

Konsep Hutan Bakau sebagai Konsep untuk Mitigasi Tsunami di Banda Aceh, Indonesia

Mangrove Forest as a Concept for Tsunami Mitigation in Banda Aceh, Indonesia

Suci Senjana^{1*}, Tasliati Djafar², Rufia Andisetyana Putri³

¹ Program Studi Teknik Arsitektur, Fakultas Sains dan Teknologi, UIN Maulana Malik Ibrahim Malang, Malang, Indonesia

² Program Studi Agroteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Iskandarmuda, Banda Aceh, Indonesia

³ Program Studi Perencanaan Wilayah dan Kota, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret, Surakarta, Indonesia

*Penulis korespondensi. e-mail: ssenjana@arch.uin-malang.ac.id

(Diterima: 23 Januari 2023; Disetujui: 15 Februari 2023)

Abstrak

Pada tahun 2004, tsunami Samudra Hindia melanda Kota Banda Aceh, ibu kota provinsi Nanggroe Aceh Darussalam, dengan gelombang setinggi 11 meter. Peristiwa ini menjadikan banyak pihak sadar dan memberi perhatian untuk melindungi kota dari ancaman bahaya alam tidak terduga di masa depan. Berkembang penelitian-penelitian yang mengusulkan solusi berbasis alam, terutama penggunaan vegetasi untuk dapat mendukung tanggul dalam mengurangi kecepatan aliran air tsunami, diantaranya melalui penggunaan tanaman bakau. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengembangkan penggunaan hutan bakau untuk mendukung tanggul struktural dalam meningkatkan kapasitas mitigasi tsunami di garis pantai Banda Aceh. Studi ini diawali dengan survei dan observasi wilayah pesisir Kota Banda Aceh yang dilanjutkan dengan penggunaan metode projective design strategy untuk membuat perencanaan skenario hutan bakau pada perencanaan lanskap garis pantai Kota Banda Aceh. Analisis data sekunder dengan menggunakan literatur membantu menyusun kerangka kerja konseptualisasi hutan bakau di Kota Banda Aceh. Tanaman bakau sebagai elemen lanskap dan penerapannya sebagai hutan bakau menjadi fokus penelitian ini. Alih-alih membandingkan mana yang harus dipilih antara tanaman bakau dan tanggul, penelitian ini meninjau bagaimana keduanya digunakan dan bermanfaat bagi masyarakat dan ekosistem. Hasil dari penelitian ini adalah konsep skenario pemanfaatan hutan bakau dengan jarak 1,5 km dari bangunan dan mendampingi fungsi tanggul serta jalur evakuasi dalam usaha mengurangi kerusakan akibat tsunami yang mungkin akan terjadi. Oleh karena itu, penelitian ini tidak mengkritik penggunaan tanggul struktural, tetapi mengembangkan pengetahuan bagi para praktisi dan pemangku kepentingan untuk menyelidiki opsi dalam melengkapi strategi perencanaan dan desain kota dalam isu ini untuk berpartisipasi dalam pembangunan berkelanjutan.

Kata kunci: infrastruktur hijau; ketahanan terhadap bencana; mitigasi tsunami, pembangunan berkelanjutan; solusi berbasis alam

Abstract

In 2004, the Indian Ocean Tsunami hit Banda Aceh, the capital of Nanggroe Aceh Darussalam province, Indonesia, with 11-meter-high wave. The disaster has raised awareness and concern of many parties to protect the city from unpredictable natural hazards in the future. The aim of this research is to develop the use of mangrove forests to assist the use of structural embankments in enhancing the capacity of tsunami mitigation planning on the Banda Aceh coastline. This study begins with survey and observation on the coastal zone of Banda Aceh, then projective design strategy was used as a method in creating scenario planning. Analyzing secondary in forms of literature are conducted to create framework on conceptualizing mangrove forest in Banda Aceh. Mangrove as a landscape element and its implementation as mangrove forest become the focus of this research. Rather than comparing which to choose between mangrove and embankment, this research reviews how both affect the community and ecosystem. The results of this study are scenario concepts for utilizing mangrove forests with 1.5 km from buildings, together with supporting the function of embankments and transportation routes to reduce damage from tsunami that might occur. Therefore, this study does not critic the traditional concrete embankment but develops knowledge for practitioners and stakeholders to investigate additional option in planning and designing a city within this issue to take part in pursuing sustainable development.

Keywords: *disaster resilience; green infrastructure; nature-based solutions; sustainable development; tsunami mitigation*

1. PENDAHULUAN

Peristiwa tsunami Samudera Hindia yang melanda Banda Aceh, Indonesia, pada tahun 2004 menunjukkan bahwa masyarakat kota pesisir rentan terhadap bahaya bencana alam. Bertempat tinggal di daerah pesisir sangat penting bagi masyarakat yang telah terikat dengan mata pencaharian utama mereka di lanskap pesisir. Akan menjadi tantangan bagi masyarakat dan komunitas tersebut jika mereka harus berpindah ke lingkungan baru. Di sisi lain, dari data muka air laut, diketahui bahwa permukaan air laut secara bertahap mengalami kenaikan lebih dari 10 cm dari tahun 1920 sampai dengan tahun 1980 (Pilkey, 1983). Hal ini mengindikasikan bahwa skenario bencana alam seperti tsunami diprediksi merupakan salah satu isu utama perencanaan dan desain kawasan pesisir. Oleh karena itu, diperlukan perlindungan pada garis pantai untuk mengurangi kerusakan bagi manusia dan keanekaragaman hayati.

Tsunami Samudra Hindia tahun 2004 menunjukkan bahwa pembatas antara daerah pemukiman dan laut merupakan bagian penting dari garis pantai. Dampak kerusakan akibat tsunami dapat dikurangi dengan adanya penghalang untuk melindungi kota atau desa. Studi kasus Jepang dan New Orleans, Amerika Serikat, menggambarkan bahwa tanggul struktural telah umum digunakan pada abad ke-21 sebagai penggunaan penghalang yang direkayasa. Akan tetapi, penelitian membuktikan bahwa kerusakan tidak berkurang secara signifikan dengan adanya tanggul struktural. Nyatanya, tanggul struktural di New Orleans rusak dan gagal melindungi kota (Beatley, 2009; Ito & Ojima, 2012). Dalam konteks desain pesisir, seorang arsitek lanskap akan ditantang untuk merencanakan skenario dan mitigasi bencana yang dapat mempertahankan kualitas keanekaragaman hayati lokal, sosial ekonomi, dan masyarakat dalam jangka panjang. Hal ini terkait dengan penggunaan tanggul setinggi 15 m yang memutuskan hubungan manusia dengan laut dan keanekaragaman hayati pesisir dari habitat mereka. Menanggapi persoalan tersebut, pemikiran ulang tentang pemanfaatan alam dalam konsep perlindungan pantai akan dijadikan dasar penelitian ini untuk menyelidiki penggunaan pembatas alami untuk bencana alam di Banda Aceh.

Penelitian sebelumnya terkait manfaat penggunaan hutan bakau dalam menghadapi tsunami atau dampak tsunami Samudra Hindia tahun 2004 pada hutan bakau di Banda Aceh telah banyak dilakukan. Yanagisawa et al. (2010) meneliti kemampuan tanaman bakau di area pantai Banda Aceh berdasarkan skenario tsunami tahun 2004 pada rekonstruksi pemodelan numerik pantai Banda Aceh. Onrizal et al. (2016) mengobservasi 23 spesies tanaman bakau di Aceh dan semenanjung Malaysia yang terdampak tsunami 2004. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa tanaman bakau mempunyai kemampuan regenerasi alami yang baik setelah terdampak tsunami. Hal ini mengindikasikan bahwa penggunaan tanaman bakau untuk mendampingi tanggul struktural memiliki dampak yang baik dan memiliki potensi keberlangsungan dalam jangka panjang. Mohd Razali et al. (2022) dalam ulasannya mengenai pengembangan penelitian perubahan guna lahan tanaman bakau dari 2010-2020 menyebutkan bahwa tanaman bakau paling banyak diasosiasikan dengan bencana tsunami, banjir, dan longsor. Sreelekshmi et al. (2021) merekomendasikan penggunaan tanaman bakau sebagai infrastruktur hijau dalam meningkatkan ketahanan area garis pantai terhadap bencana. Oleh karena itu, dalam memperkaya pembahasan terkait tanaman bakau terhadap bencana tsunami, penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi secara deskriptif efektivitas bakau sebagai tanaman pertahanan tsunami untuk mendukung kesiapan Banda Aceh menjadi kota tangguh. Selain itu, pada penelitian ini juga akan dianalisis kemampuan hutan bakau untuk diterapkan pada kawasan garis pantai secara umum, dimana tanaman bakau merupakan vegetasi aslinya.

2. KAJIAN TEORI

Tanggul struktural di negara maju sudah banyak dibangun dengan harapan dapat beradaptasi dengan lanskap pesisir untuk skenario bencana dan mitigasi. Di Jepang, masyarakat pesisir sudah sejak lama percaya akan keamanan yang diberikan pembatas struktural konvensional karena telah terbukti melindungi daerah perkotaan dari tsunami. Contoh yang menonjol adalah tanggul "Tembok Besar" setinggi 10 meter di Tarou, prefektur Iwate, Jepang. Di sisi lain, telah dicatat bahwa penghalang struktur dalam beberapa kasus kemudian gagal untuk mempertahankan sekelilingnya dan gagal memberi keamanan karena sebagian besar rusak (Ito & Ojima, 2012). Kerusakan tersebut disebabkan oleh kualitas konstruksi, dimana sebagian dinding utama yang gagal menempel pada pondasi dan tanah. Tanggul setinggi 11,8 m terbukti dapat dihancurkan oleh tsunami meskipun strukturnya kuat (Hirano, 2013). Guna menjawab masalah ini, penempatan struktur lengkung telah disarankan dibandingkan struktur berbentuk garis lurus konvensional karena

memperkuat dinding hingga ke dasarnya. Namun, penelitian tersebut hanya berfokus pada kekuatan struktur daripada meninjau peran tanggul sebagai bagian dari komunitas dan perkembangan kota (Ito & Ojima, 2012).

Sebuah komite di Jepang yang dibentuk setelah Gempa Tohoku tahun 2011 menyimpulkan bahwa ada dua jenis tsunami terkait rencana penanggulangan bencana, yaitu tingkat 1 (L1) dan tingkat 2 (L2) (Hirano, 2013). L1 merupakan tsunami reguler yang dapat ditangani oleh tanggul, sedangkan L2 merupakan tsunami yang bermasalah dan memerlukan pengambilan keputusan perencanaan lebih besar pada skala bencana. Hirano (2013) juga menjelaskan bahwa Pemerintah Jepang mengusulkan struktur *multi-ayer* sebagai salah satu solusi L2. Rekomendasi tanggul ganda dianggap tidak realistis sehingga opsi terakhir adalah membangun tepian jalan yang lebih tinggi sebagai tanggul kedua. Rekomendasi tersebut menegaskan bahwa struktur beton adalah satu-satunya pilihan untuk mempertahankan kota. Meskipun ada alternatif dan variasi lainnya dari pemerintah, semuanya menggunakan alat utama yang sama, yakni tanggul beton (Hirano, 2013). Kritik terhadap pilihan pemerintah dalam kajian tersebut tidak diikuti dengan kajian lebih lanjut mengenai apa saja alternatif bahan penghalang. Meskipun pembangunan tanggul di New Orleans meningkatkan perkembangan kota secara besar-besaran, tanggul tersebut kemudian menjadi penyebab kerusakan kawasan perkotaan saat pecah badai Katrina. Studi kasus ini menunjukkan bahwa skenario penempatan tanggul di New Orleans tidak selalu paralel dengan skenario pascabencana (Beatley, 2009). Penempatan tanggul terutama diperuntukkan untuk bahaya alam tahap 2, kesiapan. Selain itu, proses konstruksi tanggul menimbulkan bahaya bagi lingkungan sekitar, seperti mengganggu flora dan fauna (Allen, 1998). Meskipun durasi proses pembangunan struktur tidak terlalu lama, masa yang diperlukan untuk pemulihan terhadap apa yang rusak selama proses pembangunan akan memakan waktu lebih lama, bahkan setelah konstruksi selesai.

Rekayasa modern harus dapat merefleksikan bagaimana suatu struktur bermanfaat bagi masyarakat dan juga bagi ekosistem sebagai respons terhadap bahaya dan perubahan iklim. Kritik terhadap model konvensional adalah bahwa model konvensional memberikan dampak negatif pada lingkungan dan ekosistem yang lebih besar dibandingkan memberikan keuntungan perlindungan kepada kawasan tersebut. Hutan bakau yang ada di Asia sangat berperan dalam melindungi masyarakat dan bangunan saat terjadi tsunami karena meminimalisir area yang tergenang tsunami dengan cara memperlambat kecepatan air tsunami (Giri et al., 2007). Inti perlindungan tidak hanya untuk manusia tetapi juga untuk bangunan dan keanekaragaman hayati sebagai komunitas yang menghidupi semua aspek ini (Cheong et al., 2013). Oleh karena itu, penanaman hutan bakau direkomendasikan sebagai pengganti tanggul konvensional karena pada tsunami Samudera Hindia tahun 2004 terbukti dapat mengurangi genangan tsunami di wilayah pesisir (Kathiresan & Rajendran, 2005). Penanaman tanaman bakau untuk lanskap pesisir berperan dalam pertahanan laut dan memperlambat energi dan kecepatan tsunami. Selain itu, penanaman tanaman bakau juga meningkatkan kualitas mata pencaharian nelayan lokal dengan meningkatkan kualitas perikanan di ekosistem (Danielsen et al., 2005) serta meningkatkan kemampuan ekosistem pantai secara umum untuk bertahan (Dahdouh-Guebas et al., 2005). Terlebih lagi, hutan bakau dapat mengurangi polutan udara, meningkatkan kualitas air, dan melindungi terumbu karang (Osti et al., 2009). Hutan bakau berperan dalam meningkatkan ketahanan kota karena dapat membantu segala pihak yang terlibat dalam menghadapi ketidakpastian, dimana kemampuan untuk beradaptasi dalam segala aspek sangat dibutuhkan (Dahdouh-Guebas et al., 2021).

Meskipun kawasan pesisir di Banda Aceh tidak memiliki terumbu karang, ide implementasi dan kajian fungsi hutan bakau dapat dijadikan contoh gambaran lanskap terkait seperti Sabang sebagai pulau terdekat dengan Banda Aceh. Terlepas dari manfaat hutan bakau, pengamatan menggambarkan bahwa tanaman bakau hanya cocok untuk tanah rawa sehingga jenis tanah lainnya harus ditutupi dengan spesies pohon yang berbeda (Danielsen et al., 2005). Penelitian lebih lanjut akan diperlukan di berbagai jenis tanah untuk menyimpulkan alternatif spesies pohon dan menyarankan berbagai konsep untuk para praktisi. Namun demikian, pemilihan pohon alternatif harus mempertimbangkan keselamatan masyarakat dalam skenario ketika pohon tersebut lepas dari tanah. Hal ini merupakan tanggapan terhadap Alongi (2008) yang menyatakan bahwa hutan bakau memiliki daya tahan terhadap tekanan air tsunami. Penelitian mengenai distribusi hutan bakau terus dilakukan dan terus meningkat, dimana selama tahun 2015 hingga 2020 dominan digunakan penginderaan jauh (Razali et al., 2022).

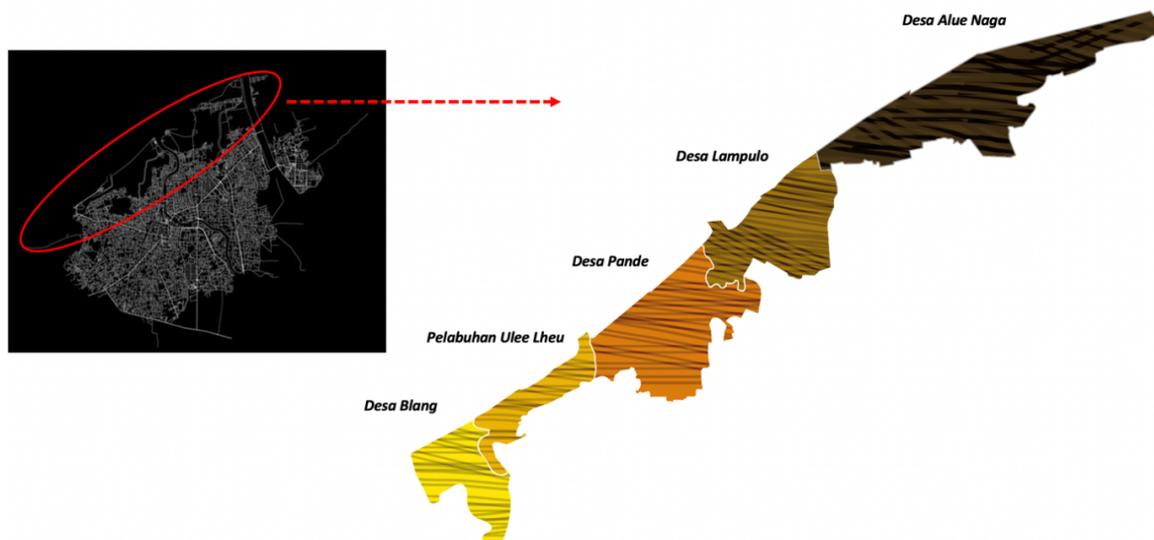
3. METODE PENELITIAN

Pengetahuan di bidang arsitektur lanskap berkembang dan menjadi lebih rumit dalam 20 tahun terakhir. Metode penelitian bidang arsitektur lanskap berkembang menjadi sembilan kategori berbeda menurut Deming & Swaffield (2011).

Dalam penelitian mereka, metode yang dipilih adalah *projective design strategy* yang secara deskriptif mengevaluasi dan menilai kembali kondisi lapangan sebelumnya untuk mengembangkan ide dan mempelajari subjek penelitian yang nantinya menghasilkan perencanaan skenario pada lokasi penelitian. Metode ini dipilih dengan tujuan menghubungkan konsep berbasis alam dan pengembangan skenario menghadapi bencana. Data utama mengenai kondisi pantai Banda Aceh dikumpulkan melalui observasi lapangan dan dilakukan analisis deskriptif. Tahapan awal merupakan proses pengkajian konsep dan literatur penanaman bakau terhadap mitigasi bencana terutama tsunami. Tahapan selanjutnya adalah membuat perencanaan skenario pengembangan infrastruktur hijau menggunakan vegetasi terutama hutan bakau untuk melengkapi tanggul yang sudah ada.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

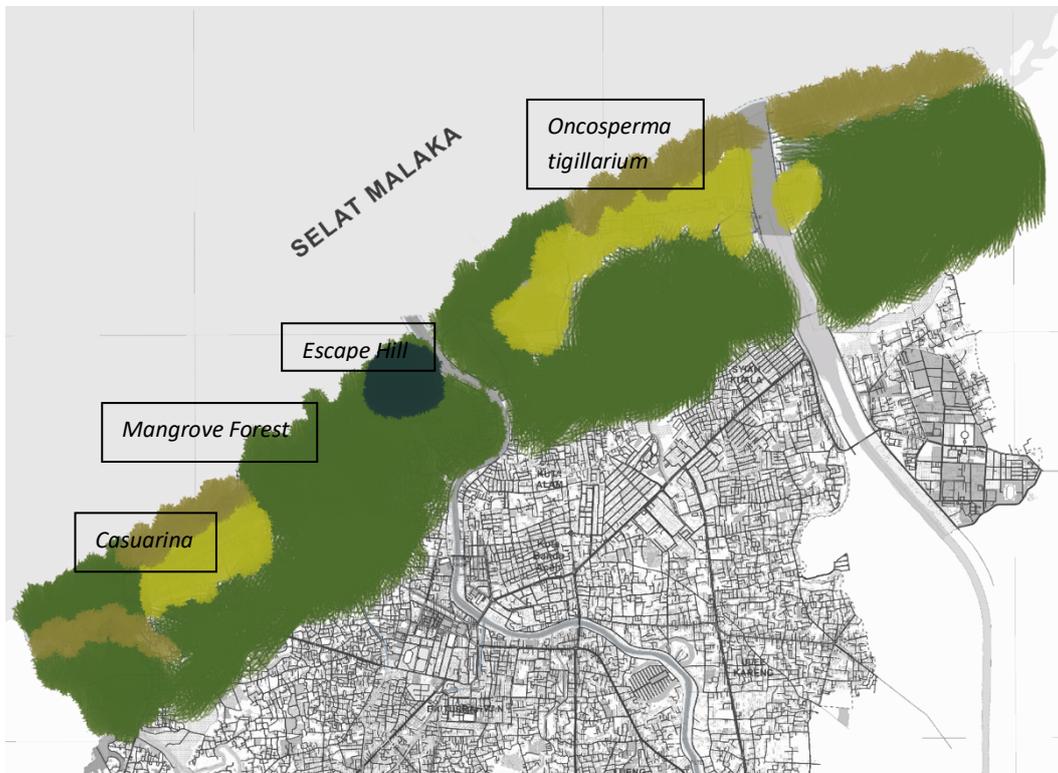
Lokasi penelitian berada di sepanjang garis pantai Banda Aceh sebagaimana ditunjukkan oleh Gambar 1. Kota Banda Aceh terletak antara $50^{\circ} 16' 15''$ - $50^{\circ} 36' 16''$ Lintang Utara dan $95^{\circ} 16' 15''$ - $95^{\circ} 22' 35''$ Bujur Timur. Area hutan bakau yang ada di Kota Banda Aceh sebelum tsunami Samudra Hindia tahun 2004 adalah seluas 84,32 Ha. Setelah bencana tsunami tersebut, luasan area hutan bakau menurun drastis menjadi 18,08 Ha, dan pada tahun 2018 meningkat kembali menjadi 76,15 Ha (Affan et al., 2019). Sebuah penelitian yang secara khusus mempelajari tentang *Rhizophora* sp. di Sri Lanka menunjukkan bahwa tanaman bakau secara efektif mampu memitigasi tsunami jika penanaman tanaman bakau setelah tsunami di area yang ada dapat dikelola dengan baik untuk menghadapi bahaya di masa mendatang (Daoudou-Guebas et al., 2005). Oleh karena itu, kelestarian hutan bakau harus diperhatikan oleh Pemerintah Daerah, pemangku kepentingan, dan masyarakat setempat. Kondisi bakau di Kota Banda Aceh belum ideal untuk mencapai kondisi optimal melindungi kota dari tsunami dikarenakan bencana tsunami Samudra Hindia tahun 2004 menghilangkan banyak tanaman bakau di Kota Banda Aceh. Oleh karena itu, dalam penelitian ini juga akan dijelaskan bagaimana kondisi skenario yang dapat memaksimalkan manfaat hutan bakau di Kota Banda Aceh dalam usaha melakukan mitigasi bencana tsunami.



Gambar 1. Lokasi Garis Pantai Kota Banda Aceh

Penelitian terkait perekaman kinerja mangrove dan dimensi hutan untuk ketahanan tsunami pernah dilakukan dengan Kota Banda Aceh sebagai wilayah studi oleh Yanagisawa et al. (2010). Penelitian tersebut menggunakan model numerik *Rhizophora* sp. di pesisir pantai Kota Banda Aceh seluas 500 meter². Hasil penelitian menunjukkan bahwa tanaman bakau yang berumur 10 sampai 30 tahun dapat menurunkan sebanyak 50-80% energi hidrodinamik atau kecepatan tsunami pada kedalaman banjir 3-5 m. Melihat sedikit lebih jauh, area hijau 1,5 km yang merupakan hutan bakau berusia 6 tahun menurunkan ketinggian tsunami yang ada hingga 1 m di daerah pantai di mana pohon-pohon tumbuh langsung ke arah laut (Mazda et al., 1997). Dalam penelitian lain oleh Danielsen et al. (2005), model sistematis gelombang tsunami di Indonesia telah digunakan untuk menghitung dimensi pohon sebagai penghalang pantai. Penelitian ini menyimpulkan bahwa 30 pohon dalam 100 m² dapat melindungi area dari tekanan genangan lebih dari 90%. Meskipun hasilnya tidak menyiratkan bagaimana struktur cabang dan daun dari 30 tanaman bakau mungkin berperan dalam memperlambat kecepatan tsunami, temuan ini membantu proses refleksi menuju rencana zonasi hutan bakau dari proyek-proyek yang telah ada sebelumnya.

Penelitian-penelitian selanjutnya merupakan panduan langkah-langkah konsep perencanaan terhadap bahaya tsunami yang harus dibentuk oleh para praktisi, termasuk arsitek lanskap dan Pemerintah Daerah (Godschalk et al., 1989). Penelitian tersebut menjelaskan manajemen perencanaan yang meliputi empat tahap untuk perencanaan skenario taman pertahanan terhadap tsunami dengan memperhatikan bagaimana hutan bakau sebagai subjek untuk mempertahankan kota dalam garis waktu yang berbeda (Gambar 2). Keempat tahap perencanaan diuraikan sebagai berikut.



Gambar 2. Visualisasi Perencanaan Skenario Vegetasi (Hutan Bakau) di Zona Rawan Tsunami

a. Mitigasi sebelum bencana

Tahapan mitigasi sebelum bencana merupakan skenario perencanaan selama 20 tahun untuk Kota Banda Aceh. Pemerintah Daerah harus memberikan pedoman desain untuk hutan bakau sebagai penghalang pantai yang juga difungsikan sebagai Taman Nasional. Pedoman ini juga harus disertai dengan kebijakan penanggulangan bencana alam karena Kota Banda Aceh berulang kali terdampak bencana. Setidaknya Kota Banda Aceh telah dilanda lima macam bencana, yaitu tsunami, gempa bumi, banjir, badai, dan kebakaran. Perlindungan mitigasi sebelum bencana ini tidak hanya harus memperhatikan bagaimana hutan bakau melindungi kota tetapi juga bagaimana pemerintah dan masyarakat berperan serta melindungi kawasan tersebut.

b. Kesiapsiagaan

Tahapan tahap kesiapsiagaan ini berupa rencana untuk membentuk pertahanan kota setidaknya selama jangka waktu 30 tahun. Hutan bakau sebagai komponen lanskap yang dirancang akan membantu skenario penyelamatan selama 10 – 20 menit dari evakuasi tsunami. Pengaturan ini berkaitan dengan tiga opsi berbeda untuk tujuan menyelamatkan diri di kota. Ketiga opsi tersebut adalah: (1) *escape hill* atau bukit penyelamatan diri pada area dengan jarak 10 menit evakuasi; (2) *escape building* atau bangunan penyelamatan diri pada sepanjang 500 – 1500 m dari garis pantai Kota Banda Aceh selama 10-15 menit evakuasi; dan (3) Kabupaten Aceh Besar sebagai daerah yang lebih tinggi di selatan Kota Banda Aceh dengan jarak 15-20 menit evakuasi.

c. Tanggapan

Tahapan tanggapan ini merupakan kesiapan perencanaan untuk menghadapi kondisi pascabencana. Pohon di garis pantai hilang akibat tsunami. Penanaman kembali pohon yang hilang dan rusak harus diprioritaskan, bersama dengan pemeliharaan pohon yang tersisa. Rekomendasi skenario *aftermath* adalah rencana pengelolaan 40 tahun. Hutan ini tidak hanya dipersiapkan untuk menghadapi bahaya tsunami, tetapi juga badai dan banjir biasa.

Rencana strategis ini menggambarkan tiga skenario evakuasi yang berbeda dan arahnya masing-masing. Peruntukan kawasan taman pertahanan tsunami dengan fungsi berbeda akan memiliki kesamaan karakter, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 3. Kawasan ini merupakan pantai penahan tsunami sepanjang 12,2 km dan dirancang sebagai taman wisata dengan karakteristik yang berbeda. Pejalan kaki dan pengendara sepeda adalah pengguna utama kawasan. Keistimewaan kawasan ini adalah dapat memberikan keamanan bagi semua pengguna dan memiliki rute yang jelas untuk evakuasi. Konsep ini harus menyediakan opsi evakuasi 10-20 menit bagi masyarakat setempat. Struktur pertahanan pada kawasan tersebut juga akan mengurangi kerusakan pada area dengan kontur tinggi 3-6 meter, seperti pusat kota dan kawasan cagar budaya. Tujuan keseluruhannya adalah untuk mitigasi bahaya bencana dan remediasi pantai untuk pascabencana. Perhatian khusus harus diberikan pada kebutuhan anak-anak dan disabilitas.

Hutan bakau di taman ini merupakan komponen utama kawasan yang berfungsi sebagai pembatas, kawasan wisata dan sosial ekonomi Kota Banda Aceh. Alasan utama tanaman bakau dipilih sebagai penghalang didukung oleh sejumlah tinjauan pustaka yang menjelaskan bagaimana *nypa fruticans* harus dihindari untuk ditanam *Rhizophora sp.* tetapi dimungkinkan untuk menggabungkannya dengan jenis vegetasi lain seperti Casuarina. Meskipun terdapat hutan kota seluas tiga hektar di Kota Banda Aceh, hal itu belum cukup menyadarkan masyarakat akan dampak signifikan hutan bakau. Hutan bakau memiliki berbagai dampak positif, salah satunya adalah hutan membantu melindungi dari kenaikan permukaan laut yang telah menjadi masalah kota dalam 50 tahun. Hutan bakau di pesisir juga akan meningkatkan habitat spesies tiram asli dan burung pesisir. Selain itu, tanaman bakau dan palem akan mengurangi kecepatan tsunami sebelum mencapai pusat kota.

Sirkulasi dalam kawasan ini akan diarahkan ke jalan utama, *escape hill*, dan *escape building*. Jalan utama akan memungkinkan orang untuk pergi ke daerah Kabupaten Aceh Besar. Kabupaten Aceh Besar ini didominasi oleh pegunungan karena merupakan daerah topografi yang lebih tinggi. Masyarakat yang tidak memiliki akses transportasi akan mengungsi ke *escape building* terdekat yang dapat dijangkau dalam radius 10-15 menit. Pembangunan ke depan perlu menambah bangunan karena hanya ada lima bangunan evakuasi yada di Kota Banda Aceh dan letaknya jauh dari barat Kota Banda Aceh. *Escape hill* adalah taman yang direkomendasikan dan aman menggantikan TPA yang ada. TPA tersebut berada pada ketinggian 6-7 m di atas permukaan laut.

Lokasi hutan bakau berada di antara area genangan dan kota karena tidak ada lagi rencana pembangunan gedung komersial di kawasan ini pada masa mendatang. Hutan belantara bakau, meskipun dijadikan sebagai taman nasional, harus tetap dipertahankan sebagai pelindung dari bahaya alam. Di sisi lain, pelabuhan yang ada harus dipertahankan untuk menjaga konektivitas ke pulau lain yang berada dekat Kota Banda Aceh, yakni Pulau Bunta dan Pulau Sabang. Desa nelayan harus memiliki jarak minimal 1,5 km dari garis pantai. Pembangunan pelabuhan perikanan, pasar ikan, dan tambak yang berkelanjutan juga perlu dilakukan karena merupakan tindakan yang meningkatkan kualitas hidup masyarakat setempat. Penerapan hutan bakau sebagai pembatas kota juga harus mempertimbangkan cara kerjanya dengan lingkungan sekitarnya. Desain perencanaan perlu tidak hanya mempertimbangkan jangka pendek tetapi juga jangka panjang dari pembangunan kota.

Kota Banda Aceh merupakan salah satu daerah sasaran rencana ekonomi nasional. Jumlah pariwisata Kota Banda Aceh diharapkan meningkat selama tahun 2030-2050 untuk pertumbuhan ekonomi lokal dan nasional. Hutan bakau dapat mendukung pengembangan pariwisata daerah. Hutan bakau memungkinkan wisatawan untuk masuk ke dalam hutan dengan berjalan kaki melalui jalur pejalan kaki dan bersepeda. Semua praktisi yang terlibat dalam proyek harus menjaga keberlanjutan masyarakat dan ekosistem. Kelangsungan hidup tanaman bakau juga menjadi bagian dari konsep analisis selain kekuatan hutan itu sendiri.

Rekomendasi skenario desain membutuhkan pengetahuan dan sumber daya dari penelitian-penelitian sebelumnya. Proses berpikir ini, meskipun telah diulas namun masih banyak peluang untuk dikembangkan dalam kajian lain berdasarkan pembelajaran dalam kajian ini. Proyek arsitektur lanskap tidak hanya meneliti bagaimana sebuah situs dapat dirancang untuk kebutuhan masyarakat tetapi juga bagaimana itu akan bermanfaat bagi sistem pembangunan, keberlanjutan ekonomi dan ekosistem. Untuk memulai analisis dalam suatu proyek diperlukan pemahaman tentang isu dan informasi yang ada. Oleh karena itu, praktisi membutuhkan informasi dari bidang lain. Memahami perencanaan lanskap dan pengetahuan yang berkaitan dapat dibentuk dengan meninjau literatur terbaru.

Dalam penelitian ini, literatur-literatur sebelumnya menginformasikan cara kerja tanaman bakau di wilayah pesisir dan morfologinya. Perbandingan cara struktur konvensional dan tanaman bakau melindungi pemukiman diperiksa untuk menyimpulkan bahwa tanaman bakau dapat digunakan untuk perencanaan tanggap bencana. Selain itu, diperlukan studi lebih lanjut yang menggambarkan bagaimana dimensi hutan akan mereduksi hidrodinamika tsunami untuk membantu penggunaan media struktur. Perencanaan mitigasi bencana dibagi menjadi empat tahap dan dapat berfungsi dalam jangka panjang hingga 50 tahun. Pertimbangan harus diambil sampai setelah bencana alam dan bahkan sampai 5 dekade. Meskipun bencana yang menjadi perhatian utama adalah tsunami, isu iklim mikro yang akan datang juga menjadi pertimbangan dalam perencanaan, terutama kenaikan muka air laut.

Sebagai kelanjutan penelitian ini, timbul berbagai penelitian penelitian lanjutan. Sebagai contoh, dalam latar lahan yang berbeda, dimana jenis tanah, jenis air, keanekaragaman hayati dan sumber penghidupan berbeda dari Kota Banda Aceh, dipertanyakan apakah komponen pembatas akan berbeda. Kota Banda Aceh yang terletak di Asia Tenggara memiliki *Rhizophora* sp. sebagai vegetasi lokal; penelitian lebih lanjut dibutuhkan untuk menggambarkan berbagai alternatif vegetasi dapat diusulkan. Selain itu, pertanyaan juga dapat diajukan terkait jika penggunaan tanggul struktural mengganggu kehidupan ekosistem yang ada dan hutan bakau itu sendiri akan kehilangan setidaknya 10% pohon di sepanjang garis pantai, apakah dimungkinkan penggabungan kedua elemen tersebut secara empiris. Kedua tipe *barrier* ini memiliki kelebihan masing-masing. Sebuah studi tentang kemungkinan ini akan menggambarkan bagaimana kombinasi desain bekerja di lanskap pesisir. Kemungkinan ini merupakan bagian dari kekhawatiran perubahan iklim karena persiapan dari para praktisi untuk mengembangkan ide desain akan diperlukan.

5. KESIMPULAN

Penelitian ini mengusulkan pemanfaatan hutan bakau secara optimal yang dipandu dengan perencanaan jalur evakuasi untuk memitigasi dampak tsunami, dimana kondisi hutan bakau Kota Banda Aceh mengalami penurunan akibat tsunami Samudera Hindia tahun 2004. Dengan adanya konsep rekomendasi jarak 1,5 km antara bangunan dengan garis pantai, maka akan dapat mengurangi dampak resiko kerusakan dan korban akibat tsunami yang mungkin akan terjadi. Penekanan dilakukan terhadap bagaimana sebisa mungkin pengembangan bangunan yang dihuni penduduk memiliki jarak yang menjauhi garis pantai, walaupun terdapat komunitas yang mungkin akan terus menetap di garis pantai, seperti warga desa nelayan. A

Adanya hutan bakau yang lebih masif diharapkan akan dapat mendukung fungsi dari tanggul struktural dalam menurunkan kecepatan air tsunami dan area genangannya. Kemampuan hutan bakau untuk mempertahankan kota menjadi bagian penting dari perencanaan yang direkomendasikan oleh seorang praktisi maupun pemangku kebijakan di masa depan. Meskipun hal ini merupakan tantangan tetapi akan bermanfaat bagi pembangunan kota Kota Banda Aceh.

Perencanaan tidak hanya terkait dengan daya tahan tetapi juga dalam skenario jangka panjang akan meningkatkan aspek ekonomi. Penduduk Kota Banda Aceh, khususnya di daerah pesisir, dengan mata pencaharian utama beragam termasuk sebagai nelayan yang terus bermukim disana, sehingga desa nelayan harus berada pada jarak tertentu dari garis pantai. Hutan bakau menjawab persoalan penggabungan konsep untuk menangani isu tsunami, mata pencaharian dan ekosistem lokal. Namun, untuk penelitian lebih lanjut, perencanaan garis pantai sepanjang 12 km di Kota Banda Aceh membutuhkan konsultasi kepada para ahli di bidang ekosistem, khususnya tanaman bakau, dan keterlibatan ilmu hidrologi. Pertimbangan dan analisis sebaiknya tidak hanya terbatas pada satu kejadian saja. Meskipun fokus diperlukan, bahaya alam dan perubahan iklim adalah masalah yang tidak dapat diprediksi. Oleh karena itu, mempertahankan rencana dan strategi hutan bakau setidaknya untuk setengah abad ke depan akan diperlukan.

DAFTAR PUSTAKA

- Affan, M., Fadli, N., Jufriadi, J., Nazaruiddin, N., Sofyan, H., Nizamuddin, N., ... Sapha, D. (2019). Assessment of Mangrove Forest Damage and Its Recovery in Banda Aceh City Post-Tsunami Disaster. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 348. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/348/1/012108>
- Allen, R. T. L. (1998). *Concrete in Coastal Structures*. London: Thomas Telford Ltd.
- Alongi, D. M. (2008). Mangrove Forests: Resilience, Protection from Tsunamis, and Responses to Global Climate Change. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 76, 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2007.08.024>
- Beatley, T. (2009). *Planning for Coastal Resilience: Best Practices for Calamitous Times*. Washington, D.C.: Island Press.

- Cheong, S. M., Silliman, B., Wong, P. P., Van Wesenbeeck, B., Kim, C. K., & Guannel, G. (2013). Coastal Adaptation with Ecological Engineering. *Nature Climate Change*, 3, 787–791. <https://doi.org/10.1038/nclimate1854>
- Dahdouh-Guebas, F., Jayatissa, L. P., Di Nitto, D., Bosire, J. O., Lo Seen, D., & Koedam, N. (2005). How Effective were Mangroves as a Defence Against the Recent Tsunami? *Current Biology*, 15, R443–R447. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2005.07.025>
- Dahdouh-Guebas, Farid, Hugé, J., Abuchahla, G. M. O., Cannicci, S., Jayatissa, L. P., Kairo, J. G., ... Wodehouse, D. (2021). Reconciling Nature, People and Policy in the Mangrove Social-Ecological System Through the Adaptive Cycle Heuristic. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 248. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2020.106942>
- Danielsen, F., Sørensen, M. K., Olwig, M. F., Selvam, V., Parish, F., Burgess, N. D., ... Suryadiputra, N. (2005). The Asian Tsunami: a Protective Role for Coastal Vegetation. *Science*, 310(5748). <https://doi.org/10.1126/science.1118387>
- Deming, M. E., & Swaffield, S. (2011). *Landscape Architectural Research: Inquiry, Strategy, Design*. Hoboken: Wiley.
- Giri, C., Zhu, Z., Tieszen, L. L., Singh, A., Gillette, S., & Kelmelis, J. A. (2007). Mangrove Forest Distributions and Dynamics (1975–2005) of the Tsunami-Affected Region of Asia. *Journal Biogeography*, 35(3), 519–228.
- Godschalk, D.R., Brower, D. J., & Beatley, T. (1989). Catastrophic coastal storms: Hazard mitigation and development management. Durham: Duke University Press.
- Hirano, K. (2013). Difficulties in Post-Tsunami Reconstruction Plan Following Japan'S 3.11 Mega Disaster: Dilemma Between Protection and Sustainability. *Journal of JSCE*, 1(1), 1–11. https://doi.org/10.2208/journalofjsce.1.1_1
- Ito, S., & Ojima, T. (2012). *Rebuilding Japan After the Great East Japan Earthquake and Tsunami*. Asia Institute of Urban Environment.
- Kathiresan, K., & Rajendran, N. (2005). Coastal Mangrove Forests Mitigated Tsunami. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 65(3), 601–606. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2005.06.022>
- Mazda, Y., Magi, M., Kogo, M., & Hong, P. N. (1997). Mangroves as a Coastal Protection from Waves in the Tong King Delta, Vietnam. *Mangroves and Salt Marshes*, 1, 127–135. <https://doi.org/10.1023/A:1009928003700>
- Onrizal, Ahmad, A. G., & Mansor, M. (2016). Assessment of Natural Regeneration of Mangrove Species at Tsunami Affected Areas in Indonesia and Malaysia. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, 180. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/755/1/011001>
- Osti, R., Tanaka, S., & Tokioka, T. (2009). The Importance of Mangrove Forest in Tsunami Disaster Mitigation. *Disasters*, 33(2), 203–213. <https://doi.org/10.1111/j.1467-7717.2008.01070.x>
- Pilkey, O. H. (1983). *Coastal Design: A Guide for Builders, Planners, and Home Owners*. Washington, D.C.: Van Nostrand Reinhold.
- Razali, S. M., Radzi, M. A., Marin, A., & Samdin, Z. (2022). A Bibliometric Analysis of Tropical Mangrove Forest Land Use Change from 2010 to 2020. *Environment, Development and Sustainability*, 24(10), 11530–11547. <https://doi.org/10.1007/s10668-021-01935-7>
- Sreelekshmi, S., Veettil, B. K., Nandan, S. B., & Harikrishnan, M. (2021). Mangrove Forests Along the Coastline of Kerala, Southern India: Current Status and Future Prospects. *Regional Studies in Marine Science*, 41, 101573. <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2020.101573>
- Yanagisawa, H., Koshimura, S., Miyagi, T., & Imamura, F. (2010). Tsunami Damage Reduction Performance of a Mangrove Forest in Banda Aceh, Indonesia Inferred from Field Data and a Numerical Model. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 115(6), 1–11. <https://doi.org/10.1029/2009JC005587>