai dan pada elevasi serta topografi yang lebih stabil, sehingga masuk kategori kerentanan sangat rendah.

Secara keseluruhan, pola jarak dari pantai memperlihatkan bahwa:

1. Area 0–500 meter adalah zona sangat rentan, karena merupakan lokasi pertama yang terpapar gelombang tsunami.
2. Kerentanan menurun secara signifikan pada jarak >1000 meter, terutama jika topografinya lebih tinggi.
3. Faktor jarak pantai menjadi parameter paling dasar dalam analisis kerentanan tsunami, konsisten dengan pendekatan Pratiwi (2017).
4. Pesisir barat Mandailing Natal yang didominasi dataran rendah memperkuat kerentanan zona 0–1000 meter terhadap tsunami.

Peta Kerentanan Tsunami Kabupaten Mandailing Natal



Gambar 6. Peta Kerentanan Tsunami Kabupaten Mandailing Natal

Peta kerentanan tsunami Kabupaten Mandailing Natal dihasilkan melalui proses weighted overlay dari lima parameter fisik, yaitu kemiringan lereng, elevasi, tutupan lahan, jarak dari sungai, dan jarak dari pantai. Setiap parameter diberi skor berdasarkan tingkat kontribusinya terhadap kerentanan, kemudian digabungkan untuk mendapatkan nilai kerentanan total dalam rentang 0,2 hingga 4,75.



Hasil akhir analisis diklasifikasikan menjadi lima kelas kerentanan dengan interval sebagai berikut:

Kelas	Nilai
Sangat Rendah	0,20 – 0,11
Rendah	1,11 – 2,02
Sedang	2,02 – 2,93
Tinggi	2,93 – 3,84
Sangat Tinggi	3,84 – 4,75

Klasifikasi ini digunakan untuk menghasilkan peta kerentanan tsunami (Gambar 6) yang menggambarkan tingkat kerentanan pada setiap wilayah di Mandailing Natal.

Berdasarkan peta tersebut, terlihat bahwa sebagian besar wilayah Kabupaten Mandailing Natal berada pada kelas kerentanan rendah hingga sangat rendah, terutama pada bagian tengah dan timur kabupaten yang didominasi elevasi tinggi dan topografi berbukit. Area ini relatif aman dari dampak langsung tsunami karena berada jauh dari garis pantai dan berada pada ketinggian yang tidak memungkinkan terjadinya genangan gelombang.

Kelas kerentanan sedang tersebar pada wilayah transisi antara dataran rendah pesisir dan perbukitan tengah. Daerah ini umumnya memiliki kombinasi elevasi menengah, tutupan lahan campuran, dan posisi yang tidak terlalu dekat dengan sungai maupun pantai. Zona ini tetap perlu diperhatikan terutama di area yang memiliki jalur sungai yang terhubung ke pesisir.

Kelas kerentanan tinggi muncul pada beberapa wilayah pesisir tertentu, terutama pada lokasi yang memiliki elevasi rendah, lereng datar, dan berada dekat sungai maupun garis pantai. Kondisi ini meningkatkan potensi terkena aliran tsunami baik secara langsung dari laut maupun melalui muara sungai. Wilayah ini umumnya berada pada dataran rendah di sepanjang pesisir barat Mandailing Natal.

Adapun kelas kerentanan sangat tinggi merupakan wilayah yang paling rentan dan berada langsung pada zona pesisir. Area ini umumnya berada pada elevasi sangat rendah, memiliki kemiringan lereng datar, dan sering kali berdekatan dengan permukiman serta alur sungai. Pada wilayah ini, energi gelombang tsunami diprediksi paling besar sehingga risiko kerusakan dan genangan sangat tinggi.

Distribusi spasial kerentanan tersebut sesuai dengan kondisi geomorfologi Mandailing Natal, di mana pesisir barat merupakan dataran rendah yang berhadapan langsung dengan Samudera Hindia. Sementara bagian tengah hingga timur merupakan kawasan perbukitan Bukit Barisan yang secara alami memiliki tingkat kerentanan rendah.

Hasil kuantitatif luas wilayah tiap kelas kerentanan menunjukkan:

Kelas	Luas (Hektar)
Sangat Rendah	115.702,62
Rendah	374.207,65
Sedang	128.165,46
Tinggi	33.595,54



Dari distribusi tersebut, terlihat bahwa wilayah dengan kerentanan sangat tinggi sangat terbatas luasnya, namun tetap menjadi titik kritis yang perlu mendapatkan prioritas penanganan dalam upaya mitigasi tsunami.

Dengan demikian, peta kerentanan tsunami ini memberikan gambaran menyeluruh mengenai tingkat risiko yang dihadapi oleh setiap wilayah di Kabupaten Mandailing Natal, serta menjadi dasar penting dalam perencanaan pengurangan risiko bencana di kawasan pesisir.

KESIMPULAN

Analisis kemiringan lereng, elevasi, tutupan lahan, jarak dari sungai, dan jarak dari pantai menunjukkan bahwa kawasan pesisir barat Mandailing Natal didominasi lereng datar 0–8%, elevasi rendah 0–21 m dan 21–50 m, serta kedekatan langsung dengan garis pantai dan muara sungai. Kondisi ini membentuk konfigurasi ruang yang memudahkan gelombang tsunami menjalar jauh ke daratan. Sebaliknya, wilayah tengah dan timur yang memiliki elevasi >300 m dan lereng curam cenderung berfungsi sebagai zona penahan alami. Tutupan lahan juga memperkuat perbedaan kerentanan, di mana permukiman pesisir yang berada di dataran rendah menunjukkan tingkat keterpaparan tertinggi dibanding vegetasi dan area berbukit di wilayah tengah-timur. Secara keseluruhan, pola spasial kelima parameter memperlihatkan bahwa faktor topografi (lereng & elevasi) dan faktor kedekatan sumber bahaya (pantai & sungai) merupakan determinan utama kerentanan tsunami di wilayah ini.

Tingkat kerentanan tsunami hasil analisis weighted overlay mengungkapkan bahwa sebagian besar wilayah dengan kerentanan tinggi hingga sangat tinggi terkonsentrasi pada zona pesisir barat, sedangkan wilayah tengah dan timur didominasi kerentanan rendah hingga sangat rendah.

Nilai kerentanan final diklasifikasikan ke dalam lima kelas dengan interval nilai 0,20–4,75, yang mencerminkan tingkat keterpaparan yang berbeda-beda. Secara spasial, kelas sangat rendah dan rendah mendominasi Kabupaten Mandailing Natal dengan total luas 489.910,27 ha, mencerminkan kondisi fisik wilayah yang pada umumnya berbukit dan jauh dari garis pantai. Kelas sedang berada di wilayah transisi, yaitu daerah dengan elevasi menengah dan tutupan lahan campuran. Kelas tinggi dan sangat tinggi, dengan total luas 36.307,43 ha, muncul terutama pada kawasan pesisir dataran rendah yang berdekatan dengan garis pantai dan alur sungai, yang secara geomorfologis merupakan jalur masuk utama gelombang tsunami. Distribusi ini menunjukkan bahwa kerentanan tsunami Mandailing Natal bersifat lokal tetapi signifikan, terfokus pada segmen pesisir yang memiliki karakteristik fisik rentan, sehingga area tersebut berperan sebagai zona prioritas mitigasi dan pengurangan risiko bencana.

Secara keseluruhan, penelitian ini menegaskan bahwa kerentanan tsunami Kabupaten Mandailing Natal sangat dipengaruhi oleh kombinasi parameter topografi dan kedekatan terhadap sumber bahaya, di mana kondisi dataran rendah pesisir menjadi faktor dominan dalam membentuk tingkat kerentanan tertinggi.



DAFTAR PUSTAKA

- Anwar, S. (2021). Perbandingan nilai hazard kejadian tsunami di Indonesia berdasarkan posisi garis Khatulistiwa (Katalog Tsunami Indonesia 1802-2018). *Jurnal Lingkungan dan Bencana Geologi*, 12(1), 33-45.
- Berryman, K. (2005). Review of tsunami hazard and risk in New Zealand. *GNS Science Report* 2005/104. Lower Hutt: GNS Science.
- EFFANTRA, E., YOHANA, N. M., ARIF, R. B. N., JOHAN, D. P., PURBUDI, W., & FICKY, A. K. (2024). ANALISIS TINGKAT KERENTANAN SOSIAL DAN EKONOMI PADA POTENSI BENCANA TSUNAMI DI DESA RINGINREJO KECAMATAN WATES KABUPATEN BLITAR. *GLOBE*, 2(3), 287-309.
- Fahmi, M. N., Wikantika, K., & Agung, B. (2017). Pembuatan Peta Zonasi Risiko Tsunami Menggunakan Sistem Informasi Geografis di Wilayah Pesisir Pangandaran. *ITB Indonesian Journal Of Geospatial*, 6(2), 15-38.
- Isdianto, A., Kurniasari, D., Subagyo, A., Haykal, M. F., & Supriyadi, S. (2021). Pemetaan Kerentanan Tsunami untuk Mendukung Ketahanan Wilayah Pesisir. *Jurnal Permukiman*, 16(2), 90–100. <https://doi.org/10.31815/jp.2021.16.90-100>
- LUMBAN, F. H. F. H. B., Sembiring, Z., Putri, A. A., Nasution, C. H., & Bilbina, D. S. (2025). Bencana Alam Tsunami. *Didaktik: Jurnal Ilmiah PGSD STKIP Subang*, 11(02), 265-278. <https://doi.org/10.36989/didaktik.v11i02.609>
- Mahfudz, M., Admawidjaja, R. R., & Firmansyah, Y. (2024). Peta Jalur Evakuasi Bencana Tsunami di Wilayah Pesisir Kabupaten Pangandaran Berbasis Sistem Informasi Geografis. *Majalah Ilmiah Globe*, 26(1), 31-40.
- Naryanto, H. S. (2019). ANALISIS BAHAYA, KERENTANAN DAN RISIKO BENCANA TSUNAMI DI PROVINSI PAPUA BARAT ANALYSIS FOR HAZARD, VULNERABILITY AND TSUNAMI DISASTER RISK IN WEST PAPUA PROVINCE. *Jurnal Alami (ISSN: 2548-8635)*, 3(1).
- Pratiwi, A. (2017). Analisis spasial kerentanan wilayah pesisir barat Provinsi Banten terhadap bencana tsunami. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Westplat, M. J. H., Tondobala, L., & Makarau, V. H. (2017). Analisis kerentanan wilayah pesisir pantai di perkotaan Ternate. *SPASIAL*, 4(2), 12-18.