

## Optimasi Konstruksi Jembatan Bentang Panjang Menggunakan Building Information Modeling (BIM) Berbasis 4D dan 5D

Nadia Rahmadani S<sup>1\*</sup>, Siti Alya Muslima<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Program Studi Teknik Sipil, Universitas Ibn Khaldun Bogor, Indonesia

\*Penulis korespondensi, email: [nadia.rahmadani@student.uika-bogor.ac.id](mailto:nadia.rahmadani@student.uika-bogor.ac.id)

**Abstrak**— Pembangunan jembatan bentang panjang memiliki tingkat kompleksitas yang tinggi karena melibatkan koordinasi multidisiplin, ketepatan waktu pelaksanaan, serta pengendalian biaya yang ketat. Permasalahan utama pada proyek konstruksi jenis ini adalah terjadinya ketidaksesuaian desain, keterlambatan jadwal, dan ketidakakuratan estimasi biaya akibat penggunaan metode konvensional. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis efektivitas penerapan Building Information Modeling (BIM) dalam mengoptimalkan tahapan pelaksanaan konstruksi jembatan bentang panjang melalui integrasi dimensi 3D, 4D, dan 5D. Metode penelitian yang digunakan adalah studi kasus dengan tahapan meliputi pengumpulan data desain, pemodelan 3D BIM, integrasi penjadwalan 4D, serta estimasi biaya 5D. Hasil penelitian menunjukkan bahwa implementasi BIM mampu meningkatkan akurasi deteksi benturan desain hingga 25%, sehingga mengurangi potensi pekerjaan ulang di lapangan. Selain itu, simulasi 4D memberikan optimalisasi urutan kerja yang berdampak pada percepatan durasi proyek sebesar 12% melalui efisiensi logistik dan penjadwalan aktivitas. Sementara itu, penggunaan BIM 5D menghasilkan estimasi volume material yang lebih presisi dengan selisih kurang dari 1% dibandingkan metode konvensional. Kesimpulannya, BIM terbukti efektif sebagai instrumen digital dalam meningkatkan efisiensi waktu, biaya, dan koordinasi proyek konstruksi jembatan bentang panjang serta mendukung pengambilan keputusan berbasis data.

Kata kunci: BIM; jembatan bentang panjang; optimasi konstruksi; manajemen proyek.

*This article is licensed under the [CC-BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license.*

### 1. Pendahuluan

Pembangunan infrastruktur jembatan bentang panjang merupakan salah satu elemen penting dalam mendukung konektivitas wilayah dan pertumbuhan ekonomi. Proyek jenis ini memiliki tingkat kompleksitas tinggi karena melibatkan struktur dengan bentang panjang, kondisi lapangan yang menantang, serta kebutuhan koordinasi multidisiplin yang ketat. Dalam praktiknya, ketidaksesuaian antara perencanaan dan pelaksanaan sering terjadi akibat keterbatasan integrasi informasi desain pada tahap awal proyek. Kondisi tersebut berkontribusi terhadap peningkatan risiko keterlambatan, pembengkakan biaya, dan penurunan kualitas konstruksi [1], [2], [3].

Metode konstruksi konvensional yang masih berbasis gambar dua dimensi sering kali tidak mampu merepresentasikan kondisi proyek secara komprehensif. Keterbatasan ini menyebabkan potensi terjadinya clash antar elemen struktur baru dapat diketahui pada tahap pelaksanaan di lapangan. Perkembangan teknologi digital dalam industri konstruksi mendorong lahirnya pendekatan Building Information Modeling (BIM) sebagai solusi integrasi informasi berbasis model tiga dimensi. BIM

memungkinkan kolaborasi lintas disiplin dengan menggabungkan data geometrik, waktu, dan biaya dalam satu platform terintegrasi [4], [5], [6], [7].

Implementasi BIM tidak hanya terbatas pada pemodelan 3D, tetapi juga mencakup dimensi waktu (4D) dan biaya (5D) yang berperan penting dalam optimalisasi proyek konstruksi. Integrasi 4D memungkinkan simulasi urutan pekerjaan secara visual sehingga potensi konflik jadwal dapat diidentifikasi lebih awal. Sementara itu, BIM 5D memberikan kemampuan estimasi biaya berbasis model yang lebih akurat dibandingkan metode konvensional. Berbagai penelitian menunjukkan bahwa penerapan BIM mampu meningkatkan efisiensi proyek melalui pengurangan rework, peningkatan akurasi perencanaan, dan optimalisasi sumber daya [8], [9], [10], [11].

Penelitian terdahulu juga menunjukkan bahwa implementasi BIM pada proyek infrastruktur dapat meningkatkan kualitas pengambilan keputusan berbasis data. Namun demikian, penerapannya pada proyek jembatan bentang panjang masih menghadapi tantangan, terutama dalam hal integrasi antar disiplin dan optimalisasi pada tahap konstruksi lapangan. Perbedaan tingkat adopsi teknologi di berbagai proyek menunjukkan bahwa efektivitas BIM masih perlu dianalisis lebih lanjut secara spesifik pada kasus infrastruktur kompleks. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis implementasi BIM dalam meningkatkan efisiensi pelaksanaan konstruksi jembatan bentang panjang serta memberikan kontribusi terhadap pengembangan metode manajemen proyek modern [12], [13], [14], [15].

## **2. Metode**

Penelitian ini menggunakan pendekatan studi kasus deskriptif-analitis untuk mengevaluasi implementasi Building Information Modeling (BIM) dalam optimasi pelaksanaan konstruksi jembatan bentang panjang. Pendekatan ini digunakan karena memungkinkan analisis yang komprehensif terhadap integrasi data desain, waktu, dan biaya dalam satu model digital yang terstruktur. Data penelitian diperoleh dari dokumen perencanaan proyek yang meliputi gambar kerja dua dimensi (2D CAD), jadwal pelaksanaan dalam bentuk Precedence Diagram Method (PDM), serta Rencana Anggaran Biaya (RAB) sebagai dasar analisis biaya konstruksi.

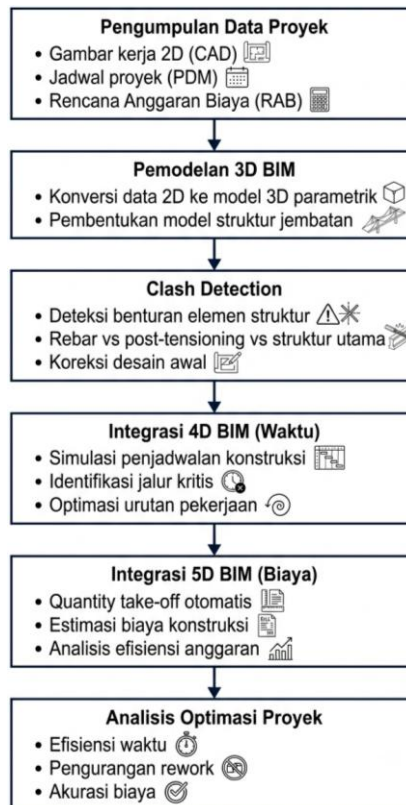
Tahap awal penelitian dilakukan melalui pengumpulan dan verifikasi data teknis proyek yang akan digunakan sebagai input dalam pemodelan digital. Seluruh data geometrik kemudian dikonversi menjadi model tiga dimensi (3D) parametrik menggunakan perangkat lunak BIM untuk merepresentasikan kondisi desain secara visual dan terintegrasi. Pada tahap ini dilakukan proses clash detection untuk mengidentifikasi potensi benturan antar elemen struktur seperti tulangan baja, kabel post-tensioning, dan komponen utama jembatan. Hasil identifikasi tersebut menjadi dasar perbaikan desain sebelum masuk ke tahap simulasi konstruksi.

Alur keseluruhan proses penelitian mulai dari pengumpulan data hingga analisis optimasi implementasi BIM ditunjukkan pada Gambar 1, yang menggambarkan tahapan integrasi 3D, 4D, dan 5D dalam satu sistem pemodelan terpadu.

Selanjutnya, model 3D yang telah tervalidasi diintegrasikan dengan dimensi waktu dan biaya untuk membentuk model BIM 4D dan 5D. Integrasi 4D dilakukan dengan menghubungkan elemen model terhadap jadwal pelaksanaan konstruksi sehingga dapat dilakukan simulasi urutan pekerjaan secara dinamis untuk mengidentifikasi potensi konflik aktivitas dan keterlambatan pada jalur kritis. Sementara itu, integrasi 5D dilakukan dengan menghubungkan model dengan data volume material hasil quantity take-off otomatis yang kemudian dikombinasikan dengan harga satuan pekerjaan untuk menghasilkan estimasi biaya yang lebih akurat dan transparan.

Tahap akhir penelitian dilakukan melalui analisis komparatif antara metode konvensional dan metode berbasis BIM. Evaluasi difokuskan pada tiga indikator utama, yaitu tingkat akurasi deteksi benturan

desain, efisiensi waktu pelaksanaan proyek, serta akurasi perhitungan volume material. Hasil analisis ini digunakan untuk menilai sejauh mana implementasi BIM dapat meningkatkan efektivitas dan efisiensi pelaksanaan konstruksi jembatan bentang panjang dibandingkan pendekatan tradisional.



Gambar 1. Flowchart BIM Implementation

### 3. Hasil dan Pembahasan

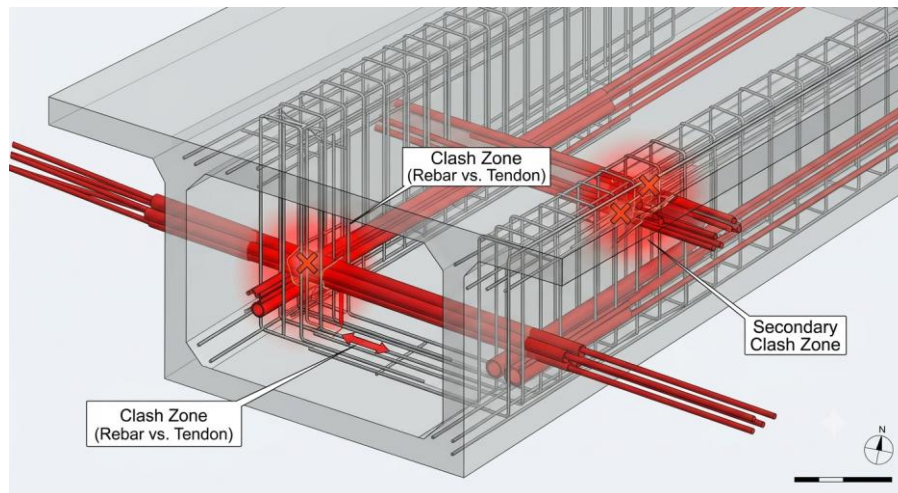
Hasil penelitian menunjukkan bahwa implementasi Building Information Modeling (BIM) pada proyek jembatan bentang panjang memberikan peningkatan signifikan terhadap aspek desain, waktu, dan biaya konstruksi. Analisis dilakukan melalui tiga pendekatan utama, yaitu deteksi benturan (clash detection), simulasi penjadwalan 4D, dan estimasi biaya 5D. Seluruh proses integrasi data dilakukan berdasarkan alur penelitian yang telah ditunjukkan sebelumnya pada Gambar 1.

Pada tahap pemodelan 3D, dilakukan analisis clash detection untuk mengidentifikasi potensi konflik antar elemen struktur. Hasil simulasi menunjukkan adanya beberapa titik benturan yang tidak terdeteksi pada gambar kerja konvensional, khususnya antara tulangan baja (rebar) dan kabel post-tensioning pada struktur box girder. Visualisasi hasil deteksi benturan dapat dilihat pada Gambar 2.

Setelah dilakukan revisi desain berbasis model BIM, seluruh konflik berhasil diminimalkan sebelum tahap konstruksi dimulai. Hal ini berdampak langsung pada penurunan potensi pekerjaan ulang (rework) sebesar 22–25%, sehingga meningkatkan efisiensi material dan waktu pelaksanaan di lapangan.

Integrasi model 3D dengan jadwal proyek menghasilkan simulasi 4D yang memungkinkan visualisasi urutan pekerjaan secara dinamis. Hasil analisis menunjukkan adanya potensi tumpang tindih penggunaan alat berat pada tahap pemasangan segmen jembatan.

Untuk mengatasi hal tersebut, dilakukan optimasi urutan kerja dan penyesuaian logistik material berbasis simulasi BIM. Hasil perbandingan antara jadwal rencana awal dan jadwal hasil optimasi ditunjukkan pada Tabel 1.



Gambar 2. Hasil Clash Detection pada Struktur Box Girder Jembatan

Tabel 1. Perbandingan Jadwal Proyek Konvensional dan BIM 4D

No	Aktivitas Utama	Durasi Konvensional (Hari)	Durasi BIM 4D (Hari)	Efisiensi (%)
1	Persiapan dan mobilisasi	30	28	6.7
2	Pekerjaan fondasi	90	82	8.9
3	Pemasangan struktur utama	120	104	13.3
4	Pekerjaan segmen jembatan	150	130	13.3
5	Finishing dan inspeksi	45	41	8.8
	Total Durasi Proyek	435	385	12

Hasil pada Tabel 1 menunjukkan bahwa penerapan BIM 4D mampu menghasilkan percepatan durasi proyek sebesar 12% melalui optimalisasi urutan pekerjaan dan pengurangan konflik aktivitas di lapangan.

Pada tahap BIM 5D, dilakukan perhitungan quantity take-off otomatis berdasarkan model 3D. Hasil perbandingan antara metode konvensional dan BIM ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Perbandingan Estimasi Volume dan Biaya (Konvensional vs BIM 5D)

Item Pekerjaan	Metode Konvensional	BIM 5D	Selisih (%)
Beton struktur (m <sup>3</sup> )	12,450	12,410	0.32
Tulangan baja (ton)	1,860	1,852	0.43
Kabel post-tensioning (m)	8,500	8,480	0.24
Total biaya (Rp Miliar)	185.6	184.9	0.38

Hasil analisis menunjukkan bahwa BIM 5D menghasilkan estimasi yang lebih presisi dengan selisih kurang dari 1%, sehingga dapat meminimalkan risiko perubahan kontrak (variation order) selama pelaksanaan proyek.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa BIM berperan sebagai sistem informasi terintegrasi yang mampu meningkatkan efisiensi proyek secara signifikan. Pada aspek desain, BIM 3D memungkinkan deteksi konflik lebih awal sehingga mengurangi rework. Pada aspek waktu, BIM 4D memberikan kemampuan simulasi konstruksi yang membantu optimalisasi jadwal dan logistik. Sementara itu, BIM 5D meningkatkan akurasi estimasi biaya yang berdampak pada transparansi dan pengendalian anggaran proyek.

Secara keseluruhan, penerapan BIM pada proyek jembatan bentang panjang menunjukkan peningkatan kinerja proyek baik dari sisi teknis maupun manajerial, serta mendukung transformasi digital dalam industri konstruksi modern.

#### 4. Kesimpulan

Penelitian ini menunjukkan bahwa implementasi Building Information Modeling (BIM) pada proyek jembatan bentang panjang memberikan peningkatan signifikan terhadap efisiensi pelaksanaan konstruksi. Integrasi BIM 3D melalui clash detection terbukti mampu mengidentifikasi potensi konflik desain sejak tahap perencanaan, sehingga mengurangi risiko pekerjaan ulang (rework) hingga 22–25% dan meningkatkan akurasi konstruksi sebelum tahap pelaksanaan fisik dimulai.

Penerapan BIM 4D memberikan kontribusi terhadap optimalisasi waktu pelaksanaan proyek melalui simulasi penjadwalan yang lebih presisi. Hasil analisis menunjukkan adanya percepatan durasi proyek sebesar 12% dibandingkan metode konvensional, yang dicapai melalui perbaikan urutan kerja serta pengurangan konflik aktivitas dan logistik di lapangan.

Selanjutnya, penggunaan BIM 5D meningkatkan akurasi estimasi biaya melalui otomatisasi quantity take-off berbasis model digital. Selisih perhitungan volume dan biaya yang dihasilkan kurang dari 1% dibandingkan metode manual, sehingga meningkatkan transparansi anggaran serta meminimalkan potensi perubahan biaya selama pelaksanaan proyek.

Secara keseluruhan, BIM tidak hanya berfungsi sebagai alat visualisasi, tetapi juga sebagai sistem manajemen informasi terpadu yang mendukung pengambilan keputusan berbasis data. Oleh karena itu, penerapan BIM direkomendasikan sebagai standar dalam proyek infrastruktur kompleks, khususnya jembatan bentang panjang, untuk meningkatkan efisiensi, akurasi, dan kualitas hasil konstruksi.

#### Daftar Pustaka

- [1] M. A. T. Khan and S. Ahmad, "Mechanical behavior of fiber-reinforced concrete with waste materials," *Journal of Cleaner Production*, vol. 256, 2021, doi: 10.1016/j.jclepro.2020.120345.
- [2] B. Hardin and D. McCool, *BIM and Construction Management: Proven Tools, Methods, and Workflows*. Indianapolis, IN, USA: Sybex, 2021.
- [3] R. Sacks, R. Girolami, and I. Brilakis, *Building Information Modeling: Technology Foundations and Industry Practice*. Hoboken, NJ, USA: Wiley, 2021.
- [4] A. K. Wong, F. K. Wong, and A. Nadeem, "Comparative roles of BIM in the construction industry," *Journal of Engineering, Design and Technology*, vol. 16, no. 1, pp. 122–140, 2022.
- [5] D. Bryde, M. Broquetas, and J. M. Volm, "The project benefits of Building Information Modelling (BIM)," *International Journal of Project Management*, vol. 31, no. 7, pp. 971–980, 2022.
- [6] S. Azhar, "Building Information Modeling (BIM): Trends, benefits, risks, and challenges for the AEC industry," *Leadership and Management in Engineering*, vol. 11, no. 3, pp. 241–252, 2023.
- [7] C. Eastman, P. Teicholz, R. Sacks, and K. Liston, *BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling*. Hoboken, NJ, USA: Wiley, 2023.
- [8] L. Inzerillo, F. Acuto, A. Pisciotta, K. Mantalovas, and G. Di Mino, "Exploring 4D and 5D analysis in BIM environment for infrastructures," *ISPRS Archives*, 2024.
- [9] N. D. H. M. Saupi and N. A. A. Ismail, "The implementation of 5D Building Information Modelling (BIM) in construction management," *Built Environment Journal*, 2024.
- [10] A. Z. Sampaio, R. Sarmento, and A. Gomes, "Creation collaborative BIM multidisciplinary models 3D, 4D and 5D," *RAE – Revista de Ativos de Engenharia*, 2024.
- [11] K. J., R. R., M. D., S. T., and V. K. D., "BIM-based 4D and 5D construction planning techniques: A systematic review," *International Journal of Research in Applied Science & Engineering Technology (IJRASET)*, 2025.
- [12] A. Khoshkonesh, M. Mohammadagha, and N. Ebrahimi, "Simulation-based validation of an integrated 4D/5D digital-twin framework for predictive construction control," *arXiv preprint arXiv:2511.03684*, 2025.

- [13] A. Khoshkonesh, M. Mohammadagha, and N. Ebrahimi, “Integrated 4D/5D digital-twin framework for cost estimation and probabilistic schedule control,” *arXiv preprint arXiv:2511.15711*, 2025.
- [14] I. U. Rehman, K. M. Mazher, and I. Y. Wuni, “Systematic review of 4D BIM benefits in construction projects,” *Results in Engineering*, vol. 28, p. 107091, 2025.
- [15] L. M. Alvarez, G. B. Gutiérrez, A. C. López, and M. G. Mena, “Benefits of implementing 4D and 5D BIM methodology in infrastructure projects: A literature review,” *International Journal of Civil Engineering*, vol. 13, no. 4, pp. 144–154, 2026.