



STRATEGI ADAPTASI ARSITEKTUR RESILIEN PADA BANGUNAN KAFE KAYU TERHADAP GELOMBANG TINGGI DAN ANGIN MUSIM DI KAWASAN PANTAI WARNA OESAPA, KOTA KUPANG

Rudini Alfian Raya Buan Lamahoda
Program Studi Arsitektur, Fakultas Teknik
Universitas Citra Bangsa
Email: rudinialvian25@gmail.com

Abstrak

Kawasan Pantai Warna Oesapa merupakan salah satu kawasan wisata pesisir di Kota Kupang yang mengalami perkembangan aktivitas ekonomi melalui pembangunan kafe-kafe di sepanjang garis pantai. Sebagian besar bangunan menggunakan konstruksi kayu ringan yang menyatu dengan lingkungan pesisir, namun menghadapi tantangan gelombang tinggi dan angin musiman yang periodik, yang mengancam keselamatan bangunan serta keberlanjutan usaha. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kondisi eksisting bangunan kafe kayu dan merumuskan strategi adaptasi arsitektur yang resilien sesuai dengan karakteristik lingkungan pesisir Pantai Oesapa. Metode penelitian menggunakan pendekatan kualitatif dengan studi kasus melalui observasi lapangan terhadap 6 bangunan kafe, wawancara dengan pemilik, serta analisis deskriptif. Hasil penelitian menunjukkan bahwa seluruh bangunan memiliki tingkat kerentanan tinggi pada 4 aspek utama, yaitu fondasi dangkal berupa tiang kayu langsung pada pasir, struktur tanpa bracing, atap seng gelombang tanpa pengikat khusus, dan posisi yang terlalu dekat dengan garis pantai tanpa zona penyangga. Kecepatan angin di Kupang yang mencapai 28–30 knot pada musim barat, serta catatan kejadian rob setinggi 70 cm pada Februari 2014, menjadi ancaman terukur bagi bangunan. Strategi adaptasi yang direkomendasikan meliputi penguatan pondasi tiang dalam, peningkatan elevasi panggung pesisir, penambahan bracing diagonal, pemasangan hurricane strap pada atap, serta pembentukan zona penyangga berbasis vegetasi mangrove. Konsep desain "Kafe Panggung Resilien" yang mengintegrasikan prinsip arsitektur tradisional Bajo dengan standar konstruksi tahan badai menjadi solusi holistik untuk kawasan Pantai Warna Oesapa yang beroperasi sesuai Peraturan Daerah Kota Kupang Nomor 4 Tahun 2019.

Kata kunci: Arsitektur Resilien, Bangunan Kafe Kayu, Pantai Warna Oesapa

License and Copyright

Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International CC BY-NC-SA 4.0



PENDAHULUAN

Wilayah pesisir memiliki potensi ekonomi dan pariwisata yang tinggi melalui daya tarik lanskap alam serta aktivitas rekreasi laut. Pantai Warna Oesapa, yang terletak di pesisir barat Kota Kupang, mengalami peningkatan aktivitas ekonomi melalui pembangunan kafe-kafe yang memanfaatkan panorama laut sebagai daya tarik utama. Perkembangan kawasan ini sejalan dengan implementasi Peraturan Daerah Kota Kupang Nomor 4 Tahun 2019 tentang Rencana Induk Kepariwisata Kota Tahun 2019–2025 yang menargetkan Pantai Warna sebagai kawasan wisata bahari berbasis komunitas (Awa et al., 2025).

Meskipun memberikan kontribusi ekonomi bagi masyarakat lokal, perkembangan bangunan kafe di Pantai Warna Oesapa belum sepenuhnya memperhatikan karakteristik lingkungan pesisir yang dinamis. Kawasan pesisir Kota Kupang secara historis pernah mengalami rob dengan genangan setinggi sekitar 70 cm pada peristiwa Februari 2014 (Saraswati et al., 2021) yang menjadi peringatan penting akan kerentanan bangunan terhadap dinamika laut. Analisis pasca-Siklon Tropis Seroja pada April 2021 menunjukkan bahwa kawasan pesisir NTT mengalami gelombang signifikan lebih dari 4 meter, dengan abrasi yang besar di pulau-pulau di sekitarnya (Zikri et al., 2024). Perubahan iklim global menurunkan frekuensi kejadian siklon, sehingga kawasan pesisir Kupang perlu diantisipasi dengan memperkuat desain bangunan secara berkelanjutan.

Karakteristik angin di Kupang juga menjadi salah satu tantangan utama. Kota Kupang memiliki pola angin musiman dengan kecepatan puncak 28–30 knot pada periode Juni–Oktober yang terekam di kawasan pesisir (Adjam & Renoat, 2017). Kecepatan ini berpotensi melampaui kapasitas desain konstruksi ringan pada bangunan kafe kayu yang tidak dirancang dengan sistem pengikat khusus.

Berdasarkan observasi lapangan terhadap 6 bangunan kafe di Pantai Warna Oesapa, sebagian besar bangunan dibangun dengan konstruksi kayu sederhana, dengan fondasi kayu yang ditancapkan langsung ke dalam pasir pantai. Beberapa bangunan bahkan dibangun tanpa sistem fondasi yang memadai. Hasil pengamatan menunjukkan berbagai bentuk kerusakan, berupa fondasi miring, lantai amblas, kolom kayu lapuk, sambungan terlepas, atap seng terangkat, hingga sebagian bangunan roboh. Temuan ini menunjukkan rendahnya ketahanan bangunan terhadap ancaman lingkungan pesisir.

Dalam konteks arsitektur, konsep resiliensi menjadi pendekatan yang relevan karena bangunan pesisir menghadapi ancaman berulang yang memerlukan kemampuan adaptasi jangka panjang (Vale & 1964-, 2005). *Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015–2030* yang dikaji oleh Peijun Shi, Tiejun Ye, dan rekan-rekan (Shi et al., 2020) menegaskan bahwa pembangunan infrastruktur harus berorientasi pada pengurangan risiko bencana melalui pemahaman risiko, investasi dalam ketahanan, dan penerapan prinsip *Build Back Better*. Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini berupaya mengidentifikasi tingkat kerentanan bangunan kafe kayu di Pantai Warna Oesapa serta merumuskan strategi adaptasi arsitektur resilien yang sesuai dengan karakteristik spesifik lokasi.

Berdasarkan dinamika lingkungan dan realitas fisik di lapangan, penelitian ini memfokuskan kajian pada permasalahan utama terkait tingkat ketahanan fisik bangunan pesisir di Kawasan Pantai Warna Oesapa. Persoalan ini diawali dengan pertanyaan tentang bagaimana kondisi eksisting bangunan kafe kayu di kawasan tersebut jika ditinjau secara mendalam dari aspek struktur, pemilihan material, hingga penempatan bangunan terhadap garis pantai.

Lebih jauh lagi, perlu digali faktor-faktor apa saja yang menjadi pemicu utama kerentanan bangunan-bangunan tersebut saat dihadapkan pada ancaman lingkungan yang dinamis, khususnya terpaan gelombang tinggi dan angin musiman. Dari pemetaan kondisi dan analisis faktor risiko tersebut, permasalahan inti yang hendak dijawab dalam penelitian ini adalah bagaimana merumuskan strategi adaptasi arsitektur resilien yang paling tepat, efektif, dan sesuai dengan karakteristik spesifik lokasi untuk menanggulangi tingkat kerusakan bangunan kafe kayu di Kawasan Pantai Warna Oesapa.

Sejalan dengan permasalahan yang dikemukakan, penelitian ini dirancang untuk mencapai beberapa sasaran utama secara berkesinambungan. Tahap awal penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kondisi eksisting bangunan kafe kayu di Kawasan Pantai Warna Oesapa guna memperoleh gambaran komprehensif mengenai kelemahan maupun potensi teknis dari konstruksi yang ada saat ini.

Selanjutnya, penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi faktor-faktor spesifik yang menyebabkan kerentanan bangunan terhadap dampak gelombang tinggi dan angin musiman. Melalui pemahaman yang mendalam atas kondisi fisik dan faktor risikonya, muara penelitian ini adalah merumuskan strategi adaptasi arsitektur resilien yang kontekstual dan aplikatif guna meningkatkan ketahanan serta keberlanjutan bangunan kafe kayu di Kawasan Pantai Warna Oesapa dalam menghadapi potensi bencana pesisir di masa depan.

LANDASAN TEORI

Arsitektur Resilien

Konsep resiliensi dalam arsitektur merujuk pada kemampuan bangunan untuk bertahan, beradaptasi, dan tetap berfungsi ketika menghadapi gangguan lingkungan maupun bencana alam. Vale dan Campanella (2005) menjelaskan bahwa bangunan yang resilien tidak hanya dirancang untuk mengurangi kerusakan, tetapi juga mampu menyesuaikan diri terhadap perubahan kondisi lingkungan serta mempercepat proses pemulihan pascagangguan. Pendekatan ini mengakui bahwa bencana merupakan interaksi dinamis antara hazard, kerentanan, dan kapasitas adaptif, sehingga desain harus mengakomodasi ketiga dimensi tersebut secara simultan.

Dalam konteks kawasan pesisir, ancaman utama meliputi gelombang, abrasi, banjir rob, angin kencang, serta korosi akibat air laut. Adaptasi arsitektural pada kawasan pesisir dapat mencakup penggunaan material tahan badai, penguatan sistem drainase, serta penerapan sistem perlindungan alami berbasis vegetasi. Pendekatan ini menjadi semakin penting karena perubahan iklim meningkatkan intensitas kejadian siklon tropis dan gelombang ekstrem di kawasan tropis.

Shi dkk. (Shi et al., 2020) Melakukan kajian komprehensif terhadap *Disaster Risk Science* dan mengusulkan kerangka kerja penelitian yang mengintegrasikan 4 dimensi: pemahaman risiko bencana, penguatan tata kelola risiko investasi untuk pengurangan risiko demi resiliensi, serta peningkatan kesiapsiagaan berdasarkan prinsip *Build Back Better*. Kerangka Sendai ini menjadi landasan strategis untuk pengembangan strategi adaptasi yang komprehensif bagi bangunan pesisir di Indonesia (Shi et al., 2020).

Kebijakan Pengelolaan Wilayah Pesisir di Indonesia

Pengelolaan wilayah pesisir di Indonesia diarahkan oleh Undang-Undang Nomor 27 Tahun 2007 tentang Pengelolaan Wilayah Pesisir dan Pulau-Pulau Kecil (Undang-Undang Nomor 27 Tahun 2007 tentang Pengelolaan Wilayah Pesisir dan Pulau-Pulau Kecil, 2007). Undang-undang ini kemudian dijabarkan melalui Peraturan Presiden Nomor 51 Tahun 2016 tentang Batas Sempadan Pantai yang menetapkan lebar sempadan pantai minimum untuk melindungi kawasan dari gempa dan tsunami, erosi serta abrasi, serta badai dan banjir (Riti, 2025). Kedua regulasi ini menjadi kerangka hukum yang harus dipertimbangkan dalam setiap rekomendasi pembangunan di kawasan pesisir, termasuk pembangunan kafe kayu di Pantai Warna Oesapa.

Pola Angin dan Gelombang di Kawasan Kupang

Kota Kupang memiliki karakteristik angin musiman yang kuat, terutama dari arah barat hingga barat daya pada periode Juni hingga Oktober. Hasil pengukuran di beberapa ruas jalan utama di Kupang menunjukkan bahwa kecepatan angin dapat mencapai 28–30 knot pada puncak musim barat (Adjam & Renoat, 2017). Pola ini berkaitan langsung dengan posisi geografis Kupang di pesisir Pulau Timor yang menerima paparan angin langsung dari Samudra Hindia.

Kawasan pesisir NTT dilaporkan mengalami perubahan garis pantai yang signifikan pasca-kejadian Siklon Tropis Seroja pada April 2021, dengan erosi yang tercatat pada pengamatan multi-temporal (Zikri et al., 2024). Kejadian ini menegaskan bahwa kawasan pesisir di sekitar Kupang rentan terhadap siklon tropis dan gelombang besar yang dapat merusak bangunan di sepanjang garis pantai.

Referensi Adaptasi Arsitektur Tradisional Bajo

Arsitektur tradisional Bajo memberikan contoh penting tentang adaptasi arsitektur pesisir di Indonesia. Saman dan Kaharu (Saman & Kaharu, 2025) melakukan meta-analisis terhadap konstruksi Bajo dan menunjukkan bahwa strategi adaptasi maritim ini dibangun di atas konsep struktur panggung dengan tiang yang ditancapkan ke dasar laut dan sambungan kayu tradisional, sehingga mampu bertahan terhadap hempasan gelombang dan pasang surut secara turun-temurun. Sistem konstruksi Bajo dirancang dengan memperhatikan kedalaman tiang, pemilihan material kayu keras, serta jumlah tiang yang proporsional untuk meminimalkan getaran akibat gelombang.

Pendekatan Bajo telah menjadi referensi penting dalam desain arsitektur maritim kontemporer di Indonesia. Rahim (2019) menjelaskan bahwa sistem konstruksi Bajo berakar pada kearifan lokal dan prinsip ramah lingkungan yang selaras dengan alam pesisir. Integrasi antara strategi tradisional dan teknologi konstruksi modern menjadi kunci untuk membangun arsitektur pesisir yang berkelanjutan dan tahan terhadap ancaman lingkungan (Rahim, 2019; Saman & Kaharu, 2025).

Kerentanan Struktur Kayu terhadap Angin

Bangunan kayu memiliki kelebihan berupa fleksibilitas struktur dan kekuatan tarik yang membantu menahan gempa, namun memerlukan perhatian khusus terhadap beban angin ekstrem. Beban angkat akibat angin kencang (*wind uplift*) pada sistem atap dan cladding merupakan salah satu mekanisme kegagalan paling umum pada bangunan kayu ringan. Song dkk. (Song et al., 2020) Melakukan studi wind-uplift fragility analysis dan menunjukkan bahwa kegagalan sistem roof sheathing terjadi melalui mekanisme pull-out fastener dan panel pullover pada kecepatan angin yang tinggi. Penguatan melalui sistem pengikat tambahan dan pemilihan profil cladding yang tepat menjadi strategi utama untuk meningkatkan ketahanan atap terhadap gaya angkat angin, dengan rekomendasi desain yang dapat diterapkan pada bangunan kafe kayu pesisir (Song et al., 2020).

Bangunan kayu memiliki kelebihan berupa fleksibilitas struktur dan kekuatan tarik yang membantu menahan gempa, namun memerlukan perhatian khusus terhadap beban angin ekstrem. Beban angkat akibat angin kencang (*wind uplift*) pada sistem atap dan cladding merupakan salah satu mekanisme kegagalan paling umum pada bangunan kayu ringan. Song dkk. (Song et al., 2020) Melakukan studi wind-uplift fragility analysis dan menunjukkan bahwa kegagalan sistem roof sheathing terjadi melalui mekanisme pull-out fastener dan panel pullover pada kecepatan angin yang tinggi. Penguatan melalui sistem pengikat tambahan dan pemilihan profil cladding yang tepat menjadi strategi utama untuk meningkatkan ketahanan atap terhadap gaya angkat angin, dengan rekomendasi desain yang dapat diterapkan pada bangunan kafe kayu pesisir (Song et al., 2020). Vegetasi pesisir seperti mangrove dan *rawa pasang surut* terbukti efektif sebagai pemecah gelombang alami dan penahan erosi. Temmerman dkk. (Temmerman et al., 2022) Menjelaskan bahwa vegetasi pesisir memberikan perlindungan fisik melalui atenuasi gelombang dan penstabilan sedimen, sehingga menjadi strategi yang semakin banyak diadopsi sebagai bagian dari sistem pertahanan pesisir berbasis alam atau *nature-based coastal defense*. Pendekatan ini sejalan dengan prinsip arsitektur resilien yang menekankan harmoni antara bangunan dan ekosistem pesisir (Temmerman et al., 2022).

Penelitian Terdahulu yang Relevan

Penelitian terdahulu tentang desain bangunan pesisir yang adaptif menekankan pentingnya integrasi antara strategi desain, pemilihan material, dan konservasi lingkungan. Pembelajaran dari arsitektur tradisional Bajo (Saman & Kaharu, 2025) dan kajian tentang sistem konstruksi kayu pesisir (Rahim, 2019) menjadi dasar bagi strategi adaptasi yang diusulkan dalam penelitian ini. Kebijakan pesisir Indonesia (Undang-Undang Nomor 27 Tahun 2007 tentang Pengelolaan Wilayah Pesisir dan Pulau-Pulau Kecil, 2007; Riti, 2025) dan Perda Kepariwisata Kupang (Awa et al., 2025) menjadi kerangka regulasi yang perlu dipertimbangkan dalam setiap rekomendasi desain. Sementara itu, pemahaman terhadap ancaman spesifik kawasan Kupang melalui data angin (Adjam & Renoat, 2017), catatan rob (Saraswati et al., 2021), dan analisis siklon tropis (Zikri et al., 2024) memberikan validasi empiris terhadap strategi adaptasi yang dikembangkan.

METODE

Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode kualitatif dengan pendekatan studi kasus. Pendekatan studi kasus dipilih karena memungkinkan peneliti menggali secara mendalam fenomena kerentanan bangunan dan strategi adaptasi dalam konteks spesifik kafe kayu pesisir.

Lokasi Penelitian

Penelitian dilakukan di Kawasan Pantai Warna Oesapa, Kota Kupang, Nusa Tenggara Timur. Pantai Warna Oesapa terletak di pesisir barat daya Kota Kupang dengan orientasi langsung menghadap Selat Semaui. Pemilihan lokasi didasarkan pada pertimbangan bahwa kawasan ini memiliki tingkat pembangunan bangunan kayu pesisir yang tinggi, namun minim penerapan prinsip bangunan tahan lingkungan pesisir, sekaligus merupakan kawasan prioritas pengembangan wisata bahari berdasarkan Perda Rencana Induk Kepariwisata Kota Kupang (Awa et al., 2025).

Teknik Pengumpulan Data

Pengumpulan data dalam penelitian ini dilakukan secara terpadu melalui pendekatan lapangan dan kajian pustaka. Tahap awal dimulai dengan observasi lapangan secara langsung terhadap enam

bangunan kafe untuk mengidentifikasi jenis material, sistem struktur, kondisi fondasi, sistem atap, serta tingkat kerusakan secara menyeluruh. Pengamatan empiris ini diperkuat dengan dokumentasi kondisi bangunan melalui pengambilan foto dan pencatatan visual menggunakan kamera digital untuk merekam secara rinci bentuk kerusakan spesifik pada empat aspek kerentanan yang diamati.

Untuk memperkaya dan memperkuat basis teoritis, data empiris tersebut dipadukan dengan studi literatur dari berbagai sumber primer dan sekunder. Tinjauan literatur ini mencakup kebijakan dan regulasi pengelolaan pesisir (Awa et al., 2025; Undang-Undang Nomor 27 Tahun 2007; Riti, 2025), standar teknis konstruksi bangunan seperti SNI 1727:2020 terkait beban angin dan SNI 1726:2019 terkait ketahanan gempa, serta referensi jurnal akademis yang relevan dengan arsitektur resilien dan teknik konstruksi pesisir (Adjam & Renoat, 2017; Rahim, 2019; Saman & Kaharu, 2025; Saraswati et al., 2021; Shi et al., 2020; Song et al., 2020; Temmerman et al., 2022; Vale & 1964-, 2005; Zikri et al., 2024).

Teknik Analisis Data

Data dianalisis secara deskriptif melalui tiga tahap: identifikasi kondisi eksisting berdasarkan hasil observasi lapangan dan identifikasi faktor kerentanan yang dikategorikan ke dalam empat aspek utama (pondasi, struktur, atap, lokasi), dan penyusunan strategi adaptasi berdasarkan prinsip arsitektur resilien (Vale & 1964-, 2005), regulasi pesisir Indonesia (Undang-Undang Nomor 27 Tahun 2007 Tentang Pengelolaan Wilayah Pesisir Dan Pulau-Pulau Kecil, 2007; Riti, 2025), dan referensi arsitektur Bajo (Rahim, 2019; Saman & Kaharu, 2025).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Gambaran Umum Kawasan Pantai Warna Oesapa

Pantai Warna Oesapa terletak di pesisir barat daya Kota Kupang dengan orientasi menghadap langsung ke Selat Semau. Pantai memiliki garis pantai sekitar 1,2 km dengan lebar area landai pasir putih yang bervariasi antara 50–150 meter, tergantung musim. Bagian belakang pantai berbatasan langsung dengan permukiman warga dan jalan utama di Kota Kupang. Kawasan ini berkembang menjadi destinasi kafe pesisir yang ramai pengunjung, terutama pada akhir pekan dan saat musim liburan.

Pola angin di kawasan ini didominasi oleh angin barat hingga barat daya pada periode Juni hingga Oktober dengan kecepatan puncak yang dapat mencapai 28–30 knot (Adjam & Renoat, 2017). Pada periode tersebut, kawasan pesisir Kupang memiliki risiko peningkatan gelombang dan catatan kejadian rob yang pernah mencapai 70 cm di area permukiman (Saraswati et al., 2021). Perubahan garis pantai pasca-Siklon Seroja pada April 2021 di kawasan NTT (Zikri et al., 2024) menjadi peringatan akan potensi ancaman serupa bagi Pantai Warna Oesapa di masa depan.



(Sumber: Google Maps 2026)

Kondisi Eksisting Bangunan Kafe Kayu

Berdasarkan hasil observasi lapangan terhadap 6 bangunan kafe, bangunan-bangunan tersebut dapat dikategorikan ke dalam empat tipe utama:

Tabel 1. Klasifikasi Tipe Bangunan Kafe Kayu di Kawasan Pantai Warna Oesapa

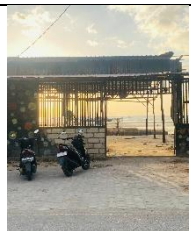
No	Tipe Bangunan	Karakteristik Utama	Tampak Bangunan						Persentase
			1	2	3	4	5	6	
1	Rumah Panggung	Tiang kayu keras di atas pasir, lantai kayu, atap seng						✓	17 %
2	Bangunan Permanen Dinding Ringan	Pondasi batu, struktur kayu, dinding pasangan bata, lantai	✓			✓	✓		50 %
3	Bangunan Tidak Permanen (Shelter Terbuka)	Tiang kayu, atap seng, tanpa lantai, tanpa dinding, tanpa pintu dan jendela, digunakan sebagai tempat duduk sementara.		✓	✓				33 %
Total			6						100%

(Sumber: Olahan pribadi 2026)

Klasifikasi tipe bangunan kafe kayu di Kawasan Pantai Warna Oesapa dilakukan berdasarkan karakteristik bentuk bangunan, sistem struktur, jenis fondasi, serta konfigurasi atap. Pengelompokan ini bertujuan untuk mengidentifikasi kesamaan dan perbedaan karakteristik setiap kafe sebagai dasar penyusunan strategi perancangan yang lebih adaptif, resilien, dan sesuai dengan kondisi lingkungan pesisir.

Mayoritas bangunan (100%) merupakan tipe rumah panggung dengan ketinggian lantai 0,5–1 meter di atas pasir. Konstruksi kayu untuk bangunan pesisir memerlukan perhatian khusus terhadap serangan organisme laut dan korosi (Song et al., 2020).

Tabel 2. Tampak Bangunan

Tampak Bangunan					
1	2	3	4	5	6
					
Ketinggian lantai 80 cm	Tidak memiliki ketinggian lantai	Tidak memiliki ketinggian lantai	Ketinggian lantai 90 cm	Ketinggian lantai 90 cm	Ketinggian lantai 100 cm

(Sumber: Olahan pribadi 2026)

Berdasarkan hasil observasi, tipe bangunan kafe kayu di Kawasan Pantai Warna Oesapa menunjukkan variasi elevasi lantai. Bangunan nomor 1, 4, 5, dan 6 memiliki lantai yang ditinggikan antara 80–100 cm dari permukaan tanah, sedangkan bangunan nomor 2 dan 3 tidak memiliki elevasi lantai sehingga berada sejajar dengan permukaan tanah. Perbedaan ini menunjukkan adanya variasi dalam penerapan sistem konstruksi, di mana bangunan yang memiliki elevasi lantai cenderung lebih adaptif terhadap potensi genangan, pasang air laut, dan penggerusan pasir dibandingkan dengan bangunan tanpa elevasi.

Sistem Pondasi

Hasil observasi menunjukkan tiga tipe pondasi eksisting pada 6 bangunan bangunan:

Pondasi Tiang Kayu Langsung pada Pasir

Sebanyak 6 bangunan menggunakan tiang kayu yang ditancapkan langsung ke dalam pasir sedalam 0,5–1,0 meter. Tiang pada umumnya menggunakan kayu lokal campuran tanpa perlakuan

pengawetan khusus. Beberapa tiang sudah menunjukkan gejala pelapukan lanjut pada bagian yang bersentuhan langsung dengan pasir dan air laut.



Gambar 1. Kondisi Pondasi Tiang Kayu yang Sudah Mengalami Penggerusan Pasir dan Pelapukan
(Sumber: Dokumentasi pribadi 2026)

Gambar berikut menunjukkan kondisi pondasi tiang kayu yang telah mengalami penggerusan pasir di sekitar dasar tiang serta pelapukan akibat paparan air laut dan cuaca. Kondisi ini berpotensi mengurangi stabilitas struktur sehingga memerlukan perhatian dalam upaya pemeliharaan dan perkuatan konstruksi.

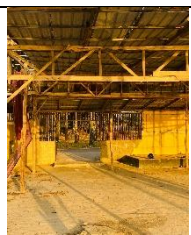
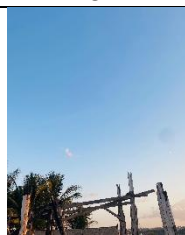
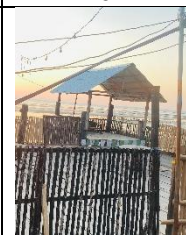
Pondasi tiang kayu merupakan jenis pondasi yang digunakan dengan cara menancapkan tiang kayu ke dalam lapisan pasir sebagai penopang utama bangunan. Sistem ini umum diterapkan di kawasan pesisir karena mudah dibangun dan sesuai dengan kondisi tanah yang berpasir. Namun, fondasi ini rentan mengalami penggerusan pasir (*scouring*), pelapukan akibat paparan air laut, serta penurunan stabilitas struktur saat terjadi gelombang atau abrasi, menurut Das (2019). Gambar berikut menunjukkan kondisi pondasi tiang kayu yang ditanam di dalam pasir pada bangunan di kawasan Pantai Warna Oesapa.

Fondasi tipe 1 dan 2 akan berdampak sangat merusak karena kombinasi gaya angkat pada tiang, erosi pasir oleh gelombang, dan korosi pada kayu.

Sistem Struktur

Sistem struktur atas seluruh bangunan 6 kafe menggunakan kayu lokal sebagai elemen utama. Hasil observasi menunjukkan karakteristik berikut:

Tabel 3. Sistem struktur atap
Sistem Struktur Atap

1		3	4	5	6
					
Sambungan sederhana	Tanpa sistem bracing	Tanpa sistem bracing	Sambungan sederhana	Sambungan sederhana	Tanpa sistem bracing

(Sumber : Olahan pribadi 2026)

1. Sistem bracing ditemukan pada 3 dari 6 bangunan (50%). Bangunan tersebut tidak memiliki pengaku diagonal (*cross bracing*) yang memadai untuk menahan gaya lateral.
2. Sambungan sederhana ditemukan pada 3 dari 6 bangunan (50%), dengan jenis sambungan berupa paku, baut, dan pasak tanpa dilengkapi pelat pengikat maupun sistem *interlock* seperti pada konstruksi tradisional Suku Bajo. Gejala pergeseran struktur ditunjukkan oleh kemiringan kolom sebesar 2–5° dari posisi vertikal, bahkan pada beberapa bangunan telah terjadi kerusakan pada elemen kolom. Kondisi ini menunjukkan bahwa struktur mengalami pengaruh beban lateral berulang yang tidak dapat ditahan

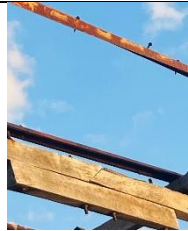
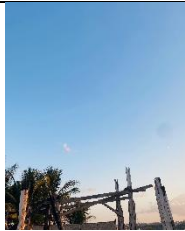
secara memadai oleh sistem struktur. Temuan tersebut memperkuat pendapat Song et al. (2020) bahwa konstruksi kayu tanpa sistem *bracing* memiliki kerentanan tinggi terhadap gaya lateral.

Sistem Atap

Seluruh bangunan menggunakan sistem atap ringan dengan penutup dominan berupa seng gelombang galvanis. Kemiringan atap berkisar antara 5–15 derajat dengan overhang 0,5–1,5 meter. Hasil observasi menemukan:

1. Pencabutan lembaran atap sebanyak 1 dari 6 bangunan (17%) mengalami kerusakan berupa pencabutan sebagian lembaran atap akibat terpaan angin kencang. Kondisi ini diduga dipengaruhi oleh penggunaan pengikat berupa paku yang telah mengalami korosi sehingga kapasitas tariknya menurun (Song et al., 2020).
2. Perubahan bentuk rangka atap sebanyak 1 dari 6 bangunan (17%) menunjukkan perubahan bentuk pada rangka atap berupa kemiringan atau lendutan yang mengindikasikan terjadinya penurunan kekakuan struktur akibat pembebanan atau degradasi material.
3. Kerusakan struktur sebanyak 1 dari 6 bangunan (17%) ditandai dengan kerusakan pada elemen-elemen utama sehingga memengaruhi kestabilan dan fungsi bangunan.
4. Kondisi atap masih baik: sebanyak 3 dari 6 bangunan (50%) memiliki kondisi atap yang masih baik, tanpa ditemukan kerusakan signifikan pada penutup maupun rangka atap selama proses observasi.

Table 4. Sistem Atap

Atap					
1		3	4	5	6
					
Korosi atau paku karat	Perubahan bentuk atap	Atap rusak	Atap baik	Atap baik	Atap baik

(Sumber : Olahan pribadi 2026)

Material dan Ketahanan Korosi

Material kayu sebagai elemen utama menunjukkan tingkat degradasi yang bervariasi. Bagian kayu yang paling rentan adalah bagian yang bersentuhan langsung dengan pasir dan air laut.

- 47% bangunan mengalami pelapukan tingkat sedang.
- 33% bangunan mengalami pelapukan tingkat berat.
- 20% bangunan masih dalam kondisi baik (umumnya berusia < 2 tahun).

Tabel 5. Ketahanan Korosi

Ketahanan Korosi					
1	2	3	4	5	6
					
Pelapukkan Tingkat sedang	Pelapukkan Tingkat berat	Pelapukkan Tingkat berat	Bangunan masih baik	Bangunan masih baik	Pelapukkan Tingkat sedang

(Sumber : Olahan Pribadi 2026)

Elemen logam seperti paku dan baut mengalami korosi yang sangat cepat akibat paparan udara laut yang mengandung garam. Korosi menurunkan kapasitas tarik paku dan baut, sehingga pengikat menjadi kurang efektif. Hal ini sejalan dengan temuan Song et al. (2020) bahwa kualitas dan mutu sambungan logam sangat memengaruhi kapasitas uplift sistem atap secara keseluruhan.

Konteks Kerentanan Regional

Hasil analisis menunjukkan bahwa kejadian siklon tropis seperti Siklon Tropis Seroja pada April 2021 telah menyebabkan perubahan signifikan pada garis pantai di kawasan NTT (Zikri et al., 2024). Meskipun Pantai Oesapa tidak secara langsung terdampak Seroja, kombinasi kecepatan angin musiman 28–30 knot (Adjam & Renoat, 2017), kejadian rob historis 70 cm (Saraswati et al., 2021), dan potensi abrasi siklon tropis (Zikri et al., 2024) menjadikan kawasan ini memiliki profil risiko tinggi yang memerlukan strategi adaptasi yang komprehensif. Kebijakan pengelolaan wilayah pesisir Indonesia (Undang-Undang Nomor 27 Tahun 2007 tentang Pengelolaan Wilayah Pesisir dan Pulau-Pulau Kecil, 2007; Riti, 2025) menjadi landasan regulasi yang harus diintegrasikan ke dalam setiap rekomendasi desain.

Analisis Kerentanan Bangunan

Kerentanan bangunan kafe kayu di Pantai Oesapa dapat dikategorikan ke dalam empat aspek utama yang saling memperkuat:

Tabel 6. Aspek Kerentanan dan Indikator Temuan Lapangan

Aspek Kerentanan	Indikator Utama	Temuan Dominan	Mitigasi
Pondasi	Jenis dan kedalaman tiang	Tiang kayu dangkal pada pasir tanpa tulangan	Tiang dalam dengan material tahan korosi
Struktur	Bracing dan sambungan	Tidak ada bracing, sambungan sederhana	Bracing diagonal dan interlock Bajo
Atap	Material dan sistem pengikat	Seng gelombang, pengikat terbatas	Hurricane strap dan profil trapesium
Lokasi	Jarak dari garis pantai	Terlalu dekat, tanpa zona penyangga	Zona penyangga mangrove dan elevasi

(Sumber: Olahan Pribadi 2026)

Strategi Adaptasi Arsitektur Resilien

Berdasarkan analisis kerentanan dan konteks kawasan, strategi adaptasi disusun dalam lima komponen utama:

Penguatan Sistem Pondasi

Pondasi kayu eksisting yang rentan terhadap erosi dan korosi perlu diganti dengan sistem pondasi yang lebih tahan terhadap kondisi lingkungan pesisir. Rahim (Rahim, 2019) menjelaskan bahwa strategi adaptasi Bajo terbukti bertahan puluhan tahun melalui penggunaan tiang dalam dari kayu keras yang ditancapkan ke dasar laut dengan sistem interlocking. Saman dan Kaharu (Saman & Kaharu, 2025) menambahkan bahwa prinsip meta-analisis terhadap konstruksi Bajo menunjukkan bahwa tiang dengan kedalaman yang memadai memungkinkan bangunan tetap stabil saat terjadi hempasan gelombang.

Pilihan sistem pondasi yang dapat diterapkan meliputi:

Tabel 7. Penguatan sistem pondasi

Sistem Pondasi	Karakteristik	Tingkat Resiliensi	Cocok untuk
Pondasi tiang kayu	Tiang kayu keras ditanam ke tanah atau dasar laut	Tinggi jika menggunakan kayu tahan air laut	Permukiman tradisional Bajo
Pondasi tiang pancang beton	Beton bertulang dipancang hingga tanah keras	Sangat tinggi	Bangunan permanen di pesisir
Pondasi tiang baja (steel pile)	Baja galvanis atau baja berlapis antikarat	Tinggi	Dermaga dan bangunan pesisir
Helical/Screw Pile	Tiang berbentuk ulir yang diputar ke dalam tanah	Tinggi, pemasangan cepat dan minim getaran	Tanah lunak dan bangunan ringan

Pondasi kombinasi (hybrid)	Kombinasi beton, baja, dan kayu	Sangat tinggi	Bangunan modern yang mengadopsi arsitektur Bajo
----------------------------	---------------------------------	---------------	---

(Sumber: Olahan Pribadi 2026)

Peningkatan Elevasi Bangunan

Peningkatan elevasi bangunan direkomendasikan sebagai strategi adaptasi untuk mengurangi risiko kerusakan akibat banjir rob, gelombang, dan penggerusan pasir di kawasan pesisir. Berdasarkan kondisi eksisting, beberapa bangunan masih berada sejajar dengan permukaan tanah sehingga lebih rentan terhadap genangan. Oleh karena itu, elevasi lantai bangunan direkomendasikan minimal lebih tinggi dari tinggi genangan rob yang pernah tercatat, yaitu sekitar 1,5 m, dengan tetap mempertimbangkan tambahan *freeboard* sesuai kondisi tapak agar memberikan faktor keamanan terhadap kenaikan muka air dan gelombang di masa mendatang. Strategi ini sejalan dengan konsep arsitektur resilien yang menekankan kemampuan bangunan untuk mengurangi risiko kerusakan dan mempertahankan fungsinya saat menghadapi gangguan lingkungan (Vale & Campanella, 2005).

Penguatan Struktur dengan Bracing

Penguatan struktur melalui penambahan *bracing* direkomendasikan untuk meningkatkan kekakuan dan kestabilan bangunan dalam menahan gaya lateral akibat angin. Berdasarkan hasil observasi, sebanyak 3 dari 6 bangunan (50%) belum menggunakan sistem *bracing*, sehingga struktur lebih rentan mengalami pergeseran dan deformasi saat menerima beban angin berulang. Oleh karena itu, pemasangan *bracing* diagonal pada kolom dan balok direkomendasikan untuk meningkatkan kemampuan struktur dalam mendistribusikan beban lateral serta mengurangi risiko kerusakan struktur. Strategi ini didukung oleh penelitian Song et al. (2020) yang menyatakan bahwa sistem pengaku (*bracing*) merupakan salah satu metode yang efektif untuk meningkatkan kekakuan dan ketahanan struktur kayu terhadap beban angin.

Modifikasi Sistem Atap

Modifikasi sistem atap direkomendasikan untuk meningkatkan ketahanan bangunan terhadap gaya angkat (*wind uplift*) akibat angin kencang di kawasan pesisir. Berdasarkan hasil observasi, sebagian bangunan mengalami kerusakan berupa lembaran atap yang tercabut dan perubahan bentuk rangka atap yang mengindikasikan rendahnya kapasitas sistem pengikat. Oleh karena itu, diperlukan penguatan sistem atap melalui penggunaan pengikat tambahan (*hurricane strap*), peningkatan kualitas sambungan, serta pembatasan overhang atap untuk mengurangi gaya angkat akibat angin. Strategi ini sejalan dengan penelitian Song et al. (2020) yang menyatakan bahwa penguatan sistem sambungan dan penggunaan pengikat tambahan mampu meningkatkan ketahanan atap terhadap beban angin serta mengurangi potensi kegagalan struktur akibat *wind uplift*.

Pembentukan Zona Penyangga Vegetasi

Pembentukan zona penyangga vegetasi direkomendasikan sebagai strategi adaptasi untuk mengurangi dampak gelombang, angin, dan abrasi terhadap bangunan di kawasan pesisir. Berdasarkan hasil observasi, bangunan kafe di Pantai Warna Oesapa umumnya berada dekat garis pantai tanpa vegetasi pelindung, sehingga lebih rentan terhadap paparan langsung gelombang dan angin. Oleh karena itu, diperlukan pembentukan zona penyangga melalui penanaman vegetasi pesisir, seperti mangrove dan cemara laut, sebagai pelindung alami yang mampu meredam energi gelombang, mengurangi kecepatan angin, serta membantu menstabilkan sedimen pantai. Strategi ini didukung oleh Temmerman et al. (2022) yang menyatakan bahwa vegetasi pesisir berperan sebagai *nature-based coastal defense* yang efektif dalam meredam gelombang dan mengurangi risiko kerusakan di kawasan pesisir.

Konsep Desain Arsitektur Resilien "Kafe Panggung Resilien Oesapa"

Konsep desain yang direkomendasikan mengintegrasikan seluruh strategi adaptasi menjadi satu solusi desain yang holistik:

1. Konsep desain menggunakan sistem pondasi tiang pancang beton bertulang (*reinforced concrete pile foundation*) yang ditanam hingga mencapai lapisan tanah keras untuk meningkatkan stabilitas bangunan terhadap beban vertikal, gaya lateral, serta potensi erosi di kawasan pesisir.



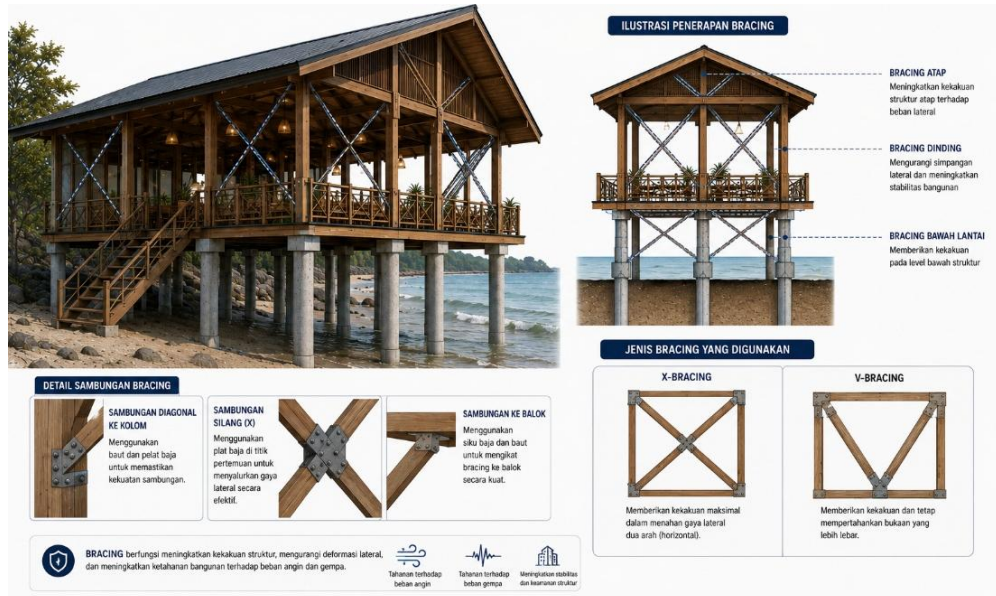
Gambar 2. Konsep Peningkatan Elevasi untuk Kafe Kayu Pantai
(Sumber: Generate AI 2026)

- Konsep desain menerapkan tipologi bangunan panggung dengan elevasi lantai di atas tinggi genangan rob yang pernah tercatat (± 150 cm) sebagai strategi adaptasi untuk mengurangi risiko genangan dan gelombang di kawasan pesisir.



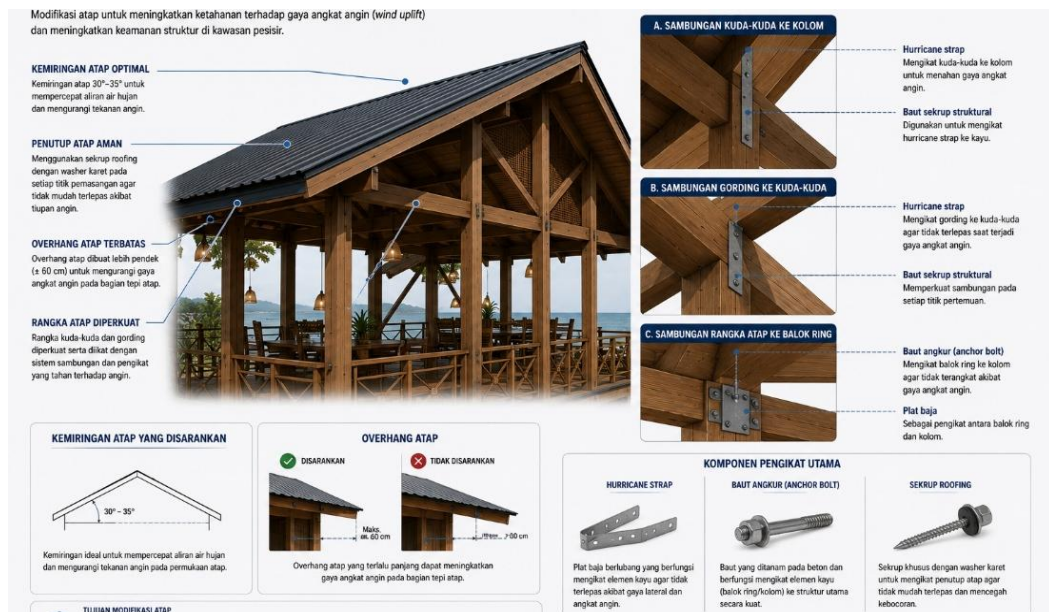
Gambar 3. Konsep Peningkatan Elevasi untuk Kafe Kayu Pantai
(Sumber: Generate AI 2026)

- Konsep desain menggunakan sistem cross bracing (X-Bracing) pada kolom dan balok untuk meningkatkan kekakuan struktur dalam menahan gaya lateral akibat angin serta meningkatkan stabilitas bangunan di kawasan pesisir.



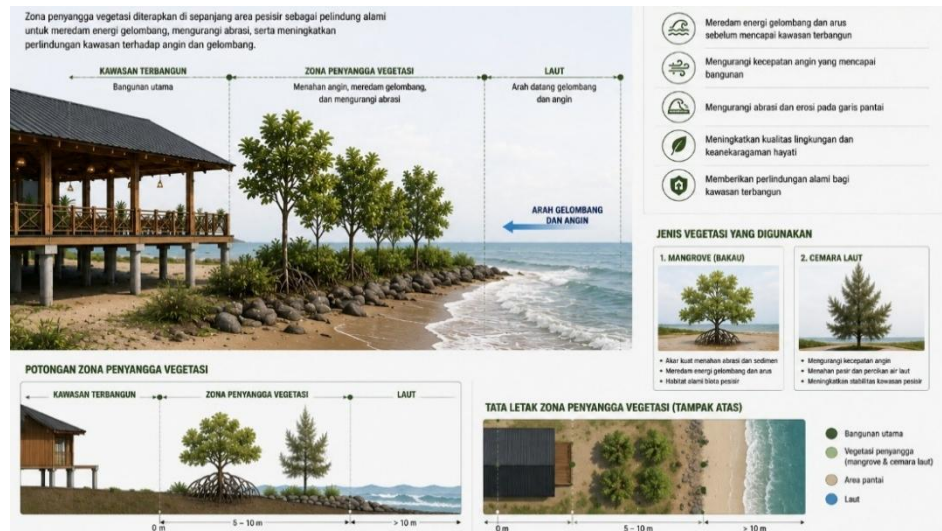
Gambar 4. Konsep Peningkatan Elevasi untuk Kafe Kayu Pantai
(Sumber: Generate AI 2026)

- Konsep desain menggunakan atap pelana dengan kemiringan yang disesuaikan, dilengkapi sistem pengikat berupa hurricane strap, baut ankur (*anchor bolt*), dan sekrup roofing untuk memperkuat sambungan rangka serta meningkatkan ketahanan atap terhadap gaya angkat (*wind uplift*) akibat angin kencang.



Gambar 5. Konsep Peningkatan Elevasi untuk Kafe Kayu Pantai
(Sumber : Generate Ai 2026)

- Konsep desain menerapkan zona penyangga vegetasi berupa mangrove dan cemara laut di sepanjang area pesisir sebagai pelindung alami untuk meredam energi gelombang, mengurangi abrasi, serta meningkatkan perlindungan kawasan terhadap pengaruh angin dan gelombang.



Gambar 7. Konsep Peningkatan Elevasi untuk Kafe Kayu di Pantai

(Sumber: Generate Ai 2026)

Implikasi Kebijakan dan Rekomendasi Implementasi

Hasil penelitian ini memiliki implikasi penting bagi kebijakan pengelolaan kawasan wisata pesisir di Kupang. Pertama, implementasi Perda Rencana Induk Kepariwisata Kota Kupang 2019–2025 (Awa et al., 2025) perlu disertai dengan panduan teknis bangunan pesisir yang adaptif. Kedua, regulasi sempadan pantai (Undang-Undang Nomor 27 Tahun 2007 tentang Pengelolaan Wilayah Pesisir dan Pulau-Pulau Kecil, 2007; Riti, 2025) perlu ditegakkan melalui mekanisme pengawasan yang ketat, terutama di kawasan wisata yang berkembang pesat. Ketiga, ancaman spesifik berupa kecepatan angin 28–30 knot (Adjam & Renoat, 2017), kejadian rob 70 cm (Saraswati et al., 2021), dan potensi siklon tropis (Zikri et al., 2024) perlu menjadi dasar perhitungan desain untuk seluruh bangunan baru di kawasan ini.

Untuk pemilik kafe dan investor, strategi implementasi disarankan secara bertahap dengan memperhatikan keterbatasan modal:

- **Prioritas 1.** Perbaikan atap dengan penambahan *hurricane strap*, kontrol overhang, dan pengikat tambahan sesuai rekomendasi wind-uplift fragility (Song et al., 2020).
- **Prioritas 2.** Penguatan struktur dengan penambahan bracing lateral pada kolom dan balok.
- **Prioritas 3.** Penggantian sistem pondasi dan peningkatan elevasi bangunan secara bertahap.

Pendekatan bertahap ini memungkinkan perbaikan berkelanjutan tanpa mengganggu operasional usaha. Pada tahap selanjutnya, adopsi teknologi bracing dan peningkatan kualitas sambungan sesuai dengan referensi arsitektur Bajo (Rahim, 2019; Saman & Kaharu, 2025) dapat meningkatkan ketahanan struktur secara signifikan.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan, dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. **Kondisi Eksisting.** Bangunan kafe kayu di Kawasan Pantai Warma Oesapa memiliki tingkat kerentanan yang tinggi terhadap gelombang tinggi dan angin musiman. Sistem pondasi dangkal dengan tiang kayu di atas pasir terbukti rentan terhadap erosi dan pembusukan; struktur kayu tanpa bracing tidak mampu menahan gaya lateral angin, dan sistem atap seng gelombang konvensional dengan pengikat terbatas mengalami kegagalan tarik ke atas berulang kali. Material kayu dan logam mengalami degradasi yang signifikan akibat paparan lingkungan pesisir.
2. **Faktor Kerentanan.** Kerentanan bangunan disebabkan oleh 4 faktor utama yang saling memperkuat, yaitu sistem pondasi yang tidak memadai, struktur tanpa bracing diagonal, atap tanpa pengikat khusus (*hurricane strap*), serta posisi bangunan yang terlalu dekat dengan garis pantai tanpa zona penyangga. Ancaman peningkatan risiko akibat perubahan iklim juga menjadi perhatian penting.
3. **Strategi Adaptasi.** Strategi adaptasi arsitektur resilien yang efektif meliputi: (a) peningkatan sistem pondasi dengan tiang tahan korosi, (b) peningkatan elevasi bangunan dengan konsep

panggung pesisir sesuai prinsip Bajo, (c) penguatan struktur lateral melalui penambahan bracing diagonal, (d) modifikasi sistem atap dengan pengikat tambahan dan kontrol overhang sesuai rekomendasi wind-uplift fragility (Song et al., 2020), dan (e) pembentukan zona penyangga berbasis vegetasi mangrove sebagai pemecah gelombang alami (Temmerman et al., 2022). Konsep desain "Kafe Panggung Resilien Oesapa" yang mengintegrasikan strategi adaptasi Bajo (Rahim, 2019; Saman & Kaharu, 2025) dengan penguatan sistem atap tahan gaya angkat (Song et al., 2020) dan perlindungan alami berbasis mangrove (Temmerman et al., 2022) menjadi solusi holistik yang konsisten dengan regulasi pesisir Indonesia (Undang-Undang Nomor 27 Tahun 2007 Tentang Pengelolaan Wilayah Pesisir Dan Pulau-Pulau Kecil, 2007; Riti, 2025) dan perda kepariwisataan Kupang (Awa et al., 2025).

SARAN

1. **Bagi Pemilik Kafe.** Melakukan evaluasi berkala terhadap kondisi struktur bangunan dan segera mengganti elemen kayu yang telah lapuk atau sambungan yang terlepas. Prioritaskan perbaikan atap dengan penambahan *hurricane strap* sebagai langkah paling efektif untuk mengurangi risiko *wind-uplift* (Song et al., 2020).
2. **Bagi Pemerintah Daerah.** Menyusun pedoman pembangunan bangunan wisata pesisir yang adaptif, dengan mengintegrasikan standar SNI 1727:2020 untuk beban angin, SNI 1726:2019 untuk beban gempa, serta regulasi pengelolaan wilayah pesisir sesuai UU No. 27/2007 (Undang-Undang Nomor 27 Tahun 2007 tentang Pengelolaan Wilayah Pesisir dan Pulau-Pulau Kecil, 2007) dan Perpres No. 51/2016 (Riti, 2025).
3. **Bagi Penelitian Lanjutan.** Mengembangkan analisis kuantitatif beban angin (SNI 1727:2020) dan gelombang untuk kafe kayu pesisir, melakukan studi komparatif terhadap kegagalan arsitektur Bajo, serta melakukan monitoring erosi garis pantai di kawasan Pantai Oesapa secara berkala untuk mengantisipasi dampak perubahan iklim.

REFERENSI

- Adjam, R. M. O., & Renoat, E. (2017). Vegetasi lanskap jalan sebagai pereduksi aliran angin di Kota Kupang. *Jurnal Lanskap Indonesia*, 9(1), 63–72. <https://doi.org/10.29244/jli.v9i1.15372>
- Awa, P. A., Yohanes, S., & Tupen, R. R. (2025). Efektivitas pelaksanaan Peraturan Daerah Kota Kupang Nomor 4 Tahun 2019 tentang Rencana Induk Kepariwisata Kota Tahun 2019–2025 di Pantai Nunsui Oesapa dalam upaya meningkatkan pendapatan asli daerah Kota Kupang. *Petition Law Journal*, 2(2), 621–634. <https://doi.org/10.35508/pelana.v2i2.20817>
- Rahim, M., Basri, A., & Fauzi, H. (2019). Identification of construction system and arrangement of Bajo tribe settlement based on local wisdom and environmentally friendly. *International Journal of GEOMATE*, 17(64), 261–266.
- Republik Indonesia. (2007). *Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 27 Tahun 2007 tentang pengelolaan wilayah pesisir dan pulau-pulau kecil*. Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2007 Nomor 84.
- Riti, K. D. (2025). Land control in the beach border area according to Presidential Regulation No. 51 of 2016. *Jurnal Daulat Hukum*, 8(2), 108–119. <https://doi.org/10.30659/jdh.v8i2.44843>
- Saman, S., & Kaharu, A. (2025). Structural adaptation and sustainability of Bajo architecture in Indonesia: A meta-analysis of traditional maritime construction innovations. *International Journal of Innovative Science and Research Technology*, 10(10). <https://doi.org/10.38124/ijisrt/25oct990>
- Saraswati, S. A., Toruan, L. N. L., Suteja, Y., Karmen, D., & Wijaya, P. E. P. (2021). Rob potential in the coastal city of Kupang, East Nusa Tenggara (NTT). *Journal of Aquaculture and Fish Health*, 10(3), 304–310. <https://doi.org/10.20473/jafh.v10i3.23463>
- Shi, P., Ye, T., Wang, Y., Zhou, T., Xu, W., Du, J., Wang, J., Li, N., Huang, C., Liu, L., Chen, B., Fang, W., Wang, M., Hu, X., Wu, J., Zhang, Q., Ye, Q., & Okada, N. (2020). Disaster risk science: A geographical perspective and a research framework. *International Journal of Disaster Risk Science*, 11, 426–440. <https://doi.org/10.1007/s13753-020-00296-5>
- Song, B., Galasso, C., & Garciano, L. E. O. (2020). Wind-uplift fragility analysis of roof sheathing for cultural heritage assets in the Philippines. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 51, 101753. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2020.101753>

- Temmerman, S., Horstman, E. M., Krauss, K. W., Mullarney, J. C., Pelckmans, I., & Schoutens, K. (2023). Marshes and mangroves as nature-based coastal storm buffers. *Annual Review of Marine Science*, 15, 95–118. <https://doi.org/10.1146/annurev-marine-040422-092951>
- Vale, L. J., & Campanella, T. J. (Eds.). (2005). *The resilient city: How modern cities recover from disaster*. Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/oso/9780195175844.001.0001>
- Zikri, M. A., Al Farrosi, A. I., Rahmadani, N. F., & Nugraheni, I. R. (2024). Analisis perubahan garis pantai akibat terjadinya Siklon Tropis Seroja di Pulau Sabu Nusa Tenggara Timur. *Jurnal Kelautan*, 17(2), 97–108. <https://doi.org/10.21107/jk.v17i2.24748>