

Pemilihan Metode Perbaikan Struktur Condensate Jetty: Systematic Literature Review

Andri Sastrawan

Universitas Islam Sultan Agung

andriprabu200769@gmail.com

ABSTRACT

The development of oil and gas industry infrastructure has increased the demand for specialized port facilities such as jetties that function as key infrastructure for the distribution of energy products through maritime transportation. Jetty structures operating in marine environments are exposed to various aggressive environmental factors including high humidity, corrosion, and climatological conditions that can accelerate material degradation and reduce structural performance. This study aims to analyze previous research findings related to structural deterioration and repair approaches in order to provide a comprehensive understanding of jetty repair strategies. The research employs a Systematic Literature Review approach using the PRISMA guideline to identify, screen, and synthesize relevant scientific articles. The literature selection process resulted in 16 articles that met the inclusion criteria and were analyzed qualitatively. The results indicate that environmental factors such as moisture intrusion, water penetration, climatological conditions, and microbiologically induced corrosion significantly influence structural deterioration. In addition, several studies highlight the importance of damage identification, reliability analysis, and understanding material deterioration characteristics in determining appropriate repair strategies. The discussion suggests that selecting appropriate repair methods requires consideration of environmental conditions, types of structural damage, and available repair technologies. In conclusion, this literature review provides a comprehensive understanding of deterioration factors and repair approaches for jetty structures that can serve as a reference for future research and engineering practice in marine infrastructure.

Keywords : *Condensate jetty, Marine environment, Repair methods, Structural damage, Systematic literature review.*

ABSTRAK

Perkembangan infrastruktur industri minyak dan gas meningkatkan kebutuhan terhadap fasilitas pelabuhan khusus seperti jetty yang berfungsi sebagai sarana distribusi produk energi melalui jalur laut. Struktur jetty yang beroperasi di lingkungan laut menghadapi berbagai faktor lingkungan agresif seperti kelembapan tinggi, korosi, serta kondisi klimatologis yang dapat mempercepat degradasi material dan menurunkan kinerja struktur. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis berbagai temuan penelitian terdahulu yang berkaitan dengan kerusakan struktur dan metode penanganannya untuk memberikan gambaran komprehensif mengenai pendekatan perbaikan struktur jetty. Metodologi penelitian menggunakan pendekatan Systematic Literature Review dengan pedoman PRISMA untuk menyeleksi, mengevaluasi, dan mensintesis artikel ilmiah yang relevan. Proses seleksi literatur menghasilkan 16 artikel yang memenuhi kriteria inklusi dan dianalisis secara kualitatif. Hasil penelitian menunjukkan bahwa faktor lingkungan seperti kelembapan, penetrasi air, kondisi klimatologis, serta proses korosi mikrobiologis memiliki pengaruh signifikan terhadap kerusakan struktur. Selain itu, beberapa penelitian juga menekankan pentingnya proses identifikasi kerusakan, analisis keandalan sistem, serta pemahaman

karakteristik deteriorasi material dalam menentukan strategi perbaikan yang tepat. Pembahasan menunjukkan bahwa pemilihan metode perbaikan struktur harus mempertimbangkan kondisi lingkungan operasional, jenis kerusakan yang terjadi, serta teknologi perbaikan yang tersedia. Kesimpulannya, kajian literatur ini memberikan pemahaman yang lebih komprehensif mengenai faktor penyebab kerusakan dan pendekatan perbaikan struktur jetty yang dapat menjadi referensi bagi penelitian maupun praktik rekayasa di bidang infrastruktur kelautan.

Kata kunci : Condensate jetty, Kerusakan struktur, Lingkungan laut, Metode perbaikan, Systematic literature review.

PENDAHULUAN

Perkembangan industri minyak dan gas bumi mendorong peningkatan kebutuhan terhadap infrastruktur pendukung yang andal, termasuk fasilitas pelabuhan khusus seperti jetty. Jetty merupakan struktur penting yang berfungsi sebagai sarana sandar kapal, transfer material, serta distribusi produk energi dari fasilitas produksi menuju kapal pengangkut (Bunce et al., 2024). Dalam konteks industri migas, salah satu fasilitas yang banyak digunakan adalah *condensate jetty*, yaitu jetty yang dirancang khusus untuk kegiatan bongkar muat kondensat (Priyanta et al., 2024). Keberadaan struktur ini memiliki peran strategis karena menjadi penghubung utama antara sistem produksi di darat dan proses distribusi melalui jalur laut. Oleh karena itu, kondisi struktural jetty harus selalu terjaga agar operasional distribusi dapat berjalan secara aman dan efisien (Richard et al., 2025).

Sebagai struktur yang beroperasi di lingkungan laut, *condensate jetty* menghadapi berbagai kondisi lingkungan yang agresif. Paparan air laut, gelombang, arus, serta kandungan garam yang tinggi dapat mempercepat proses degradasi material struktur, baik pada elemen beton maupun baja (Zhao et al., 2023). Selain itu, aktivitas operasional seperti sandaran kapal, beban dinamis, dan getaran akibat pergerakan kapal juga memberikan tekanan tambahan terhadap komponen struktur jetty. Kombinasi antara faktor lingkungan dan faktor operasional tersebut dapat menyebabkan berbagai bentuk kerusakan seperti korosi, retak pada beton, spalling, hingga penurunan kapasitas struktur (Mydin et al., 2024a). Apabila kerusakan ini tidak ditangani secara tepat, maka dapat berpotensi menurunkan kinerja struktur dan meningkatkan risiko kegagalan konstruksi (Ekekezie et al., 2025).

Kerusakan yang terjadi pada struktur jetty tidak hanya berdampak pada aspek teknis, tetapi juga berpengaruh terhadap aspek operasional dan ekonomi. Penurunan kondisi struktur dapat menyebabkan pembatasan operasional, peningkatan biaya pemeliharaan, hingga gangguan pada proses distribusi produk energi (Gassa et al., 2024). Dalam industri migas, gangguan operasional sekecil apa pun dapat menimbulkan kerugian finansial yang signifikan karena berkaitan langsung dengan rantai pasokan energi. Selain itu, kondisi struktur yang tidak aman juga berpotensi menimbulkan risiko keselamatan bagi pekerja maupun lingkungan sekitar (Mydin et al., 2024b). Oleh karena itu, upaya pemeliharaan dan perbaikan

struktur jetty menjadi hal yang sangat penting untuk menjaga keberlanjutan operasional fasilitas tersebut (Ekekezie et al., 2025).

Dalam praktik rekayasa sipil dan kelautan, berbagai metode perbaikan struktur telah dikembangkan untuk menangani kerusakan pada jetty. Metode tersebut dapat berupa penguatan struktur, perbaikan elemen yang rusak, maupun penggantian komponen struktur tertentu. Beberapa teknik yang umum digunakan antara lain *concrete jacketing*, *steel jacketing*, penggunaan material komposit seperti *fiber reinforced polymer* (FRP), serta penerapan sistem perlindungan korosi (Zhao et al., 2023). Setiap metode perbaikan memiliki karakteristik, kelebihan, dan keterbatasan yang berbeda, tergantung pada jenis kerusakan, kondisi lingkungan, serta karakteristik struktur yang diperbaiki (Bunce et al., 2024). Oleh karena itu, pemilihan metode perbaikan yang tepat menjadi faktor penting untuk memastikan efektivitas dan keberlanjutan kinerja struktur jetty (Priyanta et al., 2024).

Seiring dengan berkembangnya teknologi konstruksi dan material, kajian mengenai metode perbaikan struktur jetty juga semakin beragam. Berbagai pendekatan dan teknik baru terus diperkenalkan untuk meningkatkan ketahanan struktur terhadap lingkungan laut yang korosif (Xing & Cheng, 2024). Di sisi lain, banyaknya pilihan metode perbaikan sering kali menimbulkan tantangan dalam menentukan metode yang paling sesuai untuk kondisi tertentu. Perbedaan karakteristik kerusakan, kondisi eksisting struktur, serta faktor biaya dan kemudahan pelaksanaan membuat proses pemilihan metode perbaikan menjadi semakin kompleks (Gu et al., 2024). Oleh karena itu, diperlukan pemahaman yang komprehensif mengenai berbagai metode perbaikan yang telah dikembangkan agar dapat memberikan gambaran yang jelas mengenai alternatif solusi yang tersedia dalam penanganan kerusakan pada *condensate jetty* (Richard et al., 2025).

Beberapa penelitian sebelumnya telah mengkaji berbagai aspek terkait kerusakan, identifikasi kondisi, serta metode perbaikan pada struktur sipil dan infrastruktur berskala besar. Hasan et al. (2025) menemukan bahwa struktur beton bertulang di lingkungan laut yang telah beroperasi selama puluhan tahun mengalami karbonasi dan korosi tulangan yang signifikan sehingga memerlukan metode perbaikan dan penguatan untuk mempertahankan kapasitas strukturalnya. Chen dan Yuan (2025) menunjukkan bahwa pendekatan analisis deret waktu dengan regularisasi sparse yang ditingkatkan mampu mengidentifikasi kerusakan pada struktur skala besar secara lebih akurat sehingga membantu proses pengambilan keputusan dalam pemeliharaan struktur. Sementara itu, Lei et al. (2025) mengembangkan metode identifikasi kerusakan berbasis *physics-guided deep learning* yang mampu meningkatkan akurasi deteksi kerusakan pada struktur berskala besar melalui integrasi antara model fisik dan data pemantauan struktural.

Penelitian lain juga menyoroti pentingnya strategi perbaikan dan pemantauan kondisi struktur untuk meningkatkan umur layanan infrastruktur. McKay dan Constance (2022) menunjukkan bahwa rekonstruksi jetty yang mengalami deteriorasi dapat dilakukan melalui pendekatan peningkatan struktur

yang tetap mempertahankan operasional fasilitas selama proses perbaikan berlangsung. Xu et al. (2024) mengemukakan bahwa metode perbaikan cepat pada kolom pier yang mengalami kerusakan dapat meningkatkan ketahanan struktur sekaligus mempercepat proses rehabilitasi setelah terjadi kerusakan. Selain itu, Yuan et al. (2025) menegaskan bahwa pengelolaan durabilitas struktur beton pada proyek infrastruktur laut memerlukan pendekatan berbasis data dan model prediktif untuk mendukung perencanaan pemeliharaan jangka panjang secara lebih efektif.

Meskipun berbagai penelitian telah membahas identifikasi kerusakan, penguatan, dan manajemen durabilitas pada struktur sipil maupun infrastruktur laut, sebagian besar penelitian tersebut masih berfokus pada metode diagnosis kerusakan atau studi kasus perbaikan pada jenis struktur tertentu seperti jembatan dan kolom pier. Kajian yang secara khusus mengintegrasikan berbagai metode perbaikan struktur pada fasilitas jetty, khususnya *condensate jetty*, masih relatif terbatas dan tersebar pada berbagai publikasi yang berbeda. Selain itu, belum banyak penelitian yang secara sistematis merangkum dan membandingkan berbagai metode perbaikan yang digunakan pada struktur jetty berdasarkan temuan-temuan dalam literatur ilmiah. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dan merangkum berbagai metode perbaikan struktur yang digunakan pada *condensate jetty* melalui pendekatan *Systematic Literature Review* (SLR). Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan gambaran komprehensif mengenai alternatif metode perbaikan yang tersedia sehingga dapat menjadi referensi bagi praktisi maupun peneliti dalam menentukan strategi perbaikan yang lebih efektif pada struktur jetty di lingkungan laut.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode *Systematic Literature Review* (SLR) untuk mengidentifikasi, mengkaji, dan mensintesis berbagai penelitian yang berkaitan dengan metode perbaikan struktur pada *condensate jetty*. Metode SLR dipilih karena mampu memberikan pemahaman yang sistematis, terstruktur, dan komprehensif terhadap temuan-temuan penelitian yang telah dipublikasikan sebelumnya. Melalui pendekatan ini, berbagai literatur yang relevan dapat dikumpulkan, diseleksi, dan dianalisis secara kritis sehingga menghasilkan gambaran yang lebih jelas mengenai perkembangan metode perbaikan struktur pada lingkungan kelautan. Selain itu, metode ini memungkinkan peneliti untuk mengidentifikasi pola penelitian, pendekatan yang digunakan, serta kecenderungan metode perbaikan yang banyak diterapkan pada struktur jetty. Dengan demikian, SLR dapat membantu merangkum pengetahuan yang tersebar dalam berbagai publikasi ilmiah menjadi suatu sintesis yang sistematis.

Proses pelaksanaan SLR dalam penelitian ini mengikuti pedoman *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses* (PRISMA). Tahapan awal dilakukan melalui proses identifikasi literatur dengan menggunakan basis data ilmiah seperti jurnal internasional dan prosiding konferensi yang relevan dengan topik

penelitian. Pencarian literatur dilakukan menggunakan kata kunci yang berkaitan dengan *jetty structure*, *marine structure repair*, *structural deterioration*, dan *repair methods*. Selanjutnya dilakukan tahap penyaringan (*screening*) terhadap literatur yang diperoleh dengan mempertimbangkan kesesuaian judul dan abstrak dengan fokus penelitian. Pada tahap berikutnya dilakukan proses *eligibility* dengan membaca secara lebih mendalam isi artikel untuk memastikan relevansi terhadap topik metode perbaikan struktur jetty. Artikel yang memenuhi kriteria inklusi kemudian dipilih sebagai literatur yang dianalisis dalam penelitian ini.

Literatur yang telah terpilih selanjutnya dianalisis secara kualitatif untuk mengidentifikasi jenis kerusakan struktur, metode perbaikan yang digunakan, serta karakteristik dan efektivitas masing-masing metode. Proses analisis dilakukan dengan mengelompokkan temuan-temuan penelitian berdasarkan kategori tertentu, seperti jenis metode perbaikan, kondisi kerusakan struktur, dan lingkungan operasional struktur laut. Hasil analisis kemudian disintesis untuk memperoleh gambaran mengenai perkembangan metode perbaikan yang telah digunakan pada struktur jetty dalam berbagai penelitian. Melalui proses tersebut, penelitian ini diharapkan dapat memberikan pemahaman yang lebih komprehensif mengenai berbagai pendekatan perbaikan yang tersedia serta menjadi dasar pertimbangan dalam pemilihan metode perbaikan yang sesuai untuk struktur *condensate jetty*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

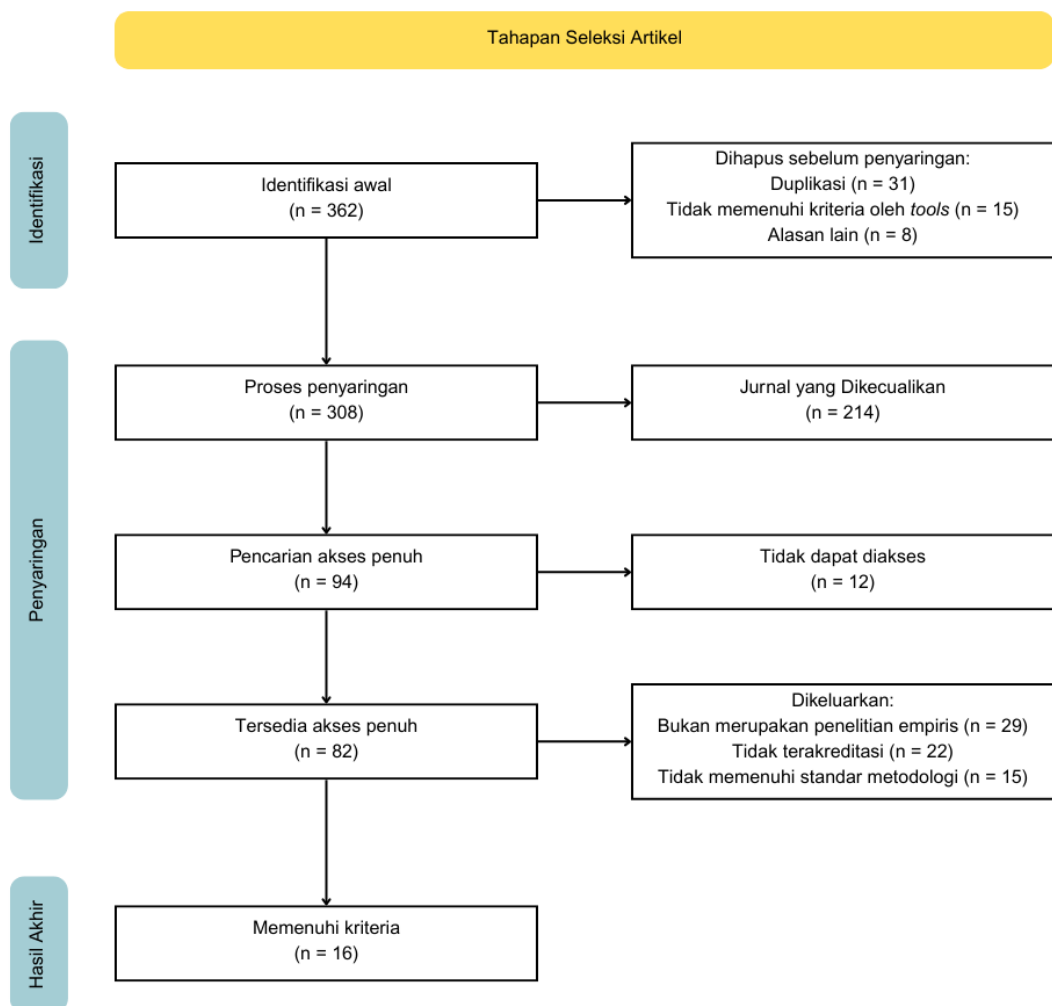
A. Hasil

Sebanyak 362 artikel awal berhasil diidentifikasi dari berbagai basis data ilmiah yang relevan dengan topik penelitian mengenai metode perbaikan struktur jetty dan struktur laut. Basis data yang digunakan meliputi portal jurnal internasional, prosiding konferensi ilmiah, serta beberapa repositori publikasi akademik. Sebelum proses penyaringan dilakukan, sebanyak 54 artikel terlebih dahulu dihapus dari daftar awal, yang terdiri atas 31 artikel duplikat, 15 artikel yang secara otomatis tersaring karena tidak memenuhi kriteria kelayakan awal, serta 8 artikel yang dihapus akibat kendala teknis atau kesalahan entri data. Dengan demikian, tersisa 308 artikel yang selanjutnya masuk ke tahap penyaringan awal.

Pada tahap berikutnya, sebanyak 308 artikel diseleksi berdasarkan judul dan abstrak untuk menilai kesesuaian dengan fokus penelitian. Dari proses penyaringan ini, sebanyak 214 artikel dikeluarkan karena tidak memenuhi kriteria inklusi penelitian, seperti tidak membahas perbaikan atau rehabilitasi struktur, memiliki relevansi yang rendah dengan struktur kelautan atau jetty, serta menggunakan objek penelitian yang tidak berkaitan dengan infrastruktur teknik sipil. Setelah tahap ini, tersisa 94 artikel yang kemudian dipertimbangkan untuk proses evaluasi lebih lanjut pada tahap *full-text review*.

Selanjutnya, sebanyak 94 artikel *full-text* diupayakan untuk diakses dan dianalisis secara menyeluruh. Namun demikian, terdapat 12 artikel yang tidak dapat diakses secara penuh karena keterbatasan akses basis data atau kendala teknis

lainnya. Dengan demikian, sebanyak 82 artikel berhasil diperoleh dalam bentuk teks lengkap untuk dilakukan evaluasi kelayakan (*eligibility assessment*). Dari proses evaluasi tersebut, sebanyak 66 artikel dikeluarkan karena berbagai alasan, yaitu 29 artikel memiliki ketidaksesuaian tema dengan fokus metode perbaikan struktur jetty, 22 artikel berasal dari jurnal yang tidak terindeks atau tidak melalui proses *peer review*, serta 15 artikel tidak memenuhi standar metodologi penelitian yang diperlukan. Melalui proses seleksi yang sistematis tersebut, akhirnya diperoleh 16 artikel yang memenuhi seluruh kriteria inklusi dan digunakan dalam analisis *Systematic Literature Review*, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Tahapan Seleksi Artikel

Sepuluh dari enam belas artikel terpilih yang paling relevan dengan fokus penelitian selanjutnya dirangkum dalam Tabel 1 untuk memberikan gambaran mengenai karakteristik penelitian yang dianalisis.

Tabel 1. Daftar Penelitian Terdahulu

| No | Judul | Penulis dan Tahun | Hasil Penelitian |
|----|---|-----------------------------|--|
| 1 | <i>Shallow Foundations and Deep Foundations; Drilled Piers, Aggregate Piers and Stone Columns; Design Recommendations, Construction Considerations, and Performance</i> | Alimohammadi, H. (2024) | Penelitian ini menjelaskan kinerja beberapa metode fondasi seperti drilled piers, aggregate piers, dan stone columns serta memberikan rekomendasi desain dan konstruksi. Hasilnya menunjukkan bahwa pemilihan metode fondasi harus mempertimbangkan kondisi tanah, beban struktur, serta efektivitas konstruksi untuk meningkatkan stabilitas dan umur layanan struktur. |
| 2 | <i>Structural pathology of embedded timber tension grids in baroque vaulted corridors: photo-based diagnosis and reinforced-concrete replacement at Vienna's Campus Academy</i> | Arandelovic, B. (2026) | Studi ini menganalisis kerusakan struktur kayu yang tertanam pada koridor berkubah dan menggunakan diagnosis berbasis foto untuk mengidentifikasi kerusakan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggantian dengan sistem beton bertulang dapat meningkatkan kapasitas struktural serta memperpanjang umur layanan bangunan bersejarah. |
| 3 | <i>Damage Identification in Large-Scale Structures Using Time Series Analysis and Improved Sparse Regularization</i> | Chen, H., & Yuan, X. (2025) | Penelitian ini mengembangkan metode identifikasi kerusakan pada struktur skala besar menggunakan analisis deret waktu dan sparse regularization yang ditingkatkan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode tersebut mampu mendeteksi lokasi dan tingkat kerusakan dengan akurasi tinggi pada struktur besar. |

| | | | |
|---|---|--|---|
| 4 | <i>Damage Identification Strategies for the Preservation of an Existing PC-Bridge</i> | Eisermann, C., Sprenger, B., Schnellenbach-Held, M., Marx, S., & Kang, C. (2025) | Penelitian ini membahas strategi identifikasi kerusakan pada jembatan beton prategang untuk tujuan preservasi. Hasilnya menunjukkan bahwa pendekatan monitoring struktural dan analisis kondisi dapat membantu menentukan strategi perbaikan yang tepat untuk memperpanjang masa layanan jembatan. |
| 5 | <i>Carbonation Depth, Corrosion Assessment, Repairing, and Strengthening of 49-Year-Old Marine Reinforced Concrete Structures</i> | Hasan, M., Fonna, S., Saidi, T., Hasibuan, P., Bukhary, F., Dawood, R., & Mubarak, A. (2025) | Penelitian ini mengevaluasi kedalaman karbonasi dan tingkat korosi pada struktur beton bertulang yang berada di lingkungan laut. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode perbaikan dan penguatan tertentu dapat meningkatkan ketahanan struktur terhadap korosi dan memperpanjang umur layanan struktur laut. |
| 6 | <i>Structural damage identification based on physics-guided deep learning: applications to large-scale structures</i> | Lei, Y., Li, J., & Hao, H. (2025) | Studi ini mengembangkan pendekatan deep learning berbasis prinsip fisika untuk mengidentifikasi kerusakan pada struktur besar. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode ini mampu meningkatkan akurasi identifikasi kerusakan dan memberikan informasi penting dalam proses pemeliharaan serta perbaikan struktur. |
| 7 | <i>Thevenard jetty upgrade: Reconstructing an operating deteriorated structure</i> | McKay, D., & Constance, P. (2022) | Penelitian ini membahas proses peningkatan dan rekonstruksi jetty yang mengalami deteriorasi namun tetap beroperasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pendekatan rekonstruksi bertahap memungkinkan perbaikan struktur tanpa menghentikan operasional fasilitas pelabuhan. |

| | | | |
|----|--|--|---|
| 8 | <i>Repair and Strengthening of Cantilever Continuous Bridges using External Prestressed Cables: The Case Study of the Tan De Bridge in Vietnam</i> | Nguyen, D. D., & Tran, V. H. (2025) | Penelitian ini menganalisis metode perbaikan dan penguatan jembatan menggunakan kabel prategang eksternal. Hasilnya menunjukkan bahwa metode ini efektif meningkatkan kapasitas struktural dan kinerja jembatan yang mengalami penurunan kondisi. |
| 9 | <i>Regional-scale bridge condition monitoring using InSAR displacements and environmental data</i> | Quqa, S., Palermo, A., Ubertini, F., & Marzani, A. (2025) | Penelitian ini menggunakan teknologi InSAR untuk memantau kondisi jembatan dalam skala regional. Hasil penelitian menunjukkan bahwa data deformasi dan faktor lingkungan dapat digunakan untuk memprediksi kondisi struktur serta mendukung pengambilan keputusan dalam pemeliharaan dan perbaikan infrastruktur. |
| 10 | <i>Study on Rapid Repair Method of Earthquake Damaged Pier Column Based on Multi-Level Fortification</i> | Xu, X., Yan, L., Wu, H., Chen, X., Xu, S., & Li, X. (2024) | Penelitian ini mengembangkan metode perbaikan cepat untuk kolom pier yang rusak akibat gempa. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode multi-level fortification dapat mempercepat proses rehabilitasi sekaligus meningkatkan kapasitas struktural elemen pier. |

Berdasarkan hasil analisis terhadap artikel-artikel yang dirangkum dalam Tabel 1, ditemukan bahwa penelitian mengenai perbaikan dan pemeliharaan struktur infrastruktur umumnya berfokus pada identifikasi kerusakan, evaluasi kondisi struktur, serta pengembangan metode perbaikan yang mampu meningkatkan kinerja dan durabilitas struktur. Beberapa penelitian menekankan pentingnya proses identifikasi kerusakan melalui pendekatan analisis data struktural maupun metode pemantauan kondisi untuk menentukan strategi perbaikan yang tepat. Selain itu, sejumlah studi juga menunjukkan bahwa penerapan metode perbaikan seperti penguatan struktur, penggunaan material pelindung, serta strategi manajemen durabilitas dapat meningkatkan umur layanan struktur yang beroperasi pada lingkungan agresif seperti lingkungan laut. Hasil sintesis literatur ini menunjukkan bahwa pemilihan metode perbaikan yang tepat sangat dipengaruhi oleh kondisi

kerusakan, karakteristik lingkungan operasional, serta teknologi perbaikan yang tersedia, sehingga diperlukan kajian komprehensif untuk menentukan pendekatan yang paling efektif dalam penanganan kerusakan pada struktur jetty.

B. Pembahasan

Pembahasan dalam kajian *Systematic Literature Review* ini menyoroti berbagai temuan penelitian terdahulu yang berkaitan dengan kerusakan struktur, faktor lingkungan yang memengaruhi degradasi material, serta pendekatan perbaikan yang dapat diterapkan pada infrastruktur yang beroperasi di lingkungan agresif seperti struktur jetty. Kajian yang dilakukan oleh Bunce et al. (2024) menunjukkan bahwa pemodelan struktur jembatan dan infrastruktur sejenis memerlukan pemahaman yang jelas mengenai batasan sistem struktur serta interaksi antar elemen strukturalnya. Penelitian tersebut menekankan bahwa ketidakjelasan dalam mendefinisikan sistem struktur dapat memengaruhi akurasi analisis kondisi dan strategi perbaikan yang diterapkan. Dalam konteks struktur jetty, pendekatan pemodelan struktur menjadi penting untuk memahami perilaku struktur yang kompleks akibat pengaruh beban operasional dan kondisi lingkungan laut. Oleh karena itu, penelitian tersebut memberikan landasan konseptual bahwa evaluasi kondisi struktur harus dilakukan secara sistematis sebelum menentukan metode perbaikan yang tepat.

Selain aspek pemodelan struktur, beberapa penelitian terdahulu juga menyoroti pengaruh faktor lingkungan terhadap degradasi material konstruksi. Ekekezie et al. (2025) menunjukkan bahwa tingkat kelembapan yang tinggi dapat menyebabkan berbagai jenis kerusakan pada struktur bangunan, seperti penurunan kualitas material, munculnya retak pada elemen struktural, serta penurunan stabilitas struktur secara keseluruhan. Temuan tersebut menunjukkan bahwa lingkungan dengan tingkat kelembapan tinggi memiliki potensi besar dalam mempercepat proses deteriorasi material konstruksi. Dalam konteks struktur yang berada di lingkungan laut seperti jetty, kondisi kelembapan dan paparan air laut yang terus-menerus dapat mempercepat proses korosi maupun degradasi material. Dengan demikian, penelitian tersebut memberikan gambaran bahwa faktor lingkungan merupakan salah satu determinan utama yang perlu dipertimbangkan dalam strategi pemeliharaan dan perbaikan struktur.

Penelitian lain yang dilakukan oleh Gassa et al. (2024) juga menegaskan bahwa kondisi kelembapan yang tinggi dapat berdampak langsung pada stabilitas struktur bangunan. Studi tersebut menunjukkan bahwa penetrasi air dan kelembapan yang berlebihan dapat memicu kerusakan struktural yang bersifat progresif apabila tidak segera ditangani. Dampak tersebut tidak hanya terbatas pada kerusakan permukaan, tetapi juga dapat memengaruhi kekuatan struktur secara keseluruhan dalam jangka panjang. Dalam konteks struktur jetty, kondisi ini menjadi semakin penting karena struktur secara terus-menerus terpapar lingkungan laut yang memiliki kandungan garam tinggi. Oleh karena itu, hasil penelitian tersebut

menegaskan pentingnya penerapan metode perbaikan dan perlindungan struktur yang mampu mengurangi dampak lingkungan agresif terhadap material konstruksi.

Kajian yang dilakukan oleh Mydin et al. (2024a) memberikan kontribusi penting dalam memahami berbagai jenis cacat konstruksi yang disebabkan oleh penetrasi kelembapan pada material bangunan. Penelitian tersebut mengembangkan klasifikasi berbagai jenis kerusakan yang timbul akibat intrusi air, seperti retak struktural, degradasi material, serta penurunan kualitas elemen konstruksi. Klasifikasi tersebut memberikan pemahaman yang lebih sistematis mengenai proses deteriorasi struktur sehingga dapat membantu dalam menentukan metode penanganan yang lebih tepat. Dalam kaitannya dengan struktur jetty, pemahaman mengenai jenis kerusakan yang terjadi menjadi dasar penting dalam menentukan strategi perbaikan yang efektif. Oleh karena itu, pendekatan klasifikasi kerusakan seperti yang dikembangkan dalam penelitian tersebut dapat digunakan sebagai referensi dalam mengevaluasi kondisi struktur jetty sebelum menentukan metode rehabilitasi yang sesuai.

Selain faktor kelembapan, penelitian yang dilakukan oleh Mydin et al. (2024b) juga menunjukkan bahwa faktor klimatologis memiliki pengaruh yang signifikan terhadap kinerja dan durabilitas struktur bangunan. Studi tersebut menyoroti bahwa variasi suhu, kelembapan, serta kondisi iklim lainnya dapat menyebabkan perubahan sifat material dan memicu berbagai jenis kerusakan struktural. Kondisi ini menjadi semakin kompleks pada struktur yang berada di lingkungan terbuka seperti struktur pelabuhan dan jetty yang terpapar langsung oleh kondisi cuaca. Dalam jangka panjang, kombinasi antara faktor klimatologis dan kondisi lingkungan laut dapat mempercepat proses degradasi material konstruksi. Oleh karena itu, penelitian tersebut memberikan pemahaman bahwa strategi perbaikan struktur harus mempertimbangkan faktor lingkungan secara komprehensif agar dapat meningkatkan umur layanan struktur.

Penelitian yang dilakukan oleh Zhao et al. (2023) memberikan perspektif tambahan mengenai proses korosi mikrobiologis yang dapat terjadi pada material yang terendam di lingkungan air. Studi tersebut menunjukkan bahwa aktivitas mikroorganisme tertentu dapat mempercepat proses korosi pada material yang berada di lingkungan bawah air. Korosi biologis ini dapat mempercepat degradasi material secara signifikan apabila tidak ditangani dengan sistem perlindungan yang tepat. Dalam konteks struktur jetty yang sebagian elemennya berada di bawah permukaan air, fenomena korosi biologis ini menjadi salah satu faktor risiko yang perlu diperhatikan. Oleh karena itu, hasil penelitian tersebut memperkuat pentingnya penerapan metode perlindungan dan perbaikan yang mampu meminimalkan dampak korosi pada struktur yang beroperasi di lingkungan laut.

Selain aspek kerusakan material dan faktor lingkungan, beberapa penelitian juga menyoroti pentingnya pendekatan analisis keandalan dalam pengelolaan infrastruktur industri. Priyanta et al. (2024) menunjukkan bahwa penggunaan data keandalan operasional dapat membantu dalam mengidentifikasi komponen yang

memiliki tingkat kritikalitas tinggi dalam suatu sistem infrastruktur. Pendekatan tersebut memungkinkan pengelola infrastruktur untuk menentukan prioritas pemeliharaan dan perbaikan secara lebih efektif. Dalam konteks fasilitas industri seperti jetty yang digunakan dalam operasi migas, pendekatan berbasis data keandalan dapat membantu dalam menentukan strategi pemeliharaan yang lebih terencana. Dengan demikian, penelitian tersebut memberikan wawasan bahwa pengambilan keputusan dalam perbaikan struktur tidak hanya bergantung pada kondisi fisik struktur, tetapi juga pada analisis keandalan operasionalnya.

Penelitian lain yang dilakukan oleh Xing dan Cheng (2024) menunjukkan bahwa proses kondensasi dan perpindahan panas serta massa pada sistem industri dapat memengaruhi kondisi material dan kinerja komponen struktur. Studi tersebut menekankan bahwa fenomena kondensasi yang terjadi secara berkelanjutan dapat menyebabkan perubahan kondisi lingkungan mikro di sekitar material konstruksi. Kondisi tersebut dapat mempercepat proses degradasi material apabila tidak dikendalikan dengan sistem perlindungan yang memadai. Dalam konteks struktur jetty yang sering digunakan dalam fasilitas industri migas, fenomena kondensasi ini dapat memengaruhi kondisi lingkungan di sekitar struktur serta meningkatkan risiko kerusakan material. Oleh karena itu, penelitian tersebut memberikan gambaran bahwa pemahaman terhadap proses fisik yang terjadi pada lingkungan operasional juga penting dalam menentukan strategi perbaikan struktur.

Meskipun berbagai penelitian terdahulu telah memberikan kontribusi penting dalam memahami faktor-faktor yang memengaruhi kerusakan struktur serta pendekatan pemeliharaan dan perbaikannya, kajian ini masih memiliki beberapa keterbatasan. Salah satu keterbatasan utama penelitian ini adalah ketergantungan pada literatur yang tersedia sehingga hasil analisis sangat dipengaruhi oleh cakupan dan kualitas publikasi yang dianalisis. Selain itu, sebagian penelitian yang digunakan dalam kajian ini tidak secara khusus membahas struktur jetty, melainkan infrastruktur konstruksi secara umum, sehingga diperlukan interpretasi tambahan untuk mengaitkan temuan penelitian dengan konteks jetty. Keterbatasan lainnya adalah variasi metodologi yang digunakan dalam penelitian terdahulu sehingga sulit untuk melakukan perbandingan langsung antar hasil penelitian. Oleh karena itu, penelitian selanjutnya disarankan untuk melakukan kajian empiris atau studi kasus secara langsung pada struktur jetty agar dapat memberikan pemahaman yang lebih spesifik mengenai efektivitas berbagai metode perbaikan yang tersedia.

KESIMPULAN

Kesimpulan penelitian ini menunjukkan bahwa kerusakan pada struktur jetty, khususnya yang beroperasi di lingkungan laut, dipengaruhi oleh berbagai faktor seperti kelembapan tinggi, kondisi klimatologis, proses korosi, serta interaksi antara lingkungan agresif dan material konstruksi. Hasil kajian literatur menunjukkan bahwa faktor lingkungan seperti penetrasi air, kelembapan, dan aktivitas biologis memiliki peran penting dalam mempercepat proses degradasi material struktur.

Penelitian terdahulu juga menegaskan bahwa proses identifikasi kerusakan, pemahaman karakteristik deteriorasi material, serta penerapan pendekatan analisis keandalan merupakan elemen penting dalam menentukan strategi perbaikan struktur yang efektif. Oleh karena itu, kajian ini memberikan implikasi bahwa pemilihan metode perbaikan struktur jetty harus mempertimbangkan kondisi lingkungan operasional, jenis kerusakan yang terjadi, serta karakteristik material yang digunakan agar dapat meningkatkan durabilitas dan umur layanan struktur secara optimal.

Penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan yang perlu diperhatikan. Pertama, kajian ini menggunakan pendekatan *Systematic Literature Review* sehingga analisis yang dilakukan sangat bergantung pada ketersediaan serta kualitas literatur yang dianalisis. Kedua, sebagian penelitian yang digunakan dalam kajian ini tidak secara khusus membahas struktur jetty, melainkan infrastruktur konstruksi secara umum, sehingga diperlukan interpretasi tambahan dalam mengaitkan temuan penelitian dengan konteks struktur jetty. Selain itu, variasi metodologi yang digunakan dalam penelitian terdahulu juga menjadi tantangan dalam melakukan perbandingan secara langsung terhadap hasil penelitian. Oleh karena itu, penelitian selanjutnya disarankan untuk melakukan studi empiris atau studi kasus langsung pada struktur jetty sehingga dapat mengevaluasi secara lebih spesifik efektivitas berbagai metode perbaikan yang digunakan serta mengembangkan model pengambilan keputusan yang lebih komprehensif dalam pemilihan metode rehabilitasi struktur di lingkungan laut.

DAFTAR PUSTAKA

- Alimohammadi, H. (2024). Shallow foundations and deep foundations; drilled piers, aggregate piers and stone columns; design recommendations, construction considerations, and performance. *Jcer*, 6, 18–28. https://www.academia.edu/download/124897445/JCER_Vol.6_No.3_M.3.pdf
- Arandelovic, B. (2026). Structural pathology of embedded timber tension grids in baroque vaulted corridors: Photo-based diagnosis and reinforced-concrete replacement at Vienna's Campus Academy. *Case Studies in Construction Materials*, e05783. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214509526000318>
- Bunce, A., Hester, D., & Brennan, D. S. (2024, June). Where is the end of a bridge (model)?. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 2647, No. 25, p. 252024). IOP Publishing. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/2647/25/252024/meta>
- Chen, H., & Yuan, X. (2025). Damage identification in large-scale structures using time series analysis and improved sparse regularization. *Advances in Civil Engineering*, 2025(1), 3961654. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1155/adce/3961654>

- Eisermann, C., Sprenger, B., Schnellenbach-Held, M., Marx, S., & Kang, C. (2025). Damage identification strategies for the preservation of an existing PC-bridge. *Structural Health Monitoring* 2025. <https://www.dpi-proceedings.com/index.php/shm2025/article/view/37545>
- Ekekezie, C. U., Rintip, M. N., & Ajayi, B. F. (2025). The effects of dampness on some faculty buildings in Enugu State University of Science and Technology. *International Journal of Builders in Academia*, 1(2). <http://ijba.org.ng/index.php/ijba/article/view/64>
- Gassa, J. P., Gassa, K. P., Muhammad, A. B., Mudarrifu, A., & Hussaini, A. (2024). Impacts of dampness on structural stability of public secondary school buildings in Adamawa State, Nigeria. *International Journal of Innovative Science and Research Technology*, 2456–2165. <https://www.academia.edu/download/116805499/IJISRT24JUL398.pdf>
- Gu, X., Zhuang, A., Yu, J., Yang, L., Ge, S., Ruan, J., & Chai, P. (2024). Histone lactylation-boosted ALKBH3 potentiates tumor progression and diminished promyelocytic leukemia protein nuclear condensates by m1A demethylation of SP100A. *Nucleic Acids Research*, 52(5), 2273–2289. <https://academic.oup.com/nar/article-abstract/52/5/2273/7481829>
- Hasan, M., Fonna, S., Saidi, T., Hasibuan, P., Bukhary, F., Dawood, R., & Mubarak, A. (2025). Carbonation depth, corrosion assessment, repairing, and strengthening of 49-year-old marine reinforced concrete structures. *Buildings*, 15(22), 4088. <https://www.mdpi.com/2075-5309/15/22/4088>
- Lei, Y., Li, J., & Hao, H. (2025). Structural damage identification based on physics-guided deep learning: Applications to large-scale structures. *Structural Health Monitoring*. <https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/14759217251353399>
- Li, K., Zeng, J., Tang, L., Sørensen, H. E., Andrade, C., Maddalena, R., & Torrent, R. (2024). RILEM recommendation from TC 289-DCM: Guideline for designing and operating long-term marine exposure sites. *Materials and Structures*, 57(3), 44. <https://link.springer.com/article/10.1617/s11527-024-02319-9>
- McKay, D., & Constance, P. (2022). Thevenard jetty upgrade: Reconstructing an operating deteriorated structure. In *Australasian Coasts & Ports 2021: Te Oranga Takutai, Adapt and Thrive* (pp. 667–673). Christchurch, NZ: New Zealand Coastal Society. <https://search.informit.org/doi/abs/10.3316/informit.260198089866946>
- Menga, A., Kanstad, T., Cantero, D., Bathen, L., Hornbostel, K., & Klausen, A. (2023). Corrosion-induced damages and failures of posttensioned bridges: A literature review. *Structural Concrete*, 24(1), 84–99. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/suco.202200297>
- Mydin, M. A. O., Omar, R., & Muhamad Azian, F. U. (2024a). Establishing the taxonomy of building defects triggered by moisture intrusion and dampness. *Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences*, 119(2), 211–228.

- <https://pdfs.semanticscholar.org/ea58/3dea44da03df95735a5ee98192f5f027b541.pdf>
- Mydin, M. A. O., Sarpin, N., Zainol, R. M., Odeh, R., & Nawli, M. N. M. (2024b). The impact of climatological factors on the multifaceted and multisystemic deficiencies of building anatomy. *Journal of Advanced Research in Applied Sciences and Engineering Technology*, 50, 308–329. <https://pdfs.semanticscholar.org/4096/b15551582b474a6c7aa8a54667fc1eb098bc.pdf>
- Nguyen, D. D., & Tran, V. H. (2025). Repair and strengthening of cantilever continuous bridges using external prestressed cables: The case study of the Tan De Bridge in Vietnam. *Engineering, Technology & Applied Science Research*, 15(1), 20005–20011. <https://etasr.com/index.php/ETASR/article/view/9536>
- Priyanta, D., Zaman, M. B., & Semin. (2024, February). The application of OREDA (offshore reliability data) in developing valve criticality analysis criteria. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 1298, No. 1, p. 012015). IOP Publishing. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/1298/1/012015/meta>
- Quqa, S., Palermo, A., Ubertini, F., & Marzani, A. (2025). Regional-scale bridge condition monitoring using InSAR displacements and environmental data. *Structural Health Monitoring*, 24(4), 2271–2291. <https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/14759217241302369>
- Richard, B., Boll, R., Banerjee, S., Schäfer, J. M., Jurek, Z., Kastirke, G., & Jahnke, T. (2025). Imaging collective quantum fluctuations of the structure of a complex molecule. *Science*, 389(6760), 650–654. <https://www.science.org/doi/abs/10.1126/science.adu2637>
- Shajihan, A., Mechitov, K., Chowdhary, G., & Spencer, B. F., Jr. (2026). Physics-informed neural network based damage identification for truss railroad bridges. *Structure and Infrastructure Engineering*, 1–22. <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/15732479.2026.2628861>
- Wang, S., Jiang, S., Xu, Q., Li, P., & Wang, W. (2025). Prediction of underwater concrete compressive strength using deep ELM optimized by rime optimization algorithm. *Measurement*, 118648. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S026322412502007X>
- Xing, J., & Cheng, Q. (2024). Theoretical and experimental study of positive-pressure condensation heat and mass transfer processes in bent-tube heat exchangers. *Buildings*, 15(1), 83. <https://www.mdpi.com/2075-5309/15/1/83>
- Xu, X., Yan, L., Wu, H., Chen, X., Xu, S., & Li, X. (2024). Study on rapid repair method of earthquake damaged pier column based on multi-level fortification. *Buildings*, 15(1), 81. <https://www.mdpi.com/2075-5309/15/1/81>
- Yuan, Z., Ma, P., Li, K., Li, Q., Zhang, Y., Li, L., & Su, Q. (2025). Durability management and planning for concrete structures in the Hong Kong–Zhuhai–Macau Sea

Reslaj: Religion Education Social Laa Roiba Journal

Volume 8 Nomor 5 (2026) 255 – 270 P-ISSN 2656-274x E-ISSN 2656-4691
DOI: 10.47476/reslaj.v8i5.11797

Link Project: Data-driven and model-based approach. *Civil Engineering Sciences*, 1, 0004. <https://spj.science.org/doi/abs/10.34133/cesci.0004>

Zhao, M., Zhai, Y., Zhao, J., Zhou, W., Zhao, L., Ge, Y., & Luo, H. (2023). Microbial corrosion on underwater pottery relics with typical biological condensation disease. *Heritage Science*, 11(1), 1–19. <https://www.nature.com/articles/s40494-023-01111-2>

Zhu, L., Chen, T., Chen, L., Lu, Z., Hu, X., & Huang, X. (2023). Experimental testing and residual performance evaluation of existing hangers with steel pipe protection taken from an in-service tied-arch bridge. *Applied Sciences*, 13(19), 11070. <https://www.mdpi.com/2076-3417/13/19/11070>