

# Pemodelan Genangan Tsunami Berdasarkan Skenario Ketinggian Gelombang dan Perubahan Lahan di Pesisir Kota Banda Aceh

Arinaldi<sup>1\*</sup>, Lukas<sup>2</sup>, M.M. Lanny W. Panjaitan<sup>3</sup>, Kasyful Humam<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Program Profesi Insinyur, Fakultas Biosains, Teknologi, dan Inovasi, Universitas Katolik Indonesia Atma Jaya, Jalan Jenderal Sudirman 51 Jakarta 12930

<sup>2</sup>Cognitive Engineering Research Group (CERG) Universitas Katolik Indonesia Atma Jaya Jakarta 12930, Indonesia

<sup>3</sup>Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Biosains, Teknologi, dan Inovasi, Universitas Katolik Indonesia Atma Jaya, Jalan Jenderal Sudirman 51 Jakarta 12930

<sup>4</sup>Kementerian Agraria dan Tata Ruang/Badan Pertanahan Nasional, Kanwil BPN Provinsi Aceh, Indonesia

---

## Article Info

## Abstract

### Article history:

Received  
16 January 2026

Accepted  
19 January 2026

Keywords: Tsunami,  
Scenario, Hazard, Land  
Use, Mangrove.

*This study analyzes tsunami inundation characteristics and coastal exposure in Banda Aceh City under 5 m, 15 m, and 30 m tsunami scenarios. It also evaluates the impact of land-use modification through an experimental conversion of aquaculture ponds into mangrove areas by adjusting surface roughness coefficients. A GIS-based approach was applied using remote sensing, topographic, and land-use data. Tsunami inundation was modeled using the Berryman equation considering surface slope and roughness. The results indicate that tsunami propagation forms irregular inundation boundaries influenced by land-use variations. The land-use modification experiment shows that converting ponds into mangroves reduces inundation extent and residential exposure, particularly under the 30 m scenarios. These findings highlight the role of mangrove restoration in mitigating tsunami impacts in coastal areas.*

---

## Info Artikel

## Abstrak

### Histori Artikel:

Diserahkan:  
16 Januari 2026

Diterima:  
19 Januari 2026

Kata Kunci: Tsunami,  
Skenario, Bahaya,  
Penggunaan Lahan,  
Mangrove.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis karakteristik genangan tsunami pada pesisir Kota Banda Aceh berdasarkan skenario ketinggian tsunami 5 m, 15 m, dan 30 m. Selain itu, penelitian ini mengkaji pengaruh perubahan penggunaan lahan melalui eksperimen konversi kawasan tambak menjadi mangrove dengan penyesuaian koefisien kekasaran permukaan. Analisis dilakukan menggunakan pendekatan Sistem Informasi Geografis (SIG) dengan memanfaatkan data penginderaan jauh, topografi, dan penggunaan lahan. Pemodelan genangan tsunami menggunakan persamaan Berryman dengan mempertimbangkan kemiringan lereng dan kekasaran permukaan. Hasil menunjukkan bahwa perambatan tsunami membentuk batas genangan yang tidak beraturan dan dipengaruhi oleh variasi penggunaan lahan. Eksperimen perubahan penggunaan lahan menunjukkan bahwa konversi tambak menjadi mangrove mampu mengurangi luas genangan tsunami dan keterpaparan permukiman, terutama pada skenario 30 m. Temuan ini menunjukkan bahwa restorasi mangrove berperan penting dalam mitigasi dampak tsunami di wilayah pesisir.

---

\*Corresponding author. Arinaldi  
Email address: [arinald.12025003811@student.atmajaya.ac.id](mailto:arinald.12025003811@student.atmajaya.ac.id)

## 1. PENDAHULUAN

Bencana merupakan suatu peristiwa atau rangkaian peristiwa yang berpotensi mengancam serta mengganggu kehidupan dan mata pencaharian masyarakat. Peristiwa tersebut dapat disebabkan oleh faktor alam, non-alam, maupun aktivitas manusia yang pada akhirnya dapat menimbulkan korban jiwa, kerusakan lingkungan, kerugian materi, serta dampak psikologis terhadap masyarakat (Undang-Undang Nomor 24 Tahun 2007). Indonesia berada pada wilayah pertemuan beberapa lempeng tektonik utama, yaitu Lempeng Eurasia, Lempeng Indo-Australia, dan Lempeng Pasifik. Ketiga lempeng tersebut hingga saat ini masih aktif dan terus bergerak secara konvergen (Hall, R., 2002). Kondisi geotektonik ini menyebabkan Indonesia memiliki tingkat potensi bencana alam yang tinggi, khususnya bencana gempa bumi dan tsunami (Badan Nasional Penanggulangan Bencana, BNPB, 2020).

Kota Banda Aceh sebagai salah satu pusat perkotaan di Provinsi Aceh juga mengalami dampak signifikan akibat kejadian tsunami. Wilayah dengan jumlah penduduk sekitar 265.310 jiwa tersebut (Badan Pusat Statistik Kota Banda Aceh, 2025) mencatat korban jiwa sebanyak 13.785 orang, sementara 58.981 orang lainnya dinyatakan hilang (BRR NAD–NIAS, 2009). Kondisi ini menunjukkan bahwa penduduk merupakan elemen yang memiliki tingkat keterpaparan dan kerentanan yang tinggi terhadap bahaya tsunami, sehingga menjadi objek utama dalam kajian risiko bencana.

Penelitian ini berfokus pada pemodelan genangan tsunami dan analisis dampaknya terhadap wilayah pesisir Kota Banda Aceh dengan mempertimbangkan variasi ketinggian gelombang tsunami. Analisis dilakukan menggunakan tiga skenario ketinggian tsunami, yaitu 5 m, 15 m, dan 30 m, yang dipilih untuk merepresentasikan tingkat kejadian tsunami dengan dampak sedang hingga tinggi. Selain itu, penelitian ini juga menyajikan analisis kerentanan wilayah sebagai elemen penting dalam penilaian risiko tsunami.

Pemilihan skenario ketinggian tsunami tersebut bertujuan untuk menggambarkan karakteristik perambatan tsunami dan tingkat kerusakan yang berpotensi terjadi di wilayah kajian. Skenario 5 m dan 15 m merepresentasikan kejadian tsunami dengan dampak menengah hingga signifikan, sedangkan skenario 30 m digunakan untuk menggambarkan kondisi ekstrem yang berpotensi menimbulkan genangan luas di kawasan permukiman. Penentuan skenario ini mengacu pada klasifikasi intensitas tsunami yang umum digunakan dalam kajian kebencanaan serta mempertimbangkan kejadian tsunami besar yang pernah terjadi di wilayah Aceh.

Penggunaan lahan di wilayah pesisir Kota Banda Aceh didominasi oleh berbagai tipe tutupan lahan, seperti kawasan permukiman, tambak, lahan terbuka, serta vegetasi pesisir termasuk mangrove (Humam, K., 2015). Setiap jenis penggunaan lahan memiliki karakteristik fisik yang berbeda, terutama dalam hal kekasaran permukaan, yang berpengaruh terhadap perilaku perambatan dan pelemahan energi gelombang tsunami. Kawasan dengan kekasaran permukaan rendah, seperti tambak dan lahan terbuka, cenderung memungkinkan tsunami merambat lebih jauh ke daratan dibandingkan dengan kawasan yang memiliki vegetasi rapat atau struktur bangunan (Berryman, K., 2006).

Menurut (Danielsen, F., Sørensen, M. K., Olwig, M. F., Selvam, V., Parish, F., Burgess, N. D., et al., 2005), mangrove merupakan salah satu elemen penting dalam ekosistem pesisir yang berfungsi sebagai pelindung alami terhadap berbagai dinamika pesisir, termasuk gelombang ekstrem. Keberadaan mangrove dapat meningkatkan kekasaran permukaan dan memperlambat aliran gelombang tsunami, sehingga berpotensi mengurangi luas genangan dan tingkat kerusakan.

Oleh karena itu, kajian mengenai perubahan penggunaan lahan, khususnya konversi tambak menjadi mangrove, menjadi penting untuk memahami peran pengelolaan lingkungan dalam mitigasi bencana tsunami. Dengan memasukkan aspek penggunaan lahan ke dalam pemodelan genangan tsunami, penelitian ini diharapkan dapat memberikan gambaran mengenai efektivitas pendekatan berbasis ekologi dalam mengurangi risiko tsunami di wilayah pesisir.

## **2. METODE PELAKSANAAN**

### **2.1. Wilayah Penelitian**

Wilayah penelitian meliputi Kecamatan Meuraxa, Kecamatan Kuta Raja, dan Kecamatan Kuta Alam yang berada di Kota Banda Aceh. Ketiga kecamatan tersebut merupakan kawasan pesisir yang berbatasan langsung dengan garis pantai sehingga memiliki tingkat keterpaparan tinggi terhadap bahaya tsunami. Berdasarkan catatan kejadian tsunami besar di Aceh, wilayah ini termasuk kawasan yang mengalami dampak paling signifikan akibat tsunami, sehingga dipilih sebagai lokasi kajian untuk analisis genangan tsunami dan pengaruh penggunaan lahan.

### **2.2. Tahap Persiapan Lapangan**

Tahap persiapan lapangan diawali dengan kegiatan studi pustaka yang bertujuan untuk memahami konsep, metode, serta penelitian terdahulu yang relevan dengan pemodelan tsunami dan penggunaan lahan. Pada tahap ini juga dilakukan pengumpulan data, perangkat lunak, serta bahan pendukung yang diperlukan dalam penelitian.

Selanjutnya, dilakukan interpretasi penggunaan lahan dan jaringan jalan menggunakan Citra *GeoEye-1*. Proses interpretasi mengacu pada klasifikasi penggunaan lahan berdasarkan pendekatan Malingreau, dengan mempertimbangkan unsur-unsur interpretasi visual citra penginderaan jauh. Hasil interpretasi ini digunakan sebagai dasar dalam analisis kekasaran permukaan.

Pembuatan peta kemiringan lereng dilakukan menggunakan data kontur dengan kontur interval (CI) sebesar 0,5 meter. Informasi kemiringan lereng ini diperlukan untuk mendukung pemodelan genangan tsunami, mengingat pengaruh topografi terhadap perambatan gelombang tsunami.

Selain itu, disusun peta administrasi Kota Banda Aceh sebagai acuan batas wilayah penelitian. Untuk keperluan uji ketelitian interpretasi penggunaan lahan dan jaringan jalan, dibuat peta sampel dengan penentuan titik sampel menggunakan metode *proportional stratified random sampling*, sehingga setiap kelas penggunaan lahan dan jaringan jalan terwakili secara proporsional.

## **3. HASIL DAN PEMBAHASAN**

Tahap lapangan dilakukan untuk memverifikasi hasil interpretasi penggunaan lahan yang telah disusun pada tahap persiapan. Kegiatan utama pada tahap ini adalah melakukan uji akurasi interpretasi penggunaan lahan yang diperoleh dari Citra *GeoEye-1*. Uji akurasi bertujuan untuk mengetahui tingkat ketelitian hasil interpretasi citra penginderaan jauh terhadap kondisi penggunaan lahan yang sebenarnya di wilayah penelitian.

Hasil interpretasi penggunaan lahan yang dilakukan di studio kemudian dibandingkan dengan kondisi aktual di lapangan melalui kegiatan pengecekan langsung. Proses ini dilakukan untuk memastikan bahwa klasifikasi penggunaan lahan yang digunakan dalam

pemodelan genangan tsunami sesuai dengan kondisi eksisting, sehingga dapat meningkatkan keandalan hasil analisis yang diperoleh.

## **4. HASIL DAN PEMBAHASAN**

### **4.1. Interpretasi Penggunaan Lahan dan Jaringan Jalan dari Citra *GeoEye-1***

Interpretasi penggunaan lahan dilakukan menggunakan Citra *GeoEye-1* dengan tahun perekaman 2024. Berdasarkan informasi dari (DigitalGlobe, 2024), Citra *GeoEye-1* telah mengalami koreksi radiometrik dan geometrik, sehingga data citra yang digunakan dalam penelitian ini hanya memerlukan proses georeferencing sebelum dilakukan interpretasi penggunaan lahan.

Metode interpretasi yang diterapkan merupakan interpretasi visual dengan memanfaatkan unsur-unsur interpretasi citra, meliputi rona atau warna, bentuk, bayangan, ukuran, tekstur, pola, situs, dan asosiasi. Dalam praktiknya, tidak seluruh unsur interpretasi digunakan secara bersamaan untuk setiap objek, melainkan dipilih unsur yang paling relevan sebagai kunci interpretasi agar masing-masing kelas penggunaan lahan dapat dibedakan secara jelas. Selain itu, pengetahuan lokal (*local knowledge*) turut berperan dalam meningkatkan ketepatan interpretasi penggunaan lahan di wilayah penelitian.

Hasil interpretasi menunjukkan bahwa penggunaan lahan di Kecamatan Meuraxa, Kuta Raja, dan Kuta Alam terdiri atas beberapa kelas, antara lain belukar, gedung, gosong pantai, pelabuhan laut, hutan mangrove, kebun campuran, lahan terbuka, rawa, rumput rawa, semak, tambak, serta tegalan atau ladang. Klasifikasi penggunaan lahan ini selanjutnya digunakan sebagai dasar dalam penentuan koefisien kekasaran permukaan pada pemodelan genangan tsunami.

### **4.2. Uji Ketelitian Interpretasi Penggunaan Lahan dan Jaringan Jalan**

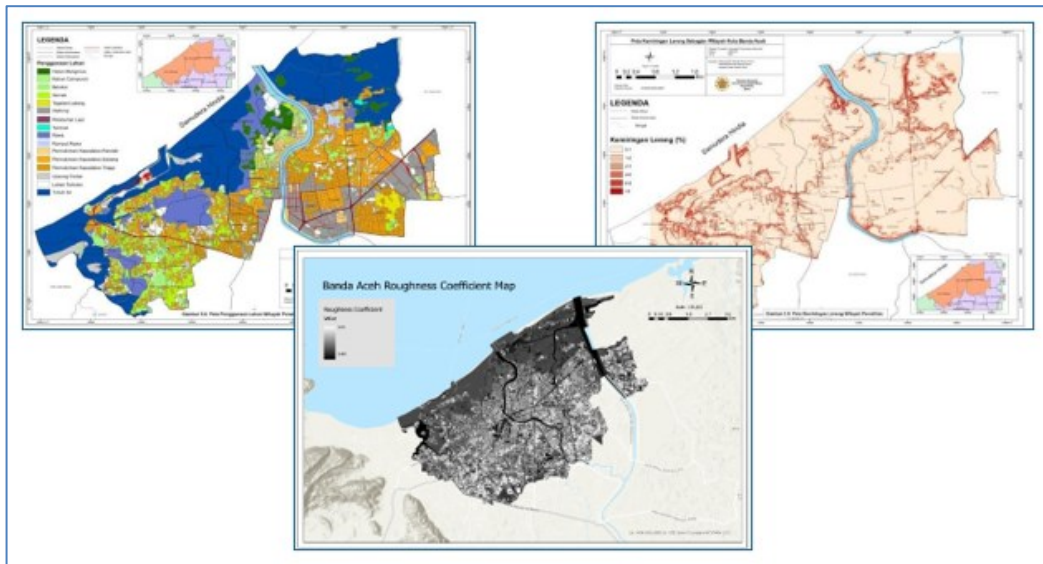
Uji ketelitian interpretasi penggunaan lahan dilakukan untuk menilai tingkat keakuratan hasil interpretasi citra terhadap kondisi penggunaan lahan di lapangan. Penentuan sampel uji dilakukan menggunakan metode *stratified proportional random sampling*, dengan tujuan agar setiap kelas penggunaan lahan terwakili secara proporsional dan tersebar merata di seluruh wilayah penelitian.

Hasil uji ketelitian menunjukkan bahwa tingkat akurasi interpretasi penggunaan lahan mencapai 95.23%, yang mengindikasikan bahwa hasil interpretasi memiliki tingkat ketelitian yang tinggi. Kesalahan interpretasi yang paling banyak ditemukan terjadi pada kelas penggunaan lahan semak yang teridentifikasi sebagai belukar. Perbedaan ini dapat terjadi karena pertumbuhan vegetasi semak menjadi belukar berlangsung relatif cepat, serta adanya perbedaan waktu antara perekaman citra dan pelaksanaan pengecekan lapangan.

### **4.3. Peta Penggunaan Lahan, Koefisien Kekasaran Permukaan dan Kemiringan Lereng**

Penggunaan lahan yang paling dominan di wilayah penelitian adalah tubuh air atau laut dengan luas sekitar 628 ha (Gambar 1). Kondisi ini dipengaruhi oleh kejadian tsunami besar yang menyebabkan perubahan morfologi wilayah pesisir. Tsunami yang terjadi pada 26 Desember 2004 dengan kekuatan besar menerjang daratan yang memiliki elevasi rendah, sehingga pada saat fase surut terjadi, sebagian massa air tertahan dan membentuk genangan permanen di wilayah daratan pesisir. Selain tubuh air, penggunaan lahan yang mendominasi wilayah penelitian adalah kawasan permukiman. Permukiman dengan kepadatan sedang memiliki luas sekitar 419 ha (16,79%), diikuti oleh permukiman kepadatan rendah seluas 229 ha (9,18%), serta permukiman kepadatan tinggi dengan luas 155 ha (6,2%). Klasifikasi

kepadatan permukiman ditentukan berdasarkan perbandingan antara luas kawasan permukiman dengan luas wilayah administrasi masing-masing desa.



**Gambar 1.**

Peta Penggunaan Lahan, Kemiringan Lereng dan Koefisien Kekasaran Permukaan yang Menjadi Dasar Pembuatan Peta Bahaya Tsunami

Dalam penelitian ini, kawasan permukiman dibagi ke dalam tiga kelas kepadatan karena adanya perbedaan nilai koefisien kekasaran permukaan pada setiap kelas. Permukiman dengan kepadatan yang lebih tinggi memiliki nilai kekasaran permukaan yang lebih besar, sehingga lebih efektif dalam mereduksi energi dan perambatan genangan tsunami. Sebaliknya, kawasan dengan kepadatan permukiman yang lebih rendah memiliki nilai kekasaran permukaan yang lebih kecil, sehingga memungkinkan genangan tsunami merambat lebih jauh ke daratan.

Selanjutnya polygon penggunaan lahan dikonversi ke nilai koefisien kekasaran permukaan (Tabel 1). Permukiman dengan kepadatan rendah memiliki nilai koefisien kekasaran permukaan sebesar 0,04, permukiman kepadatan sedang sebesar 0,06, dan permukiman kepadatan tinggi sebesar 0,08. Perbedaan nilai koefisien ini mencerminkan variasi kemampuan setiap kelas permukiman dalam mereduksi perambatan genangan tsunami. Semakin tinggi tingkat kepadatan permukiman, semakin besar nilai kekasaran permukaan yang dimiliki, sehingga semakin efektif dalam menahan dan memperlambat aliran tsunami.

Nilai koefisien kekasaran permukaan tertinggi terdapat pada penggunaan lahan berupa bangunan atau gedung, dengan nilai sebesar 0,15, sedangkan nilai terendah terdapat pada penggunaan lahan tubuh air atau laut, yaitu 0,001. Variasi nilai koefisien ini menunjukkan perbedaan karakteristik fisik permukaan yang sangat berpengaruh terhadap kehilangan energi gelombang tsunami saat merambat ke daratan.

Klasifikasi kemiringan lereng dalam penelitian ini mengacu pada standar yang dikeluarkan oleh Bakosurtanal (1999). Hasil klasifikasi menunjukkan bahwa nilai kemiringan lereng maksimum di lokasi penelitian hanya mencapai sekitar 8%, sehingga faktor kemiringan lereng memiliki variasi yang relatif kecil namun tetap berpengaruh terhadap pola perambatan genangan tsunami (lihat Gambar 1).

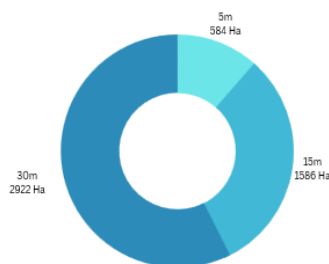
**Tabel 1.**

Nilai Koefisien Kekasaran Permukaan  
(Sumber: Khomarudin, M., R.,2010)

No	Jenis Penggunaan Lahan	Koefisien Kekasaran Permukaan
1	Air Empang	0,007
2	Air Laut	0,001
3	Air Rawa	0,015
4	Air Sungai	0,007
5	Air Tambak	0,01
6	Bukit Pasir	0,018
7	Hutan Rawa	0,025
8	Hutan Rapat	0,07
9	Rumput	0,02
10	Semak	0,04
11	Jalan Arteri	0,01
12	Jalan Kolektor	0,01
13	Jalan Lain	0,013
14	Jalan Lokal	0,013
15	Kebun	0,035
16	Ladang	0,03
17	Bangunan Gedung	0,045
18	Median Jalan	0,015
19	Sawah	0,02
20	Tanah Kosong	0,015
21	Vegetasi Kerapatan Rendah	0,03
22	Vegetasi Kerapatan Sedang	0,05
23	Vegetasi Kerapatan Tinggi	0,07
24	Mangrove	0,06
25	Permukiman Kepadatan Rendah (1-20%)	0,04
26	Permukiman Kepadatan Sedang (20-50%)	0,06
27	Permukiman Kepadatan Tinggi (>50%)	0,08

#### 4.4. Analisis Bahaya Tsunami

Pemodelan genangan tsunami di wilayah pesisir Kota Banda Aceh dilakukan menggunakan tiga skenario ketinggian gelombang, yaitu 5 m, 15 m, dan 30 m, untuk merepresentasikan variasi tingkat kejadian tsunami dari skenario rendah hingga ekstrem. Perbandingan luas genangan tsunami yang dihasilkan dari ketiga skenario tersebut secara umum ditampilkan pada Gambar 2, yang memperlihatkan perbedaan luasan genangan akibat peningkatan ketinggian gelombang tsunami.

**Gambar 2.**

Luas Genangan Tsunami Pada 3 Skenario

Analisis pemodelan ketinggian bahaya tsunami dalam penelitian ini dilakukan menggunakan persamaan yang dikembangkan oleh (Berryman, K., 2006). Persamaan tersebut digunakan untuk menghitung kehilangan ketinggian gelombang tsunami selama

proses perambatan dari garis pantai ke daratan. Persamaan ini mempertimbangkan pengaruh ketinggian awal tsunami di garis pantai, kemiringan lereng, serta koefisien kekasaran permukaan yang merepresentasikan karakteristik penggunaan lahan.

$$H_{loss} = \left( \frac{16,7-n^2}{H_0^3} \right) + 5 \cdot \sin S \quad \dots\dots\dots (1)$$

di mana:

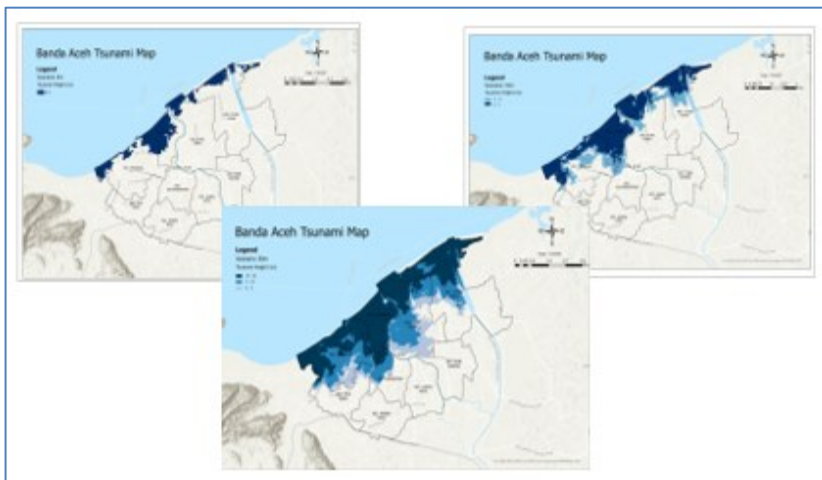
$H_{loss}$  = kehilangan ketinggian tsunami untuk 1 m jarak rambatannya

$H_0$  = ketinggian awal tsunami di garis pantai

$N$  = koefisien kekasaran permukaan

$S$  = lereng permukaan

Secara umum, parameter yang digunakan dalam analisis bahaya tsunami meliputi data kemiringan lereng, koefisien kekasaran permukaan, garis pantai, serta skenario ketinggian tsunami yang dimodelkan. Kombinasi parameter tersebut digunakan untuk menghasilkan peta sebaran genangan tsunami. Hasil pemodelan menunjukkan bahwa peningkatan ketinggian gelombang tsunami berbanding lurus dengan bertambahnya luas dan jangkauan genangan ke arah daratan. Visualisasi spasial genangan tsunami untuk masing-masing skenario ketinggian gelombang secara rinci ditampilkan pada Gambar 3.



**Gambar 3.**  
Peta Bahaya Berbagai Skenario Ketinggian Tsunami

#### 4.4.1. Skenario Ketinggian Tsunami 5 m

Pada skenario ketinggian tsunami 5 m, tingkat bahaya tsunami terbagi ke dalam satu kelas, yaitu bahaya sangat rendah. Luas wilayah dengan klasifikasi bahaya rendah mencapai sekitar 584 Ha. Hasil pemodelan menunjukkan bahwa pada skenario ini, keberadaan vegetasi pesisir seperti mangrove dan rawa masih berperan dalam menahan perambatan tsunami ke arah daratan. Genangan tsunami mulai memasuki kawasan permukiman secara terbatas, terutama di wilayah yang memiliki tutupan mangrove relatif sedikit dan didominasi oleh penggunaan lahan dengan nilai kekasaran permukaan rendah seperti tambak.

#### 4.4.2. Skenario Ketinggian Tsunami 15 m

Pada skenario ketinggian tsunami 15 m, tingkat bahaya tsunami meningkat dan terklasifikasi ke dalam dua kelas, yaitu bahaya rendah, dan bahaya sedang. Total luas wilayah terdampak pada skenario ini mencapai 1586 Ha atau sekitar 37% dari luas wilayah penelitian.

Pada skenario ini, kemampuan vegetasi pesisir dalam menahan genangan tsunami mulai berkurang. Gelombang tsunami mampu merambat lebih jauh ke daratan dan menggenangi kawasan permukiman dengan intensitas yang lebih luas dibandingkan skenario 5 m. Pola genangan menunjukkan batas yang tidak beraturan, menandakan bahwa perambatan tsunami dipengaruhi oleh variasi penggunaan lahan dan kekasaran permukaan.

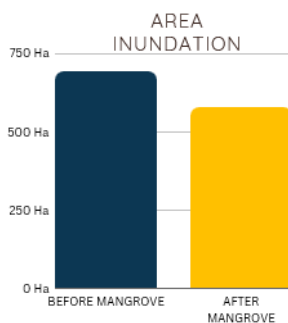
#### 4.4.3. Skenario Ketinggian Tsunami 30 m

Skenario ketinggian tsunami 30 m menunjukkan tingkat bahaya yang lebih tinggi dan terbagi ke dalam empat kelas, yaitu bahaya rendah, bahaya sedang, dan bahaya tinggi. Total luas wilayah terdampak pada skenario ini adalah sekitar 2.922 Ha atau 64,77% dari total wilayah penelitian.

Hasil analisis menunjukkan bahwa pada kondisi topografi yang relatif datar seperti di wilayah penelitian, koefisien kekasaran permukaan memiliki peran yang sangat dominan dalam memengaruhi sebaran genangan tsunami. Kawasan dengan kepadatan permukiman tinggi dan keberadaan gedung menunjukkan kemampuan yang lebih baik dalam menahan perambatan genangan tsunami karena memiliki nilai kekasaran permukaan yang lebih besar. Sebaliknya, wilayah dengan dominasi tambak dan lahan terbuka mengalami genangan yang lebih luas.

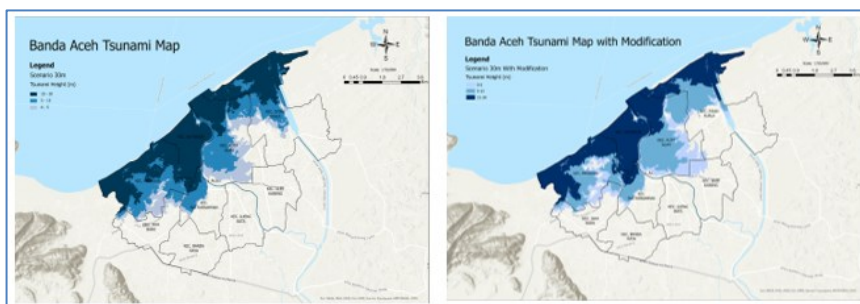
#### 4.4.4. Pengaruh Perubahan Penggunaan Lahan Tambak menjadi Mangrove

Berdasarkan hasil uji coba perubahan penggunaan lahan di salah kecamatan Syiah Kuala, konversi kawasan tambak menjadi mangrove menunjukkan penurunan yang signifikan (Gambar 4) pada luas genangan tsunami, terutama pada skenario ketinggian 30 m. Peningkatan nilai koefisien kekasaran permukaan akibat keberadaan mangrove menyebabkan energi gelombang tsunami berkurang selama proses perambatan, sehingga batas genangan menjadi lebih terbatas. Secara visual perubahan rambatan genangan tsunami dapat dilihat pada Gambar 5.



**Gambar 4.**

Luas Genangan Tsunami Setelah Perubahan Penggunaan Lahan



**Gambar 5.**

Perubahan Genangan Tsunami Setelah Perubahan Penggunaan Lahan

## 5. KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pemodelan genangan tsunami dan analisis penggunaan lahan di wilayah pesisir Kota Banda Aceh, dapat disimpulkan bahwa karakteristik bahaya tsunami sangat dipengaruhi oleh ketinggian gelombang tsunami serta kondisi fisik permukaan daratan. Pada skenario ketinggian tsunami 5 m, genangan masih relatif terbatas dan sebagian besar tertahan oleh vegetasi pesisir. Namun, pada skenario 15 m dan 30 m, genangan tsunami meningkat secara signifikan dan mulai memasuki kawasan permukiman dengan luasan terdampak yang semakin besar.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada wilayah dengan topografi yang relatif datar, seperti Kota Banda Aceh, koefisien kekasaran permukaan memiliki peranan yang lebih dominan dibandingkan kemiringan lereng dalam memengaruhi sebaran genangan tsunami. Kawasan dengan penggunaan lahan berupa permukiman padat dan bangunan menunjukkan kemampuan yang lebih baik dalam mereduksi perambatan genangan tsunami dibandingkan kawasan dengan kekasaran permukaan rendah, seperti tambak dan lahan terbuka.

Ujicoba perubahan penggunaan lahan dengan mengonversi kawasan tambak menjadi mangrove menunjukkan hasil yang signifikan dalam mengurangi luas genangan tsunami, terutama pada skenario ketinggian 30 m. Peningkatan nilai kekasaran permukaan akibat keberadaan mangrove menyebabkan penurunan energi gelombang tsunami selama proses perambatan ke daratan. Temuan ini menegaskan bahwa tsunami tidak merambat secara sejajar dengan garis pantai, melainkan mengikuti pola yang dipengaruhi oleh penggunaan lahan, vegetasi, dan karakteristik fisik permukaan.

Secara keseluruhan, penelitian ini menunjukkan bahwa pengelolaan penggunaan lahan pesisir, khususnya melalui restorasi mangrove, memiliki potensi besar sebagai pendekatan mitigasi bencana tsunami yang berbasis lingkungan.

### 5.2. Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, beberapa saran yang dapat diberikan adalah sebagai berikut:

- a. Penelitian selanjutnya disarankan untuk mengembangkan pemodelan genangan tsunami dengan mengombinasikan metode berbasis sistem informasi geografis dengan model numerik tsunami yang lebih dinamis, sehingga hasil simulasi dapat merepresentasikan kondisi fisik yang lebih kompleks.
- b. Analisis risiko tsunami di masa mendatang sebaiknya tidak hanya mempertimbangkan aspek bahaya dan penggunaan lahan, tetapi juga memasukkan komponen kerentanan lainnya, seperti kerentanan ekonomi, fisik, dan lingkungan, agar diperoleh gambaran risiko yang lebih komprehensif.
- c. Pemerintah daerah dan pemangku kepentingan terkait disarankan untuk mempertimbangkan restorasi dan perlindungan kawasan mangrove sebagai bagian dari strategi mitigasi bencana tsunami, khususnya di wilayah pesisir yang saat ini didominasi oleh penggunaan lahan tambak.
- d. Penelitian lanjutan dapat mengkaji skenario perubahan penggunaan lahan lainnya serta dampaknya terhadap genangan tsunami, sehingga dapat mendukung perencanaan tata ruang pesisir yang lebih adaptif dan berkelanjutan.

## 6. DAFTAR PUSTAKA

1. Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB). (2020). *Indeks Risiko Bencana Indonesia (IRBI) Tahun 2020*. Jakarta: BNPB. 1-330.
2. Badan Pusat Statistik Kota Banda Aceh. (2025). *Kota Banda Aceh Dalam Angka 2025*. Banda Aceh: Badan Pusat Statistik Kota Banda Aceh. (Laporan Statistik).
3. BRR NAD-NIAS. (2009). *Banda Aceh : Badan Rehabilitasi Dan Rekonstruksi NAD–Nias. Seri Buku BRR - Buku 1 - Kisah Perahu Yang Dilarungkan*. 1-238.
4. Berryman, K. (2006). *Review of Tsunami Hazard and Risk in New Zealand: Institute of Geological and Nuclear Sciences Client Report*. 139.
5. Cahyono, A.. (2009). *Penentuan Jalur Evakuasi Tsunami dalam Berbagai Variasi Ketinggian Gelombang Tsunami di Wilayah Pesisir Bantul, Yogyakarta*. Skripsi. Yogyakarta: Fakultas Geografi, Universitas Gadjah Mada.
6. Danielsen, F., Sørensen, M. K., Olwig, M. F., Selvam, V., Parish, F., Burgess, N. D., et al. (2005). The Asian Tsunami: A Protective Role for Coastal Vegetation. *Science*, 310(5748): 643. DOI:10.1126/science.1118387.
7. DigitalGlobe. (2014). *GeoEye-1*. Diakses pada tanggal 23 April 2014. [http://www.digitalglobe.com/sites/default/files/DG\\_GeoEye1\\_Update2014\\_DS.pdf](http://www.digitalglobe.com/sites/default/files/DG_GeoEye1_Update2014_DS.pdf).
8. Hall, R. (2002). Cenozoic Geological and Plate Tectonic Evolution of SE Asia and the SW Pacific. *Journal of Asian Earth Sciences*, 20(4): 353–434.
9. Humam, K.. (2015). *Pemetaan Jalur Evakuasi Tsunami Berdasarkan Skenario Ketinggian Gelombang Tsunami di Sebagian Wilayah Pesisir Kota Banda Aceh*. Skripsi. Yogyakarta: Fakultas Geografi, Universitas Gadjah Mada. (Skripsi).
10. Khomarudin, M. R. (2010). *Tsunami Risk and Vulnerability: Remote Sensing and GIS Approaches for Surface Roughness Determination, Settlement Mapping, and Population Distribution Modeling*. *Dissertation, LMU München: Faculty of Geosciences*. 1-178. DOI: 10.5282/edoc.12381.