PENGEMBANGAN MODEL INFORMASI DIGITAL PADA STRUKTUR JEMBATAN RANGKA BAJA MELALUI PENERAPAN BIM 3D

Rambu Bintang Rahmadani[1], Lila Ayu Ratna Winanda [2], dan Deviany Kartika[3]

[1]Prodi Teknik Sipil, Institut Teknologi Nasional Malang, Jalan Sigura-Gura no.2 Malang
Email: 2221027@scholar.itn.ac.id
[2] Prodi Teknik Sipil, Institut Teknologi Nasional Malang, Jalan Sigura-Gura no.2 Malang
Email: lilawinanda@lecturer.itn.ac.id
[3]Prodi Teknik Sipil Institut Teknologi, Nasional Malang, Jalan Sigura-Gura no.2 Malang
Email: anstruk1.devi@gmail.com

ABSTRACT

Digital transformation from conventional 2D methods to an integrated approach is crucial to minimize design errors and material quantity discrepancies in bridge projects. This study aims to comprehensively model the 3D structure of the PT. Sawit Lamandau Raya Bridge post-construction, analyze the visual coordination of elements, and automatically extract material volume quantities using Autodesk Revit's Quantity Take-Off (QTO) feature. A descriptive comparative methodology was applied through the stages of creating grids, leveling, inputting material parameters, modeling substructure and superstructure elements, and validating geometry. The results indicate that the 3D modeling successfully mapped critical bridge details precisely. The automated QTO process generated objective volume data and detected significant deviations compared to conventional methods. In reinforcement steel, the volume deviations for Bored Pile A 59.40% and Abutment A 55.13% were lower than the conventional method. In concrete volume, a striking deviation occurred in the open caisson foundation at 73.69%, while structural steel showed an a Bolt is 64,47%. These quantity differences were triggered by decimal rounding and the neglect of overlapping volumes in the conventional method. In conclusion, the BIM 3D Revit approach effectively provides transparent asset documentation and delivers superior volume calculation accuracy for bridge construction cost management.

Keywords: Autodesk Revit, Building Information Modeling, Quantity Take-Off, Steel Truss Bridge, Volume Evaluation.

ABSTRAK

Transformasi digital dari metode konvensional 2D menuju pendekatan terintegrasi sangat krusial untuk meminimalkan risiko kesalahan desain dan selisih volume material jembatan. Penelitian ini bertujuan memodelkan struktur 3D Jembatan PT. Sawit Lamandau Raya pasca-konstruksi, menganalisis koordinasi visual elemen, serta mengekstrak kuantitas volume material otomatis melalui *Quantity Take-Off* (QTO) Autodesk Revit. Metodologi deskriptif kuantitatif diterapkan melalui tahapan pembuatan *as-grid*, *leveling*, *input* material, pemodelan struktur bawah dan atas, serta validasi geometri. Hasil menunjukkan pemodelan 3D sukses memetakan detail kritis jembatan secara presisi. Proses QTO otomatis menghasilkan data volume yang objektif dan mendeteksi deviasi signifikan dibandingkan metode konvensional. Pada pembesian, deviasi volume tulangan *Bored Pile* A 59,40% dan Abutmen A 55,13% lebih rendah dari metode konvensional. Pada volume beton, deviasi mencolok terjadi pada pondasi sumuran sebesar 73,69%, sedangkan baja struktur pada baut 64,47%. Selisih kuantitas ini dipicu oleh pembulatan angka desimal serta pengabaian volume tumpang tindih (*overlap*) pada metode konvensional. Sehingga, pendekatan BIM 3D menggunakan Autodesk Revit efektif menyajikan dokumentasi aset yang transparan serta memberikan akurasi perhitungan volume yang unggul untuk manajemen biaya konstruksi jembatan.

Kata kunci: Autodesk Revit, *Building Information Modeling*, Evaluasi Volume, Jembatan Rangka Baja, *Quantity Take-Off.*

1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi digital dalam industri konstruksi global saat ini mendorong transformasi fundamental dari metode kerja konvensional menuju pendekatan yang lebih terintegrasi. Salah satu inovasi utama yang banyak diterapkan dalam manajemen proyek adalah *Building Information Modeling* (BIM), yaitu pendekatan digital yang mengintegrasikan data geometris dan non-geometris dalam suatu model

untuk mendukung manajemen proyek konstruksi (W. D. Putra, 2025). Di Indonesia, implementasi BIM didorong oleh kebijakan pemerintah melalui regulasi terstandardisasi yang bertujuan meningkatkan efisiensi serta kualitas infrastruktur secara transparan, pada pelaksanaan proyek jembatan rangka baja, koordinasi visual antardisiplin menjadi aspek paling kritis akibat kompleksitas susunan elemen struktur (Putra & Puri, 2024). Tantangan utama dalam metode konstruksi konvensional berbasis gambar dua dimensi (2D) manual adalah risiko kesalahan desain dan adanya selisih perhitungan kuantitas material yang sering memicu pemborosan atau kekurangan pengadaan di lapangan. Oleh karena itu, diperlukan alat bantu digital yang mampu meningkatkan koordinasi visual elemen serta menghitung kuantitas objek secara otomatis sebelum modifikasi fisik atau evaluasi lapangan dilakukan(Putri et al., 2024).

Sebagai instrumen kendali mutu dalam manajemen konstruksi, fungsi koordinasi visual elemen berbasis BIM memiliki urgensi tinggi, termasuk sebagai studi evaluasi pasca-konstruksi. Salah satu keunggulan utama BIM 3D adalah kemampuan komputasi otomatis untuk mengekstrak kuantitas volume material (*quantity take-off*) langsung dari elemen digital yang telah dimodelkan (Rachmawati & Abma, 2022). Kesalahan dalam menghitung volume yang dilakukan secara manual konvensional sering kali memicu selisih anggaran yang signifikan dan menghambat proses opname pekerjaan (Junaidi et al., 2023). Kasus nyata ini dikaji pada pembangunan Jembatan PT. Sawit Lamandau Raya sepanjang 65 meter dengan jenis jembatan rangka baja yang terletak di Desa Tanjung Beringin, Kalimantan Tengah. Karena jembatan logistik kelapa sawit ini belum mengintegrasikan BIM dalam proses perencanaan orisinalnya, rekonstruksi model digital pasca-terbangun menjadi sangat penting untuk mengevaluasi akurasi geometri serta melakukan audit koordinasi visual dan kuantitas volume elemen strukturnya.

Selain visualisasi objek, pemodelan berbasis BIM 3D berfokus pada akurasi parameter volume yang melekat pada setiap properti komponen. Perhitungan kuantitas material proyek secara umum merupakan proses vital dalam manajemen biaya yang mengatur estimasi kebutuhan komponen agar penggunaan anggaran dapat terkoordinasi dengan baik demi mencapai sasaran efisiensi (Junaidi et al., 2023). Melalui konsep visualisasi objek 3D pada *platform* Autodesk Revit, dilakukan penataan elemen struktur bawah dan struktur atas yang menghasilkan *output* data volume yang presisi dan transparan (Putra, 2025). Simulasi visualisasi digital ini mempermudah pemantauan kesesuaian material serta mengurangi risiko kesalahan interpretasi perhitungan di lapangan (Putri et al., 2024).

Berdasarkan deskripsi permasalahan tersebut, rumusan masalah dalam kajian ilmiah ini difokuskan pada tiga poin utama, yaitu bagaimana alur kerja koordinasi visual elemen struktur menggunakan metode BIM 3D berbasis Autodesk Revit (Putra, 2025). Poin kedua diarahkan pada bagaimana hasil ekstraksi kuantitas volume material otomatis (*quantity take-off*) yang dihasilkan dari komponen objek pemodelan jembatan (Junaidi et al., 2023). Poin ketiga berfokus pada bagaimana perbandingan volume antara hasil analisis berbasis BIM Revit dengan data perhitungan konvensional yang terealisasi di lapangan (Rachmawati & Abma, 2022).

Selaras dengan rumusan masalah tersebut, tujuan utama dari penelitian jurnal ini adalah untuk memodelkan struktur tiga dimensi (3D) jembatan secara menyeluruh serta menganalisis keselarasan koordinasi visual elemen antarkomponen struktur bawah dan struktur atas menggunakan Autodesk Revit dan bertujuan untuk menghasilkan *output* berupa volume material secara otomatis. Pada bagian akhir, penelitian ini ditujukan untuk membandingkan perhitungan volume berbasis data model BIM terhadap dokumen realisasi aktual Pembangunan Jembatan PT. Sawit Lamandau Raya sebagai instrumen evaluasi manajemen biaya.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Analisis literatur terdahulu

Landasan teoritis penelitian ini dibangun berdasarkan sintesis sejumlah penelitian terdahulu yang mengkaji efektivitas implementasi teknologi *Building Information Modeling* (BIM) pada industri konstruksi global. Pemodelan berbasis BIM secara umum terbukti mampu meningkatkan akurasi desain, efisiensi perencanaan, serta mendukung integrasi data volume menuju estimasi pembiayaan proyek konstruksi (Yudiayanto et al., 2025). Implementasi pemodelan terbukti efektif menyelaraskan posisi antar-elemen struktur dalam pengujian interdisiplin, sehingga meminimalkan risiko kerja ulang akibat salah membaca gambar 2D manual. Penggunaan model digital ini secara empiris mampu menyajikan keterbacaan ruang yang menyeluruh, sehingga mencegah potensi kesalahan pengadaan material di lapangan (Akbar et al., 2025). Pengolahan visualisasi ini juga dikembangkan untuk mewujudkan transparansi data kuantitas yang lebih dinamis untuk keperluan evaluasi (Rachmawati & Abma, 2022). Sebagian besar studi terdahulu mengkaji objek gedung bertingkat, sedangkan kajian koordinasi visual pada struktur rangkak jembatan masih terbatas.

Teori dasar koordinasi elemen jembatan dan pemodelan 3D

Secara teknis, manajemen konstruksi bertumpu pada tata kelola elemen fisik bangunan yang dirumuskan secara terstruktur untuk mencapai sasaran konkret dalam batasan volume dan spesifikasi tertentu (Arifin, 2021). Pada pembangunan infrastruktur transportasi, jembatan memegang peranan vital sebagai struktur penghubung lintas wilayah yang terputus oleh rintangan alam seperti aliran sungai atau lembah. Pemilihan tipe jembatan rangka baja banyak diterapkan karena kekuatan struktural materialnya yang tinggi, kemampuan memikul beban lalu lintas kendaraan logistik berat yang besar, serta efisiensi fabrikasi komponen untuk bentang panjang (Arifin, 2021). Tata kelola elemen fisik jembatan yang rumit tersebut dapat diintegrasikan melalui teknologi BIM 3D sebagai sistem digital terpadu yang menyatukan seluruh metadata teknis objek komponen struktur, seperti sistem fondasi abutment, pelat buhul, gelagar rangka utama, hingga pembesian pelat lantai kendaraan sepanjang siklus hidup infrastruktur menggunakan pemodelan berbasis elemen.

Konsep *Quantity Take-Off* (QTO) berbasis *Building Information Modelling* (BIM)

Dalam proses pengolahan data, *output* volume (*quantity take-off*) pada platform Autodesk Revit bekerja secara otomatis dengan memanfaatkan parameter geometri yang melekat pada setiap objek family yang ada pada Autodesk Revit (Akbar et al., 2025). Model geometri yang disusun secara digital dievaluasi parameternya untuk menghasilkan dokumen *Bill of Quantity* (BoQ) otomatis berupa skedul material (*material schedules*) yang bersumber langsung dari volume aktual elemen objek digital tanpa perlu kalkulasi manual ulang. Perhitungan kuantitas digital ini meminimalkan kesalahan *human error* yang sering terjadi pada pembacaan gambar 2D biasa (Junaidi et al., 2023). Kumpulan kuantitas material presisi tersebut selanjutnya dapat dipadukan bersama parameter upah dan bahan berdasarkan Analisa Harga Satuan Pekerjaan (AHSP) yang berlaku guna merumuskan perbandingan anggaran biaya proyek, sehingga memberikan landasan yang kuat untuk menguji efisiensi pelaksanaan manajemen biaya konstruksi jembatan (Junaidi et al., 2023).

3. METODOLOGI PENELITIAN

Alur kerja pemodelan digital dan parameter geometri Revit

Penelitian ini menerapkan metode analisis deskriptif kuantitatif dengan memanfaatkan *Building Information Modeling* (BIM) 3D sebagai alat evaluasi digital pasca konstruksi. Pemodelan visual objek jembatan dilakukan menggunakan program bantu Autodesk Revit berdasarkan acuan gambar terlaksana atau *As-Built Drawing*. Parameter elemen jembatan dimodelkan secara terstruktur mencakup bentang utama sepanjang 65 meter dengan jenis jembatan rangka baja. Properti material baja dan beton diinput secara ke dalam sistem Revit sesuai spesifikasi teknis komponen material yang ada pada dokumen perencanaan. Secara garis besar, komponen elemen jembatan dibagi menjadi dua yaitu struktur bawah yang meliputi abutment beton bertulang, serta komponen struktur atas yang memuat gelagar rangka utama, gelagar melintang, ikatan angin, detail sambungan, serta pelat lantai kendaraan.

Tahapan koordinasi visual dan validasi parameter objek

Setelah seluruh model objek jembatan selesai disusun pada level visualisasi 3D, dilakukan koordinasi visual elemen untuk memastikan keselarasan ruang batas geometri. Evaluasi ditujukan pada titik pertemuan kritis antarelemen, seperti kontak sambungan pelat buhul pada gelagar utama serta batas ruang pembesian pelat lantai jembatan. Proses peninjauan dilakukan secara visual melalui rotasi sudut pandang 3D model guna mendeteksi jika terdapat kesalahan penggambaran atrau kesalahan dalam menetukan dimensi elemen struktural. Setelah geometri model dinyatakan valid dan sesuai dengan data *As-Built Drawing*, setiap objek dipastikan telah menginput data material yang benar agar proses perhitungan kuantitas dapat berjalan secara sistematis.

Tahapan Analisis *Quantity Take-Off* (QTO) dan Studi Perbandingan Volume Konvensional dengan BIM

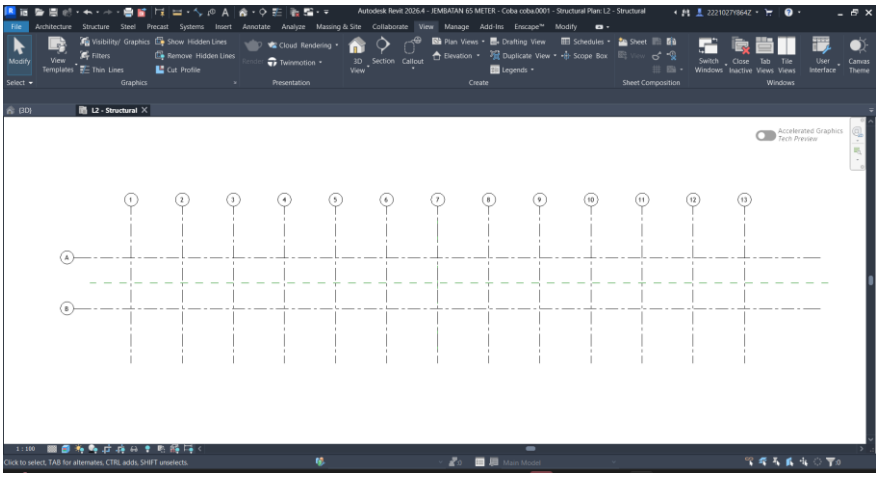
Model visual 3D yang telah divalidasi kemudian diekstraksi volumenya menggunakan fitur *Schedule/Quantities* pada Autodesk Revit. Pembuatan tabel kuantitas ini diklasifikasikan berdasarkan kategori elemen, seperti *Structural Framing* untuk balok rangka baja, *Structural Rebar* untuk penulangan dan *Structural Foundations* untuk abutment beton dan pondasi. Hasil dari *output* ini berupa draf dokumen kuantitas material digital atau *Bill of Quantities* (BoQ) otomatis yang mencantumkan nilai volume. Pada tahapan akhir, nilai kuantitas volume *output* dari Revit tersebut dibandingkan secara langsung terhadap lembar data perhitungan secara konvensional atau *back-up* volume aktual untuk menghitung nilai deviasi.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

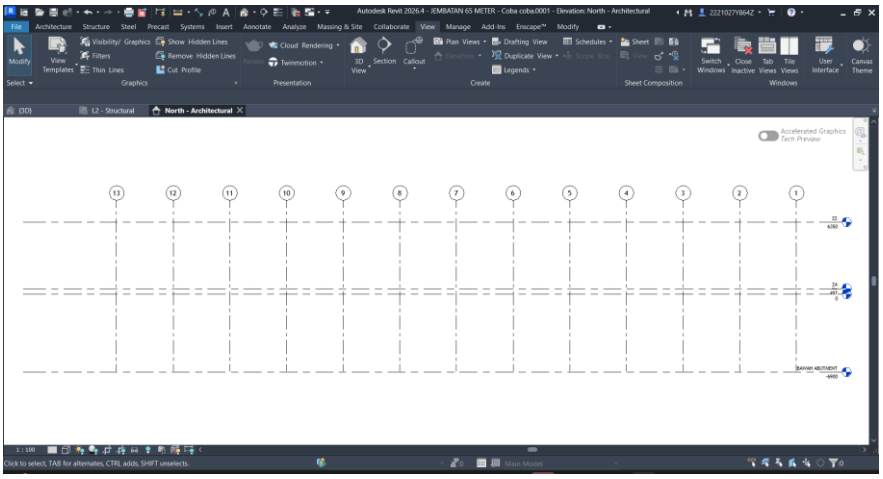
Pemodelan visual 3D dan koordinasi elemen jembatan

Tahap awal analisis dimulai dari pembuatan *grid* (*as grid*), pengaturan level, serta input material sesuai data *as-built drawing*. Selanjutnya dilakukan pemodelan menggunakan Autodesk Revit hingga menghasilkan model tiga dimensi (3D) yang sesuai

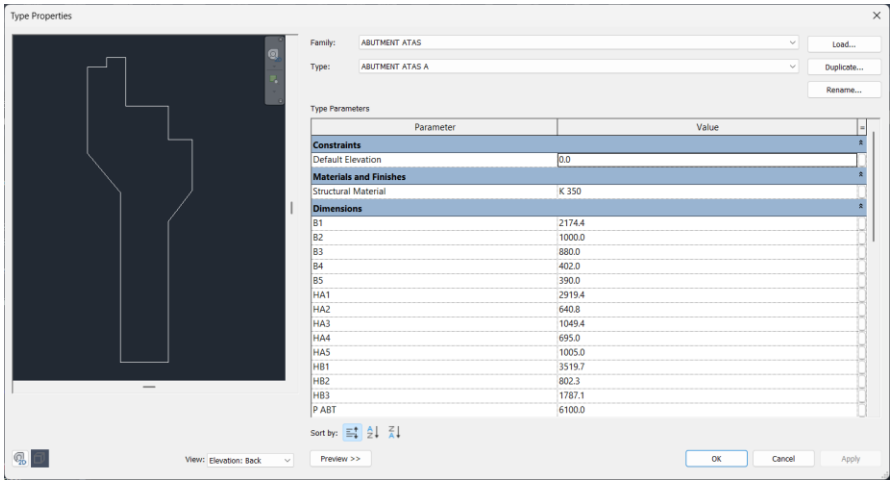
dengan Jembatan PT. Sawit Lamandau Raya. Model 3D rangka baja sepanjang 65 meter dapat direpresentasikan secara menyeluruh, sehingga ketidakpastian pada gambar kerja 2D dapat diminimalkan. Selain itu, model ini mampu menampilkan posisi dan bentuk setiap komponen struktural secara akurat dan mudah dipahami secara visual.



Gambar 1 As – Grid Pemodelan Jembatan di Revit

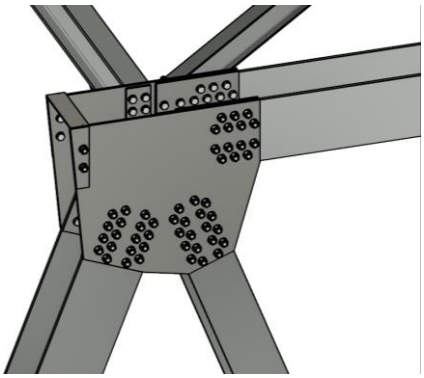


Gambar 2 Elevasi Pemodelan Jembatan di Revit



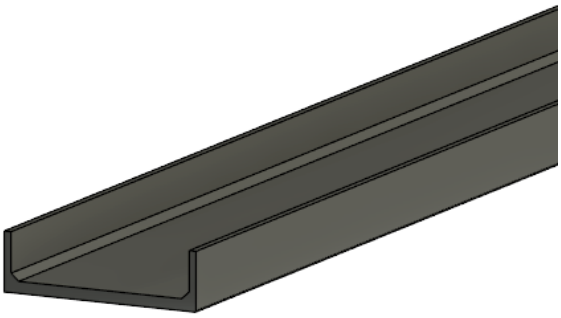
Gambar 3 Input Family Secara Manual di Revit

Pada komponen struktur atas, pemodelan difokuskan pada detail sambungan pelat buhul gelagar induk serta penempatan *bracing* lateral. Melalui rotasi sudut pandang digital, seluruh titik simpul pertemuan antar-profil baja (WF dan H) dapat dievaluasi secara nyata untuk memastikan ketepatan geometri setiap posisi elemen.

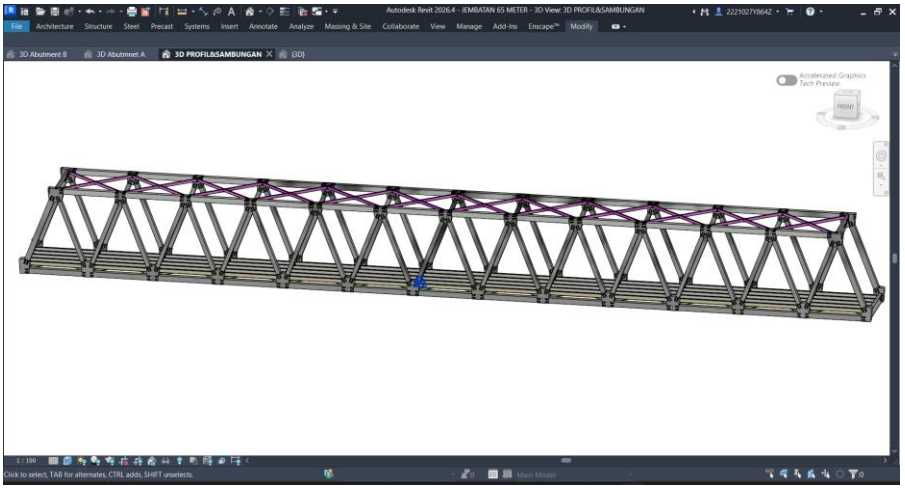


Gambar 4 Hasil Pemodelan Detail Sambungan

Selain pada detail sambungan pada rangka jembatan pemodelan 3D juga dibuat pada pelat lantai jembatan.



Gambar 5 Hasil Pemodelan Lantai Kendaraan

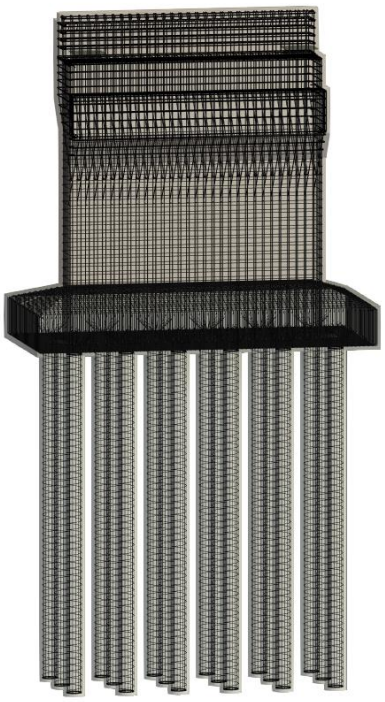


Gambar 6 Hasil Pemodelan 3D Rangka dan Sambungan Jembatan

Sementara itu, pada bagian struktur bawah, pemodelan dilakukan untuk meninjau keselarasan geometri komponen pondasi dan dinding abutment beton bertulang. Peninjauan visual ini memastikan bahwa posisi perletakan elastomer jembatan telah tumpu secara presisi di atas Abutmen sesuai dengan *As-Built Drawing.*



Gambar 7 Hasil Pemodelan Elastomer

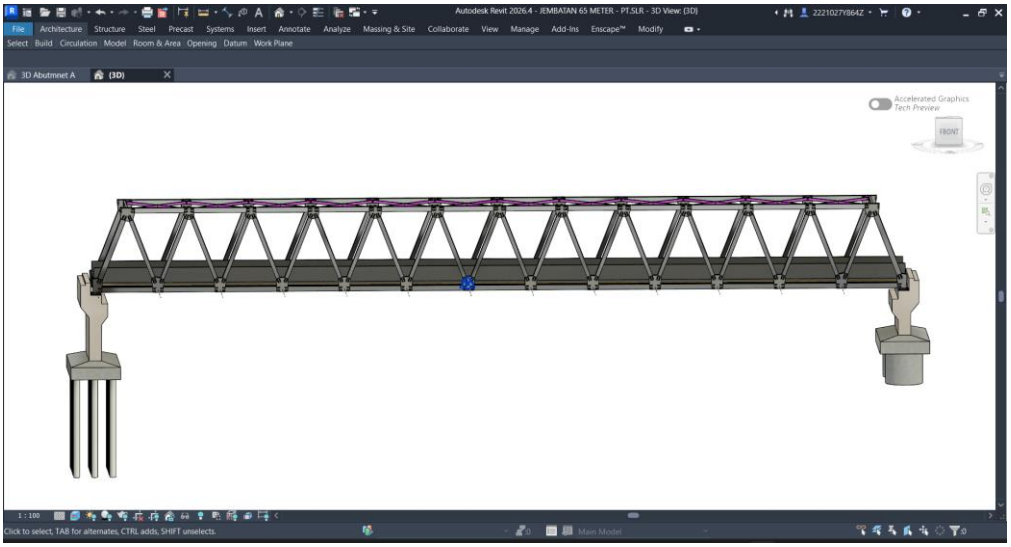


Gambar 8 Hasil Pemodelan Abutmen A



Gambar 9 Hasil Pemodelan Abutmen B

Hasil identifikasi visual secara terpisah ini membuktikan bahwa pembuatan model digital pasca-konstruksi menggunakan Revit sangat efektif dalam menyajikan dokumentasi aset jembatan secara transparan dan informatif untuk keperluan evaluasi di masa depan



Gambar 10 Hasil Pemodelan 3D Jembatan PT Sawit Lamandau Raya

Analisis *Quantity Take-Off* (QTO) berbasis *Building Information Modelling* (BIM)

Setelah seluruh penataan geometri elemen dinyatakan selaras dan valid, dilakukan *Output* volume material secara otomatis melalui menu *Schedule/Quantities*. Proses pemodelan Revit berhasil mengeluarkan *Output* berupa tabel volume beton untuk struktur bawah atau abutment serta volume elemen baja profil untuk komponen struktur atas jembatan. *Output* yang dihasilkan lebih objektif karena angkanya bersumber langsung dari dimensi fisik objek visual yang dimodelkan.

Tabel 1 Volume Struktur Bawah

Uraian	Volume Tulangan (kg)	Volume Beton (m3)	Bekisting (m2)
Pondasi Bored Pile	1.643,808	28,27	-
Pondasi Sumuran	2.175,94	12,39	-
Abutmen A	5.160,343	86,24	70,9

Abutmen B	4.866,555	75,84	70,9

Tabel 2 Volume Elastomer

Uraian	Volume	Satuan
Elastomer Lateral	4	Buah
Elastomer Utama	4	Buah

Tabel 3 Volume Struktur Atas

Uraian	Volume	Satuan
Profil Rangka Jembatan	114.921,4	kg
Sambungan Pelat	18.782,12	kg
Baut	2.135,92	kg
Shear Connector	1.235,25	kg
Steel Deck tebal 1mm	555	m^2
Penulangan Pelat Lantai	13.216,94	kg
Beton Pelat Lantai	79.35	m^3

Hasil *output* otomatis ini menunjukkan keunggulan sistem BIM 3D dalam mengatasi risiko salah hitung atau *human error* akibat kalkulasi aritmatika yang masih dilakukan secara konvensional. Hal ini terjadi karena sistem secara dinamis akan langsung memperbarui nilai volume jika terdapat perubahan dimensi pada properti objek komponen jembatan tersebut.

Analisis Perbandingan Volume Berbasis BIM terhadap data perhitungan Konvensional

Hasil rekapitulasi volume otomatis dari Tekla *Structure* kemudian dibandingkan secara langsung dengan data hitungan manual atau *back-up* volume aktual proyek. Dari perbandingan tersebut, ditemukan adanya selisih jumlah volume material di antara kedua metode. Selisih ini sebagian besar dipicu oleh faktor pembulatan angka desimal pada hitungan konvensional, serta kurang telitianya perhitungan pengurangan volume pada area pertemuan elemen struktur yang saling tumpang tindih (*overlap*).

Untuk melakukan perbandingan antara hasil perhitungan yang dilakukan oleh perencana dan hasil yang diperoleh dari aplikasi BIM, terlebih dahulu perlu ditentukan selisih volume yang didapat. Selisih volume tersebut kemudian dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

Selisih :$\left(\frac{Volume\ Konvensional - Volume\ BIM}{Volume\ Konvensional}\right)\times 100\%$...(1)

- Selisih kebutuhan Tulangan Abutmen A
  $= \left(\frac{11.952,46 - 5.363,55}{11.952,46}\right)\times 100\%$
  $= 55,13\%$

Dari hasil perhitungan ini, dapat disimpulkan bahwa volume BIM memiliki 55,13% lebih rendah daripada volume perhitungan konvensional. Analisis lebih lanjut dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4 Perbandingan Volume Pembesian

Nama	Volume BIM (kg)	Volume Perencanaan (kg)	Selisih (%)
Abutmen A	5.160,34	11.952,46	55,13
Bored Pile A	1.643,808	4.049,72	59,40
Abutmen B	4.866,555	10.145,67	50,50
Pondasi Sumuran	2.175,94	4.895,23	55,54
Pelat Lantai	13.216,94	13.766,73	3,46

Tabel 5 Perbandingan Volume Beton

Nama	Volume BIM (m2)	Volume Perencanaan (m2)	Selisih (%)
Abutmen A	86,24	101,38	14,93
Bored Pile A	28,27	24,73	-14,31
Abutmen B	75,84	85,45	11,25
Pondasi Sumuran	12,39	47,10	73,69
Pelat Lantai	79,35	100,88	21,34

Tabel 6 Perbandingan Volume Bekisting

Nama	Volume BIM (m2)	Volume Perencanaan (m2)	Selisih (%)
Abutmen A	70,9	70.21	-0,98
Abutmen B	70,9	70.21	-0,98

Tabel 7 Perbandingan Volume Elastomer

Nama	Volume BIM (buah)	Volume Perencanaan (buah)	Selisih (%)
Elastomer Utama	4	4	0
Elastomer Lateral	4	4	0

Tabel 8 Perbandingan Volume Rangka Jembatan

Nama	Volume BIM (kg)	Volume Perencanaan (kg)	Selisih (%)
Profil Rangka dan Sambungan	133.703,52	150.290,14	11,04
Mur Baut	2.135,92	6.011,61	64,47
Shear Connestor	1.235,25	666,99	-46

Tabel 9 Perbandingan Volume Steel Deck

Nama	Volume BIM (m2)	Volume Perencanaan (m2)	Selisih (%)
Steel Deck	555	571,95	2,96

Berdasarkan hasil analisis ini membuktikan bahwa *Output* volume berbasis pendekatan BIM 3D Revit memberikan hasil perhitungan yang lebih objektif sebagai evaluasi manajemen biaya proyek infrastruktur jembatan.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis pemodelan digital 3D, koordinasi visual elemen, serta studi komparatif kuantitas volume pada Pembangunan Jembatan PT. Sawit Lamandau Raya sepanjang 65 meter menggunakan Autodesk Revit, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Proses pemodelan digital pasca-konstruksi yang diawali secara sistematis dari pembuatan *as-grid*, pengaturan level elevasi, dan input parameter properti material mampu mentransformasikan data gambar kerja 2D konvensional menjadi model digital 3D parametrik yang akurat. Melalui koordinasi visual dan rotasi sudut pandang digital, seluruh geometri elemen struktural—baik komponen struktur bawah (*abutment* dan pondasi) maupun struktur atas (gelagar rangka utama WF dan H, pelat buhul, ikatan angin, dan penulangan pelat lantai)—dapat dievaluasi secara nyata. Hal ini terbukti efektif dalam meminimalkan ketidakpastian desain serta memberikan dokumentasi aset jembatan logistik kelapa sawit secara transparan dan informatif.
2. Implementasi BIM 3D Autodesk Revit melalui menu *Schedule/Quantities* berhasil mengekstrak kuantitas volume material secara otomatis dan objektif yang bersumber langsung dari dimensi fisik model digital. Sistem parameterisasi dinamis pada BIM 3D mampu mengeliminasi potensi kesalahan hitung akibat *human error* (kalkulasi aritmatika manual) karena tabel volume material akan secara otomatis ter-aktualisasi apabila terjadi perubahan properti geometri pada komponen jembatan.
3. Analisis perbandingan volume ini ditemukan deviasi antara metode perhitungan konvensional dan ekstraksi berbasis model BIM Revit. Hasil analisis menunjukkan volume BIM secara umum lebih rendah. Pada pekerjaan Struktur bawah deviasi terbesar terjadi pada pembesian *Bored Pile* A sebesar 59,40% dan *Abutmen* A sebesar 55,13%. Pada pekerjaan beton, deviasi mencolok didapati pada pondasi sumuran sebesar 73,69%, Sementara itu, pada struktur atas ditemukan deviasi volume terbesar pada Baut yaitu 64,47%.
4. Selisih atau deviasi volume antara kedua metode tersebut sebagian besar dipicu oleh ketidaktelitian perhitungan pengurangan volume pada titik pertemuan elemen struktural yang saling tumpang tindih (*overlap*) yang kerap luput dalam kalkulasi manual 2D, serta akumulasi faktor pembulatan angka desimal pada hitungan konvensional. Dengan demikian, pendekatan perhitungan kuantitas material berbasis model BIM 3D terbukti memberikan hasil yang jauh lebih akurat, objektif, dan presisi tinggi sebagai instrumen evaluasi manajemen biaya proyek infrastruktur jembatan.

DAFTAR PUSTAKA

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

Arifin. (2021). *Pengantar Manajemen Proyek.* Perpustakaan Digital Universitas Terbuka.

F. Junaidi, S. Sari, O. A. et al. (2023). *Analisa rancangan anggaran biaya dan penjadwalan pada pembangunan dinding penahan tanah 1,2,3*. *2*(3), 77–86.

Putra, A. F., & Puri, E. R. (2024). *u r n a lT e o r e t i s d a n e r a p a n i d a n g e k a y a s a i p i l Kajian Implementasi Standar Protokol BIM Kementerian PUPR 2020 Studi Kasus : Proyek Pembangunan Gedung Universitas Nahdlatul Ulama (UNU) Yogyakarta*. *31*(1), 61–68. https://doi.org/10.5614/jts.2024.31.1.7

Putra, W. D. (2025). *Penerapan Building Information Modeling (BIM) dalam Manajemen Proyek Konstruksi (Literature Review)*. *10*(1), 85–90.

Putri, N. E., Agustina, S., & Saefudin, A. (2024). Analisis Clash Detection Pekerjaan Arsitektur dan MEP Menggunakan Building Information Modelling Pada Proyek PMI Jakarta. *Jurnal Deformasi*, *9*(2), 138–148. https://doi.org/10.31851/deformasi.v9i2.17004

Rachmawati, S., & Abma, V. (2022). Implementasi Konsep Bim 4D Dalam Perencanaan Time Schedule Dengan Analsis Resources Levelling (Implementation of 4D Bim Concept in Time Schedule Planning With Resources Levelling Analysis). *Proceeding Civil Engineering Research Forum*, *2*(Juli), 64.

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