



Inventa: Journal of Science, Technology, and Innovation

Vol 2 No 1 August 2026, Hal 296-309
ISSN: 3123-3147 (Print) ISSN: 3123-3155 (Electronic)
Open Access: <https://scriptaintelektual.com/inventa>

Analisis Mutu dan Kinerja Bangunan Penahan Ombak di Kawasan Pantai Panjang Provinsi Bengkulu

Cok Da Gibson^{1*}, Buyung Mantap²

^{1,2}Universitas Ratu Samban, Indonesia
email: cokdagibson@gmail.com

Article Info :

Received:
09-07-2026
Revised:
29-07-2026
Accepted:
01-08-2026

Abstract

Pantai Panjang in Bengkulu Province is a strategic coastal area that supports tourism, local economic activities, and environmental protection but is highly vulnerable to wave attack and coastal erosion due to its direct exposure to the Indian Ocean. This study aims to evaluate the construction quality and performance of rubble mound breakwaters in reducing wave energy and controlling shoreline erosion. An empirical descriptive approach was employed through field observations, measurements at six observation points, drone documentation, interviews, and secondary data analysis. Construction quality was assessed based on material suitability, structural geometry, and damage level, while performance evaluation focused on wave attenuation, abrasion reduction, and overtopping occurrence. The results indicate that most breakwater segments remain in good condition, with an average wave transmission coefficient of 0.32 and approximately 63% reduction in shoreline erosion. Lower performance was identified at locations with inadequate material dimensions and reduced crest elevation. The findings emphasize the importance of regular maintenance and periodic performance evaluation to sustain the long-term effectiveness of coastal protection structures.

Keywords: Breakwater, Coastal Erosion, Coastal Protection, Construction Quality, Pantai Panjang.

Akstrak

Pantai Panjang di Provinsi Bengkulu merupakan kawasan pesisir yang strategis karena mendukung sektor pariwisata, aktivitas ekonomi masyarakat, dan perlindungan lingkungan, namun memiliki tingkat kerentanan yang tinggi terhadap gelombang laut dan abrasi akibat berhadapan langsung dengan Samudra Hindia. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi mutu konstruksi dan kinerja bangunan penahan ombak tipe *rubble mound breakwater* dalam mereduksi energi gelombang dan mengendalikan abrasi pantai. Penelitian menggunakan pendekatan deskriptif empiris melalui observasi lapangan, pengukuran pada enam titik pengamatan, dokumentasi menggunakan wahana nirawak (*drone*), wawancara, dan analisis data sekunder. Penilaian mutu dilakukan berdasarkan kesesuaian material, geometri struktur, dan tingkat kerusakan, sedangkan evaluasi kinerja difokuskan pada kemampuan bangunan dalam meredam gelombang, mengurangi abrasi, dan mencegah terjadinya *overtopping*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sebagian besar segmen bangunan masih berada dalam kondisi baik dengan nilai rata-rata koefisien transmisi gelombang sebesar 0,32 serta mampu menurunkan laju abrasi sekitar 63%. Kinerja yang lebih rendah ditemukan pada lokasi yang memiliki dimensi material tidak sesuai dan elevasi puncak bangunan yang menurun. Temuan penelitian menegaskan pentingnya pemeliharaan berkala dan evaluasi kinerja secara berkelanjutan untuk menjaga efektivitas bangunan pelindung pantai dalam jangka panjang.

Kata Kunci: Abrasi Pantai, Bangunan Penahan Ombak, Mutu Konstruksi, Perlindungan Pantai, Pantai Panjang.



©2022 Authors.. This work is licensed under a Creative Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.
(<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>)

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara maritim dengan garis pantai terpanjang kedua di dunia sehingga memiliki kawasan pesisir yang memegang peranan strategis dalam mendukung pembangunan ekonomi, pariwisata, transportasi, serta keberlanjutan ekosistem laut. Karakteristik wilayah pesisir yang menjadi zona pertemuan antara daratan, lautan, dan atmosfer menyebabkan kawasan ini mengalami perubahan morfologi secara terus-menerus sebagai akibat interaksi gelombang, arus, angin, dan proses sedimentasi yang berlangsung secara dinamis (Komar, 1998). Perubahan tersebut semakin kompleks seiring

meningkatnya intensitas kejadian cuaca ekstrem dan kenaikan muka air laut yang memperbesar risiko abrasi, kerusakan infrastruktur, serta degradasi lingkungan pesisir pada berbagai wilayah pantai di Indonesia. Kondisi tersebut mendorong berkembangnya berbagai pendekatan rekayasa pantai yang tidak lagi hanya berorientasi pada pembangunan struktur pelindung, tetapi juga pada kemampuan struktur mempertahankan fungsi perlingkungannya dalam jangka panjang melalui kualitas konstruksi dan sistem pemeliharaan yang memadai (Sulaiman, 2021). Bangunan penahan ombak (breakwater) menjadi salah satu infrastruktur yang paling banyak diterapkan karena mampu mereduksi energi gelombang sebelum mencapai garis pantai sehingga dapat mengurangi potensi abrasi dan menjaga stabilitas kawasan pesisir. Keberhasilan bangunan tersebut dipengaruhi oleh kesesuaian desain hidraulik, mutu material, dimensi struktur, serta kondisi operasional yang harus memenuhi persyaratan teknis sebagaimana diatur dalam standar nasional perencanaan bangunan pelindung pantai (Badan Standardisasi Nasional, 2016). Atas dasar tersebut, evaluasi terhadap mutu dan kinerja bangunan penahan ombak menjadi bagian penting dalam pengelolaan infrastruktur pesisir karena menentukan tingkat keandalan struktur dalam memberikan perlindungan secara berkelanjutan.

Perkembangan penelitian mengenai bangunan pelindung pantai menunjukkan bahwa penilaian terhadap keberhasilan suatu struktur telah mengalami perubahan dari sekadar menilai kondisi fisik menjadi evaluasi yang mempertimbangkan efektivitas fungsi, ketahanan struktur, serta pengaruh kondisi oseanografi terhadap performa bangunan. Penelitian mengenai perencanaan bangunan pelindung pantai di kawasan pesisir Besuki menunjukkan bahwa pemilihan tipe breakwater harus disesuaikan dengan karakteristik gelombang dan kondisi pantai agar mampu memberikan perlindungan yang optimal terhadap abrasi (Akbar et al., 2023). Hasil penelitian lain memperlihatkan bahwa efektivitas bangunan penahan ombak tidak hanya ditentukan oleh desain awal, tetapi juga dipengaruhi oleh kualitas pelaksanaan konstruksi dan pemeliharaan selama masa operasional sehingga penurunan mutu bangunan dapat berdampak langsung terhadap penurunan fungsi perlingkungannya (Azima et al., 2023). Sejalan dengan perkembangan tersebut, pendekatan evaluasi mutakhir mulai mengintegrasikan indeks kinerja, tingkat kerusakan struktur, serta kemampuan bangunan dalam mereduksi energi gelombang sebagai indikator keberhasilan infrastruktur pesisir secara lebih komprehensif (Alharis et al., 2025). Perubahan paradigma tersebut menunjukkan bahwa mutu konstruksi dan kinerja bangunan merupakan dua aspek yang saling berkaitan dan tidak dapat dievaluasi secara terpisah apabila tujuan penilaian diarahkan untuk mendukung keberlanjutan fungsi bangunan. Pemahaman yang komprehensif mengenai hubungan antara kedua aspek tersebut menjadi semakin penting karena dapat menjadi dasar dalam menentukan strategi pemeliharaan, rehabilitasi, maupun peningkatan kualitas bangunan pelindung pantai pada berbagai karakteristik wilayah pesisir.

Meskipun penelitian mengenai bangunan pelindung pantai telah berkembang cukup pesat, sebagian besar kajian masih berfokus pada evaluasi aspek tertentu, seperti efektivitas reduksi gelombang, kondisi fisik struktur, atau stabilitas geometri bangunan secara terpisah. Evaluasi bangunan pengaman pantai di Pantai Batu Mejan menunjukkan bahwa perubahan geometri dan kerusakan lokal mampu menurunkan efektivitas perlindungan pantai meskipun secara umum struktur masih berada dalam kondisi yang layak berfungsi (Ardhanaresvari et al., 2025). Penelitian mengenai sistem revetment dan tetrapod di Kabupaten Sampang juga menegaskan bahwa pemilihan tipe bangunan harus disesuaikan dengan karakteristik pantai, namun keterkaitan antara mutu pelaksanaan konstruksi dan kinerja struktur selama masa layan belum dianalisis secara mendalam (Kerthajaya & Novianingtyas, 2026). Kajian probabilistik terhadap kinerja *seawall* memperlihatkan bahwa perubahan muka air laut, limpasan gelombang (*wave overtopping*), dan ketidakpastian kondisi hidrodinamika dapat memengaruhi tingkat keandalan struktur sehingga evaluasi bangunan perlu dilakukan secara lebih komprehensif dengan mempertimbangkan berbagai parameter yang saling berinteraksi (Mas'ud M et al., 2026). Perbedaan fokus, metode penilaian, serta indikator yang digunakan pada berbagai penelitian tersebut menunjukkan masih adanya kesenjangan konseptual dalam menghubungkan mutu konstruksi dengan kinerja operasional bangunan penahan ombak sebagai satu sistem evaluasi yang terpadu. Kesenjangan tersebut menyebabkan rekomendasi pemeliharaan maupun rehabilitasi sering kali hanya didasarkan pada kondisi visual bangunan tanpa mempertimbangkan tingkat pelayanan struktur terhadap fungsi perlindungan pantai secara menyeluruh.

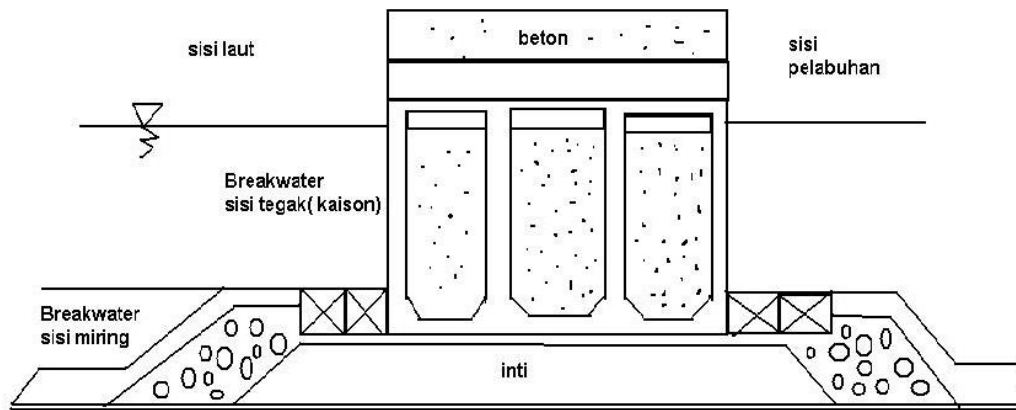
Urgensi penelitian ini semakin kuat apabila dikaitkan dengan kondisi Pantai Panjang Provinsi Bengkulu yang merupakan salah satu kawasan pesisir strategis karena berfungsi sebagai destinasi wisata, ruang publik, sekaligus penunjang aktivitas ekonomi masyarakat. Pantai Panjang memiliki garis

pantai sekitar tujuh kilometer yang berbatasan langsung dengan Samudra Hindia sehingga menerima paparan gelombang dengan energi relatif tinggi, terutama pada musim barat, yang berpotensi mempercepat abrasi serta meningkatkan risiko kerusakan infrastruktur pesisir (Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika, 2025). Kondisi tersebut menjadikan keberadaan bangunan penahan ombak sebagai elemen penting dalam menjaga stabilitas garis pantai, melindungi fasilitas umum, dan mempertahankan keberlanjutan fungsi kawasan pesisir. Laporan pemeliharaan infrastruktur Pantai Panjang menunjukkan bahwa beberapa segmen bangunan pelindung pantai telah mengalami penurunan kondisi sehingga diperlukan evaluasi yang mampu menggambarkan tingkat mutu dan kinerja bangunan secara objektif sebagai dasar penentuan prioritas penanganan (Dinas Pekerjaan Umum dan Penataan Ruang Provinsi Bengkulu, 2024). Di sisi lain, potensi Pantai Panjang sebagai kawasan ekowisata memerlukan dukungan infrastruktur pelindung yang andal agar keseimbangan antara perlindungan lingkungan dan pemanfaatan kawasan dapat dipertahankan secara berkelanjutan (Muqsit et al., 2020). Kondisi tersebut menunjukkan bahwa evaluasi terhadap mutu dan kinerja bangunan penahan ombak bukan hanya memiliki nilai akademik, tetapi juga memberikan manfaat praktis dalam mendukung pengelolaan kawasan pesisir yang lebih efektif.

Bangunan penahan ombak yang diterapkan di kawasan Pantai Panjang pada umumnya menggunakan tipe *rubble mound breakwater* karena dinilai lebih sesuai dengan karakteristik gelombang, kondisi dasar laut, serta ketersediaan material di wilayah pesisir Indonesia. Struktur ini tersusun atas lapisan pelindung (*armor layer*), lapisan penyaring (*filter layer*), lapisan inti (*core layer*), dan pelindung kaki bangunan (*toe protection*) yang bekerja secara terpadu dalam mereduksi energi gelombang sebelum mencapai garis pantai (Triatmodjo, 2013). Kinerja struktur tersebut sangat dipengaruhi oleh kualitas material, kesesuaian dimensi geometri, tingkat kerusakan, serta efektivitas pemeliharaan selama masa operasional. Untuk memperoleh gambaran yang komprehensif mengenai kondisi bangunan, penelitian ini menggunakan parameter evaluasi yang mencakup aspek mutu dan kinerja sebagaimana dirangkum pada Tabel 1. Konfigurasi dasar bangunan *rubble mound breakwater* yang menjadi objek evaluasi pada penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 1. Kerangka evaluasi tersebut menjadi landasan dalam menganalisis hubungan antara kondisi fisik bangunan dengan kemampuan struktur dalam menjalankan fungsi perlindungan pantai.

Tabel 1. Parameter Evaluasi Mutu dan Kinerja Bangunan Penahan Ombak

Aspek Evaluasi	Parameter	Indikator Penilaian
Mutu Bangunan	Material	Kesesuaian spesifikasi, berat jenis, kepadatan, ketahanan terhadap pelapukan dan retak
	Geometri Struktur	Tinggi puncak (<i>crest elevation</i>), lebar puncak, kemiringan lereng, dimensi lapisan pelindung
	Kondisi Fisik	Pergeseran batu, retakan, penurunan (<i>settlement</i>), kerusakan kaki bangunan (<i>toe scour</i>)
Kinerja Bangunan	Reduksi Gelombang	Kemampuan menurunkan tinggi gelombang yang melewati struktur
	Pengendalian Abrasi	Kemampuan mengurangi laju abrasi dan mempertahankan stabilitas garis pantai
	Stabilitas Struktur	Tingkat kerusakan selama masa operasional dan kemampuan mempertahankan fungsi perlindungan



Gambar 1. Skema Potongan Melintang Rubble Mound Breakwater

Penelitian ini menempatkan analisis mutu dan kinerja bangunan penahan ombak sebagai satu kerangka evaluasi yang terpadu untuk memperoleh gambaran menyeluruh mengenai tingkat keandalan struktur dalam melindungi kawasan pesisir Pantai Panjang Provinsi Bengkulu. Fokus penelitian diarahkan pada evaluasi kualitas material, kesesuaian geometri bangunan, kondisi kerusakan struktur, serta kemampuan bangunan dalam mereduksi energi gelombang dan mempertahankan stabilitas garis pantai selama masa operasionalnya. Pendekatan tersebut dipilih karena mampu menghubungkan kondisi fisik bangunan dengan tingkat pelayanan struktur sehingga hasil penilaian tidak hanya menggambarkan kondisi eksisting, tetapi juga menjelaskan faktor-faktor yang memengaruhi penurunan maupun keberlangsungan fungsi bangunan pelindung pantai. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan dasar ilmiah yang lebih kuat dalam penyusunan strategi pemeliharaan, rehabilitasi, maupun peningkatan kualitas bangunan penahan ombak pada kawasan pesisir yang memiliki karakteristik oseanografi serupa. Dari sisi teoretis, penelitian ini memperkuat konsep evaluasi terpadu yang mengintegrasikan aspek mutu konstruksi dan kinerja struktur sebagai indikator keberhasilan infrastruktur pelindung pantai. Dari sisi metodologis, penelitian ini menawarkan kerangka penilaian yang sistematis dan dapat direplikasi pada evaluasi bangunan penahan ombak di berbagai wilayah pesisir Indonesia sebagai bagian dari upaya mewujudkan pengelolaan infrastruktur pantai yang lebih efektif, adaptif, dan berkelanjutan.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan studi empiris dengan pendekatan deskriptif kuantitatif yang dipadukan dengan observasi lapangan, dokumentasi, wawancara, dan analisis data sekunder untuk mengevaluasi mutu serta kinerja bangunan penahan ombak di kawasan Pantai Panjang, Kota Bengkulu. Lokasi penelitian dipilih karena merupakan kawasan pesisir yang berbatasan langsung dengan Samudra Hindia sehingga memiliki karakteristik gelombang yang relatif tinggi dan rentan terhadap abrasi. Populasi penelitian meliputi seluruh bangunan penahan ombak tipe *rubble mound breakwater* yang berada di sepanjang Pantai Panjang, sedangkan sampel ditentukan menggunakan teknik purposive sampling berdasarkan posisi bangunan (pangkal, tengah, dan ujung pantai), tingkat kerusakan, serta kedekatan dengan fasilitas publik sehingga diperoleh enam titik pengamatan yang diberi kode P1 hingga P6. Pengumpulan data dilakukan melalui pengukuran dimensi struktur, observasi kondisi material, dokumentasi menggunakan wahana nirawak (*drone*), serta wawancara dengan pihak terkait mengenai riwayat pembangunan dan kegiatan pemeliharaan bangunan. Penilaian mutu bangunan dilakukan berdasarkan kesesuaian material, geometri struktur, dan tingkat kerusakan, sedangkan penilaian kinerja difokuskan pada kemampuan bangunan dalam mereduksi energi gelombang, mengurangi abrasi, dan mempertahankan stabilitas struktur sesuai pedoman evaluasi bangunan pelindung pantai (Badan Standardisasi Nasional, 2016; Triatmodjo, 2013). Pendekatan tersebut dipilih untuk menghasilkan evaluasi yang mampu menggambarkan kondisi eksisting bangunan secara menyeluruh serta menghubungkan kualitas konstruksi dengan tingkat kinerja struktur di lapangan.

Tabel 1. Klasifikasi Tingkat Kerusakan Bangunan Penahan Ombak

Kategori	Persentase Kerusakan	Interpretasi
Ringan	0–5%	Kerusakan bersifat minor dan tidak memengaruhi fungsi utama bangunan sehingga hanya memerlukan pemeliharaan rutin.
Sedang	>5–15%	Kerusakan mulai memengaruhi sebagian elemen struktur sehingga diperlukan tindakan perbaikan dalam jangka pendek agar tidak berkembang menjadi kerusakan yang lebih serius.
Berat	>15%	Kerusakan telah mengurangi fungsi bangunan secara signifikan sehingga diperlukan rehabilitasi atau rekonstruksi pada bagian struktur yang mengalami kegagalan.

Validasi hasil penelitian dilakukan melalui triangulasi antara hasil pengukuran lapangan, dokumentasi visual, wawancara, serta data sekunder sehingga setiap parameter dapat diverifikasi untuk meningkatkan konsistensi dan keandalan hasil analisis. Evaluasi kinerja bangunan dilakukan dengan membandingkan kondisi setiap titik pengamatan berdasarkan kemampuan struktur dalam mereduksi energi gelombang, mengendalikan abrasi, mempertahankan stabilitas fisik, serta tingkat kerusakan yang teridentifikasi selama observasi lapangan (Alharis et al., 2025). Seluruh data kuantitatif dianalisis menggunakan statistik deskriptif berupa nilai rata-rata, nilai maksimum, nilai minimum, dan persentase untuk membandingkan kondisi antar titik pengamatan, sedangkan hasil wawancara dianalisis secara deskriptif sebagai informasi pendukung dalam menjelaskan penyebab kerusakan maupun penurunan kinerja bangunan. Hasil analisis kemudian dibandingkan dengan standar teknis bangunan pelindung pantai untuk mengidentifikasi tingkat kesesuaian mutu dan tingkat pelayanan bangunan pada masing-masing lokasi pengamatan (Badan Standardisasi Nasional, 2016). Integrasi hasil observasi, pengukuran, dokumentasi, dan data pendukung menghasilkan proses evaluasi yang lebih komprehensif karena tidak hanya menggambarkan kondisi fisik bangunan, tetapi juga memberikan dasar yang objektif dalam menentukan kebutuhan pemeliharaan maupun rehabilitasi bangunan penahan ombak di kawasan Pantai Panjang Provinsi Bengkulu.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kondisi Umum Lokasi Penelitian dan Evaluasi Mutu Bangunan Penahan Ombak

Pantai Panjang merupakan kawasan pesisir utama di Provinsi Bengkulu yang memiliki garis pantai sepanjang ± 7 km dan secara langsung berhadapan dengan Samudra Hindia sehingga menerima paparan gelombang dengan intensitas yang relatif tinggi sepanjang tahun. Karakteristik oseanografi tersebut menjadikan kawasan ini rentan terhadap abrasi, perubahan morfologi pantai, serta kerusakan infrastruktur pesisir akibat interaksi antara gelombang, arus, dan pasang surut. Berdasarkan data pengamatan Stasiun Maritim Bengkulu, tinggi gelombang signifikan tahunan berada pada kisaran 1,5–2,5 m, sedangkan pada musim barat gelombang dapat mencapai 3–4 m dengan periode 8–12 detik yang meningkatkan tekanan hidrodinamik terhadap bangunan pelindung pantai (Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika, 2025). Kondisi tersebut menjadi pertimbangan utama dalam pembangunan bangunan penahan ombak tipe *rubble mound breakwater* yang mulai dikembangkan secara bertahap sejak tahun 2010 oleh Pemerintah Provinsi Bengkulu. Hingga saat penelitian dilakukan, panjang bangunan yang telah terbangun mencapai sekitar 3,2 km dan tersebar pada enam segmen utama yang berfungsi melindungi kawasan wisata, permukiman, serta fasilitas umum di sepanjang Pantai Panjang. Karakteristik fisik kawasan dan tingginya aktivitas sosial-ekonomi di wilayah pesisir menyebabkan evaluasi mutu bangunan menjadi penting untuk memastikan bahwa fungsi perlindungan pantai tetap berjalan secara optimal selama masa layan struktur.

Evaluasi mutu bangunan diawali dengan analisis terhadap kondisi material lapis pelindung karena komponen tersebut merupakan elemen pertama yang menerima gaya dampak gelombang laut. Pengukuran dilakukan pada enam titik pengamatan (P1–P6) melalui identifikasi diameter rata-rata batu pelindung dan estimasi berat material untuk mengetahui kesesuaiannya terhadap karakteristik gelombang di lokasi penelitian. Hasil pengamatan menunjukkan adanya variasi ukuran batu pada setiap segmen, yang mengindikasikan bahwa kondisi material tidak sepenuhnya seragam sebagai akibat dari

proses pembangunan maupun kegiatan pemeliharaan yang dilakukan secara bertahap. Variasi tersebut berpotensi memengaruhi stabilitas lapisan pelindung ketika menerima pembebanan gelombang berulang, terutama pada lokasi yang sering mengalami gelombang tinggi. Hasil pengukuran material lapis pelindung disajikan pada Tabel 3 sebagai dasar penilaian mutu bangunan pada masing-masing titik pengamatan. Penilaian terhadap dimensi material menjadi salah satu indikator penting karena ukuran batu pelindung berhubungan langsung dengan kemampuan struktur mempertahankan kestabilannya terhadap gaya hidrodinamik (Akbar et al., 2023).

Tabel 3. Hasil Pengukuran Material Lapis Pelindung

Kode Titik	Diameter Rata-rata (m)	Berat Estimasi (ton)
P1	0,85	0,84
P2	1,05	1,58
P3	0,92	1,06
P4	0,78	0,65
P5	1,10	1,82
P6	0,95	1,17

Sumber: Hasil pengukuran lapangan (2026)

Berdasarkan Tabel 3, titik P2, P3, P5, dan P6 memiliki berat batu pelindung di atas satu ton sehingga dinilai lebih mampu menahan gaya gelombang yang dominan di kawasan penelitian. Kondisi berbeda ditemukan pada titik P1 dan terutama P4 yang masih menggunakan batu dengan berat estimasi kurang dari satu ton sehingga lebih rentan mengalami perpindahan akibat gaya gelombang dan arus laut. Perbedaan ukuran material tersebut mengindikasikan adanya ketidakkonsistenan spesifikasi konstruksi ataupun penggunaan material pengganti pada kegiatan pemeliharaan sebelumnya sehingga mutu bangunan menjadi tidak seragam antarsegmen. Temuan lapangan juga menunjukkan bahwa beberapa batu pelindung di P1 dan P4 telah mengalami pergeseran dari posisi awal, yang mengurangi efektivitas interlocking antar batu sebagai mekanisme utama dalam meredam energi gelombang. Hasil ini sejalan dengan penelitian Azima et al. (2023) yang menjelaskan bahwa stabilitas lapisan pelindung sangat dipengaruhi oleh kesesuaian ukuran material terhadap kondisi gelombang rencana, sehingga penggunaan batu yang lebih kecil akan meningkatkan peluang terjadinya kerusakan progresif pada struktur. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa mutu material merupakan faktor mendasar yang menentukan keandalan bangunan penahan ombak sebelum dipengaruhi oleh perubahan geometri maupun kerusakan struktur selama masa operasional.

Analisis mutu selanjutnya dilakukan terhadap geometri struktur melalui pengukuran tinggi puncak (*crest elevation*) dan lebar puncak bangunan pada setiap titik pengamatan. Parameter geometri digunakan untuk menilai kesesuaian kondisi eksisting terhadap standar teknis bangunan pelindung pantai karena perubahan dimensi akan memengaruhi kemampuan struktur dalam mengurangi energi gelombang dan mencegah limpasan air laut menuju daratan. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa sebagian besar segmen masih mempertahankan dimensi yang relatif baik, meskipun terdapat beberapa lokasi yang mengalami penurunan elevasi puncak akibat proses penurunan struktur dan pengaruh gelombang dalam jangka panjang. Variasi dimensi tersebut menunjukkan bahwa kondisi geometri bangunan tidak sepenuhnya seragam meskipun dibangun menggunakan tipe struktur yang sama. Hasil pengukuran geometri bangunan penahan ombak pada enam titik pengamatan disajikan pada Tabel 4. Evaluasi terhadap dimensi struktur menjadi penting karena tinggi dan lebar puncak merupakan parameter utama yang menentukan efektivitas bangunan dalam mengendalikan limpasan gelombang sesuai pedoman perencanaan bangunan pelindung pantai (Badan Standardisasi Nasional, 2016).

Tabel 4. Hasil Pengukuran Geometri Struktur

Kode Titik	Tinggi Puncak (m)	Lebar Puncak (m)
P1	3,2	2,5

P2	3,5	3,0
P3	3,3	2,8
P4	2,9	2,5
P5	3,6	3,0
P6	3,4	2,8

Sumber: Hasil pengukuran lapangan (2026)

Data pada Tabel 4 menunjukkan bahwa titik P2, P3, P5, dan P6 masih memiliki dimensi geometri yang mendekati kondisi perencanaan, sedangkan titik P1 dan terutama P4 memperlihatkan tinggi puncak yang lebih rendah dibandingkan segmen lainnya. Penurunan elevasi tersebut menyebabkan nilai *freeboard* pada kedua titik menjadi lebih kecil sehingga meningkatkan peluang terjadinya *wave overtopping* ketika gelombang tinggi bertepatan dengan kondisi pasang maksimum. Hasil observasi juga memperlihatkan adanya indikasi penurunan lokal pada bagian puncak bangunan di P4 yang diduga dipengaruhi oleh konsolidasi material dasar dan pergeseran lapisan pelindung selama masa operasional. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa perubahan geometri tidak hanya dipengaruhi oleh proses konstruksi, tetapi juga oleh beban hidrodinamik yang bekerja secara berulang dalam waktu yang lama. Temuan ini sejalan dengan penelitian Ardhanaresvari et al. (2025) yang menjelaskan bahwa penurunan dimensi geometri merupakan salah satu indikator awal menurunnya tingkat pelayanan bangunan pengaman pantai sebelum terjadi kerusakan struktur yang lebih serius. Perubahan geometri pada segmen tertentu menjadi indikasi bahwa efektivitas perlindungan pantai tidak hanya bergantung pada kualitas material, tetapi juga pada kemampuan bangunan mempertahankan bentuk rencana selama masa layan.

Evaluasi mutu bangunan kemudian dilanjutkan melalui identifikasi tingkat kerusakan struktur berdasarkan persentase batu pelindung yang lepas, batu yang mengalami keretakan atau pecah, serta indikasi penurunan pada bagian tubuh bangunan. Hasil observasi menunjukkan bahwa kerusakan tidak terdistribusi secara merata pada seluruh titik pengamatan, melainkan terkonsentrasi pada segmen yang memiliki mutu material dan geometri relatif lebih rendah. Tingkat kerusakan tertinggi ditemukan pada titik P4, sedangkan titik P2 dan P5 menunjukkan kondisi struktur yang masih stabil dengan persentase kerusakan paling kecil. Rekapitulasi hasil identifikasi kerusakan pada masing-masing titik pengamatan disajikan pada Tabel 5 sebagai dasar penentuan kategori kondisi bangunan. Analisis tingkat kerusakan dilakukan untuk menggambarkan kondisi aktual struktur sekaligus menentukan kebutuhan pemeliharaan maupun rehabilitasi berdasarkan tingkat keparahan kerusakan yang terjadi.

Tabel 5. Tingkat Kerusakan Struktur Bangunan Penahan Ombak

Kode Titik	Batu Lepas (%)	Batu Pecah (%)	Total Kerusakan (%)	Kategori
P1	3,2	1,5	4,7	Ringan
P2	1,0	0,5	1,5	Ringan
P3	2,1	1,0	3,1	Ringan
P4	8,5	3,2	11,7	Sedang
P5	0,8	0,2	1,0	Ringan
P6	1,5	0,8	2,3	Ringan

Sumber: Hasil pengukuran lapangan (2026)

Hasil pada Tabel 5 menunjukkan bahwa lima titik pengamatan masih berada pada kategori kerusakan ringan dengan persentase kerusakan di bawah 5%, sedangkan titik P4 telah memasuki kategori kerusakan sedang akibat tingginya jumlah batu pelindung yang mengalami pergeseran dan kerusakan pada bagian kaki bangunan. Kondisi tersebut memperlihatkan hubungan yang konsisten antara mutu material, perubahan geometri, dan perkembangan kerusakan struktur, di mana segmen dengan material yang lebih kecil serta elevasi puncak yang rendah cenderung mengalami degradasi lebih cepat dibandingkan segmen lainnya. Hasil wawancara dengan pengelola juga mengindikasikan bahwa kegiatan pemeliharaan belum dilakukan secara berkala sehingga kerusakan kecil berkembang menjadi kerusakan yang lebih luas pada beberapa lokasi. Pola tersebut memperkuat hasil penelitian

Alharis et al. (2025) yang menyatakan bahwa penurunan mutu konstruksi berpengaruh langsung terhadap indeks kinerja bangunan pemecah gelombang dan menentukan prioritas rehabilitasi struktur. Hubungan antara kualitas material, kestabilan geometri, dan tingkat kerusakan menunjukkan bahwa evaluasi mutu perlu dilakukan secara terpadu agar potensi penurunan fungsi bangunan dapat diidentifikasi lebih dini sebelum memengaruhi efektivitas perlindungan kawasan pesisir.

Evaluasi Kinerja Bangunan Penahan Ombak terhadap Reduksi Gelombang dan Pengendalian Abrasi

Evaluasi kinerja bangunan penahan ombak dilakukan untuk mengetahui tingkat efektivitas struktur dalam menjalankan fungsi utamanya sebagai pelindung kawasan pesisir dari pengaruh gelombang laut. Penilaian difokuskan pada kemampuan bangunan dalam mereduksi energi gelombang, mengendalikan laju abrasi, serta mempertahankan kondisi kawasan di belakang bangunan dari limpasan gelombang selama periode pasang tinggi. Ketiga parameter tersebut dipilih karena secara langsung merepresentasikan tingkat pelayanan bangunan pelindung pantai selama masa operasionalnya. Pengukuran dilakukan pada enam titik pengamatan yang sama dengan evaluasi mutu sehingga hubungan antara kualitas konstruksi dan kinerja struktur dapat dianalisis secara lebih komprehensif. Hasil evaluasi menunjukkan bahwa efektivitas bangunan tidak sepenuhnya seragam pada setiap segmen karena dipengaruhi oleh variasi mutu material, kondisi geometri, dan tingkat kerusakan yang telah diidentifikasi sebelumnya. Pendekatan tersebut sejalan dengan konsep evaluasi bangunan pelindung pantai yang menempatkan indikator hidraulik dan kondisi fisik sebagai parameter utama dalam menilai tingkat pelayanan struktur (Simanjuntak, 2018).

Pengukuran efektivitas peredaman gelombang dilakukan melalui perbandingan tinggi gelombang di depan bangunan (*incident wave height*) dan tinggi gelombang di belakang bangunan (*transmitted wave height*) pada kondisi gelombang sedang dengan tinggi signifikan sekitar 2 m. Nilai koefisien transmisi gelombang digunakan sebagai indikator kemampuan bangunan dalam mereduksi energi gelombang sebelum mencapai garis pantai. Semakin kecil nilai koefisien transmisi, semakin besar energi gelombang yang berhasil diredam oleh bangunan penahan ombak. Hasil pengukuran menunjukkan adanya variasi nilai transmisi pada setiap titik pengamatan yang dipengaruhi oleh kondisi material dan dimensi struktur. Ringkasan hasil pengukuran koefisien transmisi gelombang disajikan pada Tabel 6. Parameter ini banyak digunakan dalam evaluasi bangunan pemecah gelombang karena mampu menggambarkan efektivitas hidraulik suatu struktur secara kuantitatif (Sukri et al., 2025).

Tabel 6. Hasil Pengukuran Koefisien Transmisi Gelombang

Kode Titik	Hi (m)	Ht (m)	Kt	Kategori
P1	2,0	0,80	0,40	Sedang
P2	2,0	0,50	0,25	Baik
P3	2,0	0,60	0,30	Baik
P4	2,0	1,00	0,50	Sedang
P5	2,0	0,40	0,20	Baik
P6	2,0	0,55	0,28	Baik

Sumber: Hasil pengukuran lapangan (2026)

Hasil pada Tabel 6 menunjukkan bahwa bangunan penahan ombak di Pantai Panjang memiliki nilai koefisien transmisi gelombang rata-rata sebesar 0,32, yang mengindikasikan bahwa struktur mampu mereduksi sekitar 68% energi gelombang sebelum mencapai garis pantai. Kinerja terbaik ditunjukkan oleh titik P2, P3, P5, dan P6 dengan nilai koefisien transmisi di bawah 0,30, sedangkan titik P1 dan P4 memiliki nilai yang lebih tinggi sehingga kemampuan peredaman gelombangnya relatif lebih rendah. Perbedaan tersebut menunjukkan bahwa kualitas material dan geometri bangunan memberikan pengaruh nyata terhadap besarnya energi gelombang yang masih dapat melewati struktur. Selama observasi pada kondisi gelombang yang lebih tinggi, titik P4 memperlihatkan peningkatan nilai transmisi hingga mendekati 0,65 sehingga sebagian besar energi gelombang masih diteruskan ke kawasan belakang bangunan. Karakteristik tersebut mengindikasikan bahwa penurunan mutu konstruksi secara langsung memengaruhi efektivitas hidraulik bangunan dalam meredam gelombang. Temuan ini sejalan dengan hasil penelitian Azima et al. (2023) yang menyatakan bahwa bangunan

dengan dimensi dan lapisan pelindung yang tidak lagi memenuhi kondisi desain akan mengalami penurunan efisiensi dalam mengurangi energi gelombang, terutama ketika menerima beban gelombang ekstrem.

Efektivitas bangunan selanjutnya dianalisis berdasarkan kemampuannya dalam mengurangi laju abrasi melalui perbandingan perubahan garis pantai sebelum dan sesudah pembangunan bangunan penahan ombak. Analisis dilakukan menggunakan hasil *overlay* citra udara tahun 2015 dan dokumentasi drone tahun 2026 yang dipadukan dengan data pemantauan dari instansi terkait. Pendekatan tersebut memungkinkan identifikasi perubahan morfologi pantai secara lebih objektif karena mempertimbangkan kondisi spasial pada setiap segmen pengamatan. Hasil analisis menunjukkan bahwa pembangunan bangunan penahan ombak memberikan dampak positif terhadap penurunan laju abrasi, meskipun besarnya penurunan berbeda pada setiap lokasi. Ringkasan perubahan laju abrasi sebelum dan sesudah pembangunan bangunan disajikan pada Tabel 7. Evaluasi perubahan garis pantai merupakan salah satu indikator utama dalam menilai keberhasilan bangunan pelindung pantai karena berkaitan langsung dengan stabilitas kawasan pesisir (Rachman, 2023).

Tabel 7. Perubahan Laju Abrasi Sebelum dan Sesudah Pembangunan Bangunan Penahan Ombak

Segmen	Sebelum Breakwater (m/tahun)	Sesudah Breakwater (m/tahun)	Penurunan (%)
P1–P2	1,8	0,6	66,7
P3–P4	2,2	1,1	50,0
P5–P6	1,5	0,4	73,3

Sumber: Hasil analisis citra drone dan data Dinas PUPR Provinsi Bengkulu (2026)

Data pada Tabel 7 memperlihatkan bahwa laju abrasi rata-rata mengalami penurunan sekitar 63% setelah bangunan penahan ombak beroperasi, yang menunjukkan bahwa struktur masih menjalankan fungsi perlindungan pantai secara efektif. Penurunan terbesar terjadi pada segmen P5–P6 karena kondisi bangunan pada lokasi tersebut masih memiliki mutu konstruksi yang baik dan tingkat kerusakan yang rendah. Sebaliknya, segmen P3–P4 hanya menunjukkan penurunan abrasi sekitar 50% sehingga masih ditemukan gerusan lokal di belakang bangunan ketika terjadi pasang tinggi. Variasi tersebut memperlihatkan bahwa efektivitas pengendalian abrasi tidak hanya ditentukan oleh keberadaan bangunan, tetapi juga oleh kualitas struktur selama masa operasionalnya. Hasil ini mendukung teori proses pantai yang menjelaskan bahwa perubahan bentuk garis pantai merupakan respons terhadap keseimbangan antara energi gelombang, transport sedimen, dan kapasitas bangunan pelindung dalam mengurangi gaya hidrodinamik (Komar, 1998). Temuan tersebut juga memperlihatkan bahwa pemeliharaan bangunan menjadi faktor penting agar manfaat pengendalian abrasi dapat dipertahankan dalam jangka panjang.

Evaluasi kinerja berikutnya difokuskan pada kejadian *overtopping*, yaitu kondisi ketika gelombang melimpas melewati puncak bangunan dan memasuki kawasan di belakang struktur. Parameter ini digunakan karena *overtopping* tidak hanya mencerminkan kemampuan hidraulik bangunan, tetapi juga berkaitan langsung dengan tingkat keamanan kawasan pesisir, terutama pada area wisata, jalan akses, dan fasilitas publik. Observasi dilakukan pada periode pasang tertinggi dengan kondisi gelombang relatif besar sehingga perilaku limpasan dapat diamati secara langsung pada setiap titik pengamatan. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa kejadian *overtopping* hanya ditemukan pada beberapa segmen dengan elevasi puncak yang lebih rendah dibandingkan segmen lainnya. Ringkasan hasil pengamatan terhadap kejadian *overtopping* disajikan pada Tabel 8. Evaluasi terhadap parameter ini menjadi penting karena limpasan gelombang merupakan salah satu indikator awal menurunnya tingkat pelayanan bangunan pelindung pantai akibat perubahan geometri maupun penurunan mutu struktur (Mas'ud et al., 2026).

Tabel 8. Hasil Pengamatan Kejadian *Overtopping* pada Bangunan Penahan Ombak

Kode Titik	Kejadian <i>Overtopping</i>	Debit Limpasan (L/det/m)	Dampak di Belakang Bangunan
P1	Terjadi	8–10	Genangan lokal pada jalur pejalan kaki
P2	Tidak terjadi	0	Tidak ada dampak
P3	Tidak terjadi	0	Tidak ada dampak
P4	Terjadi	15–20	Genangan pada area parkir dan lapak pedagang
P5	Tidak terjadi	0	Tidak ada dampak
P6	Tidak terjadi	0	Tidak ada dampak

Sumber: Hasil observasi lapangan (2026).

Data pada Tabel 8 menunjukkan bahwa kejadian *overtopping* hanya terjadi pada titik P1 dan P4, sedangkan empat titik lainnya masih mampu menahan gelombang tanpa terjadi limpasan menuju kawasan daratan. Debit limpasan terbesar ditemukan pada titik P4 dengan kisaran 15–20 L/det/m yang menyebabkan genangan pada area parkir serta mengganggu aktivitas ekonomi masyarakat di sekitar kawasan wisata. Hasil observasi menunjukkan bahwa kondisi tersebut berkaitan dengan rendahnya elevasi puncak bangunan serta penurunan lokal pada lapisan pelindung yang telah mengalami kerusakan selama masa operasional. Fenomena ini memperlihatkan bahwa perubahan kecil pada geometri struktur dapat meningkatkan risiko limpasan secara signifikan ketika gelombang tinggi terjadi bersamaan dengan pasang maksimum. Temuan tersebut konsisten dengan penelitian Simanjuntak (2018) yang menjelaskan bahwa bangunan pemecah gelombang dengan *freeboard* yang menurun akan mengalami peningkatan peluang *wave overtopping*, meskipun kondisi lapisan pelindung masih relatif stabil. Karakteristik tersebut menunjukkan bahwa keberhasilan bangunan pelindung pantai tidak hanya ditentukan oleh kemampuan meredam energi gelombang, tetapi juga oleh kemampuannya mempertahankan elevasi puncak sesuai kondisi desain selama masa layan.

Secara keseluruhan, hasil evaluasi memperlihatkan bahwa bangunan penahan ombak di Pantai Panjang masih memiliki tingkat kinerja yang baik dalam menjalankan fungsi perlindungan kawasan pesisir, meskipun terdapat variasi efektivitas pada beberapa segmen. Bangunan mampu mereduksi sebagian besar energi gelombang dan menurunkan laju abrasi pada hampir seluruh lokasi pengamatan, sedangkan kejadian *overtopping* hanya ditemukan pada titik yang memiliki mutu konstruksi lebih rendah. Pola tersebut menunjukkan adanya keterkaitan yang kuat antara mutu bangunan dan tingkat pelayanan struktur, sehingga penurunan kualitas material maupun perubahan geometri secara langsung akan memengaruhi efektivitas bangunan dalam mengendalikan proses hidrodinamika pantai. Hasil penelitian ini memperkuat temuan Ardhanaresvari et al. (2025) dan Sukri et al. (2025) bahwa evaluasi kinerja bangunan pelindung pantai perlu dilakukan secara berkala melalui pengukuran parameter hidraulik dan inspeksi kondisi fisik agar kerusakan dapat diidentifikasi sebelum berkembang menjadi kegagalan struktur. Informasi tersebut memberikan dasar teknis dalam menentukan prioritas pemeliharaan pada segmen yang mengalami penurunan kinerja sehingga keberlanjutan fungsi bangunan sebagai sistem perlindungan pesisir dapat dipertahankan. Temuan ini juga menjadi landasan untuk merumuskan rekomendasi teknis mengenai strategi rehabilitasi dan pengelolaan bangunan penahan ombak pada kawasan Pantai Panjang yang dibahas pada subbab berikutnya.

Faktor Penyebab Penurunan Kinerja dan Rekomendasi Pengelolaan Bangunan Penahan Ombak

Hasil evaluasi menunjukkan bahwa penurunan kinerja bangunan penahan ombak di Pantai Panjang dipengaruhi oleh kombinasi faktor teknis dan nonteknis yang saling berinteraksi selama masa operasional bangunan. Variasi kondisi pada enam titik pengamatan memperlihatkan bahwa segmen dengan mutu konstruksi yang lebih rendah cenderung menunjukkan tingkat pelayanan yang juga lebih rendah dibandingkan segmen yang masih mempertahankan kondisi fisik bangunan dengan baik. Perbedaan tersebut mengindikasikan bahwa keberhasilan bangunan pelindung pantai tidak hanya ditentukan oleh kualitas desain awal, tetapi juga dipengaruhi oleh karakteristik gelombang, proses degradasi material, kegiatan pemeliharaan, dan aktivitas di sekitar bangunan. Hasil observasi lapangan memperlihatkan bahwa titik P1 dan P4 merupakan lokasi yang mengalami akumulasi berbagai faktor penyebab kerusakan sehingga menunjukkan penurunan kinerja yang lebih nyata dibandingkan titik

lainnya. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa evaluasi penyebab kerusakan perlu dilakukan secara terpadu agar tindakan rehabilitasi dapat diarahkan pada faktor yang benar-benar memengaruhi penurunan fungsi bangunan. Pendekatan ini sejalan dengan konsep manajemen infrastruktur pantai yang menempatkan identifikasi penyebab kerusakan sebagai dasar dalam menentukan strategi pemeliharaan dan rehabilitasi bangunan pengaman pantai (Kementerian Pekerjaan Umum, 2011).

Analisis terhadap hasil pengamatan menunjukkan bahwa gelombang ekstrem, mutu konstruksi, pemeliharaan, dan aktivitas manusia merupakan faktor dominan yang memengaruhi kondisi bangunan pada setiap titik pengamatan. Gelombang dengan tinggi lebih dari 3 m yang terjadi pada musim barat memberikan beban hidrodinamik yang lebih besar sehingga mempercepat pergeseran batu pelindung pada segmen yang memiliki mutu material relatif rendah. Kondisi tersebut diperparah oleh belum terselenggaranya inspeksi berkala sehingga kerusakan kecil berkembang menjadi kerusakan yang lebih luas sebelum dilakukan perbaikan. Aktivitas wisata di atas bangunan juga ditemukan pada beberapa lokasi sehingga meningkatkan potensi bergesernya lapisan pelindung akibat beban tambahan pada permukaan struktur. Ringkasan faktor dominan yang memengaruhi kondisi masing-masing titik pengamatan disajikan pada Tabel 9. Karakteristik tersebut menunjukkan bahwa pengelolaan bangunan pelindung pantai memerlukan pendekatan yang tidak hanya berorientasi pada aspek konstruksi, tetapi juga memperhatikan faktor operasional dan pemanfaatan kawasan pesisir (Sulaiman, 2021).

Tabel 9. Hasil Sintesis Evaluasi dan Prioritas Penanganan Bangunan Penahan Ombak

Titik	Kondisi Mutu	Kondisi Kinerja	Permasalahan Dominan	Rekomendasi Penanganan	Prioritas
P1	Cukup	Sedang	Material relatif kecil dan terjadi <i>overtopping</i>	Penambahan batu pelindung serta pembatasan aktivitas di atas bangunan	Sedang
P2	Baik	Baik	Tidak ditemukan kerusakan signifikan	Monitoring berkala dan pemeliharaan preventif	Rendah
P3	Baik	Baik	Kerusakan ringan pada lapisan pelindung	Pemeliharaan rutin	Rendah
P4	Sedang	Sedang	Penurunan elevasi puncak, kerusakan lapis pelindung, dan <i>overtopping</i>	Rehabilitasi struktur, peninggian puncak, dan penggantian batu pelindung	Tinggi
P5	Baik	Sangat Baik	Tidak ditemukan permasalahan berarti	Monitoring berkala	Rendah
P6	Baik	Baik	Kerusakan ringan	Pemeliharaan rutin	Rendah

Sumber: Hasil observasi lapangan (2026).

Berdasarkan Tabel 9, titik P4 ditetapkan sebagai lokasi dengan prioritas penanganan tertinggi karena menunjukkan penurunan mutu konstruksi yang diikuti oleh penurunan kinerja hidraulik serta kejadian *overtopping* selama pengamatan lapangan. Titik P1 juga memerlukan perhatian karena meskipun tingkat kerusakannya masih tergolong ringan, ukuran material pelindung yang relatif kecil menyebabkan kemampuan struktur dalam mereduksi energi gelombang menjadi lebih rendah dibandingkan titik lainnya. Sebaliknya, titik P2, P3, P5, dan P6 masih memperlihatkan kondisi yang relatif stabil sehingga tindakan pemeliharaan preventif dinilai lebih sesuai dibandingkan rehabilitasi menyeluruh. Hasil tersebut menunjukkan bahwa prioritas penanganan sebaiknya didasarkan pada hubungan antara mutu bangunan dan tingkat pelayanan struktur, bukan hanya berdasarkan besarnya kerusakan fisik yang terlihat. Pendekatan ini sejalan dengan penelitian Rachman (2023) yang menyatakan bahwa evaluasi prioritas rehabilitasi bangunan pengaman pantai perlu mempertimbangkan tingkat risiko kegagalan struktur serta fungsi kawasan yang dilindungi. Strategi penanganan berbasis prioritas memungkinkan alokasi sumber daya pemeliharaan dilakukan secara lebih efektif tanpa mengurangi tingkat perlindungan kawasan pesisir.

Faktor hidrodinamika laut tetap menjadi penyebab utama yang memengaruhi penurunan kondisi bangunan pada beberapa segmen pengamatan. Data oseanografi menunjukkan bahwa perairan Pantai Panjang secara periodik menerima gelombang tinggi akibat pengaruh musim barat sehingga struktur mengalami pembebanan berulang selama masa layan (Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika, 2025). Beban tersebut menyebabkan proses pelepasan batu pelindung dan penurunan geometri berlangsung lebih cepat pada segmen yang telah mengalami degradasi mutu konstruksi. Pengaruh tersebut semakin terlihat pada titik P4 yang memperlihatkan kombinasi antara material yang kurang memadai, elevasi puncak yang menurun, dan tingkat kerusakan yang lebih besar dibandingkan lokasi lainnya. Karakteristik ini mendukung teori teknik pantai yang menjelaskan bahwa stabilitas bangunan pelindung sangat dipengaruhi oleh kesesuaian antara kapasitas struktur dan karakteristik gelombang yang bekerja selama umur rencana bangunan (Triatmodjo, 2013). Hasil penelitian Salmi et al. (2025) juga menunjukkan bahwa evaluasi karakteristik gelombang lokal menjadi dasar penting dalam menentukan efektivitas desain bangunan pelindung pantai pada kawasan pesisir terbuka.

Aspek pemeliharaan dan pengelolaan kawasan memiliki peranan penting dalam mempertahankan fungsi bangunan selama masa operasional. Hasil wawancara menunjukkan bahwa kegiatan inspeksi berkala belum dilaksanakan secara konsisten sehingga beberapa kerusakan baru diketahui setelah memengaruhi kondisi struktur secara lebih luas. Pemanfaatan bangunan sebagai area aktivitas wisata tanpa pengaturan yang memadai juga meningkatkan risiko terganggunya kestabilan lapisan pelindung pada beberapa lokasi. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa keberlanjutan fungsi bangunan memerlukan integrasi antara pemeliharaan teknis, pemantauan kondisi struktur, serta pengelolaan aktivitas masyarakat di kawasan pesisir. Pendekatan tersebut sejalan dengan rekomendasi Kerthajaya dan Novianingtyas (2026) yang menekankan pentingnya sinergi antara evaluasi teknis bangunan dan pengelolaan kawasan pesisir untuk mempertahankan efektivitas struktur pelindung pantai. Penerapan pemantauan berkala menggunakan dokumentasi udara berbasis wahana nirawak juga dapat menjadi alternatif untuk mendeteksi perubahan kondisi bangunan secara lebih cepat sehingga tindakan rehabilitasi dapat dilakukan sebelum terjadi penurunan fungsi yang lebih besar.

Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa keberhasilan bangunan penahan ombak di Pantai Panjang dipengaruhi oleh keterpaduan antara mutu konstruksi, karakteristik gelombang, kegiatan pemeliharaan, dan pengelolaan kawasan pesisir. Hubungan yang konsisten antara kualitas material, geometri struktur, tingkat kerusakan, dan efektivitas kinerja menunjukkan bahwa evaluasi bangunan perlu dilakukan secara komprehensif agar mampu menggambarkan kondisi struktur secara menyeluruh. Pendekatan evaluasi yang mengintegrasikan hasil pengukuran lapangan, observasi visual, dokumentasi udara, dan informasi dari pengelola menghasilkan dasar analisis yang lebih kuat dalam menentukan prioritas rehabilitasi. Temuan penelitian ini memberikan bukti empiris bahwa strategi pemeliharaan preventif yang dilakukan secara berkala lebih efektif dibandingkan tindakan perbaikan setelah kerusakan berkembang menjadi lebih berat. Hasil tersebut dapat menjadi referensi bagi pengelolaan bangunan pelindung pantai pada kawasan pesisir lain yang memiliki karakteristik gelombang tinggi dan tingkat pemanfaatan ruang yang intensif. Informasi yang dihasilkan juga diharapkan mendukung penyusunan kebijakan pemeliharaan infrastruktur pesisir yang lebih adaptif terhadap dinamika lingkungan pantai dan perubahan kondisi oseanografi.

KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa bangunan penahan ombak tipe rubble mound breakwater di kawasan Pantai Panjang Provinsi Bengkulu secara umum masih memiliki mutu dan kinerja yang mampu mendukung fungsi perlindungan kawasan pesisir dari ancaman gelombang dan abrasi. Evaluasi mutu berdasarkan kondisi material, geometri struktur, dan tingkat kerusakan memperlihatkan bahwa sebagian besar titik pengamatan berada dalam kategori baik hingga ringan, meskipun titik P4 menunjukkan mutu yang lebih rendah akibat ukuran material yang tidak lagi sesuai, penurunan elevasi puncak, dan tingkat kerusakan yang lebih tinggi dibandingkan lokasi lainnya. Analisis kinerja menunjukkan bahwa bangunan mampu mereduksi sekitar 68% energi gelombang dengan nilai koefisien transmisi rata-rata sebesar 0,32 serta menurunkan laju abrasi pantai hingga rata-rata 63% setelah pembangunan struktur. Kejadian overtopping hanya ditemukan pada titik P1 dan P4 yang memiliki kondisi geometri dan mutu konstruksi lebih rendah dibandingkan segmen lainnya. Temuan tersebut membuktikan bahwa kualitas material dan kestabilan geometri memiliki hubungan yang erat dengan efektivitas bangunan dalam mengurangi energi gelombang, mengendalikan abrasi, dan

mempertahankan fungsi perlindungan kawasan pesisir. Hasil evaluasi juga menunjukkan bahwa penurunan mutu konstruksi akan diikuti oleh meningkatnya tingkat kerusakan serta menurunnya kinerja hidraulik bangunan selama masa operasional. Penelitian ini menegaskan bahwa evaluasi mutu dan kinerja secara terpadu mampu memberikan gambaran kondisi eksisting bangunan yang lebih komprehensif sebagai dasar dalam menentukan kebutuhan pemeliharaan maupun rehabilitasi.

Penelitian ini juga mengidentifikasi bahwa karakteristik gelombang, kualitas konstruksi, kegiatan pemeliharaan, dan aktivitas masyarakat di sekitar bangunan merupakan faktor utama yang memengaruhi keberlanjutan fungsi bangunan penahan ombak di Pantai Panjang. Segmen dengan mutu konstruksi yang baik menunjukkan tingkat kerusakan yang rendah dan mampu mempertahankan efektivitas perlindungan pantai secara lebih optimal dibandingkan segmen yang mengalami penurunan kualitas struktur. Hasil analisis memperlihatkan bahwa pemeliharaan preventif yang dilakukan secara berkala memiliki peran penting dalam mencegah berkembangnya kerusakan kecil menjadi kerusakan struktural yang lebih serius. Pemanfaatan teknologi dokumentasi udara berbasis wahana nirawak juga berpotensi meningkatkan efektivitas kegiatan monitoring melalui identifikasi dini terhadap perubahan geometri maupun kerusakan lapisan pelindung. Prioritas rehabilitasi perlu difokuskan pada segmen yang menunjukkan penurunan mutu dan kinerja agar sumber daya pemeliharaan dapat dimanfaatkan secara lebih efisien. Pendekatan evaluasi yang mengintegrasikan pengukuran lapangan, observasi visual, dokumentasi, wawancara, dan analisis data sekunder menghasilkan dasar pengambilan keputusan yang lebih objektif dalam pengelolaan bangunan pelindung pantai. Temuan penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi bagi pengembangan strategi pemeliharaan dan rehabilitasi bangunan penahan ombak pada kawasan pesisir lain yang memiliki karakteristik oseanografi dan tingkat kerentanan abrasi yang serupa.

DAFTAR PUSTAKA

- Akbar, S. A., Wiyono, R. U. A., & Hidayah, E. (2023). Perencanaan Bangunan Pelindung Pantai Di Desa Pesisir Besuki Kabupaten Situbondo. *Teras Jurnal : Jurnal Teknik Sipil*, 13(1), 85–98. <https://doi.org/10.29103/tj.v13i1.816>
- Alharis, M. G., Fauzi, M., & Suprayogi, I. (2025). Analisis Indeks Kinerja Bangunan Pemecah Gelombang Pantai Pulau Bengkalis. *ECORINS Proceeding*, 1(1), 512-521. <https://ecorins.id/ecopro/article/view/77>
- Ardhanaresvari, T. R., Aryastana, P., & Suranata, P. G. (2025). Evaluasi Kinerja Bangunan Pengaman Pantai di Pantai Batu Mejan, Canggü. *Dinamika Teknik Sipil: Majalah Ilmiah Teknik Sipil*, 20-30. <https://doi.org/10.23917/dts.v18i1.6030>
- Azima, F., Harmiyati, Agus, F., & Zaenal Muttaqin, M. (2023). Evaluasi Kinerja Breakwater Terhadap Gelombang di Pantai Tanjung Medang Kecamatan Rangsang Kabupaten Kepulauan Meranti: Evaluation of Breakwater Performance Against Waves At Tanjung Medang Beach, Rangsang District, Meranti Islands Regency. *JURNAL SAINTIS*, 23(01), 9–24. [https://doi.org/10.25299/saintis.2023.vol23\(01\).25225](https://doi.org/10.25299/saintis.2023.vol23(01).25225)
- Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika. (2025). *Data Gelombang dan Pasang Surut Bengkulu*. BMKG.
- Badan Standardisasi Nasional. (2016). *SNI 8063:2016: Perencanaan Bangunan Pelindung Pantai*. Badan Standardisasi Nasional.
- Catherine, L. A., Pratikto, W. A., Suntoyo, J. M. T. S., & Bachtar, V. (2021). Analysis of Soil Retaining Wall from Geosynthetic for Sea Reclamation to Become a New Land in the Beach. In *Proceedings of the 7th International Seminar on Ocean and Coastal Engineering, Environmental and Natural Disaster Management - Volume 1: ISOCEEN*, ISBN 978-989-758-516-6, pages 271-280. <https://www.scitepress.org/PublishedPapers/2019/102876/>
- Dinas Pekerjaan Umum dan Penataan Ruang Provinsi Bengkulu. (2024). *Laporan pemeliharaan Pantai Panjang*. Dinas Pekerjaan Umum dan Penataan Ruang Provinsi Bengkulu.
- Jaya, D. J. (n.d.). *Kajian Bangunan Pelindung Pantai Dari Bahaya Abrasi/Erosi Dengan Menggunakan Breakwater Di Indonesia*.
- Kementerian Pekerjaan Umum. (2011). *Pedoman Operasi dan Pemeliharaan Bangunan Pengaman Pantai (Surat Edaran Menteri Pekerjaan Umum Nomor 1/SE/M/2011)*. Kementerian Pekerjaan Umum.

- Kerthajaya, I., & Novianingtyas, A. (2026). Analisis Struktur Pengaman Pantai Menggunakan Sistem Revetment dan Tetrapod di Kabupaten Sampang. *WASTU: Jurnal Wacana Sains & Teknologi*, 7(2), 91-102. <https://doi.org/10.55173/c09s6y14>
- Komar, P. D. (1998). *Beach Processes and Sedimentation (2nd ed.)*. Prentice Hall.
- Mas'ud M, A. A., Paotonan, C., Sitorus, C. J. V., & Al Hakim, M. A. G. (2026). Probabilistic Evaluation of Seawall Performance Against Wave Run-Up and Overtopping Under Variable Water Levels at Serui Fuel Terminal. *Maritime Park: Journal of Maritime Technology and Society*, 68–79. <https://doi.org/10.62012/mp.vi.48184>
- Muqsit, A., Johan, Y., Hartono, D., & Oktaviani, A. (2020). Analisis Kesesuaian Kawasan Ekowisata Pantai di Pantai Panjang Provinsi Bengkulu. *Jurnal Enggano*, 5(3), 566–586. <https://doi.org/10.31186/jenggano.5.3.566-586>
- Pratiwi, P. A., Mashalani, F., Hafizhah, M., & Batrisyia, A. (2024). *Mengungkap Metode Observasi yang Efektif Menurut Pra-Pengajar EFL*.
- Rachman, T. (2023). Analisis Penilaian Kinerja Bangunan Pengaman Pantai Terhadap Penentuan Prioritas Rehabilitasi Konstruksi (Studi Kasus Pantai Kema dan Pantai Lilang). *Sistem Infrastruktur Teknik Sipil (SIMTEKS)*, 3(1), 43-58. <https://doi.org/10.32897/simteks.v3i1.2551>
- Salmi, W. M., Minmahdun, A., & Agustan, F. A. M. (2025). Characteristics of Seawall Design for Coastal Protection At Laompo Beach, Indonesia. *Engineering and Technology Journal*, 10(3), 4199-4204. <https://doi.org/10.47191/etj/v10i03.27>
- Simanjuntak, P. S. (2018). Performance evaluation on low-crest breakwater at North Coast of Java Island. *Journal of the Civil Engineering Forum*. 4(2), 139-150. <https://doi.org/10.22146/jcef.34025>
- Sukri, A. S., Aswad, N. H., & Razak, E. N. P. (2025). Analisis Kinerja Bangunan Pengaman Pantai Tinobu Kecamatan Lasolo Kabupaten Konawe Utara. *Journal Of Civil Engineering & Technology*, 1(1), 1-6. <https://jocet.uho.ac.id/index.php/journal/article/view/2>
- Sulaiman, D. M. (2021). *Teknologi Pegar untuk Penanggulangan Erosi dan Abrasi Pantai*. Deepublish.
- Triatmodjo, B. (2013). *Teknik Pantai*. Beta Offset.