

IMPLEMENTASI *BUILDING INFORMATION MODELING* (BIM) PADA KONSTRUKSI *TRESTLE* DERMAGA

Naffa Eka Setiawati¹, Lila Ayu Ratna Winanda², Yosimson Petrus Manaha³, I Wayan
Mundra³, Annur Ma'ruf⁴

^{1,2,3,4} Program Studi Teknik Sipil, FTSP Institut Teknologi Nasional Malang
naffaekas@gmail.com

INFO ARTIKEL

Riwayat Artikel :

Diterima : 17 Desember 2025

Disetujui : 06 Januari 2026

Kata Kunci :

BIM, Volume Pekerjaan,
Konstruksi *Trestle* Dermaga

ABSTRAK

Industri konstruksi di Indonesia masih didominasi metode konvensional berbasis gambar dua dimensi dan perhitungan manual yang berpotensi menimbulkan ketidaktepatan volume dan deviasi anggaran. Seiring berkembangnya Revolusi Industri 5.0, Building Information Modeling (BIM) diterapkan untuk meningkatkan akurasi dan transparansi pengendalian volume pekerjaan. Penelitian ini bertujuan memodelkan bangunan secara tiga dimensi menggunakan Autodesk Revit 2024 guna memperoleh perhitungan volume yang presisi dan terintegrasi. Hasil pemodelan BIM level 3D menghasilkan volume pekerjaan beton sebesar 2.201 m³ dan pembesian sebesar 341.754 kg. Perhitungan berbasis model 3D memungkinkan pembaruan volume secara real-time terhadap perubahan desain, sehingga meningkatkan efisiensi estimasi dan meminimalkan risiko deviasi anggaran. Setelah dihitung menggunakan rumus perbandingan efektivitas, menunjukkan hasil bahwa dibandingkan metode konvensional, penggunaan BIM memberikan efektivitas yang lebih baik sebesar 4,41%.

ARTICLE INFO

Article History :

Received : 17 December 2025

Accepted : 06 January 2026

Keywords:

BIM, Quantity Take-Off, Pier
Trestle Construction

ABSTRACT

The construction industry in Indonesia is still dominated by conventional methods based on two-dimensional drawings and manual calculations that have the potential to cause volume inaccuracies and budget deviations. With the development of the Industrial Revolution 5.0, Building Information Modeling (BIM) is implemented to improve the accuracy and transparency of work volume control. This study aims to model a building in three dimensions using Autodesk Revit 2024 to obtain precise and integrated volume calculations. The results of 3D level BIM modeling produce a concrete work volume of 2,201 m³ and reinforcement of 341,754 kg. 3D model-based calculations allow real-time volume updates to design changes, thereby increasing estimation efficiency and minimizing the risk of budget deviations. After being calculated using the effectiveness comparison formula, the results show that compared to conventional methods, the use of BIM provides a better effectiveness of 4.41%.

1. PENDAHULUAN

Industri konstruksi di Indonesia hingga saat ini masih didominasi oleh metode konvensional dalam perencanaan dan pengelolaan biaya proyek, khususnya pada tahap perhitungan volume dan estimasi anggaran yang berbasis gambar dua dimensi dan perhitungan manual (Akbar et al., 2025; Sepasgozar et al., 2022). Metode ini cenderung memerlukan waktu yang lama, memiliki tingkat ketelitian yang rendah, serta sulit diperbarui ketika terjadi perubahan desain dan kondisi lapangan, sehingga berpotensi menimbulkan ketidaksesuaian antara anggaran rencana dan biaya aktual proyek serta meningkatkan risiko terjadinya pembengkakan biaya (Agostinelli et al., 2019). Selain itu, pendekatan konvensional sering kali menyebabkan perbedaan hasil perhitungan antar pelaksana karena tingginya ketergantungan pada interpretasi individu terhadap gambar kerja (Yudiyanto et al., 2025). Kondisi tersebut menjadi semakin kritis pada proyek infrastruktur dengan elemen berulang dan geometri kompleks, seperti struktur trestle dermaga, yang membutuhkan ketelitian tinggi dalam estimasi kuantitas. (Akbar et al., 2025) Oleh karena itu, diperlukan suatu metode yang mampu mengintegrasikan data geometrik dan non-geometrik secara konsisten untuk mendukung pengambilan keputusan biaya yang lebih andal (Hussain et al., 2023)

Seiring meningkatnya kompleksitas proyek dan tuntutan efisiensi dalam era transformasi digital, penerapan Building Information Modeling (BIM) mulai diperkenalkan sebagai solusi untuk meningkatkan integrasi data, akurasi, dan transparansi dalam manajemen proyek konstruksi (Aman & Suratkon, 2022). BIM merupakan pengembangan BIM yang mengintegrasikan model tiga dimensi dengan data waktu dan biaya, sehingga memungkinkan proses estimasi anggaran dilakukan secara otomatis berdasarkan kuantitas yang diekstraksi langsung dari elemen model digital (Pishdad & Onungwa, 2024). Pendekatan ini memungkinkan estimasi biaya yang lebih cepat, akurat, serta responsif terhadap perubahan desain dibandingkan metode manual yang umum digunakan pada proyek konstruksi di Indonesia (Smith, 2016). Dengan adanya

integrasi antara model digital dan basis data biaya, BIM juga memungkinkan transparansi informasi yang lebih baik antar pemangku kepentingan proyek (Ramawan et al., 2024). Informasi kuantitas dan biaya yang dihasilkan dari model dapat digunakan sebagai dasar evaluasi alternatif desain sejak tahap awal perencanaan. Hal ini menjadikan BIM tidak hanya sebagai alat estimasi, tetapi juga sebagai instrumen strategis dalam pengendalian biaya dan optimalisasi nilai proyek konstruksi (Ola-Ade et al., n.d.)

Berbagai penelitian menunjukkan bahwa penerapan BIM mampu meningkatkan efisiensi proses estimasi, meminimalkan kesalahan perhitungan, serta memperkuat fungsi pengendalian biaya proyek melalui visualisasi biaya dan pembaruan data secara real-time (Safaa Eldin et al., 2024). Meskipun demikian, adopsi BIM di industri konstruksi Indonesia masih menghadapi tantangan berupa keterbatasan sumber daya manusia, standar data biaya, dan interoperabilitas perangkat lunak, sehingga diperlukan kajian lebih lanjut untuk membuktikan efektivitasnya dalam meningkatkan kinerja manajemen biaya proyek konstruksi nasional (Aman & Suratkon, 2022).

Autodesk Revit merupakan perangkat lunak berbasis BIM yang banyak digunakan untuk pemodelan tiga dimensi sekaligus pengelolaan informasi kuantitas pekerjaan secara terintegrasi. Melalui sistem pemodelan parametrik, elemen struktur seperti pondasi, kolom, balok, pelat lantai, dan dinding beton dapat dimodelkan sesuai gambar kerja, sehingga setiap perubahan desain akan secara otomatis memperbarui data volume dan kebutuhan material. Kemampuan ini menjadikan Autodesk Revit sebagai alat yang efektif dalam proses quantity take-off karena menghasilkan data yang lebih akurat, cepat, dan konsisten (Akbar et al., 2025). Salah satu perangkat lunak yang membantu untuk merancang, mensimulasikan, memvisualisasikan, dan mendirikan bangunan yang lebih baik adalah perangkat lunak Autodesk Revit. Software Revit adalah software pemodelan 3D yang dapat menangani desain mekanikal, elektrik dan lainnya. (Esteban & Mesa, 2021). Software Revit juga digunakan untuk memperoleh hasil quantity take off yang

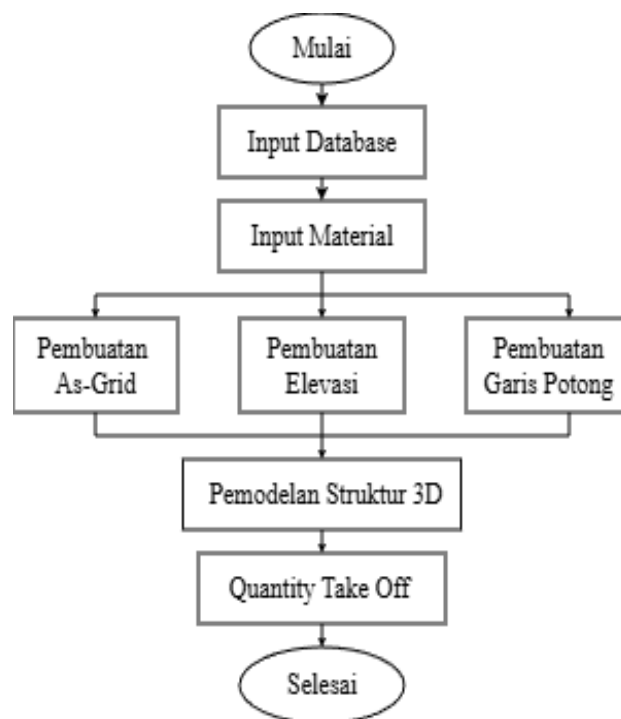
mengurangi waste serta meningkatkan value suatu proyek (Soleh & Saputro, 2023). Mengacu pada kelebihan dari *Building Information Modeling* (BIM), maka tujuan dari penelitian ini adalah mengimplementasikan metode BIM pada proyek konstruksi untuk memperoleh efisiensi biaya perencanaan dan mempermudah koordinasi saat pelaksanaan (Pishdad & Onungwa, 2024).

Manfaat dari penelitian ini adalah untuk meminimalkan kesalahan perhitungan volume pada konstruksi struktur *trestle*, serta sebagai studi literatur dan tambahan ilmu pengetahuan bagi dunia akademik dalam penerapan Building Information Modelling (BIM) menggunakan program bantu atau *software* Autodesk Revit.

1. METODE

Penelitian ini mengambil objek struktur *trestle* pada proyek pembangunan Dermaga A Petrokimia Gresik dengan fokus pada perhitungan struktur menggunakan pendekatan Building Information Modeling (BIM). Elemen struktur yang ditinjau meliputi pile, pile cap, headstock, girder, dan slab. Data yang digunakan berupa dokumen Detail Engineering Design (DED), spesifikasi teknis, serta Rencana Anggaran Biaya (RAB) yang diperoleh dari pihak kontraktor. Seluruh data tersebut digunakan sebagai acuan untuk memastikan pemodelan struktur sesuai dengan desain dan standar teknis yang berlaku.

Selanjutnya, data perencanaan yang telah dihimpun dianalisis untuk menentukan ruang lingkup dan urutan pemodelan struktur. Pada tahap ini dilakukan penyesuaian antara gambar rencana, spesifikasi teknis, dan kebutuhan informasi model agar setiap elemen struktur dapat dimodelkan secara konsisten dan terkoordinasi. Penentuan grid dan elevasi ditetapkan sebagai sistem referensi utama guna menjamin ketepatan posisi, keseragaman dimensi, serta keterkaitan antar elemen struktur. Tahap persiapan ini bertujuan meminimalkan potensi kesalahan pemodelan dan memastikan bahwa model yang dikembangkan dapat digunakan secara optimal untuk perhitungan kuantitas dan integrasi biaya. Pada gambar 1 menunjukkan tahapan pemodelan menggunakan *software Autodesk Revit 2024*.



Gambar 1. Tahapan Pemodelan Autodesk Revit

Tahapan pemodelan dimulai dengan identifikasi gambar rencana dan material untuk memahami dimensi, elevasi, detail sambungan, serta karakteristik material struktur. Selanjutnya dilakukan pemodelan struktur tiga dimensi menggunakan Autodesk Revit 2024 dengan mengacu pada grid dan elevasi sebagai dasar penempatan elemen. Model 3D yang terbentuk dimanfaatkan untuk melakukan quantity take-off otomatis, meliputi perhitungan volume beton, luas bekisting, serta kebutuhan tulangan. Hasil kuantitas tersebut kemudian diintegrasikan dengan data harga satuan pekerjaan sehingga estimasi biaya dapat dihitung secara otomatis dan diperbarui secara real-time apabila terjadi perubahan desain, sehingga mendukung akurasi dan efisiensi perhitungan biaya dalam penerapan BIM. Selain itu, penggunaan model terintegrasi memungkinkan konsistensi data antara gambar, kuantitas, dan biaya, sehingga meminimalkan potensi kesalahan akibat perbedaan interpretasi dokumen. Pendekatan ini juga meningkatkan transparansi informasi dan koordinasi antar pemangku kepentingan dalam proses pengendalian biaya proyek.

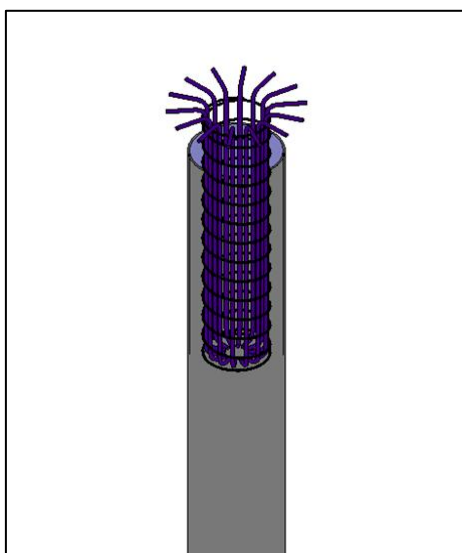
2. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa pemodelan struktur *trestle* menggunakan

Autodesk Revit 2024 berhasil merepresentasikan seluruh elemen struktur utama, yaitu pile, pile cap, headstock, girder, dan slab, secara presisi sesuai dengan gambar Detail Engineering Design (DED). Pengaturan grid dan elevasi sebagai sistem referensi utama terbukti efektif dalam menjaga ketepatan posisi dan hubungan antar elemen struktur. Model 3D yang dihasilkan tidak hanya berfungsi sebagai representasi visual, tetapi juga sebagai model informasi yang siap digunakan untuk analisis kuantitas dan integrasi biaya dalam kerangka BIM. Berikut adalah hasil dan pembahasan dari penelitian ini :

1. Pemodelan Struktur

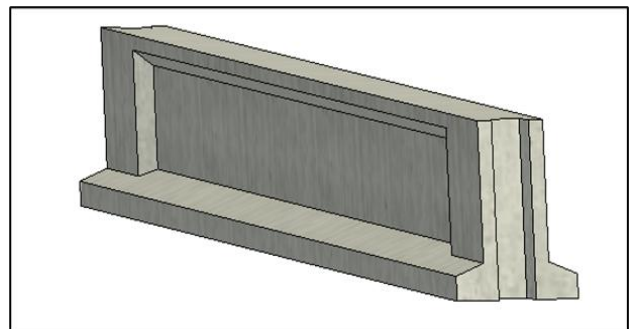
Proses pemodelan dimulai dari elemen pondasi yaitu *pile*. Setiap *pile* dimodelkan menggunakan diameter, panjang, dan kedalaman sesuai gambar kerja sehingga konfigurasi pondasi trestle dapat direpresentasikan secara akurat. Selanjutnya *pile cap* dibentuk dengan mengacu pada dimensi detail serta posisi tulangan sesuai gambar potongan. *Pile cap* diletakkan secara otomatis mengikuti *alignment pile* sehingga tidak terjadi deviasi posisi antara pondasi dan struktur atas. Gambar 2 merupakan hasil dari pemodelan pile.



Gambar 2. Hasil Pemodelan Pile

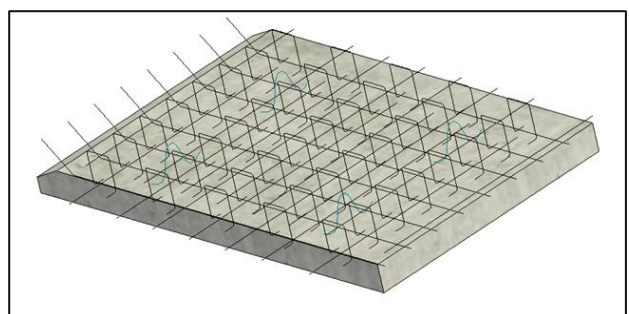
Tahap berikutnya adalah pemodelan *girder*. Penempatan *girder* dilakukan berdasarkan jalur grid, dengan memastikan bahwa dimensi tinggi, lebar, serta panjang balok sesuai dengan gambar rencana. Pengaturan level referensi digunakan untuk mengontrol elevasi setiap balok agar terhubung secara kontinu dengan *headstock*.

Geometri *girder* dimodelkan presisi agar menghasilkan hubungan struktural yang benar antara *girder* dan *slab* di atasnya. Gambar 3 merupakan hasil dari pemodelan PCI Girder



Gambar 3. Hasil Pemodelan PCI Girder

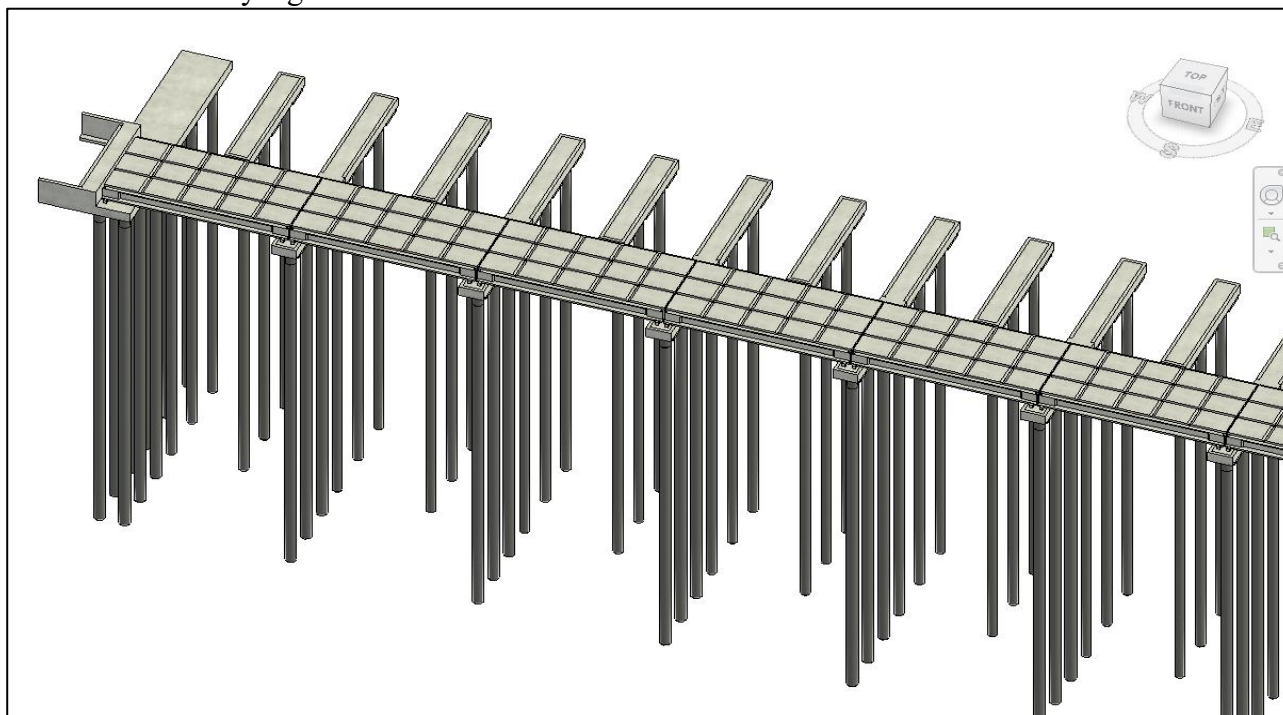
Slab trestle dimodelkan setelah sistem balok terbentuk sempurna. Ketebalan *slab*, batas tepi *slab*, dan bukaan utilitas dipetakan sesuai denah rencana. Pemodelan slab memperhatikan kontinuitas antar segmen sehingga struktur permukaan atas dapat mencerminkan kondisi aktual dermaga. Model *slab* juga dikaitkan dengan sistem balok secara analitis untuk mendukung proses ekstraksi volume dan perhitungan kuantitas pada tahap berikutnya. Gambar 4 merupakan hasil pemodelan *slab*.



Gambar 4. Hasil Pemodelan Slab

Selama pemodelan, setiap elemen dievaluasi dari segi kesesuaian geometri, hubungan antar elemen, serta akurasi penempatan. Proses pengecekan dilakukan melalui visual inspection pada tampilan 3D maupun melalui potongan (*section*) untuk memastikan tidak terdapat overlap, benturan elemen, atau inkonsistensi posisi. Dengan cara ini, model yang dihasilkan tidak hanya memenuhi kebutuhan representasi visual, tetapi juga dapat digunakan sebagai dasar untuk perhitungan volume beton, kebutuhan tulangan, serta integrasi biaya pada sistem BIM. Selain itu, parameter material dan spesifikasi

teknis pada setiap elemen dimasukkan agar data sesuai kuantitas yang dihasilkan. Gambar 5 merupakan hasil dari keseluruhan pemodelan trestle.



Gambar 5. Hasil Keseluruhan dari Pemodelan

Hasil akhir pemodelan menunjukkan bahwa seluruh elemen struktur tersusun secara presisi, sesuai gambar kerja, dan memenuhi fungsi sebagai model informasi bangunan yang dapat dikembangkan menjadi model analisis kuantitas dan estimasi biaya. Model ini menjadi dasar bagi tahapan berikutnya yaitu *quantity take-off* otomatis dan integrasi biaya konstruksi sehingga mendukung proses evaluasi teknis dan ekonomis pada proyek trestle.

2. Hasil Perhitungan Volume

Proses perhitungan volume dilakukan secara otomatis melalui fitur *quantity take-off* pada Autodesk Revit. Seluruh elemen yang telah dimodelkan pada tahap sebelumnya menghasilkan data kuantitas berdasarkan

geometri aktual model 3D, sehingga nilai volume yang diperoleh lebih presisi dibandingkan metode perhitungan manual yang mengandalkan pembacaan gambar dua dimensi. Revit menghitung volume elemen secara parametrik, yaitu setiap perubahan bentuk, dimensi, atau posisi elemen akan langsung diperbarui dalam tabel kuantitas sehingga meminimalkan potensi kesalahan dan inkonsistensi data. Dengan demikian, proses evaluasi perubahan desain dapat dilakukan lebih cepat tanpa perlu melakukan perhitungan ulang secara manual. Selain itu, hasil perhitungan volume yang terintegrasi dalam satu basis data mendukung efisiensi waktu dan keandalan. Gambar 6 merupakan tampilan dari *quantity take-off* dari software Autodesk Revit :

A	B	C	D	E
Material Name	Material Area	Material Volume	Material Unit weigh	Category
Tiang Pancang	112.64 m ²	0.715 m ³	0.0 kN/m ³	Structural Foundatio
Tiang Pancang	112.64 m ²	0.715 m ³	0.0 kN/m ³	Structural Foundatio
Tiang Pancang	112.64 m ²	0.715 m ³	0.0 kN/m ³	Structural Foundatio
Tiang Pancang	131.39 m ²	0.939 m ³	0.0 kN/m ³	Structural Foundatio
Tiang Pancang	111.76 m ²	0.939 m ³	0.0 kN/m ³	Structural Foundatio

Gambar 6 . Hasil *Quantity Take-Off* dari Software Revit

Elemen pertama yang dihitung volumenya adalah *pile*. Volume *pile* diperoleh dari panjang total dan diameter elemen yang dimodelkan sesuai gambar rencana. Seluruh *pile* yang berada pada satu *grid*

maupun pada zona tertentu dapat diekstraksi secara otomatis sehingga menghasilkan total *dvolume* beton pondasi secara cepat dan akurat. Penghitungan ini sangat membantu karena jumlah

pile pada struktur trestle biasanya banyak dan memiliki variasi panjang akibat perbedaan elevasi tanah atau kondisi geoteknik.

Selanjutnya, volume *pile cap* dihitung berdasarkan dimensi geometri tiga dimensi yang telah dimodelkan. *Revit* mengakumulasi volume seluruh *pile cap* yang tersebar di sepanjang struktur trestle dengan memperhitungkan ketebalan, panjang, lebar, dan bentuk khusus pada bagian samping maupun bawah. Hasil penghitungan ini memastikan tidak ada area yang terlewat atau dihitung ganda, karena seluruh permukaan model diperlakukan sebagai satu kesatuan geometri tertutup.

Volume *girder* dihitung berdasarkan panjang bentang, tinggi, dan lebar elemen yang ditetapkan dalam model. Sistem *take-off Revit* secara otomatis memisahkan setiap tipe *girder* sehingga volume dapat dikelompokkan berdasarkan jenis atau ukuran balok yang digunakan. Hal ini memudahkan proses analisis kebutuhan beton untuk elemen superstruktur serta menyederhanakan penyusunan tabel kuantitas untuk keperluan estimasi biaya.

Volume *slab* dihitung dari ketebalan *slab* dan luas area yang terbentuk pada model tiga dimensi. *Revit* memperhitungkan adanya perubahan bentuk *slab*, seperti penyesuaian tepi *slab*, bukaan utilitas, dan kontur elevasi bila terdapat perbedaan level. Dengan demikian, nilai volume *slab* yang diperoleh merupakan representasi langsung dari kondisi geometri aktual pada struktur trestle.

Secara keseluruhan, hasil *quantity take-off* menunjukkan bahwa penggunaan model BIM mampu memberikan keluaran volume yang konsisten, terukur, dan akurat. Semua volume yang diperoleh berasal dari pemodelan geometri, sehingga tidak terdapat asumsi tambahan yang dapat menimbulkan deviasi perhitungan. Data kuantitas ini menjadi dasar penting bagi proses integrasi biaya pada tahap selanjutnya dan berperan sebagai komponen utama dalam pengembangan model BIM. Berikut adalah rekapitulasi volume dari Autodesk Revit :

3. Perbandingan Metode Konvensional dan *Software* Autodesk Revit.

Tabel 1. Hasil Volume Pembesian dari Pemodelan Revit

NO.	ITEM PEKERJAAN	VOLUME (m ³)
1.	<i>Pile</i>	555,3
2.	<i>Head Stock</i>	165,3
3.	<i>Pile cap</i>	716,3
4.	<i>Bearing Pad</i>	2,6
5.	<i>PCI Girder</i>	727
6.	<i>Slab</i>	35,7
TOTAL		2.201

Tabel 2. Hasil Volume Pengecoran dari Pemodelan Revit

NO.	ITEM PEKERJAAN	VOLUME (Kg)
1.	<i>Pile</i>	72861,5
2.	<i>Head Stock</i>	9349,7
3.	<i>Pile Cap</i>	174228,4
4.	<i>Seismic Anchor, Bearing Anchor, & Stopper</i>	11544,8
5.	<i>PCI Girder</i>	915,9
6.	<i>Slab</i>	72853,5
TOTAL		341,754

Perbandingan antara metode konvensional dan pendekatan BIM menunjukkan perbedaan signifikan dalam hal efisiensi serta akurasi. Pada metode konvensional, perhitungan volume dilakukan secara manual berdasarkan gambar 2D, dan menghasilkan volume pengecoran sebesar: 2.296 m³ dan pembesian sebesar: 1.126 kg, serta sangat bergantung pada ketelitian drafter dan estimator. Proses ini cenderung memerlukan waktu lama, terutama pada struktur yang memiliki geometri kompleks seperti trestle dengan banyak elemen berulang. Selain itu, perubahan desain mengharuskan pengulangan seluruh proses perhitungan, yang berpotensi menimbulkan ketidakkonsistenan serta kesalahan kompilasi data. Sedangkan pada metode BIM menggunakan *software Autodesk Revit* menghasilkan volume pengecoran sebesar: 2.201

m³ dan pembesian sebesar: 341,754 kg serta BIM menawarkan alur kerja yang lebih sistematis karena setiap elemen struktural sudah termodelkan secara digital dan memiliki parameter kuantitas yang dapat dibaca perangkat lunak secara otomatis. Ketika model diperbarui, volume pekerjaan langsung disesuaikan tanpa perlu perhitungan manual tambahan. Hal ini meningkatkan akurasi estimasi serta mengurangi risiko kesalahan interpretasi gambar. Kecepatan penyusunan data dan ketepatan informasi menjadikan BIM lebih unggul dalam penyusunan anggaran proyek, terutama pada tahap perencanaan dan optimasi biaya. Setelah dihitung menggunakan rumus perbandingan efektivitas, menunjukkan hasil bahwa dibandingkan metode konvensional, penggunaan BIM memberikan efektivitas yang lebih baik sebesar 4,41%.

3. PENUTUP

4.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa penerapan *Building Information Modeling (BIM)* memberikan peningkatan yang signifikan dibandingkan metode konvensional dalam perhitungan volume dan estimasi biaya proyek konstruksi. Metode konvensional yang mengandalkan perhitungan manual dari gambar dua dimensi terbukti kurang efisien, memerlukan waktu lebih lama, serta memiliki potensi kesalahan yang tinggi akibat ketergantungan pada ketelitian individu dan keterbatasan dalam mengakomodasi perubahan desain.

Sebaliknya, pendekatan BIM melalui pemodelan 3D menggunakan Autodesk Revit mampu menghasilkan data kuantitas secara otomatis dan terintegrasi, sehingga perhitungan volume beton dan kebutuhan tulangan menjadi lebih akurat, konsisten, dan mudah diperbarui. Perbedaan hasil volume antara kedua metode menunjukkan bahwa BIM lebih representatif terhadap kondisi geometrik aktual struktur, sekaligus mengurangi risiko overestimation maupun underestimation biaya. Dengan demikian, BIM terbukti lebih unggul dalam mendukung efisiensi perencanaan, keandalan estimasi anggaran, serta pengambilan keputusan yang lebih tepat dalam manajemen proyek konstruksi, khususnya pada struktur dengan tingkat kompleksitas tinggi seperti trestle. Dengan

software Autodesk Revit menghasilkan volume pengecoran sebesar: 2.201 m³ dan pembesian sebesar: 341,754kg. Menunjukkan bahwa implementasi BIM 4,41% lebih efektif dari pada metode konvensional.

4.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian, penerapan *Building Information Modeling (BIM)* disarankan untuk dikembangkan lebih lanjut menuju BIM 6D dengan mengintegrasikan aspek keberlanjutan sejak tahap perencanaan awal proyek konstruksi, khususnya pada proyek dengan tingkat kompleksitas tinggi. Pengembangan ke BIM 6D memungkinkan pemanfaatan model tidak hanya untuk perhitungan volume dan estimasi biaya, tetapi juga untuk analisis konsumsi energi, pemilihan material berkelanjutan, emisi karbon, serta evaluasi siklus hidup bangunan sehingga keputusan perencanaan menjadi lebih komprehensif dan berorientasi jangka panjang. Selain itu, perusahaan jasa konstruksi perlu menyiapkan sumber daya manusia yang kompeten melalui pelatihan khusus BIM 6D serta menyusun standar prosedur pengelolaan data keberlanjutan agar implementasi BIM berjalan optimal dan konsisten. Penelitian selanjutnya diharapkan dapat mengkaji integrasi BIM 6D dengan data operasional pascakonstruksi serta membandingkan kinerja keberlanjutan bangunan hasil perencanaan berbasis BIM dengan kondisi aktual di lapangan untuk menilai efektivitas penerapan BIM secara menyeluruh dalam manajemen konstruksi berkelanjutan.

4. DAFTAR PUSTAKA

- Agostinelli, S., Cinquepalmi, F., & Ruperto, F. (2019). 5d bim: Tools and methods for digital project construction management. *WIT Transactions on the Built Environment*, 192, 205–215. <https://doi.org/10.2495/BIM190181>
- Akbar, M. N. F., Winanda, L. A. R., & Manaha, Y. P. (2025). Implementasi Building Information Modeling (BIM) Pada Konstruksi High Risk Building. *Jurnal Talenta Sipil*, 8(1), 356. <https://doi.org/10.33087/talentasipil.v8i1.855>
- Aman, S. A., & Suratkon, A. (2022). Building Information Modelling for Project Cost Estimation. *Recent Trends in Civil*

- Engineering and Built Environment*, 3(1), 621–630.
<https://doi.org/10.30880/rtcebe.2022.03.01.075>
- Esteban, J., & Mesa, O. (2021). *Cost Estimation of Construction Projects Using 5D BIM: Integrating the cost engineer in BIM-based processes through activity theory*.
- Hussain, O. A. I., Moehler, R. C., Walsh, S. D. C., & Ahiaga-Dagbui, D. D. (2023). Minimizing Cost Overrun in Rail Projects through 5D-BIM: A Systematic Literature Review. In *Infrastructures* (Vol. 8, Issue 5). MDPI. <https://doi.org/10.3390/infrastructures8050093>
- Ola-Ade, O., Ajayi, O., & Onososen, 2adetayo. (n.d.). *Benefits & Challenges of 5D BIM adoption: Perception of Quantity Surveyors*.
- Pishdad, P., & Onungwa, I. O. (2024). ANALYSIS OF 5D BIM FOR COST ESTIMATION, COST CONTROL, AND PAYMENTS. *Journal of Information Technology in Construction*, 29, 525–548. <https://doi.org/10.36680/j.itcon.2024.024>
- Ramawan, M. Y., Winanda, L. A. R., Aditama, V., Wijayaningtyas, M., & Kartika, D. (2024). The effectiveness of BIM implementation in high-rise building. *AIP Conference Proceedings*, 3110(1). <https://doi.org/10.1063/5.0205185>
- Safaa Eldin, A. M., Abdelalim, A., & Tantawy, M. (2024). Enhancing Cost Management in Construction: The Role of 5D Building Information Modeling (BIM). *Engineering Research Journal*, 183(3), 226–251. <https://doi.org/10.21608/erj.2024.377303>
- Sepasgozar, S. M. E., Costin, A. M., Karimi, R., Shirowzhan, S., Abbasian, E., & Li, J. (2022). BIM and Digital Tools for State-of-the-Art Construction Cost Management. In *Buildings* (Vol. 12, Issue 4). MDPI. <https://doi.org/10.3390/buildings12040396>
- Smith, P. (2016). Project Cost Management with 5D BIM. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 226, 193–200. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2016.06.179>
- Soleh, I. M., & Saputro, C. D. (2023). *LPPM Politeknik Saint Paul Sorong IMPLEMENTASI BUILDING INFORMATION MODELLING LEVEL 5D PADA PROYEK BANGUNAN AIR*. 9(2).
- Yudiayanto, R. R. P., Winanda, L. A. R., Sunarwadi, H. S. W., & Kartika, D. (2025). Pemodelan 3D pada Bangunan Gedung Guna Mendukung Implementasi Bim 5D pada Proyek Konstruksi. *Jurnal Talenta Sipil*, 8(2), 555. <https://doi.org/10.33087/talentasipil.v8i2.877>
-