

Kajian Literatur tentang Model Mitigasi Bencana Lanskap Pesisir di Kota Banda Aceh

Literature Review on Disaster Mitigation Models of Coastal Landscapes in Banda Aceh City

Zainuddin Hasan^{1,*}, Mahidin², Ashfa Achmad¹, Mirza Irwansyah¹, Nabilah Aufaraihan¹

¹Departemen Arsitektur dan Perencanaan, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala

²Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala

*Email: zainuddin4673@usk.ac.id

Artikel Info

Diajukan: 02 Januari 2025

Direvisi: 28 Mei 2025

Diterima: 28 Mei 2025

Dipublikasi: 01 Oktober 2025

Keywords

Banda Aceh

disaster risk reduction

community participation

Geographic Information System (GIS)

spatial planning

ABSTRACT

Disaster mitigation is a disaster risk management strategy that can help reduce and minimize disaster impacts. Spatial planning policy is essential for disaster mitigation as it will affect the distribution of development and the vulnerability of communities to disasters. Communities living in coastal settlements are very vulnerable to disasters, so a spatial-based disaster mitigation strategy will provide an appropriate strategy for activities in coastal settlements, especially in the coastal areas of Banda Aceh City. The purpose of this research is to evaluate the role of spatial planning policies in supporting disaster mitigation, as well as to examine the implementation of mitigation strategies involving community participation and the use of GIS technology. This research used qualitative methods with a literature review approach to analyze, synthesize, and identify trends, gaps, and recommendations from various literatures related to spatial-based disaster mitigation, community participation, and GIS technology. The results of this study showed that spatial planning policies played an important role in reducing disaster risk, with a focus on proper zoning and protection of vital infrastructure. Adaptation strategies such as mangrove planting and effective evacuation routes were key to mitigation. Community participation and the use of GIS technology helped identify risks and develop hazard maps. However, challenges such as lack of policy socialization and limited spatial data remain obstacles to optimal implementation.

PENDAHULUAN

Mitigasi bencana merupakan strategi manajemen risiko bencana yang dapat membantu mengurangi dan meminimalisasi dampak bencana. Kebijakan tata ruang sangat penting dalam mitigasi bencana karena akan mempengaruhi distribusi pembangunan dan kerentanan masyarakat terhadap bencana. Konsep rencana lanskap berbasis zona risiko tsunami mencakup tiga ruang utama perlindungan, penggunaan terbatas, dan pengembangan yang masing-masing difungsikan untuk mitigasi bencana, ruang terbuka hijau dan permukiman, serta pengembangan kawasan perkotaan (Ihsan dan Pramukanto 2017). Masyarakat yang tinggal di permukiman pesisir sangat rentan terhadap bencana, sehingga strategi mitigasi bencana berbasis tata ruang akan memberikan strategi yang tepat untuk kegiatan di permukiman pesisir, khususnya di wilayah pesisir Kota Banda Aceh.

Area terbangun Kota Banda Aceh berkembang dari tahun 2005 hingga 2020. Bagian utara, terutama wilayah pesisir, mengalami rehabilitasi berbagai bangunan fisik seperti perumahan, jaringan jalan, dan sarana pendukung pasca tsunami Aceh Tahun 2004, serta transformasi lahan tambak dan kosong menjadi perumahan baru dan area perdagangan jasa (Al-Fath dan Marsoyo 2023). Pertumbuhan kawasan terbangun pascatsunami 2005–2009 di Kota Banda Aceh berlangsung sangat pesat akibat rehabilitasi dan pembangunan baru, terutama di wilayah Lueng Bata, Ulee

Kareng, dan Syiah Kuala, namun pertumbuhan ini perlu dikendalikan demi pembangunan berkelanjutan dan belum berhasil menurunkan angka kemiskinan secara signifikan (Achmad dan Aulia 2014). Perubahan kerapatan vegetasi dan bangunan di Kota Banda Aceh menunjukkan peningkatan signifikan pada kelas vegetasi jarang dan kerapatan bangunan sangat tinggi, terutama di wilayah pinggiran kota, mencerminkan dinamika perubahan penggunaan lahan yang perlu diperhatikan dalam perencanaan tata ruang ke depan (Trinufin dan Rahayu 2020; Rohadi *et al.* 2024).

Wilayah pesisir Banda Aceh akan sangat rentan terhadap proyeksi kenaikan permukaan air laut di masa mendatang, terutama mengingat lingkungan terbangun yang berkembang pesat dan terus meluas sangat dekat dengan garis pantai (Meilianda *et al.* 2019). Tsunami yang akan datang dapat mempengaruhi sekitar dua pertiga dari area terbangun di Kota Banda Aceh, dengan pertumbuhan terutama terjadi di bagian selatan di luar zona bahaya, tetapi juga akan ada pertumbuhan di area terbangun di dekat pantai (Tursina *et al.* 2022). Data bangunan di Banda Aceh menunjukkan peningkatan jumlah bangunan sekitar 31% antara tahun 2017 dan 2021, sebagian besar adalah rumah, dengan perkiraan sekitar 10,5% (8708 bangunan) kemungkinan besar akan hancur total jika terjadi tsunami dengan periode ulang 1000 tahun (Al Farizi *et al.* 2023). Rekomendasi untuk permukiman di zona rawan tsunami telah diberikan, tetapi revisi Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW) di Kota Banda Aceh belum mempertimbangkan mitigasi bencana secara menyeluruh (Utami 2021).

Setelah tsunami yang menghantam wilayah Kota Banda Aceh pada tahun 2004, vegetasi di pesisir Uleu Lheue masih sangat sedikit (Meutia 2023). Kecamatan Syiah Kuala, Kuta Raja, Jaya Baru, dan Meuraxa mengalami pengurangan luas vegetasi pesisir seluas 120,25 ha, atau 102,43%, menjadi lahan pemukiman seluas 57,72%, atau 441,53 ha (Rahmi *et al.* 2020). Untuk menjaga kelestarian plasma nutfah mangrove di pesisir Aceh, kerusakan tanaman mangrove harus ditangani dengan serius (Maulida dan Agustina 2022).

Area bahaya yang dikategorikan sebagai paling rentan di Kota Banda Aceh belum siap untuk menghadapi bahaya ke depannya, dan penduduknya tidak sadar akan kebencanaan (Astari *et al.* 2021). Untuk saat ini, masyarakat masih mempertanyakan peran *escape building* sebagai cara untuk mengurangi bencana di wilayah Banda Aceh (Magfirah 2021). Untuk kesiapsiagaan bencana, komunikasi yang efektif sangat penting karena informasi yang tepat waktu dan akurat dapat sangat mengurangi dampak tsunami terhadap kehidupan dan harta benda (Setiawan *et al.* 2024). Salah satu kendala yang menghambat penyelenggaraan penanggulangan bencana Gempa Bumi di Kota Banda Aceh adalah masyarakat kurang memahami kesiapsiagaan dan kurangnya partisipasi masyarakat dalam program penanggulangan bencana Gempa Bumi (Abrar 2023).

Dengan latar belakang ini, penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi bagaimana teknologi Sistem Informasi Geografis (SIG), keterlibatan masyarakat, dan kebijakan tata ruang meningkatkan kemampuan untuk menangani bencana di wilayah pesisir, seperti tsunami dan banjir rob. Hasilnya diharapkan dapat memberikan rekomendasi kebijakan yang efektif serta strategi integrasi teknologi untuk setiap tahap manajemen bencana demi keselamatan masyarakat dan pembangunan yang berkelanjutan.

METODE PENELITIAN

Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan di kawasan permukiman pesisir di Kota Banda Aceh, yang terletak di Provinsi Aceh, Indonesia, khususnya pada Kecamatan Meuraxa, Jaya Baru, Kuta Alam, dan Syiah Kuala. Kota Banda Aceh dipilih karena pesisirnya sangat rentan terhadap bencana alam, terutama tsunami dan banjir. Kawasan ini cocok untuk mengevaluasi penerapan kebijakan tata ruang dan infrastruktur ketahanan dalam konteks mitigasi bencana karena kepadatan penduduk yang tinggi dan aktivitas pembangunan yang pesat. Penelitian ini dilakukan dari Agustus 2024 hingga Oktober 2024, dengan fokus pada kajian literatur terkait mitigasi bencana di wilayah pesisir. Selain itu, nilai-nilai budaya lokal dan ciri-ciri masyarakat yang berbeda memberikan nilai tambahan untuk menilai seberapa efektif partisipasi masyarakat dalam kesiapsiagaan dan respons bencana.

Gambar 1 menunjukkan wilayah penelitian yang ditandai dengan warna hijau, yaitu kawasan yang termasuk dalam zona rawan bencana di Kota Banda Aceh. Warna hijau ini mengindikasikan kecamatan-kecamatan seperti Meuraxa, Jaya Baru, Kuta Alam, dan Syiah Kuala, yang berada di wilayah rentan terhadap bencana, khususnya tsunami, sesuai dengan analisis kawasan rawan bencana berdasarkan Qanun Kota Banda Aceh No. 2 Tahun 2018 Tentang RTRW Kota Banda Aceh Tahun 2009 - 2029. Peta ini menjadi dasar untuk menentukan fokus penelitian terkait mitigasi bencana berbasis spasial. Dengan mencakup kecamatan-kecamatan seperti Meuraxa, Jaya Baru, Kuta Alam, dan Syiah Kuala, peta ini membantu menggambarkan area yang membutuhkan perhatian khusus dalam pengelolaan risiko bencana.



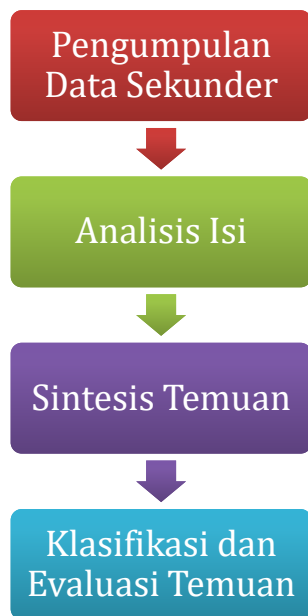
Gambar 1. Peta lokasi penelitian di Kecamatan Jaya Baru, Kecamatan Meuraxa, Kecamatan Kuta Raja, Kecamatan, Kuta Alam, dan Kecamatan Syiah Kuala
Sumber: RTRW Kota Banda Aceh Tahun 2009 - 2029

Prosedur Penelitian

Untuk mencapai tujuan penelitian, maka digunakan metode penelitian menggunakan pendekatan kualitatif melalui *review* atau tinjauan literatur yang digambarkan dalam alur penelitian (Gambar 2). Metode ini mencakup:

1. pengumpulan pata sekunder:
data yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari berbagai sumber, termasuk laporan kebijakan, jurnal ilmiah, dan buku yang relevan dengan mitigasi bencana, infrastruktur ketahanan, perencanaan tata ruang, dan partisipasi masyarakat. Sebanyak 27 jurnal ilmiah direview, terdiri dari jurnal nasional dan internasional dengan tahun publikasi dalam lima tahun terakhir. Penelusuran jurnal dilakukan menggunakan *Google Scholar* dengan kata kunci yang relevan, seperti "mitigasi bencana pesisir", "tata ruang dan ketahanan bencana", serta "partisipasi masyarakat dalam mitigasi bencana". Proses seleksi dilakukan dengan mempertimbangkan relevansi, keterindeksan (Scopus, Sinta, atau setara), serta keterkaitan dengan tujuan penelitian.
2. analisis isi:
literatur yang terkumpul dianalisis secara mendalam menggunakan metode analisis tematik untuk mengidentifikasi tren, kesenjangan, dan saran yang relevan dengan tata kelola mitigasi bencana berbasis tata ruang (Guest *et al.* 2011). Analisis dilakukan dengan memetakan tema utama dari literatur, seperti dampak kebijakan, kesiapan infrastruktur, dan peran masyarakat. Tren dianalisis berdasarkan frekuensi dan pola tema yang muncul dalam literatur, sedangkan kesenjangan ditemukan melalui perbandingan antara kebijakan yang ada dan rekomendasi teoretis.

3. sintesis temuan:
hasil analisis dirangkum dalam bentuk model konseptual yang menggambarkan elemen penting dalam strategi mitigasi bencana di wilayah pesisir. Model ini mencakup aspek kebijakan pemerintah, pemanfaatan teknologi, dan keterlibatan tokoh masyarakat. Model tersebut juga menyoroti hubungan antara elemen-elemen tersebut dan efektivitas kebijakan mitigasi.
4. klasifikasi dan evaluasi kebijakan:
kebijakan yang relevan dengan tata ruang dan mitigasi bencana diklasifikasikan berdasarkan efektivitasnya, yang dinilai melalui kriteria seperti kejelasan regulasi, implementasi di lapangan, dan tingkat penerimaan masyarakat. Evaluasi ini dilakukan untuk menentukan praktik terbaik yang dapat diadaptasi atau ditingkatkan di masa mendatang.



Gambar 2. Alur penelitian

Metode ini memungkinkan peneliti membuat strategi mitigasi bencana yang luas dengan menggabungkan informasi dari penelitian sebelumnya dan saran pengelolaan risiko di masa depan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Bagian ini dibagi menjadi tiga subbab utama, yaitu Peran Kebijakan Tata Ruang dalam Mendukung Mitigasi Bencana, Partisipasi Masyarakat, dan Penggunaan Teknologi SIG. Pembagian ini didasarkan pada analisis literatur yang telah dilakukan, yang mencakup 31 jurnal nasional dan internasional. Setiap subbab dipilih karena relevansinya dengan elemen-elemen kunci dalam tata kelola mitigasi bencana berbasis tata ruang di kawasan pesisir.

Pada subbab Peran Kebijakan Tata Ruang dalam Mendukung Mitigasi Bencana, sebanyak 14 jurnal membahas pentingnya regulasi zonasi, pengembangan infrastruktur ketahanan, dan kebijakan berbasis mitigasi. Literatur ini menyoroti peran kebijakan dalam mengatur pembangunan di zona rawan bencana serta pentingnya fasilitas evakuasi vertikal dan sistem peringatan dini untuk mengurangi risiko bencana.

Sementara itu, subbab Partisipasi Masyarakat didukung oleh 9 jurnal yang menekankan peran aktif masyarakat dalam pengambilan keputusan, sosialisasi kebencanaan, dan pemberdayaan komunitas. Kajian ini

menunjukkan bahwa keterlibatan masyarakat dalam program mitigasi dapat meningkatkan kesiapsiagaan dan memperkuat ketahanan wilayah pesisir. Selain itu, partisipasi masyarakat juga mencakup pendidikan kebencanaan di sekolah, pelibatan tokoh masyarakat, dan program berbasis komunitas yang berkontribusi pada efektivitas kebijakan mitigasi.

Subbab Penggunaan Teknologi berfokus pada temuan dari 8 jurnal yang membahas integrasi teknologi informasi, termasuk SIG pembelajaran mesin, dan platform berbasis data untuk mendukung mitigasi bencana. Teknologi ini terbukti memperkuat akurasi prediksi, memfasilitasi evakuasi yang lebih efektif, dan mendukung pengambilan keputusan berbasis data di wilayah rawan bencana.

Pembagian ini tidak hanya mencerminkan temuan dari literatur yang direviu, tetapi juga relevan dengan tujuan penelitian, yaitu mengidentifikasi elemen-elemen kunci dalam tata kelola mitigasi bencana berbasis tata ruang. Ketiga subbab ini memberikan kerangka diskusi yang terstruktur dan mencakup pendekatan kebijakan, keterlibatan masyarakat, serta penerapan teknologi untuk membangun ketahanan kawasan pesisir secara holistik.

Peran Kebijakan Tata Ruang dalam Mendukung Mitigasi Bencana

Berinvestasi pada infrastruktur ketahanan, kapasitas kota akan meningkat dan mengurangi risiko, dan pada akhirnya, perlindungan terhadap pembangunan dan warga kota dapat terwujud (Tiar *et al.* 2021; Kaswanto *et al.* 2023). Sistem peringatan tsunami yang andal dan tepat waktu semakin memperkuat pertahanan kota, memastikan bahwa penduduk dan wisatawan dapat mengungsi secara efisien jika ada potensi ancaman, menunjukkan hubungan simbiosis antara teknologi dan kesejahteraan masyarakat (Irwansyah *et al.* 2024).

Pemerintah perlu menerapkan kebijakan yang mengatur perluasan kota di wilayah pesisir yang berisiko tinggi dan meningkatkan ketersediaan dan distribusi fasilitas evakuasi vertikal (Soviana *et al.* 2024). Perencanaan kota dan pembangunan infrastruktur, yang didukung oleh peraturan zonasi dan bangunan yang ketat, sangat penting dalam meminimalkan potensi kerusakan akibat bencana di masa depan (Irwansyah *et al.* 2024).

Dalam merencanakan kawasan berbasis mitigasi, vegetasi yang dapat meredam dampak tsunami dan menyejukkan lingkungan harus ditata dengan baik (Meutia 2023). Rekomendasi perencanaan tata ruang yang sangat penting untuk mitigasi tsunami termasuk penanaman mangrove sebagai jalur hijau, pembangunan tanggul pantai (*break water*), pengembangan sistem peringatan dini, dan peralatan sistem rambu pantai (Annisa *et al.* 2021; Inayah dan Kaswanto 2023). Penanaman pohon dan pengembangan ruang hijau, termasuk *green façade*, tidak hanya meningkatkan kenyamanan termal luar ruang, tetapi juga berkontribusi pada mitigasi bencana pesisir dengan memperkuat ketahanan lingkungan terhadap dampak perubahan iklim dan bencana alam seperti tsunami (Irwansyah *et al.* 2021). Untuk mengurangi dampak tsunami, pendekatan pengelolaan pesisir harus bertanggung jawab terhadap lingkungan dan memasukkan metode alternatif seperti penanaman hutan mangrove (Pamuji *et al.* 2023). Selain itu, dapat dilakukan perencanaan lanskap mitigasi tsunami dapat dilakukan dengan mengembangkan kembali kawasan lindung berbasis ekosistem mangrove menggunakan analisis spasial, prinsip spesies asli (*native species*), dan perlindungan keanekaragaman hayati, guna menjaga kelestarian lingkungan dan meningkatkan ketahanan terhadap dampak aktivitas manusia serta bencana alam (Akbar *et al.* 2020).

Kawasan pesisir Kota Banda Aceh juga merupakan kawasan pariwisata yang dapat meningkatkan ekonomi masyarakat sekitar. Sehingga, perencanaan wilayah pesisir Kecamatan Kuta Raja sebagai hutan kota rekreasi mangrove bertujuan meningkatkan kualitas lingkungan pasca-tsunami sekaligus menyediakan ruang rekreasi dan edukasi ekosistem, dengan fungsi utama sebagai *buffer* alami yang melindungi wilayah daratan dari gelombang laut dan tsunami lanjutan (Nurisjah dan Valentina 2010). Pengembangan pariwisata di kawasan yang memiliki potensi tinggi namun rawan tsunami perlu memperhatikan aspek mitigasi bencana melalui pemilihan lokasi wisata di area elevasi tinggi, penerapan desain bangunan tahan tsunami, serta edukasi dan pelatihan mitigasi bagi masyarakat setempat (Rashifah *et al.* 2024).

Belum adanya kontrol yang ketat terhadap tata ruang di Indonesia yang berbasis mitigasi bencana, meskipun pola tata ruang sudah direncanakan di Banda Aceh, namun tetap saja penduduk di wilayah pesisir tetap saja berkembang pesat (Fuady dan Fuady 2021). Terdapat kekurangan area evakuasi yang aman serta pemeliharaan rambu-rambu jalan yang buruk, yang mengancam efektivitas perbaikan infrastruktur (Rayawan *et al.* 2021). Studi ini menunjukkan bahwa kurangnya pemahaman yang tepat tentang pengetahuan agama Islam di kalangan pemangku kepentingan di Banda Aceh dapat merusak perencanaan tata ruang, mengingat Agama Islam mengajarkan nilai-nilai yang mendukung keseimbangan alam, kewajiban merawat bumi, dan pentingnya ruang publik yang aman, yang semuanya harus diintegrasikan untuk meningkatkan ketahanan kota dan mitigasi bencana (Zuraidi *et al.* 2023).

Kesimpulannya, investasi pada infrastruktur ketahanan dan kebijakan tata ruang yang efektif di kawasan pesisir merupakan faktor krusial dalam upaya mitigasi bencana. Pemerintah perlu memastikan adanya regulasi ketat terkait zonasi dan pembangunan di wilayah berisiko tinggi, diiringi dengan pengembangan fasilitas evakuasi vertikal dan sistem peringatan dini yang handal. Penggunaan vegetasi alami seperti mangrove juga berperan sebagai penahan dampak tsunami yang ramah lingkungan. Namun, tantangan seperti kontrol tata ruang yang masih lemah, minimnya fasilitas evakuasi yang aman, dan kurangnya pemahaman kontekstual oleh pemangku kepentingan menghambat optimalisasi upaya mitigasi. Hal ini menyoroti pentingnya pendekatan yang lebih holistik dan berkelanjutan untuk meningkatkan ketahanan kawasan pesisir, khususnya di daerah rentan seperti Banda Aceh.

Partisipasi Masyarakat

Sangat penting bagi masyarakat untuk lebih terlibat secara aktif dalam proses pengambilan keputusan dan pelaksanaan kebijakan pengelolaan ruang pesisir; selain itu, pemberdayaan masyarakat lokal untuk melindungi budaya dan lingkungan mereka akan meningkatkan efektivitas tindakan pengelolaan (Nugroho *et al.* 2023). Pembuatan dan pelaksanaan strategi manajemen risiko yang efektif membutuhkan partisipasi aktif dan peran tokoh masyarakat yang rentan (Atanga 2020). Suatu inisiasi transformasi di seluruh lembaga akan membutuhkan kehadiran para pemimpin yang memiliki pemahaman yang luas tentang kompleksitas dalam mengimplementasikan tidak hanya syarat-syarat untuk transformasi tetapi juga secara aktif menerapkan dan secara terus menerus memonitor kematangan praktik-praktik kolaboratif dalam penanggulangan bencana (Abdeen *et al.* 2021).

Model tata kelola yang direvisi akan mendukung "pembangunan kembali kehidupan" secara holistik, dan bukan hanya "pembangunan kembali rumah", dalam sistem

masyarakat sangatlah penting, dan menekankan pentingnya tata kelola yang terstruktur untuk memusatkan masyarakat dalam proses pengambilan keputusan (Iuchi dan Mutter 2021). Upaya lembaga untuk melibatkan masyarakat dalam kesiapsiagaan harus mencakup berbagai teknik yang bekerja sama untuk mengubah perilaku, termasuk pelibatan masyarakat secara langsung yang memicu dan mendukung kegiatan kesiapsiagaan yang dipimpin oleh masyarakat (Ryan *et al.* 2020). Pemeliharaan infrastruktur penting seperti rambu-rambu jalan berbasis masyarakat, yang dapat difasilitasi oleh pemerintah dengan memanfaatkan transparansi operasional (Rayawan *et al.* 2021).

Mitigasi non-struktural di wilayah pesisir termasuk membangun sistem peringatan dini, menyiapkan posko untuk memantau ancaman bencana, membangun rumah dan bangunan yang tahan gempa bumi dan tsunami, dan mengajar orang untuk memiliki peralatan darurat seperti senter dan obat-obatan (Annisa *et al.* 2021). Program kemitraan masyarakat berhasil meningkatkan wawasan dan pengetahuan masyarakat tentang gempa, potensi tsunami, dan strategi mitigasi bencana tsunami melalui metode penyuluhan dan simulasi sederhana (Tanauma *et al.* 2021). Selain itu, penguatan manajemen bencana sejak dini dimulai dengan mengajarkan kebencanaan di satuan pendidikan prasekolah (Nuraeni *et al.* 2020). Strategi mitigasi bencana di sekolah, yaitu dengan dibentuknya Sekolah Tangguh Bencana (dikenal dengan STB) dan dibentuknya Satuan Tugas Penanggulangan Bencana Daerah (Satgas PBD) (Yuningsih *et al.* 2022).

Rekomendasikan pendekatan yang komprehensif untuk mitigasi bencana tsunami dengan mengutamakan perlindungan lingkungan dan mempertimbangkan aspek sosial dan ekonomi (Depari *et al.* 2023). Strategi mitigasi salah satunya dengan mengatasi keterbatasan anggaran yang ada sehingga bisa melakukan sosialisasi secara berkala, dan meningkatkan kapasitas forum dan relawan siaga bencana (Lestari 2019). Di pesisir Kota Banda Aceh terdapat pelabuhan, sehingga diperlukan pelatihan mitigasi bencana terhadap pekerjaannya. Ini sejalan dengan penelitian di Yogyakarta, PT Angkasa Pura I menyarankan metode mitigasi seperti pelatihan kepada para pekerja untuk mengurangi risiko tsunami di Bandara Internasional Yogyakarta (Tinasar 2018).

Hasil diskusi ini menunjukkan bahwa mitigasi bencana di kawasan pesisir sangat bergantung pada partisipasi masyarakat yang aktif, kebijakan yang inklusif, dan pendekatan komprehensif yang mengutamakan kesejahteraan sosial-ekonomi dan keberlanjutan lingkungan. Sistem kesiapsiagaan yang responsif bergantung pada keterlibatan masyarakat dalam pengambilan keputusan, pemberdayaan komunitas, dan penguatan peran tokoh masyarakat. Di sisi lain, upaya penanggulangan yang berkelanjutan diperkuat oleh pendekatan mitigasi non-struktural, seperti program pendidikan kebencanaan di sekolah, pelatihan karyawan, dan pembentukan lembaga tangguh bencana berbasis komunitas. Pembangunan di wilayah pesisir akan lebih aman dan berkelanjutan dengan penerapan pendekatan berbasis masyarakat, kebijakan tata kelola yang adaptif, dan dukungan anggaran yang memadai. Ini akan meningkatkan ketahanan kota dan melindungi masyarakat dari risiko bencana.

Penggunaan Teknologi GIS

Penekanan pada teknik Pembelajaran Mesin yang diadopsi dari Kecerdasan Buatan yang meningkatkan algoritma untuk deteksi otomatis dan merupakan langkah penting menuju sistem terintegrasi penggunaan data spasial dalam Siklus Manajemen Bencana (Kemper dan Kemper 2020). Faktor yang paling penting dalam penggunaan IT untuk penanggulangan bencana adalah *Perceived Usefulness* (PU),

yang mengukur sejauh mana teknologi dapat meningkatkan kinerja dalam manajemen bencana, *sementara Perceived Ease of Use* (PEOU) dan aksesibilitas informasi pada platform web memastikan kemudahan penggunaan dan ketersediaan data yang penting bagi semua pihak terkait, terutama dalam situasi darurat (Meechang *et al.* 2020). Integrasi teknologi informasi dalam setiap fase manajemen bencana memperkuat respons cepat terhadap bencana, memerlukan kolaborasi erat antara pemerintah daerah, lembaga eksternal, dan profesional teknologi informasi (Abid *et al.* 2021). Model terintegrasi *Frequency Ratio* (FR) - *Decision Tree* (DT) dan *Frequency Ratio* (FR) - *Random Forest* (RF) secara signifikan meningkatkan akurasi prediksi, ketepatan, dan efisiensi biaya dalam pencegahan bencana geologi, berkontribusi pada keamanan lingkungan dan keberlanjutan ekonomi regional (Wang *et al.* 2021). Model *Frequency Ratio* digunakan untuk menentukan hubungan antara variabel kondisi geologi dengan kejadian bencana, sedangkan *Decision Tree* dan *Random Forest* adalah metode pembelajaran mesin yang mengklasifikasikan dan memprediksi tingkat kerawanan berdasarkan pola dari data historis, sehingga menghasilkan analisis yang lebih akurat dan berbasis bukti.

SIG berbasis algoritma A-Star yang dikembangkan dalam penelitian ini diharapkan mampu memberikan informasi evakuasi yang akurat dan memadai kepada masyarakat, sehingga dapat meminimalisasi risiko korban jiwa saat terjadi tsunami (Mulya dan Astri 2021). Algoritma A-Star adalah metode pencarian jalur optimal yang menggunakan pendekatan heuristik untuk menemukan rute terpendek dari titik awal ke tujuan dengan mempertimbangkan hambatan di sepanjang jalur. Algoritma ini bekerja dengan mengevaluasi bobot setiap simpul berdasarkan fungsi biaya terpendek yang telah diketahui dan

estimasi jarak tersisa menuju tujuan, sehingga menghasilkan jalur evakuasi yang efisien dan cepat dalam situasi darurat. Contoh penggunaannya seperti data genangan banjir yang dihasilkan secara otomatis berpotensi mendukung pengambilan keputusan yang efektif dalam penanggulangan bencana pesisir, termasuk banjir rob dan tsunami, serta dalam perencanaan jangka panjang untuk meningkatkan ketahanan lanskap pesisir (Uddin dan Matin 2021; Fitriyati *et al.* 2024).

Peta bahaya tsunami di Banda Aceh (Gambar 3) ini bersumber dari Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW) Kota Banda Aceh. Prosesnya dimulai dengan pengumpulan data terkait elevasi, penggunaan lahan, jarak dari garis pantai, dan sebaran populasi, yang kemudian diolah menggunakan perangkat lunak SIG seperti ArcGIS atau QGIS. Data-data tersebut di-overlay untuk menghasilkan zonasi risiko tsunami berdasarkan kategori bahaya rendah, sedang, dan tinggi, dengan mempertimbangkan faktor jarak dari garis pantai, ketinggian wilayah, dan kerapatan populasi. Digital Elevation Model (DEM) digunakan sebagai dasar analisis untuk menentukan wilayah dengan tingkat risiko berbeda. Zonasi bahaya ini kemudian divalidasi menggunakan data historis tsunami dan ditinjau ulang berdasarkan dokumen RTRW untuk memastikan akurasi. Hasil akhir disajikan dalam bentuk peta tematik yang dilengkapi dengan legenda, skala, dan arah mata angin guna mendukung interpretasi dan perencanaan mitigasi berbasis spasial.

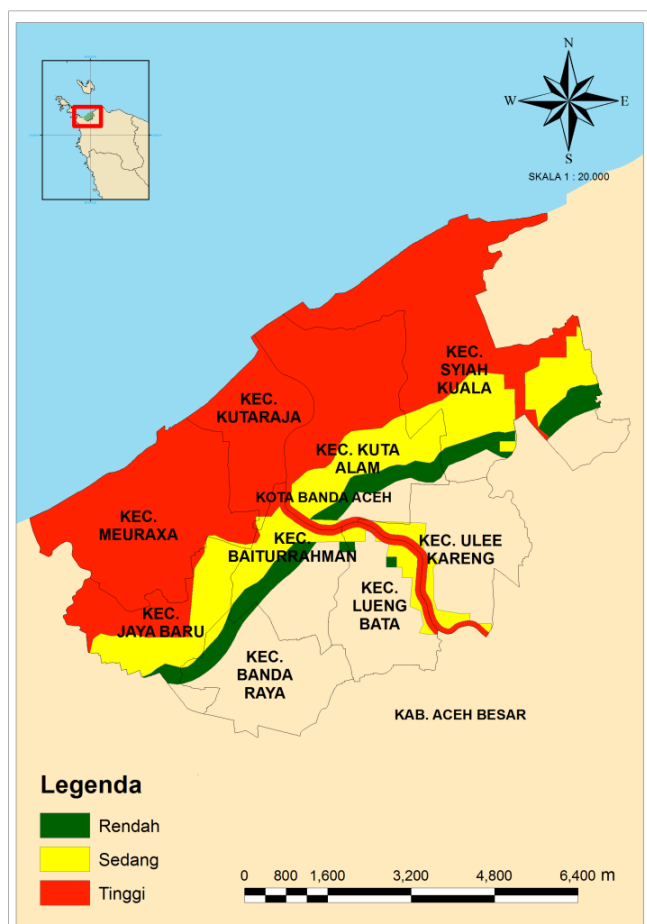
Peta bahaya tsunami di Banda Aceh (Gambar 3) menunjukkan distribusi risiko di Kecamatan Meuraxa, Kuta Raja, Syiah Kuala, Kuta Alam, Baiturrahman, Jaya Baru dan Banda Raya, yang dikelompokkan ke dalam tiga kategori: rendah, sedang, dan tinggi. Peta ini merupakan hasil analisis yang memanfaatkan data dari Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW) Kota Banda Aceh. Informasi ini menjadi penting dalam perencanaan mitigasi bencana berbasis spasial, terutama untuk identifikasi kawasan prioritas penguatan infrastruktur, fasilitas evakuasi, dan vegetasi pelindung seperti mangrove.

Penerapan teknologi informasi dan pembelajaran mesin dalam sistem deteksi otomatis serta model prediksi berbasis algoritma terbukti memperkuat efektivitas manajemen bencana. Penggunaan teknik-teknik seperti algoritma A-Star dalam SIG memberikan panduan evakuasi yang efisien, meningkatkan keselamatan masyarakat dalam situasi darurat seperti tsunami. Di samping itu, model integrasi berbasis FR-DT dan FR-RF menunjukkan keunggulan dalam prediksi, akurasi, dan efisiensi biaya untuk mitigasi bencana geologi, sementara data otomatis seperti genangan banjir dapat digunakan untuk perencanaan penanggulangan bencana yang lebih tepat sasaran. Kolaborasi antara pemerintah, lembaga eksternal, dan pakar teknologi menjadi kunci keberhasilan integrasi teknologi dalam setiap fase manajemen bencana, berkontribusi pada keselamatan lingkungan dan pembangunan berkelanjutan.

SIMPULAN DAN SARAN

Simpulan

Kajian ini mengevaluasi bagaimana teknologi SIG, keterlibatan masyarakat, dan kebijakan tata ruang meningkatkan kemampuan untuk menangani bencana di wilayah pesisir Kota Banda Aceh. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sinergi antara ketiga faktor tersebut berkontribusi signifikan terhadap mitigasi bencana. Teknologi SIG meningkatkan efisiensi prediksi dan perencanaan, partisipasi masyarakat memperkuat kesiapsiagaan lokal, dan kebijakan tata ruang berperan



Gambar 3. Peta bahaya tsunami di Kota Banda Aceh
Sumber: RTRW Kota Banda Aceh Tahun 2009 - 2029

dalam pengelolaan risiko secara struktural. Sinergi ketiganya meningkatkan kapasitas mitigasi bencana di kawasan pesisir, memberikan dasar yang lebih kuat untuk pengelolaan bencana yang lebih efektif.

Saran

Untuk memastikan ketersediaan fasilitas evakuasi vertikal yang memadai, pemerintah harus memperkuat kebijakan tata ruang yang membatasi pembangunan wilayah pesisir berisiko tinggi. Dengan dukungan dari tokoh masyarakat setempat, masyarakat harus terus diberdayakan melalui pelatihan kesiapsiagaan bencana dan partisipasi aktif dalam pemeliharaan infrastruktur penting. Pemerintah, lembaga eksternal, dan profesional IT harus bekerja sama erat untuk mengoptimalkan penerapan teknologi SIG dan sistem deteksi otomatis untuk membantu pengambilan keputusan dalam mitigasi bencana.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdeen FN, Fernando T, Kulatunga U, Hettige S, Ranasinghe KA. 2021. Challenges in Multi-Agency Collaboration in Disaster Management: A Sri Lankan Perspective. *International Journal of Disaster Risk Reduction* 62: 102399. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2021.102399>
- Abid SK, Sulaiman N, Wei CS, Nazir U. 2021. Building Resilient Future: Information Technology and Disaster Management-a Malaysian Perspective. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 795(1): 012026. IOP Publishing.
- Abrar F. 2022. Efektivitas Badan Penanggulangan Bencana Daerah Kota Banda Aceh dalam Penanggulangan Bencana Gempa Bumi di Kota Banda Aceh (*Doctoral dissertation*, Institut Pemerintahan Dalam Negeri).
- Achmad A, Aulia DN. 2014. Analysis of Urban Growth Pattern and Socioeconomic Aspect After the Tsunami Disaster: The Case of Banda Aceh, Aceh, Indonesia.
- Akbar MAH, Kharis FA, Rahmawati OP. 2020. Perencanaan Lanskap Mitigasi Tsunami Berbasis Ekosistem Mangrove di Kota Palu. *Jurnal Lanskap Indonesia* 12(2): 41-53. <https://doi.org/10.29244/jli.v12i2.32383>
- Al Farizi MD, Yulianur A, Rusydy I, Suppasri A. 2023. Assessing Probability of Building Damages Due to Tsunami Hazards Coupled with Characteristics of Buildings in Banda Aceh, Indonesia: A Way to Increase Understanding of Tsunami Risks. *International Journal of Disaster Risk Reduction* 90: 103652.
- Al-Fath R, Marsoyo A. 2023. Perkembangan Kota Banda Aceh Pasca Bencana Tsunami 2004. *Jurnal Teknosains* 12(2): 164-176.
- Annisa DN, Mardiatno D, Hizbaron DR. 2021. Pengelolaan Wilayah Pesisir Berbasis Pengurangan Risiko Bencana Gempabumi dan Tsunami di Kabupaten Kulon Progo Daerah Istimewa Yogyakarta. *Journal of Civil Engineering and Planning (JCEP)* 2(1): 1-19
- Astari D, Wulandari E, Nursaniah C. 2021. Perencanaan Struktur Ruang Lansekap Kawasan Pesisir Berbasis Mitigasi Bencana (Studi Kasus: Desa Alue Naga, Kecamatan Syiah Kuala, Banda Aceh). *Uniplan: Journal of Urban and Regional Planning* 2(2): 19-28. <https://doi.org/10.26418/uniplan.v2i2.49111>
- Atanga RA. 2020. The Role of Local Community Leaders in Flood Disaster Risk Management Strategy Making in Accra. *International Journal of Disaster Risk Reduction* 43: 101358. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2019.101358>
- Depari CPS, Manalu J, Siallagan J. 2023. Strategi Mitigasi Bencana Tsunami Kawasan Pariwisata Teluk Youtefa Kota Jayapura. *Lentera: Multidisciplinary Studies* 2(1): 140-147. <https://doi.org/10.57096/lentera.v2i1.69>
- Fitriyati N, Arifin HS, Kaswanto RL, Marimin. 2024. Enhancing Land Use Planning through Integrating Landscape Analysis and Flood Inundation Prediction Bekasi City's in 2030. *Journal Geomatics, Natural Hazards and Risk* 15(1): 1-27.
- Fuady M, Fuady MRF. 2021. Disaster preparedness collaboration between Banda Aceh and Japan. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 1087 (1): 012003. IOP Publishing.
- Guest G, MacQueen KM, Namey EE. 2011. *Applied Thematic Analysis*. Sage Publications.
- Ihsan F, Pramukanto Q. 2017. Perencanaan Lanskap Kota Pariaman Provinsi Sumatera Barat Berbasis Mitigasi Tsunami. *Jurnal Lanskap Indonesia* 9(1): 1-12. <https://doi.org/10.29244/jli.v9i1.17165>
- Inayah A, Kaswanto RL. 2023. Nilai Biodiversitas Lanskap Mangrove DKI Jakarta, Kelurahan Penjarangan, Kecamatan Muara Kamal, Jakarta Utara. *Jurnal Pengelolaan Lingkungan Berkelanjutan (Journal of Environmental Sustainability Management)* 7(2): 118-134. <https://doi.org/10.36813/jplb.7.2.118-134>
- Irwansyah M, Nursaniah C, Qadri L, Mariana M. 2024. City of Prone Natural Disasters: Mitigating Post-Tsunami on the Coastal of Banda Aceh, Indonesia. *Environmental Challenges* 15: 100925. <https://doi.org/10.1016/j.envc.2024.100925>
- Irwansyah M, Zuliansyah S, Hasan I. 2021. Sustainable Landscape for High Urban Temperature Mitigation in the Disaster-Prone Coastal city of Banda Aceh, Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 630 (1): 012010. IOP Publishing.
- Iuchi K, Mutter J. 2020. Governing Community Relocation after Major Disasters: An Analysis of Three Different Approaches and its Outcomes in Asia. *Progress in Disaster Science* 6: 100071. <https://doi.org/10.1016/j.pdisas.2020.100071>
- Kaswanto RL, Ilmi MR, Nurhayati HSA. 2023. Waterfront City Management to Realize Low Carbon Landscape in Pekanbaru City, Indonesia. *International Journal of Conservation Science* 14 (3): 1151-1162. <https://doi.org/10.36868/IJCS.2023.03.24>
- Kemper H, Kemper G. 2020. Sensor Fusion, GIS and AI Technologies for Disaster Management. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* 43: 1677-1683. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLIII-B3-2020-1677-2020>
- Lestari, E. (2019). TA: Kajian Strategi Mitigasi Bencana Tsunami Dan Kesiapsiagaan Publik di Desa Pangandaran (*Doctoral dissertation*, Institut Teknologi Nasional).
- Magfirah CE. 2021. Komunikasi Badan Penanggulangan Bencana Aceh dan Masyarakat terhadap Pemanfaatan Escape Building di Kota Banda Aceh (*Doctoral dissertation*, UIN Ar-Raniry).
- Maulida AP, Agustina E. 2022. Identifikasi kerusakan tanaman mangrove di wilayah pesisir Pantai Aceh Pasca Tsunami. In *Prosiding Seminar Nasional Biologi, Teknologi dan Kependidikan* 9(2): 226-233.
- Meechang K, Leelawat N, Tang J, Kodaka A, Chintanapakdee C. 2020. The Acceptance of Using Information Technology for Disaster Risk Management: A Systematic Review. *Engineering Journal* 24(4): 111-132. <https://doi.org/10.4186/ej.2020.24.4.111>
- Meilianda E, Pradhan B, Comfort LK, Alfian D, Juanda R, Syahreza S, Munadi K. 2019. Assessment of Post-

- Tsunami Disaster Land Use/Land Cover Change and Potential Impact of Future Sea-Level Rise to Low-Lying Coastal Areas: A case study of Banda Aceh Coast of Indonesia. *International Journal of Disaster Risk Reduction* 41: 101292.
- Meutia ZD. 2023. Perencanaan Lansekap Alami Sebagai Mitigasi Bencana Tsunami.
- Mulya DP, Astri R. 2021. Tsunami Evacuation Geographic Information System (GIS) Education as Disaster Mitigation. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 708(1): 012004. IOP Publishing.
- Nugroho D, Subagio H, Rachmadi H, Kadesti AT, Kintawangi LG. 2023. Tata Ruang Pesisir Bantul dalam Perspektif Keistimewaan DIY. *GLOBAL: Jurnal Lentera BITEP* 1(02): 76-89.
- Nuraeni N, Mujiburrahman M, Hariawan R. 2020. Manajemen Mitigasi Bencana pada Satuan Pendidikan Anak Usia Dini untuk Pengurangan Risiko bencana Gempa Bumi dan Tsunami. *Jurnal Penelitian dan Pengkajian Ilmu Pendidikan: E-Saintika* 4(1): 68-79. <https://doi.org/10.36312/e-saintika.v4i1.200>
- Nurisjah S, Valentina N. 2010. Perencanaan Hutan Kota Rekreasi Mangrove di Wilayah Pesisir Kecamatan Kuta Raja, Kota Banda Aceh, Propinsi NAD. *Jurnal Lanskap Indonesia* 2(2). <https://doi.org/10.29244/jli.2010.2.2.%25p>
- Pamuji D, Setiadi P, Karapa E. 2023. Strategi Pengelolaan Wilayah Pesisir Kabupaten Sarumi dalam Upaya Mitigasi Tsunami. *Jurnal MEDIAN Arsitektur dan Planologi* 13(1): 27-37. <https://doi.org/10.58839/jmap.v13i1.1248>
- Rahmi MM, Najmi N, Bahri S, Suriani M. 2020. Analisis Alih Fungsi Lahan Mangrove di Kawasan Pesisir Kota Banda Aceh. *Journal of Aceh Aquatic Sciences* 3(1).
- Rashifah N, Makalew ADN, Zain AFM. 2024. Pengembangan Potensi Wisata dan Kesesuaian Lahan Wisata terhadap Resiko Tsunami di Kawasan Teluk Pacitan. *Jurnal Lanskap Indonesia* 16(2): 217-223. <https://doi.org/10.29244/jli.v16i2.54696>
- Rayawan J, Tipnis VS, Pedraza-Martinez AJ. 2021. On the Connection between Disaster Mitigation and Disaster Preparedness: the Case of Aceh province, Indonesia. *Journal of Humanitarian Logistics and Supply Chain Management* 11(1): 135-154.
- Rohadi PP, Qisthina N, Aulia R, Arifin HS, Kaswanto RL. 2024. Urban Landscape Management of Makassar City Based on Waterfront City Concept. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 1384 (1): 012029. IOP Publishing. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1384/1/012029>
- Ryan B, Johnston KA, Taylor M, McAndrew R. 2020. Community engagement for disaster preparedness: A systematic literature review. *International Journal of Disaster Risk Reduction* 49: 101655. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2020.101655>
- Setiawan H, Khairunnisa A, Sawab H, Zaki M. 2024. Panduan Strategi Komunikasi pada Masyarakat Pesisir: Kesiapan Menghadapi Bencana Tsunami. *Jurnal Pengabdian Aceh* 4(3): 159-165.
- Soviana W, Achmad A, Syamsidik S, Rachman F, Munirwansyah M. 2024. Evaluation of Settlement Development and Future Challenges in The Tsunami Disaster Risk Area Case Study: Banda Aceh Coastal Areas. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-3928087/v1>
- Tanauma A, Pasau G, Tamuntuan G. 2021. Strategi Mitigasi Bencana Tsunami di Desa Kema Satu Kabupaten Minahasa Utara. *The Studies of Social Sciences* 3(2): 36-42. <https://doi.org/10.35801/tss.2021.3.2.37255>
- Tiar PP, Ricki G, Pradizzia TI. 2021. Disaster risk reduction through the reform of spatial structure and land use planning in Banda Aceh City. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 916(1): 012027. IOP Publishing.
- Tinasar AI. (2018). Analisis Bahaya dan Strategi Mitigasi Tsunami di Lokasi Calon Bandara Internasional Yogyakarta (Doctoral dissertation, Universitas Gadjah Mada).
- Trinufi RN, Rahayu S. 2020. Analisis Perubahan Kerapatan Vegetasi dan Bangunan di Kota Banda Aceh Pasca Bencana Tsunami. *Ruang* 6(1): 28-37. <https://doi.org/10.14710/ruang.6.1.29-39>
- Tursina T, Syamsidik S, Kato S, Afifuddin M. 2022. Incorporating Dynamics of Land Use and Land Cover Changes into Tsunami Numerical Modelling for Future Tsunamis in Banda Aceh. In *E3S Web of Conferences* 340: 01014. EDP Sciences.
- Uddin K, Matin MA. 2021. Potential Flood Hazard Zonation and Flood Shelter Suitability Mapping for Disaster Risk Mitigation in Bangladesh Using Geospatial Technology. *Progress in Disaster Science* 11: 100185. <https://doi.org/10.1016/j.pdisas.2021.100185>
- Utami W. 2021. Analisis Rencana Tata Ruang Wilayah pada Wilayah Pesisir Rawan Tsunami (Studi Pesisir Aceh, Banten dan Palu).
- Wang X, Zhang C, Wang C, Liu G, Wang H. 2021. GIS-based for prediction and prevention of environmental geological disaster susceptibility: From a perspective of sustainable development. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 226: 112881. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2021.112881>
- Yuningsih Y, Legiani WH, Bahrudin FA. 2022. Peran Pemerintah Kabupaten Pandeglang dalam Edukasi Mitigasi Bencana Tsunami di Sekolah Pesisir Pantai Pandeglang-Banten. *Jurnal Ilmiah Universitas Batanghari Jambi* 22(3): 1876-1880. <http://dx.doi.org/10.33087/jiubj.v22i3.2726>
- Zuraiddi E, Zainol R, Ahmad Y, Achmad A. 2023. Determinants of Spatial Planning for Urban Resilience in the Islamic Society Setting: A Case Study of Banda Aceh, Indonesia. *Planning Malaysia* 21. <https://doi.org/10.21837/pm.v21i29.1367>