

Penerapan BIM 5D dalam Menangani Permasalahan dari Perubahan Desain Pekerjaan Struktur pada Proyek X

Ulfiah Utari*, Adhi Purnomo, Rezi Berliana Yasinta,
Lenggogeni, Irika Widiasanti, Mirara Khanza

Teknologi Rekayasa Konstruksi Bangunan Gedung, Universitas Negeri Jakarta, Indonesia

*Koresponden email: ulfiahtz14@gmail.com

Diterima: 10 Juli 2026

Disetujui: 24 Juli 2026

Abstract

Design changes to structural work frequently occur during the execution of construction projects and result in changes to the scope of work and construction costs. Conventional calculations that still rely on two-dimensional drawings have the potential to cause discrepancies due to limitations in identifying each structural element. This study aims to apply 5D Building Information Modeling (BIM) as a solution for managing design changes through integrated structural re-modeling, Quantity Take-Off (QTO) calculations, and the preparation of a Cost Estimate (RAB). The study employs a descriptive quantitative approach using the case study method. Data were collected through a review of documentation, including working drawings, design change documents, and structural detail standards, as well as interviews with contractors. Modeling was performed using Cubicost Take-off Architecture Structure (TAS), Take-off Reinforced Bar (TRB), and Take-off Bill of Quantity (TBQ) software. The results of the study show that the implementation of BIM resulted in a cost difference of Rp832,857,039, or approximately 4.32%, compared to conventional methods. The implementation of 5D BIM is capable of integrating the modeling, quantity take-off, and cost estimation processes, thereby supporting more effective management of design changes in construction projects.

Keywords: *building information modeling, construction, cost budget planning, design changes, structures*

Abstrak

Perubahan desain pada pekerjaan struktur sering terjadi selama pelaksanaan proyek konstruksi dan berdampak pada perubahan kuantitas pekerjaan serta biaya konstruksi. Perhitungan secara konvensional yang masih mengacu pada gambar dua dimensi berpotensi menimbulkan ketidaksesuaian akibat keterbatasan dalam mengidentifikasi setiap elemen struktur. Penelitian ini bertujuan menerapkan *Building Information Modeling* (BIM) 5D sebagai solusi dalam menangani perubahan desain melalui pemodelan ulang struktur, perhitungan *Quantity Take-Off* (QTO), dan penyusunan Rencana Anggaran Biaya (RAB) secara terintegrasi. Penelitian menggunakan pendekatan kuantitatif deskriptif dengan metode studi kasus. Data dikumpulkan melalui studi dokumentasi berupa gambar kerja, dokumen perubahan desain, dan standar detail struktur, serta wawancara dengan pihak kontraktor. Pemodelan dilakukan menggunakan software *Cubicost Take-off Architecture Structure* (TAS), *Take-off Reinforced Bar* (TRB), dan *Take-off Bill of Quantity* (TBQ). Hasil penelitian menunjukkan bahwa penerapan BIM menghasilkan perbedaan biaya sebesar Rp832.857.039 atau sekitar 4,32% dibandingkan metode konvensional. Penerapan BIM 5D mampu mengintegrasikan proses pemodelan, perhitungan kuantitas, dan biaya sehingga mendukung pengelolaan perubahan desain secara lebih efektif pada proyek konstruksi.

Kata Kunci: *building information modelling, proyek konstruksi, rencana anggaran biaya, perubahan desain, struktur*

1. Pendahuluan

Perkembangan teknologi di sektor konstruksi mendorong penerapan *Building Information Modeling* (BIM) sebagai sistem pemodelan digital yang mampu mengintegrasikan proses perencanaan, visualisasi, koordinasi, dan pengelolaan informasi proyek dalam satu model 3D. Teknologi ini membantu kolaborasi antar disiplin sehingga memudahkan proses penjadwalan, perancangan, pelaksanaan, dan pengelolaan fasilitas dibandingkan metode perhitungan berdasarkan gambar kerja 2D (Fedora Johartiming et al., 2021). BIM didefinisikan sebagai representasi digital dari karakteristik fisik dan fungsional suatu bangunan yang mendukung pengambilan keputusan sepanjang siklus hidup proyek (Gradasi & Sipil, 2024). Selain meningkatkan produktivitas, BIM juga mampu mengurangi ketidakakuratan perhitungan, mempermudah koordinasi antar disiplin, serta mendukung pengelolaan perubahan desain dibandingkan metode

konvensional (Azhar & Asce, 2011). BIM merupakan integrasi teknologi, proses, dan kebijakan yang memungkinkan seluruh informasi proyek dikelola secara kolaboratif dalam model tiga dimensi (Oktaviani et al., 2023). Seiring berkembangnya konstruksi digital, BIM menjadi salah satu teknologi utama yang mendukung peningkatan efisiensi, koordinasi, dan mutu proyek konstruksi secara menyeluruh (Fan et al., 2024). Pada pembangunan Gedung Service Building Proyek X terjadi perubahan desain yang menyebabkan perlunya perhitungan ulang volume pekerjaan struktur dan kebutuhan biaya konstruksi. Permasalahan tersebut dipengaruhi oleh detail gambar struktur yang kurang rinci serta adanya elemen struktur yang belum terhitung pada metode konvensional sehingga berpotensi menghasilkan estimasi biaya yang kurang akurat. Penelitian menunjukkan bahwa perubahan desain memberikan dampak terhadap kebutuhan biaya proyek. Selain itu, *Contract Change Order* (CCO) merupakan kesepakatan antara pemilik proyek dan kontraktor untuk melakukan perubahan ruang lingkup pekerjaan sesuai kondisi di lapangan yang berdampak terhadap pelaksanaan pekerjaan dan biaya konstruksi (Setyawan, 2020).

Beberapa penelitian terdahulu menunjukkan bahwa penerapan BIM mampu meningkatkan ketelitian dalam pemodelan, perhitungan volume pekerjaan, dan penyusunan Rencana Anggaran Biaya (RAB). (Hasbi et al., 2025) menyatakan bahwa model BIM menghasilkan informasi volume yang dapat dimanfaatkan secara langsung dalam penyusunan RAB sehingga proses perhitungan menjadi lebih cepat dan akurat. Pada penelitian ini, pemodelan struktur dilakukan menggunakan *Cubicost Take-off Architecture & Structure* (TAS) yang berfungsi untuk membangun model 3D serta menghasilkan volume pekerjaan beton dan bekisting berdasarkan gambar kerja (Salamon & Hariri-Ardebili, 2024). Selanjutnya, kebutuhan tulangan dihitung menggunakan *Cubicost Take-off Reinforced Bar* (TRB) yang mendukung proses *Quantity Take-Off* (QTO) tulangan secara terintegrasi dengan model BIM (Nur Alifa et al., 2024). Hasil QTO tersebut kemudian dihubungkan ke *Cubicost Take-off Bill of Quantities* (TBQ) untuk menyusun RAB berdasarkan volume pekerjaan yang dihasilkan dari proses pemodelan (Fernando et al., 2021).

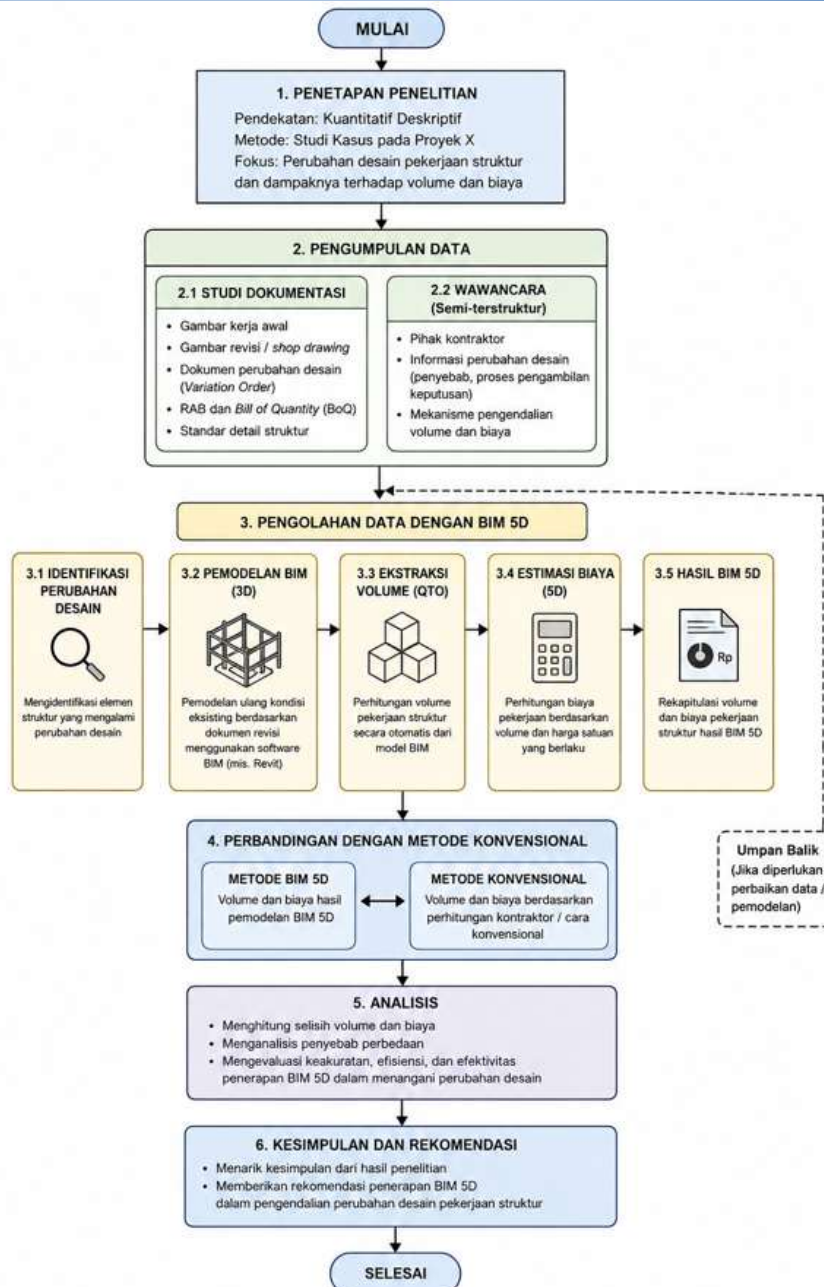
Penelitian sebelumnya juga menunjukkan bahwa penerapan BIM mampu menekan nilai RAB hingga 11,55% melalui perhitungan volume yang lebih presisi, identifikasi potensi konflik desain sejak tahap perencanaan, serta percepatan proses *Quantity Take-Off* dibandingkan metode konvensional (Rahayu & Priyo Suseno, 2023). Meskipun demikian, sebagian besar penelitian masih berfokus pada perbandingan hasil perhitungan volume dan biaya antara metode BIM dan metode konvensional, sedangkan penelitian yang mengkaji penerapan BIM 5D untuk mendukung penanganan dampak perubahan desain terhadap perhitungan volume dan biaya pekerjaan struktur masih terbatas (Surya Kusuma Respati Aji et al., 2024). Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan menerapkan BIM 5D menggunakan *software* Cubicost untuk melakukan pemodelan ulang pekerjaan struktur akibat perubahan desain, menghasilkan QTO, serta menghitung kembali RAB, sehingga dapat dievaluasi penerapan BIM dalam mendukung perhitungan volume dan biaya yang lebih terintegrasi dibandingkan metode konvensional.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif deskriptif dengan metode studi kasus pada Proyek X untuk mengevaluasi penerapan Building Information Modeling (BIM) 5D dalam menangani perubahan desain pekerjaan struktur. Penelitian difokuskan pada analisis perubahan desain yang terjadi selama tahap pelaksanaan konstruksi serta dampaknya terhadap perhitungan volume pekerjaan dan estimasi biaya.

Data penelitian diperoleh melalui studi dokumentasi dan wawancara semi-terstruktur dengan pihak kontraktor yang terlibat dalam proyek. Dokumentasi meliputi gambar kerja awal, gambar revisi (*shop drawing* dan *as-built drawing* apabila tersedia), dokumen perubahan desain (*variation order*), Rencana Anggaran Biaya (RAB), *Bill of Quantity* (BoQ), serta standar detail struktur yang digunakan sebagai acuan pemodelan. Wawancara dilakukan untuk memperoleh informasi mengenai penyebab perubahan desain, proses pengambilan keputusan, serta mekanisme pengendalian volume dan biaya selama pelaksanaan proyek.

Data yang telah dikumpulkan selanjutnya dianalisis melalui beberapa tahapan, yaitu: (1) identifikasi elemen struktur yang mengalami perubahan desain; (2) pemodelan ulang kondisi eksisting menggunakan perangkat lunak BIM 5D berdasarkan dokumen revisi; (3) ekstraksi otomatis volume pekerjaan (*quantity take-off*); (4) perhitungan estimasi biaya berdasarkan volume hasil pemodelan dan harga satuan yang berlaku; serta (5) perbandingan hasil perhitungan volume dan biaya menggunakan BIM 5D dengan metode konvensional yang diterapkan oleh kontraktor. Hasil analisis digunakan untuk mengevaluasi tingkat perbedaan volume dan biaya, serta menilai efektivitas penerapan BIM 5D dalam meningkatkan akurasi, efisiensi, dan pengendalian perubahan desain pada pekerjaan struktur. **Gambar 1** memperlihatkan flow chart pelaksanaan penelitian ini.



Gambar 1. Flow chart pelaksanaan penelitian

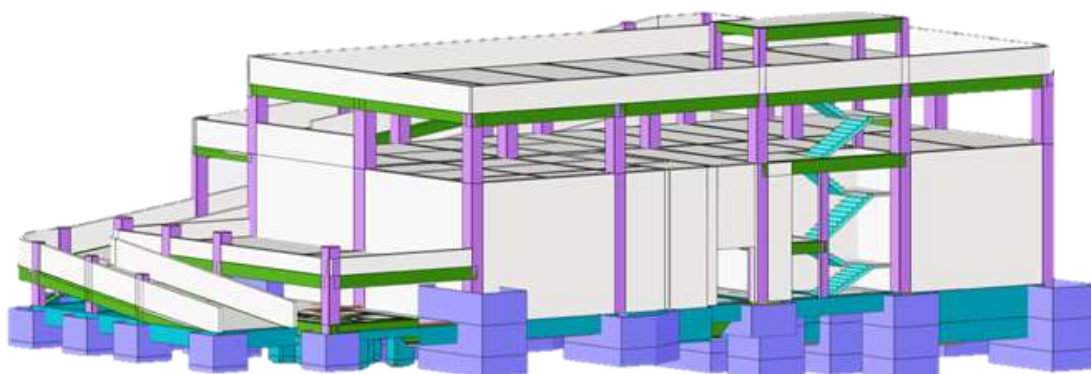
3. Hasil dan Pembahasan

Hasil penelitian ini berupa pemodelan struktur berbasis *Building Information Modeling* (BIM) yang digunakan sebagai dasar dalam perhitungan Rencana Anggaran Biaya (RAB) pada bangunan *Service Building* Proyek X. Pemodelan dilakukan menggunakan *software Cubicost Take-off Architecture & Structure* (TAS) dan *Take-off Reinforced Bar* (TRB), yang selanjutnya diintegrasikan dengan *software Cubicost Take-off Bill of Quantity* (TBQ) untuk menghasilkan perhitungan biaya secara terintegrasi, yang memungkinkan data kuantitas dan biaya diperbarui secara otomatis untuk menangani terjadinya perubahan pada desain pada pekerjaan struktur. Hasil penerapan BIM menunjukkan bahwa pemodelan 3D mampu mengidentifikasi elemen struktur secara lebih detail dan menghasilkan perhitungan kuantitas yang lebih terintegrasi dibandingkan metode manual yang mengacu pada gambar 2D.

3.1. Pemodelan Struktur

Pemodelan struktur dilakukan berdasarkan gambar kerja 2D, standar detail struktur, serta dokumen perubahan desain yang digunakan sebagai acuan dalam pengembangan model. Proses pemodelan diawali menggunakan *software Cubicost TAS* untuk membentuk model tiga dimensi (3D) dari elemen struktur yang meliputi pile cap, kolom, balok, pelat, dinding beton bertulang, tangga, dan ramp. Setelah seluruh

elemen berhasil dimodelkan, model tersebut diekspor ke *software* Cubicost TRB untuk melakukan pemodelan tulangan pada masing-masing elemen struktur. Hasil pemodelan pada TAS dan TRB menghasilkan data *Quantity Take-Off* (QTO) secara otomatis berupa volume beton, luas bekisting, dan berat tulangan untuk setiap elemen struktur. Kuantitas yang dihasilkan kemudian digunakan sebagai dasar dalam proses perhitungan biaya sehingga perubahan desain yang terjadi dapat diakomodasi secara terintegrasi melalui model BIM yang telah diperbarui. **Gambar 2** menunjukkan hasil dari pemodelan struktur dari *software* cubicost.



Gambar 2. Pemodelan 3D Struktur

Model 3D struktur yang dihasilkan selanjutnya menjadi dasar dalam perhitungan biaya proyek. Pemodelan berbasis BIM memungkinkan seluruh perubahan desain yang terjadi pada elemen struktur dapat diperbarui secara langsung pada model 3D. Dengan demikian, volume pekerjaan yang dihasilkan akan menyesuaikan secara otomatis terhadap perubahan dimensi maupun penambahan elemen struktur. Kondisi ini memberikan kemudahan dalam proses evaluasi volume dibandingkan metode perhitungan manual yang memerlukan perhitungan ulang secara manual pada setiap perubahan desain.

3.2. Perhitungan Volume dan Biaya Pekerjaan Struktur

Hasil pemodelan struktur berbasis BIM menghasilkan data QTO secara otomatis yang mencakup volume beton, luas bekisting, dan berat tulangan pada setiap elemen struktur. Pada **Tabel 1** menunjukan hasil QTO diperoleh dari pemodelan 3D Struktur menggunakan *software* cubicost TAS untuk menghasilkan volume pekerjaan bekisting dan beton, serta cubicost TRB untuk menghasilkan kebutuhan volume tulangan pada setiap elemen struktur.

Tabel 1. Hasil Perhitungan Volume

No	Uraian	Volume Beton (m3)	Volume Bekisting (m2)	Volume Tulangan (kg)
1	Pile Cap	207.65	358.03	17055.14
2	Tie Beam	34.11	211.92	7547.32
3	Slab Struktur Bawah	277.38	22.58	23529.19
4	Dinding Beton	559.61	3359.54	65873.74
5	Kolom	92.91	531.09	25773.87
6	Balok	84.26	682.71	17774.25
7	Slab	164.06	1144.24	15445.8
8	Tangga	8.90	67.13	949.23
9	Ramp	253.08	1935.65	16406.85
10	Dinding Parapet	44.34	479.9	3876.48
Total		1726.30	8792.79	194231.87

Berdasarkan **Gambar 2** hasil QTO dari setiap elemen struktur dapat ditelusuri hingga rincian volume sehingga proses verifikasi volume dan penyusunan RAB dapat dilakukan secara lebih sistematis dibandingkan metode manual. Data volume tersebut selanjutnya digunakan sebagai dasar dalam perhitungan biaya pekerjaan struktur. Hasil perhitungan biaya pekerjaan struktur menggunakan cubicost TBQ yang disajikan pada **Tabel 2**.

Tabel 2. Hasil Perhitungan Biaya

No	Uraian	Total Biaya Pekerjaan Beton	Total Biaya Pekerjaan Bekisting	Total Biaya Pekerjaan Tulangan
1	Pile Cap	Rp 231,577,301	Rp 67,055,438	Rp 2,047,230,785
2	Tie Beam	Rp 38,040,461	Rp 39,690,496	Rp 603,966,735
3	Slab Struktur Bawah	Rp 309,342,220	Rp 4,723,600	Rp 1,882,899,900
4	Dinding Beton	Rp 630,736,338	Rp 702,795,610	Rp 3,638,997,145
5	Kolom	Rp 103,615,926	Rp 111,100,841	Rp 2,305,038,504
6	Balok	Rp 93,969,195	Rp 142,818,835	Rp 2,121,853,565
7	Slab	Rp 182,964,469	Rp 343,474,639	Rp 618,017,349
8	Tangga	Rp 10,005,744	Rp 14,043,193	Rp 66,942,476
9	Ramp	Rp 164,084,040	Rp 404,926,366	Rp 1,097,461,539
10	Dinding Parapet	Rp 49,649,049	Rp 100,392,200	Rp 155,105,717
Total		Rp 1,813,984,749	Rp 1,931,021,223	Rp 14,537,513,719

3.3. Perbedaan nilai Volume dan Biaya setiap pekerjaan elemen struktur

Pemodelan struktur berbasis BIM menghasilkan data QTO secara otomatis yang mencakup volume beton, luas bekisting, dan berat tulangan pada setiap elemen struktur. Data volume tersebut selanjutnya digunakan sebagai dasar dalam perhitungan biaya pekerjaan struktur serta dibandingkan dengan hasil perhitungan metode manual untuk mengetahui perbedaan yang dihasilkan oleh kedua metode. Rekapitulasi hasil perhitungan volume dan biaya pekerjaan struktur beserta nilai selisihnya disajikan pada **Tabel** berikut.

Tabel 3. Perbedaan Volume Pekerjaan Beton

No	Uraian	Volume gambar kerja 2D	Total harga gambar kerja 2D	Volume Cubicost	Total Harga Cubicost	Selisih (%)
1	Pile Cap	364.11	Rp 239,473,123	207.65	Rp 231,577,302	3.30%
2	Tie Beam	43.91	Rp 48,969,705	34.11	Rp 38,040,461	22.32%
3	Slab Struktur Bawah	290.67	Rp 324,163,613	277.38	Rp 309,342,220	4.57%
4	Dinding Beton	559.61	Rp 630,736,339	558.62	Rp 629,623,723	0.18%
5	Kolom	102.03	Rp 113,786,815	92.91	Rp 103,615,926	8.94%
6	Balok	101.77	Rp 113,496,855	84.26	Rp 93,969,196	17.21%
7	Slab	172.85	Rp 192,767,333	164.06	Rp 182,964,470	5.09%
8	Tangga	9.15	Rp 10,286,805	8.90	Rp 10,005,745	2.73%
9	Ramp	258.36	Rp 168,347,612	253.08	Rp 164,084,041	2.53%
10	Dinding Parapet	46.55	Rp 52,123,664	44.34	Rp 49,649,050	4.75%

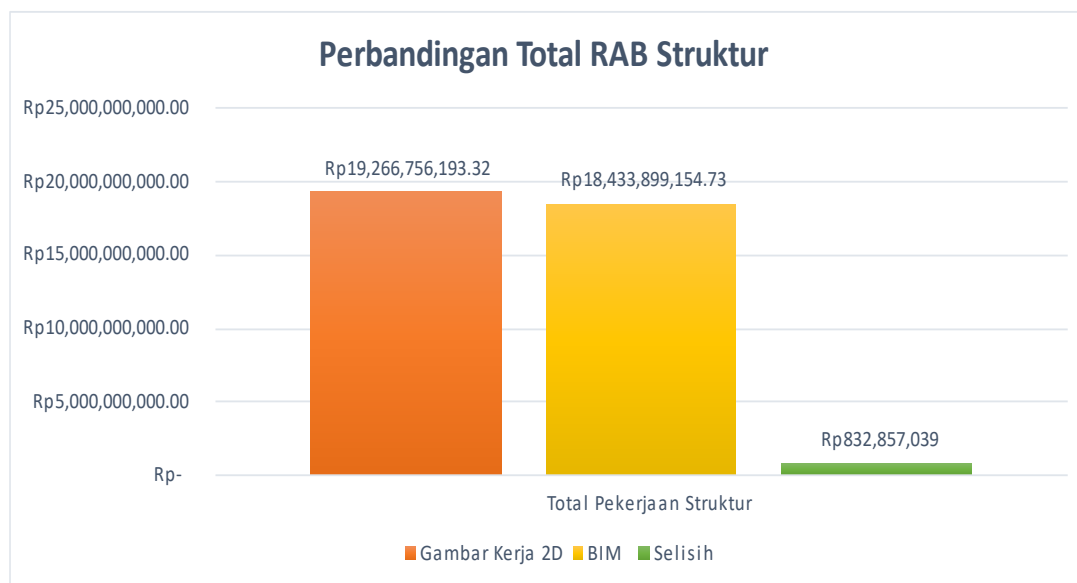
Tabel 4. Perbedaan Volume Pekerjaan Bekisting

No	Uraian	Volume gambar kerja 2D	Total harga gambar kerja 2D	Volume Cubicost	Total Harga Cubicost	Selisih (%)
1	Pile Cap	214.73	Rp 100,481,085	358.03	Rp 67,055,439	33.27%
2	Tie Beam	264.42	Rp 49,523,222	211.92	Rp 39,690,497	19.85%
3	Slab Struktur Bawah	27.71	Rp 5,796,766	22.58	Rp 4,723,601	18.51%
4	Dinding Beton	3522.67	Rp 736,921,428	3359.54	Rp 702,795,611	4.63%
5	Kolom	585.54	Rp 122,491,455	531.09	Rp 111,100,841	9.30%
6	Balok	696.9	Rp 145,787,299	682.71	Rp 142,818,836	2.04%
7	Slab	1150.76	Rp 345,420,474	1144.24	Rp 343,474,640	0.56%
8	Tangga	69.83	Rp 14,608,017	67.13	Rp 14,043,193	3.87%
9	Ramp	2,016.74	Rp 421,889,908	1,935.65	Rp 404,926,366	4.02%
10	Dinding Parapet	485.1	Rp 101,480,009	479.9	Rp 100,392,201	1.07%

Tabel 5. Perbedaan Volume Pekerjaan Tulangan

No	Uraian	Volume gambar kerja 2D	Total harga gambar kerja 2D	Volume Cubicost	Total Harga Cubicost	Selisih (%)
1	Pile Cap	18264.2	Rp 2,192,361,511	17055.14	Rp 2,047,230,785	6.62%
2	Tie Beam	7809.55	Rp 624,951,429	7547.32	Rp 603,966,736	3.36%
3	Slab Struktur Bawah	23989.5	Rp 1,919,735,748	23529.19	Rp 1,882,899,901	1.92%
4	Dinding Beton	65337.41	Rp 3,609,369,203	65873.74	Rp 3,638,997,145	-0.82%
5	Kolom	26967.14	Rp 2,413,655,880	25773.87	Rp 2,305,038,504	4.50%
6	Balok	20066.1	Rp 2,396,958,072	17774.25	Rp 2,121,853,565	11.48%
7	Slab	16878.15	Rp 675,328,538	15445.8	Rp 618,017,350	8.49%
8	Tangga	970.89	Rp 77,694,501	949.23	Rp 66,942,477	13.84%
9	Ramp	16,808.94	Rp 1,119,693,407	16,406.85	Rp 1,097,461,540	1.99%
10	Dinding Parapet	3837.33	Rp 153,539,248	3876.48	Rp 155,105,718	-1.02%

Berdasarkan Tabel 1, Tabel 2, dan Tabel 3, terdapat perbedaan volume dan biaya antara metode BIM dan metode manual pada beberapa elemen struktur. Pada pekerjaan beton, perbedaan terbesar terdapat pada elemen *Tie Beam* dengan selisih sebesar 22,32%. Pada pekerjaan bekisting, selisih terbesar terjadi pada elemen *Pile Cap* sebesar 33,27%, sedangkan pada pekerjaan tulangan selisih terbesar terdapat pada elemen tangga sebesar 13,84%. Selain itu, pada pekerjaan tulangan dinding parapet dan dinding beton bertulang diperoleh selisih masing-masing sebesar -1,02% dan 0,82%. Perbedaan tersebut dipengaruhi oleh tingkat detail gambar kerja yang digunakan sebagai acuan perhitungan, sehingga pada beberapa elemen diperlukan asumsi dalam menentukan kebutuhan tulangan. Untuk melihat pengaruh perbedaan volume tersebut terhadap kebutuhan biaya pekerjaan struktur, dilakukan perbandingan biaya antara metode BIM dan metode manual yang disajikan pada grafik berikut.



Gambar 3. Grafik perbedaan Biaya Struktur

Berdasarkan Gambar 3, terdapat perbedaan nilai biaya antara metode BIM dan metode manual pada setiap pekerjaan struktur. Pada hasil perbandingan biaya tersebut terdapat perbedaan biaya Rp832.857.039 atau berkisar 4.32%. Perbedaan biaya ini berdasarkan hasil wawancara dengan pihak kontraktor, perbedaan tersebut dipengaruhi oleh proses perhitungan metode konvensional yang masih mengacu pada gambar kerja 2D sehingga terdapat beberapa detail tulangan dan elemen struktur yang belum terhitung secara menyeluruh. Temuan tersebut menunjukkan bahwa penerapan BIM tidak hanya memberikan hasil volume yang lebih terintegrasi, tetapi juga mampu meningkatkan ketelitian dalam perhitungan biaya akibat perubahan desain melalui proses pemodelan yang menyeluruh terhadap setiap elemen struktur.

Perbedaan volume dan biaya yang diperoleh pada penelitian ini menunjukkan bahwa perubahan desain memberikan pengaruh terhadap kuantitas pekerjaan dan biaya konstruksi. Temuan ini sejalan dengan

penelitian sebelumnya oleh (Ardin et al., 2025) bahwa penggunaan BIM 5D efektif dalam meningkatkan efisiensi perencanaan biaya struktur. Temuan ini bermanfaat untuk konsultan proyek dalam pengambilan keputusan berbasis data dengan perbedaan hasil perhitungan 15,62 % dari hasil perhitungan ini terdapat selisih antara perhitungan manual dengan perhitungan berdasarkan BIM. Selain itu penelitian oleh (Firman Parama Yudha & Ahmad Saifudin Mutaqi, 2025) bahwa metode perhitungan dalam memanfaatkan *software* BIM memiliki output volume yang paling relevan dengan nilai rasio rata rata sebesar 2.26%. Kemudian penelitian oleh (Kazam Meindito et al., 2026) Kemampuan BIM dalam mengotomatisasi perhitungan volume material secara langsung dari model 3D menjadi salah satu keunggulan utamanya, karena hal ini tidak hanya mengurangi potensi pekerjaan ulang akibat kesalahan hitung, tetapi juga berkontribusi pada penurunan biaya proyek yang hingga mencapai 11,55% bila dibandingkan dengan metode konvensional.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, penerapan *Building Information Modeling* (BIM) menggunakan *software* Cubicost TAS, TRB, dan TBQ menghasilkan perbedaan nilai biaya dibandingkan metode manual sebesar 4.32% atau sebesar Rp832.857.039 Perbedaan tersebut dipengaruhi oleh adanya perubahan desain berupa penambahan elemen struktur serta perubahan dimensi beberapa elemen yang berdampak pada perubahan kuantitas pekerjaan. Melalui pemodelan berbasis BIM, perubahan desain dapat diperbarui secara otomatis pada perhitungan volume dan biaya sehingga menghasilkan data yang lebih terintegrasi dengan kondisi desain terbaru. Dengan demikian, penerapan BIM dapat membantu mengelola dampak perubahan desain terhadap perhitungan kuantitas dan biaya pekerjaan struktur secara lebih akurat dan efisien dibandingkan metode konvensional.

5. Referensi

- Ardin, M., Hendriyani, I., & Pratiwi, R. (2025). Implementasi Building Information Modeling (BIM) 5D Pada Pekerjaan Struktur Rumah Tinggal Type 400. *Jurnal Konstruksi*, 23(2). <https://doi.org/10.33364/konstruksi/v.23-2.2427>
- Azhar, S., & Asce, A. M. (2011). Building Information Modeling (BIM): Trends, Benefits, Risks, and Challenges for the AEC Industry. In *Leadership Manage. Eng* (Vol. 11, Number 3).
- Fan, J., Chen, L., & Chen, K. (2024). Digitalizing Industrialized Construction Projects: Status Quo and Future Development. In *Applied Sciences (Switzerland)* (Vol. 14, Number 13). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). <https://doi.org/10.3390/app14135456>
- Fedora Johartiming, E., Syane Winarto, J., Pintardi Chandra, H., & Ratnawidjaja, S. (2021). *Investigasi Implementasi Building Information Modelling Pada Sektor Konstruksi di Surabaya*. <https://doi.org/10.1002/9781119287568>
- Fernando, R., Kusumo Friatmojo, E., & Caesar Ricardo, K. (2021). *Perbandingan Quantity Take-Off Baja Tulangan Antara Metoda Konvensional Terhadap Metoda BIM 5D Cubicost Pada Struktur Gedung Fasilitas Perkeretaapian Manggarai*. <https://doi.org/10.32497/orbit.v20i1.5428>
- Firman Parama Yudha, & Ahmad Saifudin Mutaqi. (2025). Literature Review: Pemanfaatan Building Information Modeling (BIM) dalam Konstruksi sebagai Alat Komunikasi dan Kolaborasi dalam Integrated Project Delivery (IPD). *Konstruksi: Publikasi Ilmu Teknik, Perencanaan Tata Ruang Dan Teknik Sipil*, 3(4), 11–30. <https://doi.org/10.61132/konstruksi.v3i4.1018>
- Gradasi, J., & Sipil, T. (2024). *Implementasi Building Information Modelling (BIM) 5D dalam Estimasi Quantity Take Off Pekerjaan Struktur*. 8(2), 245–258. <https://doi.org/https://doi.org/10.33364/konstruksi/v.23-2.2427>
- Hasbi, E. A. K., Susanti, B., & Adhitya, B. B. (2025). Comparative Analysis of Concrete and Reinforcement Work Volume Using Building Information Modelling Support Software. *Bentang : Jurnal Teoritis Dan Terapan Bidang Rekayasa Sipil*, 13(1), 83–96. <https://doi.org/10.33558/bentang.v13i1.10152>
- Kazam Meindito, R., Purnomo, A., & Berliana Yasinta, R. (2026). Penerapan BIM Menggunakan Cubicost Dalam Perhitungan Rencana Anggaran Biaya: Studi Literatur. In *Journal of Innovative and Creativity* (Vol. 6, Number 2). <https://doi.org/https://doi.org/10.31004/joecy.v6i2.11284>
- Alifa, R. N., Izza, M. N., Hakim, F. F., & Abda, J. (2024). Analisis Perbandingan Quantity Take-Off Cubicost TAS dan TRB Terhadap Perhitungan Konvensional Pada Area Plaza Basement Lantai Basement 1 Proyek Revitalisasi Masjid Agung Batam Centre. *Jurnal Inovasi Konstruksi*, 3(1), 15-25.
- Oktaviani, N., Priana, S. E., & Zuheldi. (2023). *Penerapan Metode Building Information Modelling Pada Perencanaan Struktur Gedung Dinas Sosial Kota Bukittinggi*. <https://doi.org/https://doi.org/10.33559/err.v2i3.1764>

- Rahayu, R., & Priyo Suseno, D. (2023). Analisis Perbandingan Quantity Take Off Menggunakan BIM Glodon Cubicost dengan Microsoft Excel. *Jurnal Teknik Sipil*, 16(2), 1–15. <https://jurnal2.untagsmg.ac.id/index.php/JTS>
- Salamon, J. W., & Hariri-Ardebili, M. A. (2024). Verification, validation, and uncertainty quantification (VVUQ) in structural analysis of concrete dams. *Frontiers in Built Environment*, 10. <https://doi.org/10.3389/fbuil.2024.1452415>
- Setyawan, P. A., Wardani, A. C., & Putra, C. (2020). Evaluasi Faktor Penyebab Terjadinya Contract Change Order (CCO) Pada Proyek The Hava Villa. *Widya Teknik*, 13(01), 9-18.
- Hafizhah, J., Aji, F. S. K. R., Heston, Y. P., & Abda, J. (2024). Penerapan BIM untuk Perbandingan Volume dan Biaya Konstruksi Tangga Darurat Gedung Anex Proyek Pembangunan Kompleks Perantaraan Pasar Baru. *Jurnal Inovasi Konstruksi*, 3(1), 26-34.