



Penerapan *Building Information Modeling* (BIM) sebagai Sistem Informasi dalam Peningkatan Kinerja Pemeliharaan Bendungan

Toha Saleh¹, Yusuf Latief², Dwita Sutjiningsih M³, Diana Rohmatul F⁴

Universitas Indonesia, Indonesia

Email: tohasaleh34@gmail.com

ABSTRAK

Bendungan merupakan infrastruktur penting yang menghadapi tantangan pemeliharaan karena keterbatasan sumber daya, data yang terfragmentasi, dan inefisiensi dalam manajemen alur kerja. *Building Information Modeling* (BIM), dengan mengintegrasikan data multidimensi, menawarkan solusi yang menjanjikan untuk mengatasi tantangan ini dengan meningkatkan operasi pemeliharaan melalui visualisasi data, koordinasi, dan pengambilan keputusan yang lebih baik. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menyelidiki bagaimana BIM dapat meningkatkan efisiensi dan kinerja operasi pemeliharaan bendungan di Indonesia. Penelitian ini menggunakan pendekatan metode campuran, yang menggabungkan metode kualitatif dan kuantitatif. Data dikumpulkan melalui wawancara semi-terstruktur dengan para pakar dan insinyur pemeliharaan bendungan, serta observasi lapangan terhadap proyek-proyek yang menerapkan BIM. Analisis ini juga melibatkan tinjauan literatur yang relevan tentang aplikasi BIM global. Data kuantitatif dianalisis menggunakan alat statistik, sementara data kualitatif dikodekan untuk mengidentifikasi wawasan dan tema utama. Hasil penelitian menunjukkan bahwa BIM secara signifikan meningkatkan efisiensi pemeliharaan bendungan dengan mengoptimalkan penjadwalan pemeliharaan, alokasi sumber daya, dan pemantauan struktural. Kemampuan pemodelan 3-Dimensi (3D) BIM memungkinkan deteksi dini masalah struktural, meningkatkan keselamatan, serta keandalan. Selain itu, penelitian ini mengidentifikasi tantangan skalabilitas untuk proyek berskala kecil dan merekomendasikan solusi yang disesuaikan untuk memastikan penerapan yang lebih luas. Penelitian ini berkontribusi pada pengembangan strategi pemeliharaan berkelanjutan untuk infrastruktur penting, terutama di negara-negara berkembang seperti Indonesia.

Kata Kunci: Pemeliharaan Bendungan, *Building Information Modelling* (BIM), Sistem Informasi, Peningkatan Kinerja

ABSTRACT

Dams are critical infrastructure that faces maintenance challenges due to resource limitations, fragmented data, and inefficiencies in workflow management. Building Information Modeling (BIM), by integrating multidimensional data, offers a promising solution to address these challenges by improving maintenance operations through better data visualization, coordination, and decision-making. The purpose of this study is to investigate how BIM can improve the efficiency and performance of dam maintenance operations in Indonesia. This study uses a mixed method approach, which combines qualitative and quantitative methods. Data was collected through semi-structured interviews with dam maintenance experts and engineers, as well as field observations of projects that implemented BIM. The analysis also involves a review of relevant literature on global BIM applications. Quantitative data is analyzed using statistical tools, while qualitative data is coded to identify key insights and themes. The results show that BIM significantly improves dam maintenance efficiency by optimizing maintenance scheduling, resource allocation, and structural monitoring. BIM's 3-Dimensional (3D) modeling capabilities enable early detection of structural problems, improve safety, and reliability. In addition, the study identifies scalability challenges for small-scale projects and recommends tailored solutions to ensure wider deployment. This research contributes to the development of sustainable maintenance strategies for critical infrastructure, especially in developing countries such as Indonesia.

Keywords: *Dam Maintenance; Building Information Modelling (BIM); Information Systems; Performance Improvement.*

PENDAHULUAN

Bendungan merupakan infrastruktur penting yang memiliki banyak fungsi, termasuk pengelolaan sumber daya air, irigasi, pembangkit listrik tenaga air, dan pengendalian banjir (Wahsyati et al., 2021). Untuk memastikan kinerja dan keamanan bendungan yang optimal, diperlukan pemeliharaan yang teratur dan efektif. Namun, metode pemeliharaan tradisional sering kali menghadapi tantangan seperti data yang terfragmentasi, alokasi sumber daya yang tidak efisien, dan kolaborasi yang terbatas di antara para pemangku kepentingan (Popescu et al., 2022).

Sebagai respons terhadap tantangan ini, Building Information Modeling (BIM) telah muncul sebagai alat digital yang transformatif untuk meningkatkan efisiensi dan kinerja pemeliharaan infrastruktur (Ajrotutu et al., 2024). BIM mengintegrasikan data multidimensi, memungkinkan visualisasi, koordinasi, dan pengambilan keputusan yang lebih baik di seluruh siklus hidup aset infrastruktur. Secara global, adopsi BIM dalam proyek infrastruktur telah menunjukkan manfaat yang signifikan, terutama dalam meningkatkan kolaborasi dan mengurangi biaya operasional. Menurut penelitian oleh (Ramadhani & Rengganis, 2024), penerapan BIM dalam industri konstruksi dan pemeliharaan infrastruktur dapat menghemat biaya hingga 20% dengan meningkatkan efisiensi perencanaan dan manajemen proyek. Selain itu, laporan dari (I. A. Wibowo, 2024) menyebutkan bahwa penggunaan BIM pada infrastruktur dapat meningkatkan koordinasi antar pemangku kepentingan dan mengurangi kesalahan desain serta pengerjaan ulang.

Secara global, adopsi BIM dalam proyek infrastruktur telah menunjukkan manfaat signifikan, terutama dalam meningkatkan kolaborasi dan mengurangi biaya operasional. Ramadhani & Rengganis (2024) menyebutkan bahwa penggunaan BIM dapat menghemat biaya hingga 20% dengan meningkatkan efisiensi perencanaan dan manajemen proyek. Sementara itu, I. A. Wibowo (2024) menyatakan bahwa penerapan BIM dapat meningkatkan koordinasi antar pemangku kepentingan dan mengurangi kesalahan desain. Dalam sektor pemeliharaan, Sari et al. (2024) menemukan bahwa BIM membantu pengelolaan informasi sepanjang siklus hidup 850eput dan meningkatkan koordinasi antar pihak yang terlibat. Selain itu, penelitian dari Apriansyah (2021) menunjukkan bahwa penggunaan BIM dalam proyek 850eputusan850 dapat mengurangi pengerjaan ulang dan kesalahan desain secara signifikan. Namun demikian, penerapan BIM dalam konteks pemeliharaan bendungan masih belum banyak dijelajahi secara mendalam.

Indonesia memiliki lebih dari 230 bendungan aktif, yang banyak di antaranya telah beroperasi selama puluhan tahun dan menghadapi tantangan perawatan akibat usia dan keterbatasan anggaran pemeliharaan (Initiative, 2010). Permasalahan utama yang muncul adalah kurangnya integrasi informasi teknis yang masih tersebar di berbagai dokumen manual, yang menyulitkan proses pemantauan dan inspeksi. Jumiono et al. (2024) menyoroti bahwa

851eputu informasi yang konvensional menjadi salah satu penghambat utama dalam pengambilan 851eputusan cepat di lapangan. Selain itu, Herzanita et al. (2018) menekankan pentingnya digitalisasi dalam pemeliharaan bendungan untuk meningkatkan efektivitas dan efisiensi manajemen. Meskipun banyak studi telah membahas penerapan BIM dalam konteks konstruksi atau proyek baru, masih terdapat keterbatasan penelitian yang secara spesifik mengeksplorasi implementasi BIM dalam pemeliharaan bendungan di Indonesia. Hal ini menciptakan celah penelitian yang penting untuk ditangani, mengingat tingginya risiko kerusakan dan potensi bencana jika bendungan tidak dikelola secara optimal.

Dalam konteks pemeliharaan bendungan, pemanfaatan BIM masih sangat terbatas dibandingkan dengan sektor konstruksi lainnya. Indonesia sebagai negara dengan lebih dari 230 bendungan yang melayani berbagai keperluan nasional, menghadapi tantangan besar dalam memelihara infrastruktur ini (Initiative, I.I, 2010). Banyak bendungan di Indonesia yang telah beroperasi selama puluhan tahun dan mengalami kerusakan akibat usia dan keterbatasan sumber daya pemeliharaan. Salah satu masalah utama dalam pemeliharaan bendungan adalah kurangnya integrasi data yang menghambat pengambilan keputusan yang cepat dan akurat (Jumiono et al., 2024). Selain itu, pengelolaan informasi teknis yang masih berbasis dokumen konvensional menyebabkan inefisiensi dalam pelaksanaan inspeksi dan pemeliharaan. Beberapa penelitian telah mengeksplorasi manfaat BIM dalam pemeliharaan infrastruktur.

Manfaat BIM dalam industri konstruksi dan menemukan bahwa penggunaan BIM dapat meningkatkan efisiensi manajemen proyek dan mengurangi kesalahan desain dan pengerjaan ulang (Apriansyah, 2021). Penelitian lain mengevaluasi peran BIM dalam operasi dan pemeliharaan infrastruktur, menemukan bahwa BIM membantu dalam pengelolaan informasi sepanjang siklus hidup aset dan meningkatkan koordinasi antara pihak-pihak terkait (Sari et al., 2024). Penelitian sebelumnya menunjukkan penerapan BIM dalam manajemen infrastruktur air dan menunjukkan bahwa BIM dapat meningkatkan efisiensi pemeliharaan dengan memberikan informasi visual dan analisis berbasis data real-time (A. Wibowo, 2021).

Tantangan dalam pemeliharaan bendungan di Indonesia dan mengusulkan digitalisasi sebagai solusi untuk mengatasi fragmentasi data dan meningkatkan efektivitas manajemen bendungan (Herzanita et al., 2018). Namun, belum banyak penelitian yang secara khusus membahas penerapan BIM dalam pemeliharaan bendungan di Indonesia. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengisi kesenjangan penelitian. Pemeliharaan bendungan yang tidak efektif dapat menimbulkan dampak yang serius, seperti kegagalan struktur, hilangnya fungsi utama bendungan, bahkan risiko bencana bagi masyarakat sekitar (Ulum, 2014). Dengan semakin tingginya kebutuhan akan pemeliharaan yang efisien, teknologi seperti BIM dapat menjadi solusi inovatif untuk meningkatkan efektivitas dan efisiensi pemeliharaan bendungan. Tanpa adopsi teknologi digital, pemeliharaan bendungan di Indonesia akan terus menghadapi tantangan seperti keterbatasan sumber daya manusia dan anggaran pemeliharaan, kurangnya koordinasi antara berbagai pemangku kepentingan, dan data teknis yang tersebar sehingga sulit diakses secara real-time.

Penelitian ini memiliki beberapa hal baru yang membedakannya dengan penelitian sebelumnya yang lebih banyak membahas tentang konstruksi dan manajemen proyek, penelitian ini mengeksplorasi implementasi BIM secara spesifik dalam pemeliharaan

bendungan. Mengingat kondisi geografis dan tantangan spesifik yang dihadapi oleh infrastruktur bendungan di Indonesia, penelitian ini menawarkan perspektif yang lebih lokal dan aplikatif. Selain itu, penelitian ini tidak hanya membahas adopsi BIM, tetapi juga mengevaluasi dampaknya terhadap efisiensi dan kinerja pemeliharaan bendungan. Berdasarkan latar belakang di atas, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis penerapan BIM dalam pemeliharaan bendungan di Indonesia, mengidentifikasi manfaat utama BIM dalam meningkatkan efisiensi dan kinerja pemeliharaan bendungan, mengevaluasi tantangan dan kendala dalam penerapan BIM untuk pemeliharaan bendungan, dan menyusun rekomendasi strategi penerapan BIM yang sesuai dengan kondisi infrastruktur bendungan di Indonesia.

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat bagi berbagai pihak, termasuk pemerintah dan regulator sebagai dasar penyusunan kebijakan terkait pemeliharaan infrastruktur bendungan dengan pendekatan teknologi digital. Selain itu, pengelola bendungan dapat memperoleh wawasan tentang cara meningkatkan efisiensi pemeliharaan melalui penggunaan BIM. Akademisi dan peneliti juga dapat menambah literatur tentang penerapan BIM dalam pemeliharaan infrastruktur, terutama di negara-negara berkembang. Masyarakat umum juga dapat merasakan dampak positif dari pemeliharaan bendungan yang lebih baik, di mana risiko bencana akibat kegagalan bendungan dapat diminimalkan, sehingga meningkatkan keselamatan dan kesejahteraan masyarakat.

Berdasarkan latar belakang tersebut, tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis penerapan Building Information Modeling (BIM) dalam pemeliharaan bendungan di Indonesia, mengevaluasi dampaknya terhadap efisiensi penjadwalan, alokasi sumber daya, dan pemantauan 852eputusan852, serta mengidentifikasi tantangan dan hambatan dalam implementasi BIM. Selain itu, penelitian ini bertujuan 852eputusa rekomendasi strategi implementasi BIM yang sesuai dengan karakteristik bendungan dan kondisi pemeliharaan infrastruktur di Indonesia. Diharapkan hasil dari penelitian ini dapat memberikan kontribusi terhadap praktik pemeliharaan infrastruktur berbasis teknologi digital, baik untuk akademisi, pemerintah, maupun pengelola bendungan.

METODE

Penelitian ini mengadopsi pendekatan metode campuran yang menggabungkan metode kualitatif dan kuantitatif untuk menganalisis secara menyeluruh dampak Building Information Modeling (BIM) terhadap efisiensi dan kinerja pemeliharaan infrastruktur, khususnya pada bendungan di Indonesia. Data primer diperoleh melalui wawancara semi-terstruktur dengan profesional pemeliharaan, teknisi, dan pembuat kebijakan, serta observasi lapangan terhadap proyek bendungan yang telah mengimplementasikan BIM, sedangkan data sekunder dikumpulkan dari tinjauan literatur global terkait praktik terbaik BIM dalam pemeliharaan infrastruktur. Pengambilan sampel dilakukan secara purposive dengan memilih bendungan yang merepresentasikan beragam skala operasional dan melibatkan peserta yang memiliki kepakaran serta keterlibatan langsung dalam proyek pemeliharaan. Analisis dilakukan menggunakan perangkat lunak BIM seperti Autodesk Revit untuk mengevaluasi integrasi data dan perencanaan pemeliharaan, serta alat statistik seperti SPSS dan Microsoft Excel untuk mengukur efisiensi dan perubahan kinerja secara kuantitatif. Data kualitatif dianalisis melalui

proses pengkodean dan kategorisasi untuk mengidentifikasi tema utama terkait tantangan dan manfaat penerapan BIM. Pendekatan integratif ini menghasilkan pemahaman holistik dan berbasis bukti yang bertujuan memberikan kontribusi praktis dan akademik terhadap pengembangan strategi pemeliharaan infrastruktur berbasis BIM di Indonesia.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil validasi selaras erat dengan tujuan penelitian, yang mengonfirmasi efektivitas BIM dalam meningkatkan pemeliharaan bendungan. Temuan tersebut mendukung penelitian sebelumnya (Getuli et al., 2017); (Li et al., 2022) tentang kemampuan BIM untuk meningkatkan alur kerja operasional, mitigasi risiko, dan manajemen sumber daya dalam proyek infrastruktur.

Wawasan para pakar memberikan rekomendasi yang dapat ditindaklanjuti untuk mengatasi tantangan praktis:

- Kebijakan dan Kebutuhan Pelatihan: Para pembuat kebijakan harus fokus pada subsidi biaya awal dan menyediakan program pelatihan untuk mengatasi kesenjangan keterampilan.
- Adaptasi untuk Proyek Skala Lebih Kecil: Alat BIM yang disesuaikan dan alur kerja yang disederhanakan diperlukan untuk memastikan skalabilitas dan adopsi yang lebih luas.
- Aplikasi yang Lebih Luas: Keberhasilan BIM dalam pemeliharaan bendungan menyoroti potensinya untuk aplikasi di domain infrastruktur lain, termasuk jembatan dan sistem distribusi air.

Hasil validasi pakar (tabel 1) mengonfirmasi bahwa Building Information Modelling (BIM) secara signifikan meningkatkan efisiensi, efektivitas, dan keandalan operasi pemeliharaan bendungan.

Tabel 1. Hasil Analisis Validasi Pakar

No	Pakar	Tanggapan/Jawaban	Analisis
1	Pakar 1	BIM secara signifikan meningkatkan penjadwalan pemeliharaan dengan menyediakan <i>update real-time</i> .	BIM memastikan pembaharuan informasi secara 853eputusa yang memungkinkan penjadwalan dan perencanaan yang lebih baik, mengurangi tertundanya pekerjaan-pekerjaan kegiatan pemeliharaan.
2	Pakar 2	Alokasi sumber daya dengan memvisualisasikan kebutuhan sumber daya dan mengurangi yang tidak perlu.	Penyajian visual membantu mengoptimalkan alokasi sumber daya, meminimalkan penggunaan sumber daya berlebih maupun penggunaan yang kurang.
3	Pakar 3	Memfasilitasi pengawasan (monitoring) 853eputusan853 dengan memanfaatkan model 3D, sehingga dapat meminimalkan risiko.	3D <i>modelling</i> memungkinkan identifikasi awal terkait permasalahan struktural, mengurangi risiko, dan peningkatan <i>safety</i> (keselamatan).

No	Pakar	Tanggapan/Jawaban	Analisis
4	Pakar 4	Meningkatkan efisiensi dalam mendeteksi dan memecahkan masalah-masalah operasional pemeliharaan.	Instrumen deteksi dini yang canggih meningkatkan efisiensi dalam memecahkan masalah secara singkat, mengurangi kesenjangan maupun gangguan operasional.
5	Pakar 5	Meningkatkan koordinasi kegiatan operasional dan mengurangi <i>downtime</i> (854eputu 854eputu, layanan, maupun instrument tidak tersedia/berfungsi) secara signifikan.	Koordinasi yang lebih baik di antara tim pelaksana dapat mengarah kepada permasalahan yang lebih sedikit, serta meyakinkan lancarnya kegiatan operasional dan mengurangi <i>downtime</i> .

Analisis Penulis, 2025

Integrasi BIM ke dalam alur kerja pemeliharaan memberikan manfaat yang komprehensif, mengatasi tantangan yang secara tradisional dikaitkan dengan proyek infrastruktur yang kompleks. Salah satu keuntungan utama yang disorot oleh para pakar adalah kemampuan BIM untuk meningkatkan efisiensi dalam penjadwalan dan pengelolaan sumber daya. Dengan menawarkan pembaruan waktu nyata, BIM memungkinkan perencanaan yang lebih akurat dan mengurangi keterlambatan dalam tugas pemeliharaan.

Hal ini memastikan alur kerja yang efisien, di mana sumber daya dialokasikan secara efisien, meminimalkan pemborosan dan pemanfaatan yang kurang. Optimalisasi tersebut tidak hanya mengurangi biaya tetapi juga meningkatkan kinerja operasional keseluruhan dari aktivitas pemeliharaan bendungan. Kemampuan visualisasi BIM juga memainkan peran penting dalam pemantauan struktural dan mitigasi risiko. Fitur pemodelan 3D memungkinkan deteksi dini masalah struktural, memungkinkan tim pemeliharaan untuk mengidentifikasi kerentanan dan menerapkan tindakan korektif secara proaktif. Hal ini sangat berharga untuk bendungan, di mana konsekuensi dari kegagalan struktural dapat menjadi bencana besar. Dengan mengintegrasikan alat diagnostik canggih, BIM mendorong pendekatan pencegahan terhadap pemeliharaan, mengurangi kemungkinan gangguan yang signifikan. Kolaborasi dan koordinasi antar tim semakin diperkuat melalui BIM.

Platform berbagi data terpusat memfasilitasi komunikasi yang lebih baik antara para pemangku kepentingan, yang mengarah pada operasi yang lebih lancar dan meminimalkan hambatan. Lingkungan kolaboratif ini tidak hanya meningkatkan efisiensi tim tetapi juga memastikan bahwa aktivitas pemeliharaan dilaksanakan dengan presisi dan tepat waktu. Meskipun memiliki banyak keuntungan, skalabilitas tetap menjadi tantangan bagi BIM, terutama untuk proyek berskala kecil.

Para pakar menekankan perlunya solusi yang disesuaikan, termasuk alat yang hemat biaya dan dukungan pemerintah, untuk membuat BIM dapat diakses untuk proyek-proyek dengan sumber daya terbatas. Program pelatihan dan pengembangan keterampilan juga penting untuk mengatasi kesenjangan tenaga kerja dan memastikan keberhasilan implementasi BIM di berbagai proyek infrastruktur. Temuan dari validasi pakar menjawab pertanyaan penelitian: *“Bagaimana implementasi Building Information Modelling (BIM) meningkatkan efisiensi dan*

kinerja operasi pemeliharaan bendungan, khususnya dalam hal penjadwalan pemeliharaan, alokasi sumber daya, dan pemantauan struktural?” sebagai berikut:

1. Peningkatan Efisiensi: BIM meningkatkan penjadwalan pemeliharaan dan alokasi sumber daya, mengurangi penundaan dan mengoptimalkan penggunaan sumber daya.
2. Mitigasi Risiko: Identifikasi risiko struktural sejak dini melalui pemodelan 3D memperkuat langkah-langkah keselamatan dan keandalan operasional.
3. Peningkatan Kolaborasi: BIM mendorong koordinasi tim yang lebih baik, mengurangi hambatan operasional dan meningkatkan pelaksanaan tugas.
4. Efektivitas Biaya: Dengan mengoptimalkan alur kerja dan sumber daya, BIM berkontribusi pada pengurangan biaya yang signifikan dalam operasi pemeliharaan.
5. Tantangan Skalabilitas: Meskipun efektif untuk proyek skala besar, implementasi skala kecil memerlukan dukungan finansial dan pelatihan untuk mengatasi hambatan biaya dan kepakaran.

Temuan ini menunjukkan potensi transformatif BIM dalam pemeliharaan bendungan, menyediakan landasan yang kuat untuk pengembangan dan penerapan lebih lanjut dalam berbagai proyek infrastruktur. Mengintegrasikan wawasan ini dengan kebijakan nasional dan inisiatif pelatihan dapat lebih mempercepat adopsi BIM dan memaksimalkan dampaknya.

Tabel 2. Hasil Analisis Validasi Pakar

No	Pakar	Response	Analyze
1	Pakar 1	Pengurangan biaya yang diamati dapat dilakukan tetapi bergantung pada skala implementasi.	Penghematan biaya dapat dicapai jika implementasi BIM dioptimalkan untuk ukuran proyek, yang menunjukkan pendekatan yang disesuaikan untuk memaksimalkan efisiensi.
2	Pakar 2	Potensi mitigasi risiko tinggi, terutama untuk bendungan skala besar.	BIM paling efektif dalam meminimalkan risiko dalam proyek skala besar, karena meningkatkan akurasi deteksi risiko dan meningkatkan strategi respons.
3	Pakar 3	Skalabilitas merupakan tantangan karena perlunya personel yang terampil dan pelatihan.	Skalabilitas memerlukan penanganan kesenjangan keterampilan tenaga kerja melalui program pelatihan dan pengembangan kapasitas untuk memperluas adopsi BIM di berbagai proyek.
4	Pakar 4	BIM dapat disesuaikan dengan infrastruktur lain dengan penyesuaian yang tepat.	Fleksibilitas BIM memungkinkannya untuk diimplementasikan dalam berbagai jenis infrastruktur, asalkan penyesuaian khusus proyek dikembangkan secara efektif.
5	Pakar 5	Penerapannya memerlukan dukungan pemerintah dan peralatan berbiaya rendah.	Perluasan penerapan BIM dalam proyek yang lebih kecil memerlukan insentif finansial dan alat yang mudah diakses untuk memastikan efektivitas biaya dan implementasi yang lebih luas.

Hasil analisis validasi pakar (berdasarkan tabel 2 di atas) menunjukkan bahwa Building Information Modelling (BIM) secara signifikan meningkatkan operasi pemeliharaan bendungan dengan mengatasi tantangan utama dan meningkatkan efisiensi secara keseluruhan. BIM mengoptimalkan penjadwalan pemeliharaan dan alokasi sumber daya, terutama untuk bendungan skala besar, di mana skala ekonomi mengarah pada pengurangan biaya. Proyek skala kecil, namun, memerlukan strategi yang disesuaikan dan dukungan finansial untuk mencapai manfaat yang sama, memastikan adopsi yang adil di semua jenis bendungan.

Kemampuan data *real-time* BIM memainkan peran penting dalam mitigasi risiko untuk pemeliharaan bendungan. Deteksi dini kerentanan struktural, seperti rembesan atau erosi, memastikan intervensi tepat waktu, meningkatkan keselamatan dan keandalan operasional jangka panjang. Selain itu, kemampuan adaptasi teknologi memungkinkan solusi pemeliharaan yang disesuaikan dengan kebutuhan unik dari berbagai infrastruktur bendungan, dari spillway hingga struktur intake. Terlepas dari manfaatnya, adopsi BIM dalam pemeliharaan bendungan menghadapi tantangan skalabilitas karena kesenjangan keterampilan tenaga kerja. Program pelatihan yang ditargetkan dan inisiatif pengembangan kapasitas sangat penting untuk membekali tim pemeliharaan dengan kepakaran yang diperlukan untuk sepenuhnya memanfaatkan kemampuan BIM. Selain itu, hambatan finansial dan teknis dalam proyek bendungan skala kecil memerlukan dukungan pemerintah dan pengembangan alat yang hemat biaya untuk memfasilitasi implementasi yang lebih luas.

Temuan dari validasi pakar menjawab pertanyaan penelitian: *“Hasil terukur apa, seperti pengurangan biaya dan mitigasi risiko, yang terkait dengan integrasi BIM dalam pemeliharaan bendungan, dan bagaimana temuan ini dapat menginformasikan skalabilitas BIM untuk jenis infrastruktur dan wilayah lain dengan berbagai tingkat adopsi teknologi?”* sebagai berikut:

1. Efisiensi Biaya: BIM menghemat biaya dalam proyek besar melalui skala ekonomi tetapi memerlukan strategi khusus untuk proyek yang lebih kecil.
2. Mitigasi Risiko: BIM meningkatkan manajemen risiko dengan menyediakan data waktu nyata, yang memungkinkan deteksi dini dan mitigasi risiko struktural, terutama di bendungan skala besar.
3. Tantangan Skalabilitas: BIM menunjukkan fleksibilitas dengan dapat beradaptasi dengan berbagai jenis infrastruktur, termasuk jembatan, sistem air, dan proyek yang lebih kecil, asalkan kustomisasi khusus proyek diterapkan.
4. Fleksibilitas dan Kemampuan Beradaptasi: Dengan mengoptimalkan alur kerja dan sumber daya, BIM berkontribusi pada pengurangan biaya yang signifikan dalam operasi pemeliharaan.

Tabel 3 di bawah ini menyajikan hasil analisis validasi pakar tentang Dampak BIM pada Pemeliharaan dan Operasi Bendungan. Analisis ini mencakup aspek, deskripsi, dan evaluasi mendalam tentang dampak terhadap operasi pemeliharaan bendungan.

Table 3. Dampak BIM terhadap Pemeliharaan dan Operasi Bendungan

No	Aspek	Deskripsi	Analisis
1	Penjadwalan Pemeliharaan (<i>Maintenance Scheduling</i>)	Memungkinkan penjadwalan yang akurat dan tepat waktu melalui pembaruan waktu nyata, mengurangi penundaan.	Meningkatkan efisiensi dan mengurangi penundaan.
2	Alokasi Sumber Daya (<i>Resource Allocation</i>)	Mengoptimalkan penggunaan sumber daya dengan meminimalkan pemborosan dan memastikan alokasi yang efisien.	Mengurangi biaya dan memastikan manajemen sumber daya yang optimal.
3	Pemantauan Struktural (<i>Monitoring</i>)	Memfasilitasi deteksi dini masalah struktural, meningkatkan keselamatan dan keandalan.	Meminimalkan risiko dan meningkatkan keselamatan jangka panjang.
4	Resolusi Masalah	Memperlancar identifikasi dan resolusi masalah, meminimalkan waktu henti (<i>downtime</i>).	Meningkatkan kontinuitas operasional dan mengurangi gangguan.
5	Koordinasi Operasional	Meningkatkan kolaborasi tim dan mengurangi hambatan, memastikan operasi yang lebih lancar.	Memperkuat koordinasi dan meningkatkan pelaksanaan tugas.
6	Efisiensi Biaya (<i>Cost Efficiency</i>)	BIM menghemat biaya dalam proyek besar melalui skala ekonomi tetapi memerlukan strategi yang disesuaikan untuk proyek yang lebih kecil.	Meningkatkan alokasi sumber daya dan mengurangi biaya operasional..
7	Mitigasi Risiko	BIM menyediakan data waktu nyata untuk deteksi dini risiko 857putusan857, meningkatkan manajemen risiko dalam proyek berskala besar.	Meningkatkan keselamatan dan keandalan jangka panjang.
8	Tantangan Skalabilitas (<i>Scalability Challenges</i>)	Penerapan BIM terhambat oleh kurangnya personel terampil dan kebutuhan akan program pelatihan.	Penerapan yang lebih luas dimungkinkan melalui pengembangan tenaga kerja.
9	Fleksibilitas dan Kemampuan Beradaptasi	BIM beradaptasi dengan baik terhadap berbagai jenis infrastruktur dengan penyesuaian yang tepat.	Memperluas penerapannya di berbagai konteks proyek.

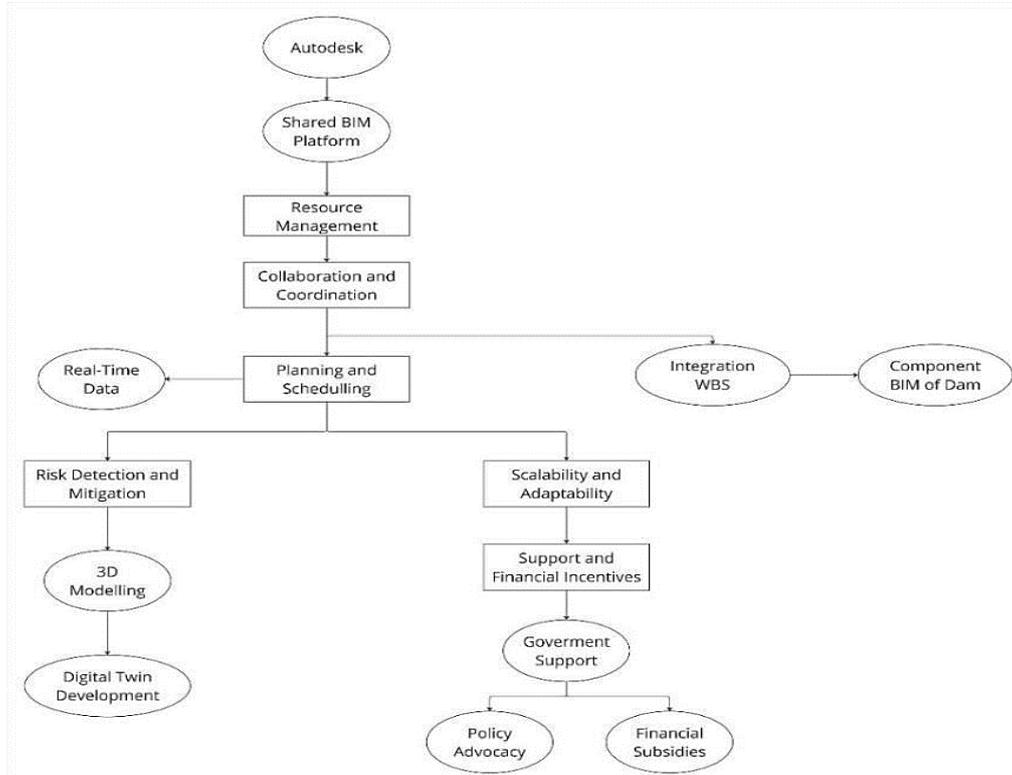
Analisis Penulis, 2025

Penerapan Building Information Modelling (BIM) secara signifikan meningkatkan efisiensi dan kinerja operasi pemeliharaan bendungan. BIM memastikan penjadwalan yang akurat dan tepat waktu melalui pembaruan waktu nyata, mengurangi keterlambatan, dan meningkatkan efisiensi operasional. BIM mengoptimalkan alokasi sumber daya dengan meminimalkan pemborosan dan memastikan penggunaan material yang efisien, yang mengarah pada pengurangan biaya dan manajemen biaya keseluruhan yang lebih baik. Selain

itu, BIM memfasilitasi deteksi dini masalah struktural, meningkatkan langkah-langkah keselamatan, dan memastikan keandalan infrastruktur bendungan dalam jangka panjang.

Dengan menyederhanakan identifikasi dan penyelesaian masalah, BIM meminimalkan waktu henti dan meningkatkan kesinambungan operasional. BIM juga memperkuat kolaborasi tim, mengurangi hambatan, dan memastikan pelaksanaan tugas yang lebih lancar, sehingga menghasilkan operasi yang lebih terkoordinasi dan efektif. Untuk proyek skala besar, BIM mencapai penghematan biaya melalui skala ekonomi; namun, proyek yang lebih kecil memerlukan strategi yang disesuaikan untuk mencapai efisiensi yang sama. Selain itu, BIM meningkatkan mitigasi risiko dengan menyediakan data waktu nyata untuk deteksi dini risiko struktural, mengurangi kerentanan, dan memastikan keselamatan. Meskipun memiliki banyak manfaat, adopsi BIM menghadapi tantangan skalabilitas karena kesenjangan keterampilan tenaga kerja, yang menyoroti perlunya program pelatihan dan inisiatif pengembangan kapasitas (Ajirotutu et al., 2024).

Fleksibilitas BIM memungkinkannya untuk beradaptasi dengan berbagai jenis infrastruktur, seperti jembatan, sistem air, dan proyek yang lebih kecil, melalui penyesuaian yang tepat, sehingga memperluas penerapannya di berbagai konteks proyek. Secara keseluruhan, BIM adalah alat transformatif untuk memodernisasi operasi pemeliharaan bendungan, yang menawarkan peningkatan efisiensi, penghematan biaya, dan peningkatan keselamatan (Widyaka et al., 2024). Mengatasi tantangan terkait skalabilitas dan menyediakan dukungan finansial dan teknis untuk proyek yang lebih kecil akan semakin memaksimalkan potensinya dalam manajemen infrastruktur.

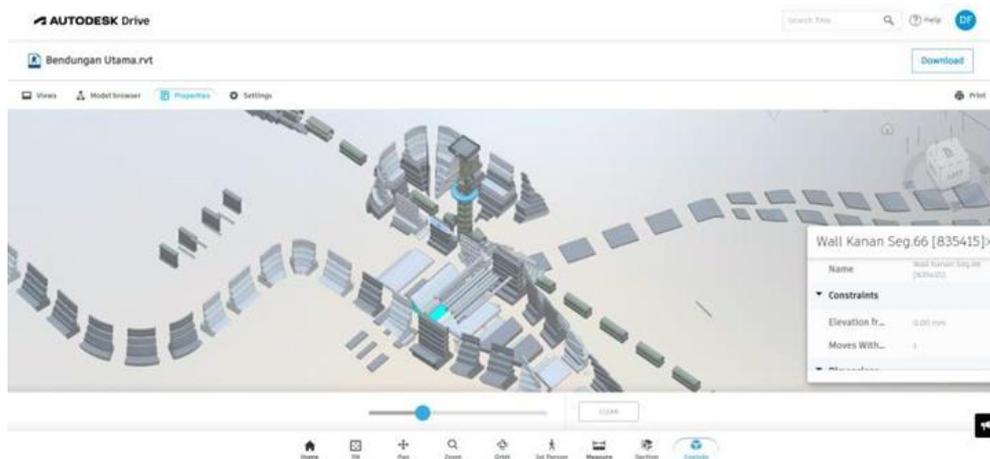


Gambar 1. BIM Integration Framework untuk Pemeliharaan Bendungan
Analisis Penulis, 2025

Kerangka Integrasi BIM untuk Pemeliharaan Bendungan (gambar 1) menyediakan pendekatan terstruktur untuk mengoptimalkan operasi bendungan melalui teknologi canggih seperti Autodesk dan platform BIM bersama. Kerangka ini menekankan peningkatan manajemen sumber daya, perencanaan waktu nyata, dan penjadwalan, yang memungkinkan deteksi dini dan mitigasi risiko struktural melalui alat seperti pemodelan 3D dan pengembangan kembaran digital. Dengan mengintegrasikan BIM dengan *Work Breakdown Structures* (WBS), tugas pemeliharaan menjadi lebih efisien dan dikelola secara sistematis (Sukmono, 2023).

Skalabilitas dan kemampuan beradaptasi memungkinkan BIM disesuaikan untuk berbagai jenis bendungan, sementara dukungan pemerintah dan insentif keuangan memastikan pemeliharaan bendungan. Kerangka ini meningkatkan efisiensi, keselamatan, dan keberlanjutan dalam operasi pemeliharaan bendungan.

Integrasi Autodesk Revit (ilustrasi seperti pada gambar 2) ke dalam alur kerja pemeliharaan bendungan menunjukkan potensinya sebagai alat transformatif untuk manajemen infrastruktur modern. Kemampuan visualisasi terperinci memberikan pemahaman yang komprehensif tentang struktur bendungan, memfasilitasi deteksi dini masalah dan memungkinkan intervensi proaktif. Dengan memusatkan data teknis, perangkat lunak mengurangi redundansi dan meningkatkan keakuratan operasi pemeliharaan. Selain itu, integrasi data waktu nyata dan simulasi skenario menyederhanakan perencanaan pemeliharaan, memastikan bahwa sumber daya dialokasikan secara efisien dan tugas dilaksanakan secara efektif.



Gambar 2. Contoh Revitalisasi Pemodelan Bendungan untuk Pemeliharaan

Analisis Penulis, 2025

Platform kolaboratif semakin memperkuat koordinasi tim, meminimalkan penundaan, dan meningkatkan produktivitas secara keseluruhan. Analisis perangkat lunak BIM standar industri, khususnya *Autodesk Revit*, mengungkap kemampuan signifikan dalam meningkatkan operasi pemeliharaan bendungan melalui integrasi data canggih, visualisasi, dan alat perencanaan pemeliharaan.

Temuan utama meliputi:

1. Visualisasi yang Disempurnakan: Kemampuan pemodelan 3D Autodesk Revit memungkinkan visualisasi struktur bendungan yang terperinci dan interaktif, membantu dalam mengidentifikasi potensi masalah pemeliharaan seperti retakan, rembesan, atau erosi.
2. Manajemen Data Terpadu: Perangkat lunak ini memungkinkan integrasi data teknis yang lancar, seperti sifat material, dimensi, dan komponen struktural, ke dalam model terpusat, yang menyederhanakan aliran informasi untuk pengambilan keputusan yang lebih baik.
3. Perencanaan Pemeliharaan: Autodesk Revit mendukung penjadwalan pemeliharaan melalui alat simulasi dan pelacakan data waktu nyata, yang mengoptimalkan prioritas tugas dan alokasi sumber daya.
4. Fasilitasi Kolaborasi: Platform bersama perangkat lunak ini meningkatkan koordinasi di antara para pemangku kepentingan, yang memungkinkan akses simultan ke model dan pembaruan waktu nyata, sehingga mengurangi keterlambatan dan miskomunikasi.
5. Simulasi Skenario: Fitur-fitur canggih, seperti tampilan ledakan dan penampang melintang, memungkinkan simulasi skenario untuk perencanaan pemeliharaan dan penilaian risiko, yang memastikan strategi manajemen proaktif.

Tabel 4 di bawah ini menyajikan hasil uji keandalan dan validitas untuk variabel BIM. Pengujian ini dilakukan untuk mengevaluasi konsistensi dan keakuratan item kuesioner yang digunakan untuk mengukur dampak BIM pada operasi pemeliharaan bendungan. Uji reliabilitas yang dinilai menggunakan Cronbach's Alpha mencapai nilai 0,900, yang melebihi ambang batas yang diterima sebesar 0,60, yang menunjukkan bahwa item kuesioner sangat reliabel. Selain itu, uji validitas menunjukkan bahwa semua item memiliki nilai Korelasi Total Item Terkoreksi yang lebih besar daripada nilai r-tabel sebesar 0,312 untuk N=40, yang mengonfirmasi bahwa semua item valid.

Tabel 4. Hasil Uji Keandalan untuk Variabel BIM

Variable	Scale Mean if Item Deleted	Scale Variance if Item Deleted	Corrected Item-Total Correlation	Cronbach's Alpha if Item Deleted	Information
X2.1.1	21.95	8.049	0.746	0.880	Valid
X2.1.2	21.95	7.895	0.790	0.873	Valid
X2.2.1	21.95	8.254	0.791	0.874	Valid
X2.2.2	21.85	8.438	0.838	0.870	Valid
X2.2.3	21.98	8.743	0.464	0.930	Valid
X2.2.4	21.83	8.353	0.864	0.866	Valid

Analisis Penulis, 2025

Hasil ini memvalidasi kekokohan instrumen pengukuran untuk mengevaluasi peran BIM dalam meningkatkan kinerja pemeliharaan bendungan. Keandalan yang tinggi memastikan bahwa data yang dikumpulkan konsisten dan dapat diandalkan, sementara validitas item menegaskan bahwa instrumen secara akurat menangkap variabel yang dimaksud.

Temuan ini mendukung argumen bahwa BIM memberikan manfaat signifikan dalam pemeliharaan bendungan, termasuk alokasi sumber daya yang lebih baik, pemantauan risiko secara real-time, dan kolaborasi yang lebih baik. Dengan menawarkan pengukuran yang andal dan valid, hasil ini menggarisbawahi potensi BIM untuk merevolusi praktik pemeliharaan bendungan, memastikan perencanaan yang lebih baik, mengurangi penundaan operasional, dan meningkatkan keandalan struktural. Validasi yang kuat ini memberikan landasan yang kuat untuk penelitian lebih lanjut dan implementasi praktis BIM dalam manajemen infrastruktur, khususnya dalam pemeliharaan aset penting seperti bendungan.

Berdasarkan hasil uji validitas internal untuk variabel BIM, semua item kuesioner yang diuji memiliki nilai Corrected Item-Total Correlation yang lebih besar dari nilai r-tabel sebesar 0,312 untuk N=40. Oleh karena itu, semua item dinyatakan valid. Hasil uji validitas internal antar variabel menghasilkan nilai seperti yang ditunjukkan pada tabel 5 di bawah ini.

Tabel 5. Hasil Uji Validasi untuk Variabel BIM

Cronbach's Alpha	Cronbach's Alpha Based on Standardized Items	N of Items
0.900	0.911	6

Analisis Penulis, 2025

Berdasarkan uji reliabilitas dengan metode Cronbach's Alpha, diperoleh nilai Cronbach's Alpha sebesar 0,900 untuk 6 item kuesioner pada variabel BIM. Karena nilai tersebut lebih besar dari ambang batas 0,60, maka dapat disimpulkan bahwa instrumen penelitian atau kuesioner yang digunakan reliabel.

KESIMPULAN

Kesimpulan dari penelitian ini menunjukkan bahwa Building Information Modeling (BIM) secara signifikan meningkatkan operasi pemeliharaan bendungan dengan mengoptimalkan penjadwalan, alokasi sumber daya, dan deteksi risiko melalui pembaruan waktu nyata dan pemodelan 3D. Selain itu, BIM meningkatkan kolaborasi pemangku kepentingan dan memfasilitasi skalabilitas, menjadikannya alat penting untuk manajemen infrastruktur modern. Keandalan instrumen penelitian, dengan uji Cronbach skor alfa sebesar 0,900 menggarisbawahi kekokohan temuan ini, yang memperkuat peran BIM dalam memodernisasi praktik pemeliharaan bendungan. Para pembuat kebijakan didorong untuk mendukung adopsi BIM melalui insentif finansial, terutama untuk proyek-proyek kecil, untuk mendorong akses dan implementasi yang adil. Penelitian di masa mendatang harus mengeksplorasi skalabilitas BIM dalam berbagai jenis infrastruktur dan integrasinya dengan teknologi yang sedang berkembang seperti kembaran digital dan AI. Selain itu, menyelidiki strategi pelatihan dan pengembangan kapasitas yang hemat biaya sangat penting untuk meningkatkan adopsi BIM, terutama di wilayah-wilayah dengan keterbatasan sumber daya. Ini akan memastikan implementasi yang lebih luas dan memaksimalkan potensi BIM dalam memajukan pembangunan infrastruktur yang berkelanjutan dan tangguh.

Berdasarkan hasil penelitian ini, beberapa rekomendasi dapat diajukan. Pertama, pemerintah daerah dan regulator disarankan untuk menyediakan dukungan kebijakan serta

insentif finansial guna mendorong adopsi BIM, khususnya untuk proyek-proyek skala kecil. Hal ini dapat berupa subsidi perangkat lunak, pelatihan teknis, dan integrasi BIM ke dalam regulasi standar pemeliharaan infrastruktur. Kedua, pengelola bendungan diharapkan mulai merancang peta jalan implementasi BIM secara bertahap yang meliputi penguatan SDM, pemetaan kebutuhan teknologi, serta sinkronisasi dengan keputusan manajemen yang telah ada. Ketiga, institusi keputusan dan keputusan pelatihan perlu mengembangkan kurikulum teknis maupun vokasi berbasis BIM untuk mempersiapkan tenaga kerja yang siap pakai dalam menghadapi era digitalisasi infrastruktur. Terakhir, untuk penelitian selanjutnya, disarankan agar keputusan diarahkan pada integrasi BIM dengan teknologi lain seperti Digital Twin, Artificial Intelligence (AI), dan Internet of Things (IoT), guna memperkuat keputusan pemeliharaan prediktif dan pengambilan keputusan berbasis data secara real-time di sektor infrastruktur.

DAFTAR PUSTAKA

- Ajirotutu, R. O., Adeyemi, A. B., Ifechukwu, G.-O., Ohakawa, T. C., Iwuanyanwu, O., & Garba, B.M. P. (2024). Exploring the intersection of Building Information Modeling (BIM) and artificial intelligence in modern infrastructure projects. *Journal of Advanced Infrastructure Studies*.
- Apriansyah, R. (2021). *Implementasi konsep Building Information Modelling (BIM) dalam estimasi quantity take off material pekerjaan struktural*.
- Getuli, V., Ventura, S. M., Capone, P., & Ciribini, A. L. C. (2017). BIM-based code checking for construction health and safety. *Procedia Engineering*, 196, 454–461. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.07.224>
- Herzanita, A., Lestari, R. T., & Andreas, A. (2018). *BIM (Building Information Modeling) Menggunakan Perangkat Lunak Revit*. Deepublish.
- Initiative, I. I. (2010). Memperluas Akses untuk Air di Indonesia. *Prakarsa*, 45353.
- Jumiono, A., Judijanto, L., Apriyanto, A., Suryanto, A., Nuriadi, N., Fanani, M. Z., & Rusliyadi, M. (2024). *Pengantar Ilmu Pertanian*. PT. Sonpedia Publishing Indonesia.
- Li, C. Z., Guo, Z., Su, D., Xiao, B., & Tam, V. W. Y. (2022). The application of advanced information technologies in civil infrastructure construction and maintenance. *Sustainability*, 14(13), 7761. <https://doi.org/10.3390/su14137761>
- Ramadhani, J., & Rengganis, R. P. (2024). Analisis Penggunaan Teknologi Digital: Building Information Modeling (BIM) dan Pemodelan 3D dalam Meningkatkan Keakuratan Desain Arsitektur. *Imajinasi: Jurnal Ilmu Pengetahuan, Seni, Dan Teknologi*, 1(4), 155–160. <https://doi.org/10.62383/imajinasi.v1i4.466>
- Sari, D. P., Purwanto, H., Purnama, H., Hidayat, A., Iskandar, A. A., & Isdyanto, A. (2024). *Manajemen Proyek Infrastruktur*. TOHAR MEDIA.
- Sukmono, C. (2023). Enhancing Project Management Efficiency in PERTAMINA through Work Breakdown Structure (WBS) and Cost Breakdown Structure (CBS) Integration. *Structure (CBS)*, 1, 2.

- Ulum, M. C. (2014). *Manajemen bencana: Suatu pengantar pendekatan proaktif*. Universitas Brawijaya Press.
- Popescu, D., Dragomir, M., Popescu, S., & Dragomir, D. (2022). Building better digital twins for production systems by incorporating environmental related functions—literature analysis and determining alternatives. *Applied Sciences*, *12*(17), 8657.
- Wahsyati, A., Wahidin, W., Taufiq, M., Imron, I., & Feriska, Y. (2021). Rehabilitasi Bendung Danawarih sebagai Daerah Pelayanan Irigasi Pengairan Wilayah Kecamatan Lebaksiu Kabupaten Tegal. *Infratech Building Journal*, *2*(2), 20–28. <https://doi.org/10.46772/ibj.v2i2.1362>
- Wibowo, A. (2021). *Evaluasi Penerapan Building Information Modeling (BIM) Pada Proyek Konstruksi di Indonesia*. Universitas Islam Sultan Agung (Indonesia).
- Wibowo, I. A. (2024). Penerapan Building Information Modeling (BIM) pada Tahap Kesiapsiagaan Bencana Alam di Indonesia. *Jurnal Teknik Sipil Pertahanan*, *11*(2), 92–112.
- Widyaka, G. W., Latief, Y., Sagita, L., Saleh, T., & Budi, N. (2024). *Analysis of the Relationship between Policy, Organization, BIM, WBS, Laser Scanner, and Information Systems with Dam Maintenance Performance*.



© 2025 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY SA) license (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>).