J SIG (JURNAL SAINS INFORMASI GEOGRAFI)
https://journal.umgo.ac.id/index.php/GEOUMGo/index

Volume 9 Nomor 1, Mei 2026 *ISSN 2614-1671*

SISTEM INFORMASI GEOGRAFIS UNTUK ANALISIS KERENTANAN TSUNAMI DI KABUPATEN TANGGAMUS PROVINSI LAMPUNG

Geographic Information System For Tsunami Vulnerability Analysis In Tanggamus Regency, Lampung Province

Andre Vanbudi[1], Muhammad Irfan Affandi[1,3], Henky Mayaguezz[1,2], Abdullah Aman Damai[2], Indra Gumay Yudha[2]

[1]Magister Perencanaan Wilayah dan Kota, Pascasarjana, Universitas Lampung, Indonesia.
[2]Perikanan dan Kelautan, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung, Indonesia.
[3]Agribisnis, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung, Indonesia.
Email Korespondensi: andrevanbudi@gmail.com

Received: 27/11/2025 | Revised: 27/05/2026 | Accepted: 01/06/2026

DOI: https://dx.doi.org/10.31314/jsig.v9i1.5207

Abstract *- Mitigation and reconstruction plans for tsunami disasters can be implemented through various actions. The integration of Geographic Information System (GIS) spatial analysis with multi-criteria Analytical Hierarchy Process (AHP) analysis for tsunami inundation impact assessment is one such mitigation action. In this study, an assessment of vulnerability, inundation, and impact caused by tsunami hazards was conducted in Tanggamus Regency. Spatial data from a Digital Elevation Model* (DEM) *and historical tsunami run-up data were processed using GIS. The lack of field validation is a limitation of the study. Elevation and slope parameters were generated from CIAT-CSI SRTM, while coastline distance was generated from an area vector map. AHP was used to weight parameters through pairwise comparisons. The pairwise comparison matrices were normalized and iterated until the convergence of the principal eigenvector was achieved (CR < 0.10). Five vulnerability classes were defined and analyzed for tsunami inundation mapping. A weighted overlay through spatial analysis in GIS was used to create the final tsunami vulnerability map. The assessment results indicate that the study area falls under the low vulnerability zone at 1,417.53 km^2 (52.46%), slightly low at 1,152.61 km^2 (42.66%), medium at 63.54 km^2 (2.35%), slightly high at 48.30 km^2 (1.79%), and high at 20.09 km^2 (0.74%). A total of 52 villages spread across 9 districts have areas with a high vulnerability class level to tsunamis. The results can serve as preliminary information for the management of disaster mitigation strategies in coastal areas and disaster evacuation processes.*

Keywords*: elevation; coastline; slope; tsunami; vulnerability*

Abstrak – Rencana mitigasi dan rekonstruksi bencana akibat tsunami dapat diimplementasikan dengan berbagai tindakan. Integrasi analisis spasial Sistem Informasi Geografis (SIG) dengan analisis multi-kriteria *Analytical Hierarchy Process* (AHP) untuk penilaian dampak genangan tsunami merupakan salah satu tindakan mitigasi. Dalam studi ini, dilakukan penilaian kerentanan, genangan dan dampak akibat bahaya tsunami di Kabupaten Tanggamus. Data spasial *Digital Elevation Model* (DEM) dan data historis *run-up* tsunami diproses dengan SIG. Ketiadaan validasi lapangan menjadi keterbatasan studi. Parameter *elevation* dan *slope* dibuat dari CIAT-CSI SRTM, sedangkan *coastline distance* dibuat dari peta vektor area. AHP digunakan untuk menimbang parameter melalui perbandingan berpasangan (*pairwise comparison*). Matriks perbandingan berpasangan tersebut dinormalisasi dan diiterasi hingga mencapai konvergensi vektor eigen utama (CR < 0,10). Lima kelas kerentanan didefinisikan dan dianalisis untuk pemetaan genangan tsunami. *Weighted overlay* melalui analisis spasial di SIG digunakan untuk membuat peta akhir kerentanan tsunami. Hasil penilaian menunjukkan bahwa wilayah studi berada di bawah zona kerentanan *low* sebesar 1.417,53 km^2 (52,46%), *slightly low* 1.152,61 km^2 (42,66%), *medium* 63,54 km^2 (2,35%), *slightly high* 48,30 km^2 (1,79%), dan *high* 20,09 km^2 (0,74%). Sebanyak 52 desa/kelurahan yang tersebar pada 9 kecamatan memiliki daerah dengan tingkat kelas kerentanan tinggi terhadap tsunami. Hasil ini dapat menjadi informasi awal untuk pengelolaan strategi mitigasi bencana di kawasan pesisir dan proses evakuasi bencana.

Kata kunci: elevasi; garis pantai; lereng; tsunami; kerentanan

Under the license CC BY-NC-SA 4.0

PENDAHULUAN

Pemetaan kerentanan akibat bencana tsunami adalah salah satu analisis yang dapat diterapkan untuk meminimalisir dampak (Strunz *et al*., 2011). Evaluasi komprehensif terhadap potensi bahaya tsunami sangat krusial karena memberikan data awal yang signifikan bagi strategi pengelolaan risiko bencana. Perencanaan awal yang tepat sangat dibutuhkan untuk menyusun langkah mitigasi guna menghadapi kemungkinan peristiwa di masa depan (Papathoma & Dominey-Howes, 2003). Peta kerentanan dapat mencakup pemetaan rute dan bangunan evakuasi, konstruksi penghalang tsunami, manajemen dan regulasi risiko bencana, dan sosialisasi bencana untuk masyarakat umum. Kegiatan tersebut dipersiapkan dengan implementasi yang efektif dan dibutuhkan ketersediaan informasi yang andal dan akurat mengenai karakteristik spasial, temporal dan dampak dari potensi kerusakan akibat tsunami pada skala berbeda. Dengan demikian, analisis kerentanan tsunami harus berdasarkan banyak parameter untuk mendapatkan deskripsi yang realistis dari area kerentanan baik secara spasial dan temporal.

Selain probabilitas bahaya, paparan, dan ukuran kapasitas, kerentanan adalah salah satu parameter dalam menentukan risiko bencana (Bollin *et al*., 2003). Kerentanan digambarkan sebagai serangkaian proses dan kondisi yang dipengaruhi oleh faktor lingkungan, fisik sosial dan ekonomi terhadap dampak bahaya (Mahendra *et al*., 2011). Faktor-faktor tersebut dapat meningkatkan kerentanan masyarakat.

Beberapa penelitian sebelumnya telah menerapkan metode SIG untuk menganalisis risiko tsunami menggunakan pendekatan multi-skenario (Strunz *et al*., 2011). Sambah & Miura (2014b) menilai kerentanan wilayah Kesennuma di Jepang terhadap bencana tsunami menggunakan aplikasi penginderaan jauh dan multikriteria spasial menunjukkan wilayah yang rentan. Integrasi analisis spasial dan AHP menilai kerentanan tsunami di kota Ofunato, Prefektur Iwate, Jepang (Sambah & Miura, 2014a). Penggunaan data penginderaan jauh yang diikuti oleh AHP dan analisis multikriteria spasial dapat diterapkan. Hasil menunjukkan kesesuaian yang baik dengan data observasi dan peta historis. Kabupaten Aceh Singkil di Aceh, peta bencana telah dikembangkan dan dianalisis dengan menggunakan alat GIS (Farhan & Akhyar, 2017). Sepanjang wilayah pesisir Jawa Timur juga pernah dilakukan hal serupa dengan menghasilkan peta kerentanan tsunami dan peta risiko tsunami. Klasifikasi kerentanan tsunami dibagi menjadi lima tingkat risiko, dari sangat rendah hingga sangat tinggi, berdasarkan analisis geospasial (Sambah *et al*., 2018).

Pesisir bagian timur Lampung berada di zona subduksi yang terletak di antara Lempeng Indo-Australia dengan Lempeng Eurasia. Terdapat Sesar Semangko yang merupakan salah satu sesar paling aktif di seluruh dunia. Merupakan bagian dari zona sesar Sumatra, yang berkontribusi hingga 40% pergeseran di sekitar zona sesar Sumatra. Wilayah ini dibatasi oleh keberadaan Gunung Anak Krakatau, yang merupakan hasil dan terdefinisi dengan baik dari zona subduksi di wilayah ini (Suhadha & Julzarika, 2020). Tanggamus adalah sebuah Kabupaten yang memiliki sejumlah daerah dengan risiko besar terhadap munculnya bencana alam (Melianita *et al*., 2021). Radius yang berada tidak jauh dari Selat Sunda membuat Kabupaten Tanggamus berisiko tinggi terhadap tsunami (Tiwi, 2017) yang melanda kawasan dataran rendah (Mayaguezz *et al*., 2023). Kerentanan ini terkonfirmasi oleh intensitas historis kejadian bencana, termasuk dampak gelombang besar pada 22 Desember 2018 yang dipicu oleh letusan Gunung Anak Krakatau (Triyono *et al*., 2019). Mengingat tingginya ancaman dan kompleksitas bahaya historis tersebut, pemanfaatan teknologi penginderaan jauh yang diintegrasikan dengan GIS menjadi penting karena metode ini memiliki keandalan untuk memetakan zona kerentanan spasial dan mengestimasi luasan area yang berpotensi terdampak oleh bahaya tsunami.

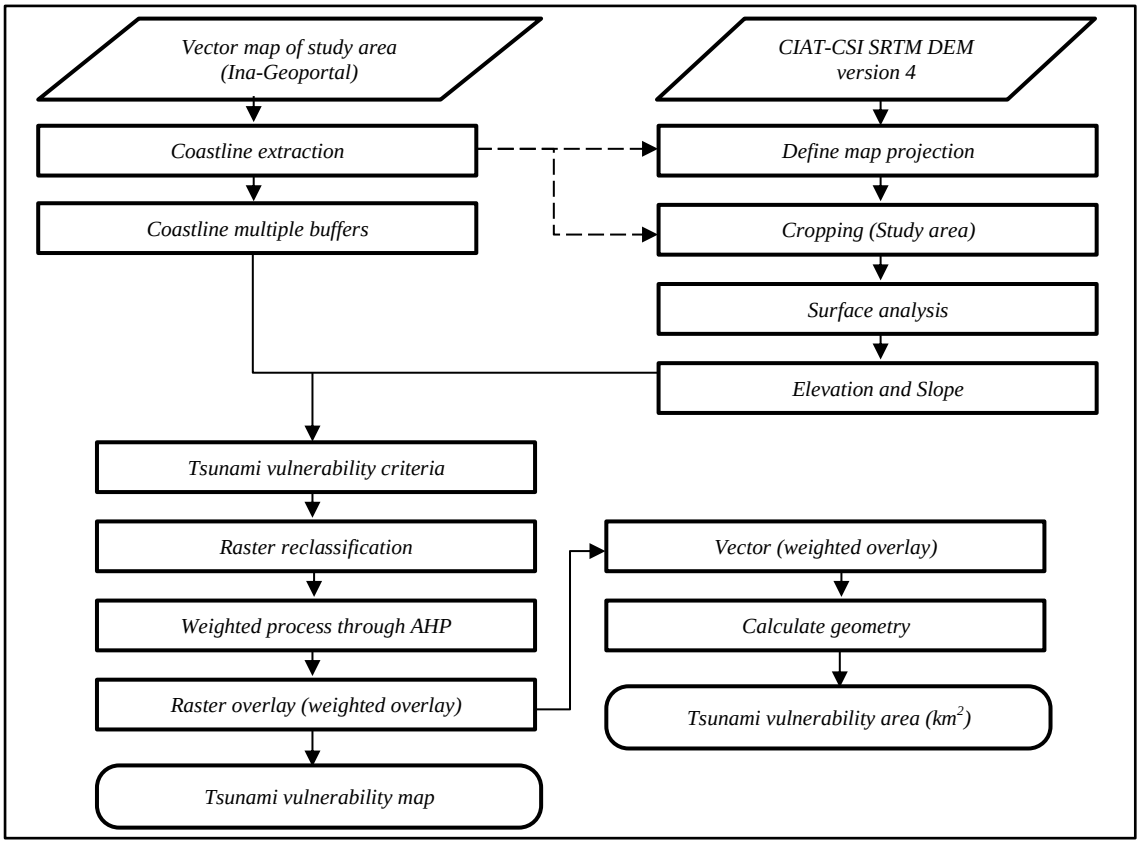
Masalah paling mendasar bagi penduduk Kabupaten Tanggamus yang berpotensi berisiko terhadap ancaman tsunami adalah kewaspadaan, kesiapsiagaan, dan fasilitasi data dasar (Febrina *et al*., 2020). Penerapan *Geographical Information System* (GIS) memungkinkan untuk menilai area kerentanan dan memetakan kerusakan area akibat bencana. Beberapa penelitian sebelumnya telah menerapkan metode GIS dengan *overlay* untuk pemetaan tsunami (Sinaga *et al*., 2011). Memetakan area kerentanan bencana tsunami di Kabupaten Tanggamus merupakan tujuan yang ingin dicapai dengan memanfaatkan metode GIS. Kerentanan dihitung berdasarkan variabel geografis ketinggian (*elevation*), kemiringan (*slope*), dan jarak dari garis pantai (*coastline distance*). Metode AHP diterapkan untuk menghitung dan memberikan bobot prioritas pada parameter tersebut agar menghasilkan model spasial akurat.

©2026, Program Studi Geografi Universitas Muhammadiyah Gorontalo

METODE DAN DATA

Area Studi

Lokasi penelitian berada di Kabupaten Tanggamus, Provinsi Lampung, Indonesia. Geografis Tanggamus terletak pada 5°05'-5°56' LS dan 104°18'-105°12' BT. Kabupaten Tanggamus mempunyai luas 4.747,06 km², dimana luas laut mencapai 1.799,50 km² dan daratan seluas 2.947,57 km² (BPS Kabupaten Tanggamus, 2025). Topografi wilayah bervariasi sebagian merupakan daerah berbukit atau bergunung hingga dataran rendah dan pesisir. Teluk Semaka merupakan teluk besar yang ada yang terdapat di Kabupaten Tanggamus. Terdapat dua sungai besar yaitu Way Semaka dan Way Sekampung yang bermuara di Teluk Semaka. Metode penelitian ditampilkan sebagaimana pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram alir penelitian

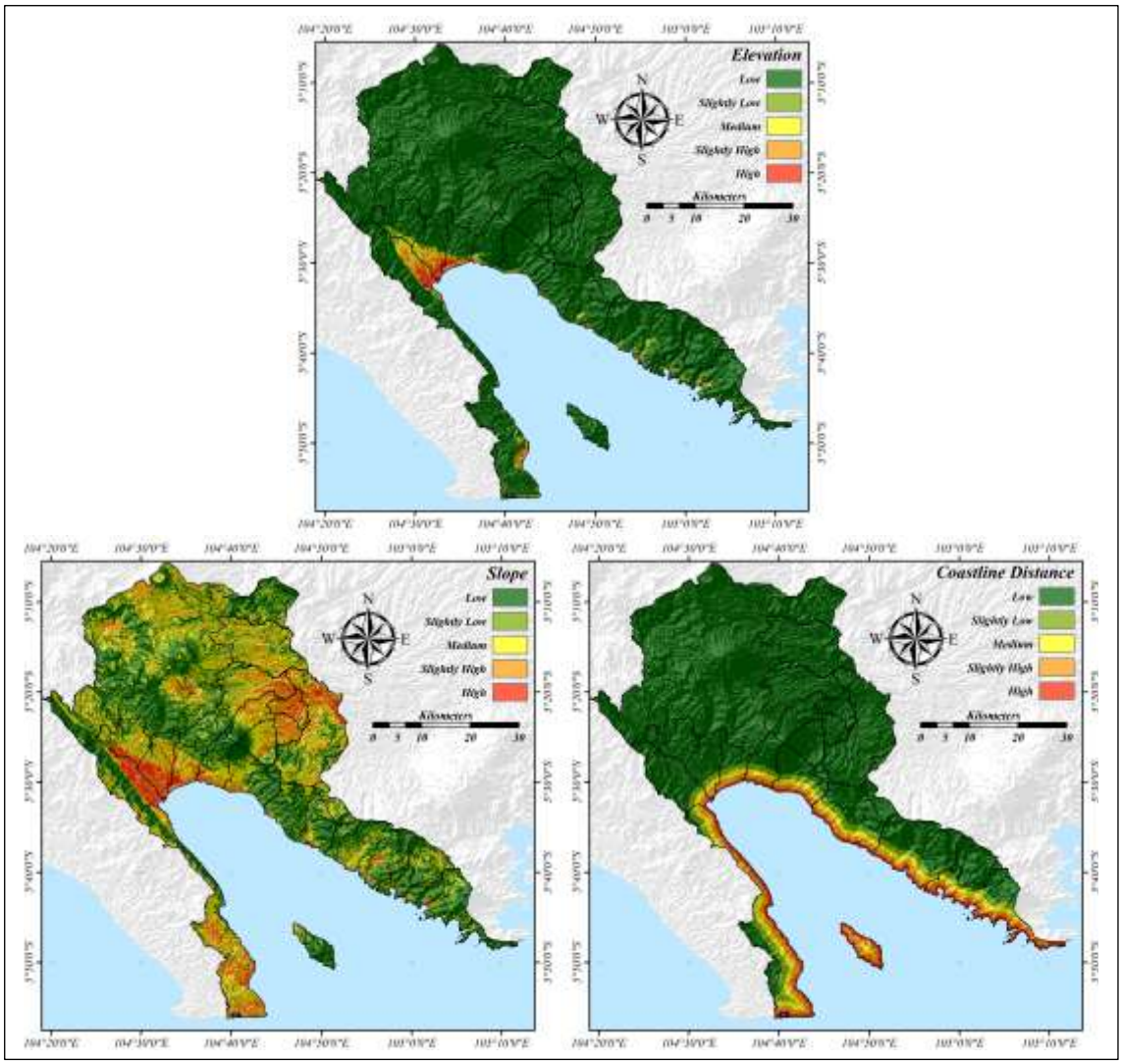
Analisis spasial

Elevation. Data ketinggian adalah salah satu informasi yang sangat diperlukan untuk membangun model kerentanan terhadap tsunami. Untuk memperoleh serangkaian parameter yang menggambarkan kerentanan fisik, model elevasi digital diekstrak menggunakan data *Digital Elevation Model (DEM) CIAT-CSI SRTM* versi 4 (Jarvis *et al*., 2008). Ketinggian (*elevation*) diklasifikasikan menjadi lima kelas kerentanan, sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 1. Penentuan batas interval kelas secara utuh mengadopsi kerangka klasifikasi kerentanan yang dikembangkan Sambah *et al*. (2019). Pengadopsian batas kelas ini sangat relevan dan dapat dijustifikasi secara ilmiah untuk wilayah Tanggamus, karena studi rujukan tersebut didasarkan pada skenario ketinggian run-up tsunami 5 meter; angka yang ekuivalen dengan data observasi historis BMKG Triyono *et al*. (2019) saat gelombang tsunami menerjang pesisir Tanggamus pada tahun 2018. Skema ini secara empiris menggambarkan bahwa area dengan elevasi rendah memiliki kerentanan tinggi terhadap genangan. Pemetaan kerentanan berdasarkan data ketinggian menggambarkan bahwa sebagian besar wilayah pesisir di ujung teluk berada dalam kelas kerentanan *high class* sebagaimana disajikan pada Gambar 2.

Slope. *Slope* adalah tingkat perubahan maksimum dalam nilai-z dari setiap sel gambar. *Slope map* dibuat menggunakan *third-order finite difference method* berdasarkan pada Horn (1981). Persentase kemiringan berkisar dari 0 hingga hampir tak terhingga. Permukaan datar adalah 0 persen, dan karena permukaan menjadi lebih vertikal, persen kemiringan menjadi

©2026, Program Studi Geografi Universitas Muhammadiyah Gorontalo

semakin besar. Peta kemiringan lereng (*slope*) dihasilkan dari data *DEM CIAT-CSI SRTM* versi 4. Sama halnya dengan parameter elevasi, penentuan batas interval persentase kemiringan lereng untuk kelima kelas kerentanan (Tabel 1) mengadopsi klasifikasi dari Sambah *et al*. (2019). Pembagian kelas kemiringan ini selaras dengan skenario dampak tsunami dengan tinggi *run-up* 5 meter, dimana area dengan lereng yang lebih datar (persentase kecil) akan memfasilitasi penjalaran genangan air lebih jauh ke daratan, sehingga memiliki tingkat kerentanan yang lebih tinggi. Gambar 2 menyajikan klasifikasi lereng berdasarkan kelas kerentanan tsunami melalui proses *reclassify* untuk menghasilkan peta kerentanan. Daerah dengan kerentanan tinggi berdasarkan kemiringan diidentifikasi di daerah wilayah pesisir di ujung teluk.



Gambar 2. Peta parameter *elevation*, *slope,* dan *coastline distance*

Tabel 1. Kelas kerentanan berdasarkan *elevation, slope,* dan *coastline distance* (Sambah *et al*., 2019)

Elevation (meter)	*Slope* (persen)	*Coastline distance* (meter)	*Vulnerability Class*
>20	>20	>3.528	*Low*
15–20	13–20	2.404–3.528	*Slightly low*
10–15	6–13	1.400–2.404	*Medium*
5–10	2–6	556–1.400	*Slightly high*
<5	0–2	0–556	*High*

Coastline Distance. *Multi-buffering* dilakukan untuk perhitungan jarak daratan dari garis pantai membagi area menjadi 5 kelas kerentanan. Berdasarkan rentang kemungkinan tsunami ditetapkan untuk memperkirakan jarak *buffering* mencapai daratan. Jaraknya tergantung pada laporan historis kenaikan maksimum (*run-up*) di area studi, dan diekspresikan menggunakan

©2026, Program Studi Geografi Universitas Muhammadiyah Gorontalo

persamaan dari Bretschneider *et al*. (1976):

$$\log X_{max} = \log 1400 + \frac{4}{3}\log\left(\frac{Y_0}{10}\right) \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (1)$$

Y_o adalah ketinggian tsunami ketika di pantai dan X_{maks} mewakili jangkauan maksimum ketika tsunami di darat. Persamaan Bretschneider merupakan model empiris sederhana yang mengasumsikan topografi yang relatif datar dan tidak memperhitungkan friksi dasar (*bottom friction*) atau kompleksitas morfologi pantai, sehingga hasil jarak genangan yang didapat merupakan sebuah aproksimasi konservatif. Wilayah Tanggamus terkena dampak dari tsunami pasca erupsi 22 Desember 2018.

Berdasarkan data BMKG (Triyono *et al*., 2019) *run-up* maksimum tsunami tersebut adalah 5 meter. Berdasarkan Persamaan (1), maka *run-up* 5m akan merendam area sepanjang 556 m ke darat dari garis pantai; *run-up* 5–10 m dapat mencapai 556–1.400 m; *run-up* 10–15 m dapat mencapai 1.400–2.404 m; dan *run-up* 15–20 m dapat mencapai 2.404–3.528 m pengelompokkan tersebut seperti pada Sambah & Miura (2014b). Penilaian kerentanan dan jarak *multi-buffering* dari garis pantai ke area daratan diukur sehubungan dengan dampak gelombang tsunami.

Tingkat kerentanan menghasilkan lima rentang jarak garis pantai seperti ditunjukkan pada Tabel 1. Gambar 2 menyajikan vektor jarak dari tepi laut dipetakan melalui pengolahan GIS untuk menciptakan peta yang menunjukkan tingkat kerentanan berdasarkan *coastline distance*.

Analytical Hierarchy Process (AHP)

Semua parameter berada dalam sel-sel grid yang kemudian diklasifikasikan menjadi lima kelas kerentanan. Untuk kelas kerentanan menggunakan angka integer yang mewakili kerentanan kemudian dilakukan *overlay* parameter-parameter kerentanan tsunami dengan menggunakan sistem penilaian dan pembobotan. Pembobotan didasarkan pada pengaruh dominan dari parameter-parameter ini dalam menentukan kelas kerentanan tsunami. Penilaian pada setiap parameter dimaksudkan untuk penilaian faktor pembatas.

Penilaian skala kepentingan antar parameter dalam matriks perbandingan berpasangan dilakukan oleh penulis dengan merujuk pada tinjauan literatur dan karakteristik fisik wilayah studi Tanggamus. Keterbatasan dalam proses pembobotan yang dilakukan tanpa melibatkan pakar multidisiplin berimplikasi pada sensitivitas hasil pemetaan, di mana objektivitas nilai kepentingan antar parameter sangat bergantung pada interpretasi peneliti terhadap literatur rujukan. Perubahan kecil pada bobot parameter terutama pada variabel elevasi yang memiliki pengaruh dominan sebesar 53,96% dapat memengaruhi delineasi batas area kerentanan pada peta akhir.

Tabel 2. Skala perbandingan oleh Saaty (2012)

Intensity of importance	*Definition*
1	*Equal importance*
3	*Weak importance of one over another*
5	*Essential or strong importance*
7	*Demonstrated importance*
9	*Absolute importance*
2,4,6,8	*Intermediate value between the two adjacent judgments*

AHP diaplikasikan untuk menentukan berat masing-masing variabel. Melalui teknik perbandingan berpasangan, AHP berkontribusi dalam mengembangkan sekumpulan preferensi yang terstruktur dan menampilkan relevansi setiap variabel dibandingkan dengan yang lain (Saaty, 2003). AHP memungkinkan menilai kerentanan terkait dengan bahaya alam dengan jumlah 1 hingga 9 seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 3. Matriks perbandingan berpasangan

	Elevation	*Slope*	*Coastline distance*
Elevation	1	2	3
Slope	1/2	1	2
Coastline distance	1/3	1/2	1

Skala perbandingan tersebut untuk membuat matriks perbandingan berpasangan. Angka ini

©2026, Program Studi Geografi Universitas Muhammadiyah Gorontalo

tergantung pada kepentingan relatif dari setiap parameter. Bobot relatif setiap parameter akan diproduksi melalui *Pair-wise comparison matrix* seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3. Lalu dilanjutkan dengan *normalized matrix* dan *eigenvector calculation* (Tabel 4) sehingga didapatkan bobot masing-masing parameter.

Tabel 4. Matriks ternormalisasi dan perhitungan vektor eigen

	Normalized matrix			*Eigenvector*	*Normalized principal eigenvector*	*Normalized principal eigenvector (%)*
Elevation	0,5455	0,5714	0,5000	1,6169	0,5390	53,90
Slope	0,2727	0,2857	0,3333	0,8918	0,2973	29,73
Coastline distance	0,1818	0,1429	0,1667	0,4913	0,1638	16,38
	0,5373	0,5410	0,5405	1,6188	0,5396	53,96
1st	0,2985	0,2951	0,2973	0,8909	0,2970	29,70
	0,1642	0,1639	0,1622	0,4903	0,1634	16,34
	0,5396	0,5396	0,5396	1,6188	0,5396	53,96
2nd	0,2970	0,2970	0,2970	0,8909	0,2970	29,70
	0,1634	0,1634	0,1634	0,4903	0,1634	16,34
	0,5396	0,5396	0,5396	1,6188	0,5396	53,96
3rd	0,2970	0,2970	0,2970	0,8909	0,2970	29,70
	0,1634	0,1634	0,1634	0,4903	0,1634	16,34
	0,5396	0,5396	0,5396	1,6188	0,5396	53,96
4th	0,2970	0,2970	0,2970	0,8909	0,2970	29,70
	0,1634	0,1634	0,1634	0,4903	0,1634	16,34
	0,5396	0,5396	0,5396	1,6188	0,5396	53,96
5th	0,2970	0,2970	0,2970	0,8909	0,2970	29,70
	0,1634	0,1634	0,1634	0,4903	0,1634	16,34

CI = 0,0046 CR = 0,79 %

Tabel 5. Indeks konsistensi acak (Saaty, 2012)

Matrix size (N)	1	2	3	4	5
Random consistency index	0	0	0,58	0,90	1,12

Perhitungan tingkat konsistensi diperlukan sebelum analisis spasial. Rasio Konsistensi (CR) adalah prosedur untuk menentukan indeks konsistensi. Ini menunjukkan probabilitas penilaian matriks secara acak (Saaty, 1977). AHP mentolerir inkonsistensi melalui perhitungan rasio konsistensi. Rasio konsistensi yang dapat diterima sama dengan atau kurang dari 10% (Forman & Selly, 2001). CR adalah rasio antara indeks konsistensi (CI) dan indeks konsistensi acak (RI) dan dapat dinyatakan menggunakan Persamaan (2).

$$CR = \frac{CI}{\text{RI}}, \text{dan } CI = \frac{(\lambda_{max} - N)}{(N-1)} \quad \text{.....(2)}$$

λ_{maks} mewakili nilai eigen terbesar, dan N ukuran matriks perbandingan. Dalam penelitian ini N = 3. λ maks dihitung dari jumlah semua parameter yang kemudian disalin oleh vektor eigennya. RI didasarkan pada indeks konsistensi acak RI = 0,58 untuk tiga parameter (Tabel 5).

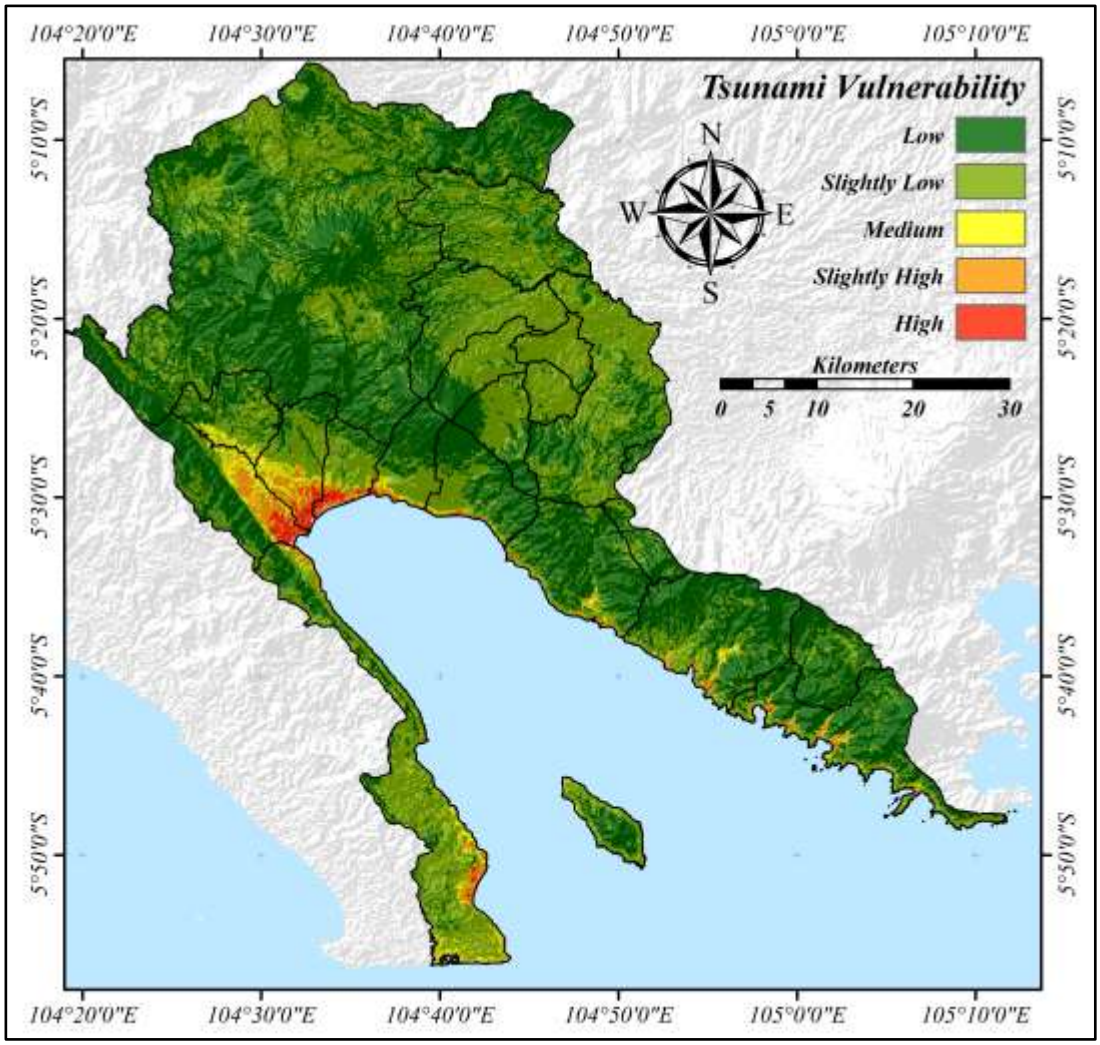
Normalized matrix seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4 dihitung dari perbandingan pasangan dalam tiga iterasi, menunjukkan bahwa CI sebesar 0,0046, sedangkan CR adalah 0,79%. *The pair-wise comparison* menggambarkan bahwa ketinggian adalah faktor paling penting diikuti oleh kemiringan, dan jarak garis pantai.

Analisis Spasial Kerentanan

Setelah membuat bobot dari masing masing parameter, peta kerentanan dibuat dengan *raster overlay (weighted overlay)* melalui analis spasial di GIS dengan bobot ketinggian 53,96 %,

©2026, Program Studi Geografi Universitas Muhammadiyah Gorontalo

kemiringan 29,70 %, dan jarak dari garis pantai 16,34 %. *Weighted overlay tool* diterapkan untuk multi kriteria. Metode ini untuk menggunakan skala nilai umum ke parameter beragam yang memiliki kepentingan berbeda untuk membuat analisis terintegrasi. Langkah umum dari proses ini seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1. Kriteria 5 (*high*), 4 (*slightly high*), 3 (*medium*), 2 (*slightly low*), dan 1 (*low*) digunakan untuk mewakili kelas kerentanan. Selanjutnya membuat peta kerentanan tsunami sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 3 dan area kerentanan di hitung masing-masing tiap kecamatan (Tabel 6).



Gambar 3. *Tsunami vulnerability map of Tanggamus area*

HASIL DAN PEMBAHASAN

Peta kerentanan tsunami menghasilkan lima kelas kerentanan. Hasil penilaian menunjukkan bahwa wilayah Kabupaten Tanggamus, Lampung yang berada di bawah zona kerentanan *low* sebesar 1.417,53 km^2 (52,46%), *slightly low* 1.152,61 km^2 (42,66%), *medium* 63,54 km^2 (2,35%), *slightly high* 48,30 km^2 (1,79%), dan *high* 20,09 km^2 (0,74%). Akumulasi persentase zona *low* dan *slightly low* yang mencapai 95,12% ini tidak mengindikasikan adanya bias klasifikasi, melainkan merupakan representasi akurat dari kondisi geomorfologi Kabupaten Tanggamus. Secara spasial, wilayah administratif ini membentang jauh ke pedalaman dan secara topografis didominasi oleh dataran tinggi, perbukitan, serta pegunungan. Kerentanan daerah terhadap tsunami berdasarkan area kecamatan terdapat pada Tabel 6 sedangkan peta kerentanan tsunami Kabupaten Tanggamus disajikan pada Gambar 3. Berdasarkan Tabel 7, persentase area berisiko *slightly high* dan *high* terlihat kecil dibandingkan dengan luas total wilayah harus tetap mendapatkan perhatian. Wilayah tersebut mungkin saja merupakan zona pesisir yang menjadi pemukiman, pusat ekonomi, atau kawasan pariwisata bahari. Menjadikan wilayah tersebut memiliki prioritas mitigasi tsunami yang jauh lebih tinggi daripada wilayah lainnya.

Peta kerentanan menggambarkan daerah Kecamatan Air Naningan, Bandar Negeri

©2026, Program Studi Geografi Universitas Muhammadiyah Gorontalo

Semuong, Bulok, Gisting, Gunung Alip, Kelumbayan Barat, Pugung, Pulau Panggung, Sumberejo, Talang Padang, dan Ulubelu merupakan area yang memiliki kerentanan rendah. Daerah tersebut terdapat pada dataran yang lebih tinggi, memiliki kemiringan rendah, dan jarak cukup jauh dari garis pantai. Sedangkan, Kecamatan Cukuh Balak, Kelumbayan, Kota Agung, Kota Agung Barat, Kota Agung Timur, Limau, Pematang Sawah, Semaka dan Wonosobo memiliki area dengan kerentanan tinggi terhadap tsunami. Daerah dengan kerentanan tinggi terletak di daerah pesisir dan dekat dengan pantai. Daerah yang memiliki kerentanan paling tinggi berada di daratan ujung Teluk Semaka dan daerah pesisir Sungai Semaka (Gambar 3). Daerah tersebut mencakup kecamatan Wonosobo, Semaka, dan Kota Agung Barat. Tingginya kerentanan di kawasan ini secara murni merepresentasikan karakteristik topografinya. Berdasarkan data DEM, area di ujung teluk dan bantaran sungai ini merupakan dataran yang memiliki elevasi sangat rendah < 5 mdpl (Gambar 4) dengan kemiringan lereng yang sangat datar (0-2%). Ketiadaan hambatan topografi berupa elevasi pada area pesisir yang landai menjadikannya sangat rentan terhadap penetrasi genangan, sehingga secara konsisten masuk ke dalam klasifikasi kerentanan *high* pada proses *overlay*.

Tabel 6. Area Kerentanan Tsunami

Kecamatan	Area* (km^2)	*Tsunami Vulnerability Class* (km^2)				
		Low	*Slightly low*	*Medium*	*Slightly High*	*High*
Air Naningan	307,40	165,11	142,28			
Bandar Negeri Semuong	162,32	95,39	60,69	6,02	0,21	
Bulok	33,47	23,37	10,10			
Cukuh Balak	189,36	125,00	56,93	4,41	2,66	0,36
Gisting	41,89	14,24	27,65			
Gunung Alip	27,78	1,96	25,82			
Kelumbayan	113,49	72,65	32,84	3,46	4,06	0,47
Kelumbayan Barat	64,20	50,28	13,91	0,003		
Kota Agung	63,74	39,18	19,45	2,92	1,74	0,45
Kota Agung Barat	43,43	11,74	23,42	2,55	3,00	2,71
Kota Agung Timur	88,60	58,42	27,46	1,44	1,05	0,23
Limau	118,74	87,75	26,78	1,96	1,89	0,37
Pematang Sawah	193,71	31,70	133,28	17,74	8,41	2,58
Pugung	200,84	72,69	128,14			
Pulau Panggung	131,17	54,89	76,28			
Semaka	134,54	77,24	24,97	12,44	14,21	5,68
Sumberejo	55,84	15,41	40,43			
Talang Padang	30,29	1,90	28,39			
Ulubelu	601,74	377,54	224,20			
Wonosobo	99,53	41,06	29,57	10,60	11,06	7,24
Total	**2.702,07**	**1.417,53**	**1.152,61**	**63,54**	**48,30**	**20,09**

*Berdasarkan *calculate geometry* (ArcGIS Pro 2.5)

Tabel 7. Area berdasarkan kelas kerentanan tsunami

Vulnerability Class	Area (km^2)*	*Percentage (%)*
Low	1.417,53	52,46
Slightly low	1.152,61	42,66
Medium	63,54	2,35
Slightly High	48,30	1,79
High	20,09	0,74

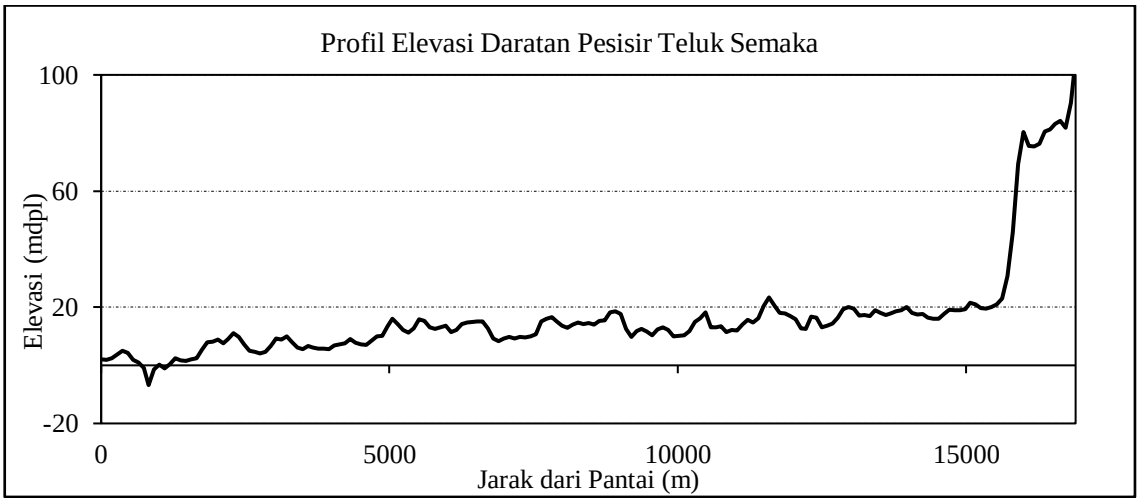
*Berdasarkan *calculate geometry* (ArcGIS Pro 2.5)

Kecamatan Wonosobo (7,24 km^2), Semaka (5,68 km^2), dan Kota Agung Barat (2,71 km^2) merupakan daerah dengan tingkat kerentanan *high* terluas. Dilihat dari jumlah desa/kelurahan yang memiliki nilai kerentanan tinggi Kecamatan Pematang Sawah merupakan daerah yang memiliki desa paling banyak. Kecamatan Pematang Sawah memiliki 12 Desa (Tabel 8) kerentanan tinggi. Desa Karang Anyar (Wonosobo) dan Desa Kacapura (Semaka) merupakan desa/kelurahan di Tanggamus Dengan area kerentanan paling tinggi. Letak geografis kedua desa tersebut tepat berhadapan langsung dengan Teluk Semaka. Walaupun mungkin terlindungi oleh keberadaan teluk dan pulau namun, ukuran teluk yang besar tetap menjadikan desa tersebut

©2026, Program Studi Geografi Universitas Muhammadiyah Gorontalo

rentan. Desa yang berada di dekat muara dan aliran Sungai Semaka menambah kerentanan geografis.

Dari sudut pandang kepentingan penyelamatan dan mitigasi bencana Kecamatan Semaka dan Wonosobo dapat ditetapkan sebagai prioritas mitigasi struktural dan non-struktural. Prioritas pengembangan jalur evakuasi, selter evakuasi vertikal, dan *early warning system* (EWS) dapat dilakukan di Desa Karang Anyar dan Kacapura. Gisting atau daerah lain yang memiliki kerentanan rendah dapat difungsikan sebagai zona penyangga atau tujuan akhir pengungsian jangka panjang jika terjadi bencana besar di pesisir. Pengendalian pemanfaatan ruang di daerah rentan perlu dilakukan pembatasan atau regulasi yang mengatur pembangunan hunian baru yang masif. Menghindari meningkatnya densitas penduduk di area rentan.



Gambar 4. Diagram Profil Morfologi Pantai pada Kawasan Teluk Semaka

Tabel 8. Wilayah dengan kerentanan *high*

Kecamatan	Desa/Kelurahan	Area (km^2)*
Cukuh Balak	Pekondoh	0,01
	Tanjung Betuah	0,02
	Tengor	0,09
	Way Rilau	0,24
Kelumbayan	Kiluan Negeri	0,01
	Napal	0,02
	Negeri Kelumbayan	0,10
	Paku	0,13
	Penyandingan	0,03
	Umbar	0,19
Kota Agung	Kota Batu	0,29
	Negeri Ratu	0,03
	Pasar Madang	0,07
	Terbaya	0,05
Kota Agung Barat	Belu	0,26
	Kandang Besi	0,83
	Tala Gening	0,38
	Tanjung Agung	0,91
	Tebak Bunuk	0,14
	Way Gelang	0,21
Kota Agung Timur	Kagungan	0,04
	Sukabanjar	0,19
Limau	Badak	0,12
	Ketapang	0,21
	Kuripan	0,01
	Padang Ratu	0,01
	Tegineneng	0,02
Pematang Sawah	Betung	0,11
	Guring	0,04
	Kampung Baru	0,01
	Karang Brak	0,01
	Kaur Gading	0,11
	Martanda	0,84
	Tampang	0,12
	Tampang Muda	0,24
	Tanjungan	1,03
	Teluk Brak	0,01
	Way Asahan	0,02
	Way Nipah	0,05
Semaka	Garut	0,03
	Kacapura	3,11
	Karang Rejo	2,19
	Sidodadi	0,27
	Sukajaya	0,04
	Tugu Papak	0,05
Wonosobo	Bandar Kejadian	2,57
	Banyu Urip	0,27
	Dadirejo	0,46
	Kalirejo	0,27
	Karang Anyar	3,18
	Soponyono	0,47
	Way Liwok	0,01

*Berdasarkan *calculate geometry* (ArcGIS Pro 2.5)

Kerentanan terkait dengan kapasitas daerah menangani dampak bencana tsunami

©2026, Program Studi Geografi Universitas Muhammadiyah Gorontalo

menggambarkan area yang mungkin akan dirusak oleh bencana alam tsunami. Kelas kerentanan didasarkan pada parameter fisik, seperti ketinggian, kemiringan, dan jarak dari garis pantai. Analisis citra satelit, data elevasi, dan data lapangan yang diikuti oleh analisis multi-kriteria melalui AHP dan *raster overlay* dalam pemrosesan GIS dapat digunakan sebagai informasi dasar untuk pemetaan kerentanan bencana tsunami.

Penggunaan metode AHP membantu dalam analisis multi-kriteria spasial dimana semua parameter yang digunakan dalam penelitian ini dihitung berdasarkan faktor bobotnya untuk membuat peta kerentanan. Studi ini adalah upaya awal untuk menilai kerentanan tsunami dengan menggunakan parameter ketinggian, kemiringan dan jarak garis pantai. Peta daerah kerentanan dapat menjadi langkah berharga untuk melakukan pencegahan dan mitigasi. Peta kerentanan tsunami dapat digunakan untuk menentukan prioritas untuk pencegahan risiko, mitigasi, dan perencanaan penggunaan lahan untuk mengurangi risiko tsunami. Khususnya, di daerah yang dengan kerentanan tinggi dan kemungkinan terkena dampak tsunami.

Hasil yang diperoleh dari penelitian ini diharapkan dapat bermanfaat untuk analisis lebih lanjut dalam berbagai aplikasi guna mendukung para pengambil keputusan regional dalam perencanaan perkotaan terkait manajemen risiko bencana dan untuk strategi mitigasi bencana. Dengan mempertimbangkan keterbatasan serta ketersediaan data masukan yang dibutuhkan, metode ini dapat diterapkan di tempat lain untuk mendapatkan peta kerentanan tsunami dan genangan yang akurat. Penelitian ini masih berupa model dasar (*baseline*) yang difokuskan pada parameter topografi utama. Oleh karena itu, studi lanjutan dapat diperkaya dengan menambahkan parameter tambahan seperti jarak dari sungai/aliran air dan tata guna lahan, yang pada studi ini belum diakomodasi karena keterbatasan ketersediaan data spasial sekunder beresolusi tinggi yang merata di seluruh wilayah. Dengan menambahkan parameter fisik dan sosial lainnya seperti tipe pantai, arah relatif tsunami, batimetri pantai, serta data kerentanan sosial-ekonomi pemetaan yang lebih komprehensif dapat dilakukan. Penggunaan citra satelit dan DEM beresolusi sangat tinggi yang diiringi dengan validasi lapangan (*ground check*) akan sangat berguna dalam pemetaan kerentanan pada skala yang lebih detail.

KESIMPULAN

Penerapan GIS yang dikombinasikan dengan pemrosesan citra satelit dan metode AHP terbukti efektif dalam memetakan tingkat kerentanan serta menilai dampak potensial bencana tsunami. Hasil pemodelan ini dapat diandalkan sebagai basis data untuk menyusun rencana evakuasi dan rekonstruksi pascabencana. Penerapan SIG yang diintegrasikan dengan metode AHP tidak hanya berfungsi sebagai alat pemetaan statis, tetapi juga memberikan kerangka kerja ilmiah bagi tata kelola risiko bencana di wilayah pesisir. Secara praktis, temuan ini memberikan implikasi kebijakan bagi Pemerintah Kabupaten Tanggamus untuk menetapkan Kecamatan Semaka dan Wonosobo sebagai prioritas utama mitigasi struktural dan pengetatan regulasi pemanfaatan ruang guna mencegah peningkatan densitas penduduk di zona bahaya tinggi. Kontribusi ilmiah studi ini terletak pada penyediaan model *baseline* yang andal untuk daerah dengan keterbatasan data lapangan, yang dapat diadopsi dan diperkaya lebih lanjut untuk perencanaan rute evakuasi serta strategi mitigasi di lokasi lain dengan karakteristik serupa. Sebagian besar wilayah pesisir rentan terhadap tsunami. Bangunan dan daerah tempat tinggal di daerah yang berpotensi terkena dampak harus dilengkapi dengan informasi dasar tentang risiko tsunami karena kesadaran dan kesiapsiagaan adalah faktor paling penting untuk mengurangi potensi kerugian akibat dampak tsunami.

Dalam pemanfaatan hasil penelitian ini untuk perencanaan mitigasi, perlu dipahami bahwa peta kerentanan yang dihasilkan merupakan model prediksi awal. Keterbatasan utama dalam studi ini adalah ketiadaan data validasi lapangan, yang menyebabkan hasil pemetaan sangat bergantung pada resolusi dan akurasi data sekunder yang digunakan. Dalam proses pembobotan AHP penggunaan konsensus pakar atau analisis sensitivitas bobot disarankan untuk penelitian selanjutnya guna meningkatkan validitas dan stabilitas model kerentanan yang dihasilkan. Pemetaan kerentanan yang lebih baik dapat dilakukan dengan menambahkan parameter lain yang sesuai, seperti tipe pantai, arah relatif tsunami, vegetasi dan batimetri pantai.

©2026, Program Studi Geografi Universitas Muhammadiyah Gorontalo

DAFTAR PUSTAKA

Bollin, C., Cárdenas, C., Hahn, H., & Vatsa, K. S. (2003). *Disaster Risk Management by Communities and Local Governments*. Inter-American Development Bank. 1–91 pp. https://doi.org/10.18235/0008775

BPS Kabupaten Tanggamus. (2025). *Kabupaten Tanggamus Dalam Angka 2025*. BPS Kabupaten Tanggamus. 1–323 pp.

Bretschneider, C. L., Bretschneider, C. L., & Wybro, P. G. (1976). Tsunami Inundation Prediction. *Coastal Engineering Proceedings*, *1*(15), 59. https://doi.org/10.9753/icce.v15.59

Farhan, A., & Akhyar, H. (2017). Analysis of tsunami disaster map by Geographic Information System (GIS): Aceh Singkil-Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, *56*(1), 012002. https://doi.org/10.1088/1755-1315/56/1/012002

Febrina, R., Evan, D. K., Afriani, L., Retno, R. M. I., Susilorini, & Fitra, H. A. (2020). The analysis of Tsunami evacuation route based on geographic information system: a case study in the coast of Lampung Bay. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, *807*(1), 012022. https://doi.org/10.1088/1757-899X/807/1/012022

Forman, E., & Selly, M. (2001). *Decision by objectives: how to convince others that you are right*. World Scientific Publishing. 1–401 pp.

Horn, B. K. P. (1981). Hill Shading and the Reflectance Map. *Proceedings of the IEEE*, *69*(1), 14–47. https://doi.org/10.1109/PROC.1981.11918

Jarvis, A., Reuter, H. I., Nelson, A., & Guevara, E. (2008). *Hole-filled SRTM for the globe Version 4, available from the CGIAR-CSI SRTM 90m Database*. http://srtm.csi.cgiar.org

Mahendra, R. S., Mohanty, P. C., Bisoyi, H., Kumar, T. S., & Nayak, S. (2011). Assessment and management of coastal multi-hazard vulnerability along the Cuddalore–Villupuram, east coast of India using geospatial techniques. *Ocean & Coastal Management*, *54*(4), 302–311. https://doi.org/10.1016/J.OCECOAMAN.2010.12.008

Mayaguezz, H., Muhaemin, M., Gilang, M., Putra, A., Susanti, O., Kusuma, A. H., Efendi, E., Lahay, A. F., & Amiin, M. K. (2023). Tsunami Evacuation Accessibility Simulation Using Network Analysis Tools in Tsunami Prone Areas of Tanggamus District. *Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat Universitas Bangka Belitung*, *10*(1), 32–41. https://doi.org/10.33019/JPU.V10I1.3888

Melianita, R., Andius, D. P., & Syah, A. (2021). Analisis Potensi Kerentanan dan Risiko Bencana di Wilayah Kabupaten Tanggamus. *Jurnal Rekayasa Sipil Dan Desain (JRSDD)*, *9*(3), 437–448. https://doi.org/10.23960/JRSDD.V9I3.1896

Papathoma, M., & Dominey-Howes, D. (2003). Tsunami vulnerability assessment and its implications for coastal hazard analysis and disaster management planning, Gulf of Corinth, Greece. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, *3*(6), 733–747. https://doi.org/10.5194/NHESS-3-733-2003

Saaty, T. L. (1977). A scaling method for priorities in hierarchical structures. *Journal of Mathematical Psychology*, *15*(3), 234–281. https://doi.org/10.1016/0022-2496(77)90033-5

Saaty, T. L. (2003). Decision-making with the AHP: Why is the principal eigenvector necessary. *European Journal of Operational Research*, *145*(1), 85–91. https://doi.org/10.1016/S0377-2217(02)00227-8

Saaty, T. L. (2012). *Decision making for leaders: the analytic hierarchy process for decisions in a complex world* (Third Edition). RWS publications.

Sambah, A. B., & Miura, F. (2014a). Integration of Spatial Analysis for Tsunami Inundation and Impact Assessment. *Journal of Geographic Information System*, *6*(1), 11–22. https://doi.org/10.4236/JGIS.2014.61002

Sambah, A. B., & Miura, F. (2014b). Remote sensing and spatial multi-criteria analysis for tsunami vulnerability assessment. *Disaster Prevention and Management*, *23*(3), 271–295. https://doi.org/10.1108/DPM-05-2013-0082

Sambah, A. B., Miura, F., Guntur, & Fuad. (2018). Spatial multi criteria approach for tsunami risk assessment. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, *162*(1), 012019. https://doi.org/10.1088/1755-1315/162/1/012019

Sambah, A. B., Tri Djoko, L., & Bayu, R. (2019). Satellite image analysis and GIS approaches for tsunami vulnerability assessment. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, *370*(1), 012068. https://doi.org/10.1088/1755-1315/370/1/012068

©2026, Program Studi Geografi Universitas Muhammadiyah Gorontalo

Sinaga, T. P. T., Nugroho, A., Lee, Y. W., & Suh, Y. (2011). GIS mapping of tsunami vulnerability: Case study of the Jembrana regency in Bali, Indonesia. *KSCE Journal of Civil Engineering*, *15*(3), 537–543. https://doi.org/10.1007/S12205-011-0741-8

Strunz, G., Post, J., Zosseder, K., Wegscheider, S., Mück, M., Riedlinger, T., Mehl, H., Dech, S., Birkmann, J., Gebert, N., Harjono, H., Anwar, H. Z., Sumaryono, Khomarudin, R. M., & Muhari, A. (2011). Tsunami risk assessment in Indonesia. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, *11*(1), 67–82. https://doi.org/10.5194/NHESS-11-67-2011

Suhadha, A. G., & Julzarika, A. (2020). Integration of Remote Sensing and Geographic Information System for Mapping Potential Tsunami Inundation. *Proceeding - AGERS 2020: IEEE Asia-Pacific Conference on Geoscience, Electronics and Remote Sensing Technology: Understanding the Interaction of Land, Ocean and Atmosphere: Disaster Mitigation and Regional Resillience*, 163–167. https://doi.org/10.1109/AGERS51788.2020.9452767

Tiwi, D. A. (2017). Pemetaan Multi Risiko Bencana Pada Kawasan Strategis Di Kabupaten Tanggamus. *Alami: Jurnal Teknologi Reduksi Risiko Bencana*, *1*(1), 43–48. https://doi.org/10.29122/ALAMI.V1I1.115

Triyono, R., Prasetya, T., Anugrah, S. D., Sudrajat, A., Setiyono, U., Gunawan, I., Priyobudi, Yatimantoro, T., Hidayanti, Anggraini, S., Rahayu, R. H., Yogaswara, D. S., Hawati, P., Apriani, M., Julius, A. M., Harvan, M., Simangunsong, G., & Kriswinarso, T. (2019). *Katalog Tsunami Indonesia Per-Wilayah Tahun 416-2018* (Cetakan Kedua). Jakarta: Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika. 1–84 pp.

©2026, Program Studi Geografi Universitas Muhammadiyah Gorontalo