

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

Rambu Bintang Rahmadani¹, Deviany Kartika²

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: devianykartika67@gmail.com

ABSTRAK

Perkembangan teknologi digital dari metode konvensional 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* (BIM), Evaluasi, Jembatan, *Quantity Take-Off*.

1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi digital dalam industri konstruksi global saat ini berkembang dengan begitu cepat, salah satu inovasi teknologi informasi yang dimanfaatkan dalam bidang konstruksi adalah penggunaan BIM (*Building Information Modeling*). BIM merupakan paradigma baru dalam bidang konstruksi yang menggabungkan data atau informasi dalam suatu model (Indraprastha A, 2022). Di Indonesia, implementasi BIM didorong oleh kebijakan pemerintah melalui regulasi terstandarisasi yang bertujuan meningkatkan efisiensi serta kualitas infrastruktur secara transparan, pada pelaksanaan proyek jembatan rangka baja, koordinasi visual antardisiplin menjadi aspek penting akibat kompleksitas susunan elemen struktur (Putra & Puri, 2024). BIM tidak hanya *software* dalam pemodelan melainkan merupakan teknologi dengan metode yang mengubah budaya, alur kerja, strategi, proses pada semua pelaku di industri AEC (*Architecture, Engineering, Construction*) (Yufrizal et al., 2022). 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).

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).

Sebagai instrumen kendali mutu dalam manajemen konstruksi, fungsi koordinasi visual elemen berbasis BIM merupakan 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 konvensional sering kali memicu selisih anggaran yang signifikan dan menghambat proses dalam tahap 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.

1. KAJIAN TEORI

Proyek

Proyek merupakan tugas yang perlu dirumuskan untuk mencapai sasaran yang dinyatakan konkret dan diselesaikan dalam periode tertentu dengan menggunakan sumber tenaga manusia dan peralatan yang dilakukan secara terbatas. Sedangkan menurut D.I. Cleland dan W.R. King menyatakan proyek merupakan gabungan dari berbagai sumber daya yang dihimpun dalam organisasi yang bersifat sementara untuk mencapai suatu tujuan. Proyek mempunyai tiga karakteristik, bersifat unik, dibutuhkan sumber daya, dan organisasi (Arifin, 2021).

Jembatan

Jembatan merupakan struktur konstruksi yang berfungsi untuk menghubungkan dua ruas jalan yang terputus oleh rintangan yang memiliki permukaan lebih rendah, berupa Lembah, aliran Sungai, danau, saluran irigasi, jalur rel kereta api, atau jalan raya yang melintang tidak sebidang dan lain-lain (Alifah & Rochman, 2025).

Pemodelan 3D

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 atau kesalahan dalam menentukan 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 (Yudiayanto et al., 2025).

Quantity Take-Off (QTO)

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).

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menerapkan metode kuantitatif dengan pendekatan berbasis *Building Information Modeling* (BIM) 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.

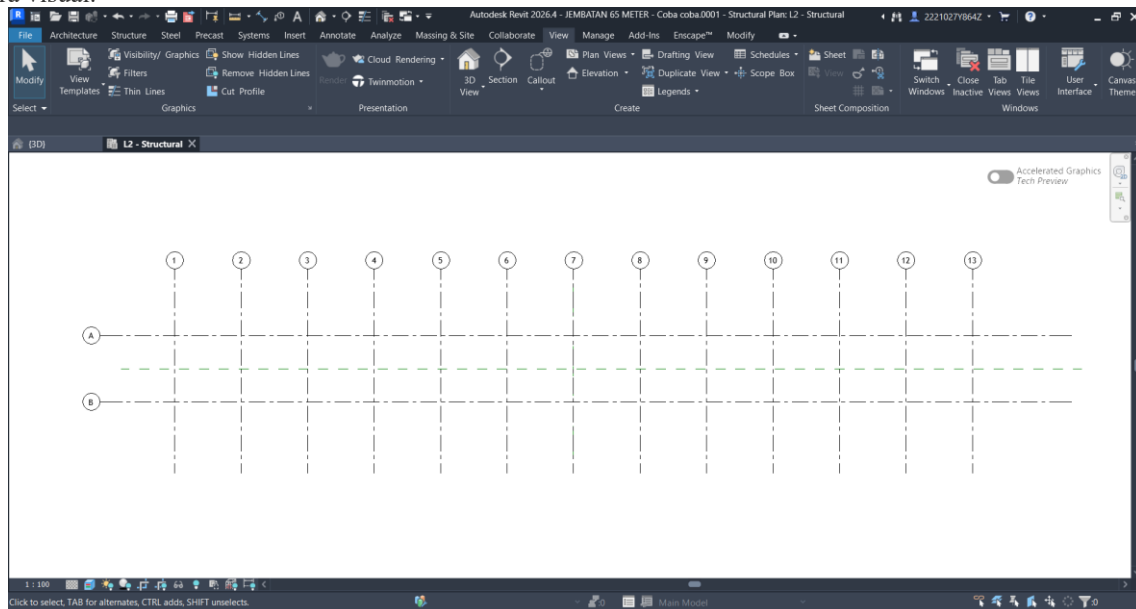
Setelah seluruh model objek jembatan selesai disusun pada level visualisasi 3D, dilakukan koordinasi visual elemen untuk memastikan keselarasan ruang batas geometri. Evaluasi ditujukan pada titik pertemuan kritis antarelemen, seperti kontak sambungan pelat buhul pada gelagar utama serta batas ruang pembesian pelat lantai jembatan. Proses peninjauan dilakukan secara visual melalui rotasi sudut pandang 3D model guna mendeteksi jika terdapat kesalahan penggambaran atau kesalahan dalam menentukan 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.

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.

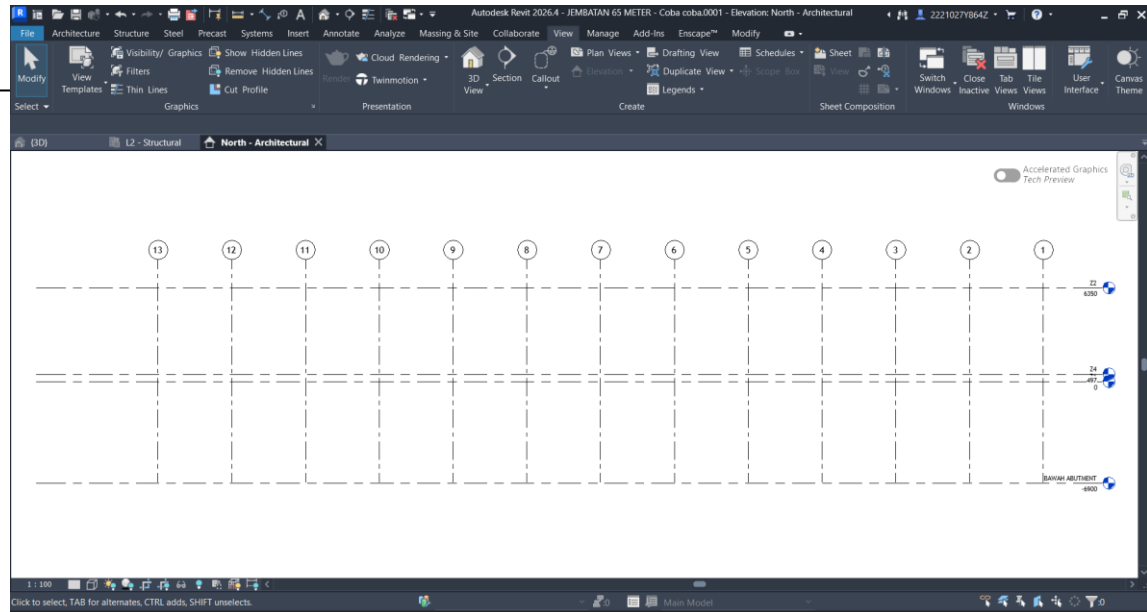
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pemodelan visual 3D dan koordinasi elemen jembatan

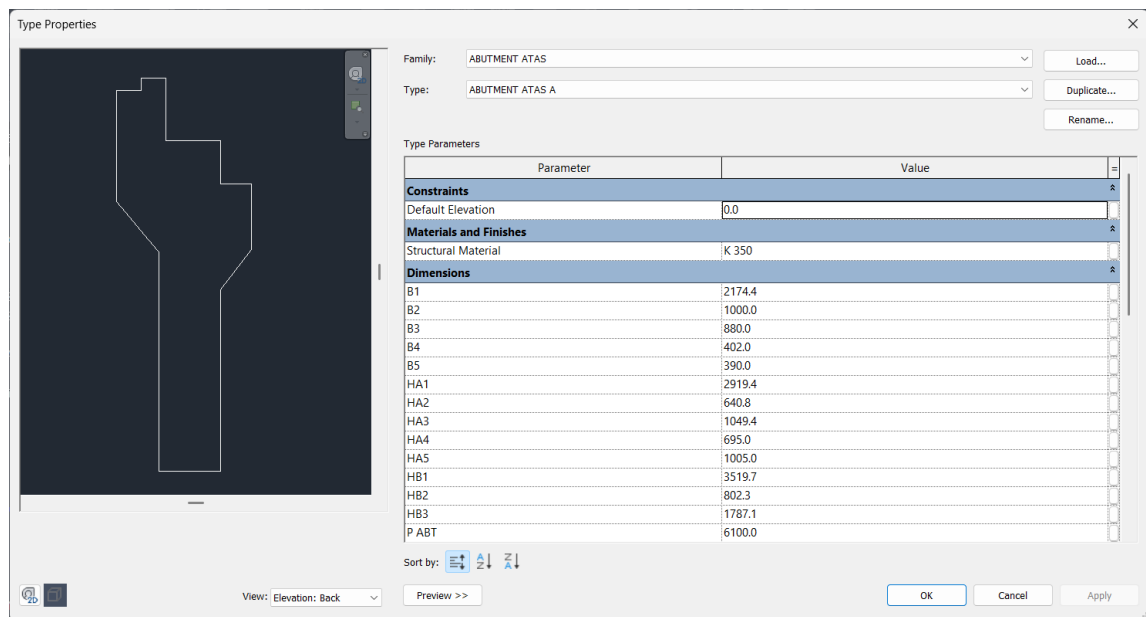
Tahap awal analisis dimulai dari pembuatan *grid* (*as grid*), pengaturan level, serta input material sesuai data *as-built drawing*. Selanjutnya dilakukan pemodelan menggunakan Autodesk Revit hingga menghasilkan model tiga dimensi (3D) yang sesuai dengan Jembatan PT. Sawit Lamandau Raya. Model 3D rangka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

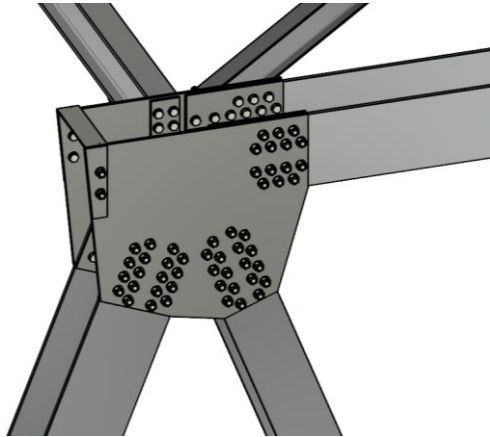


Gambar 2 Elevasi Pemodelan Jembatan di Revit



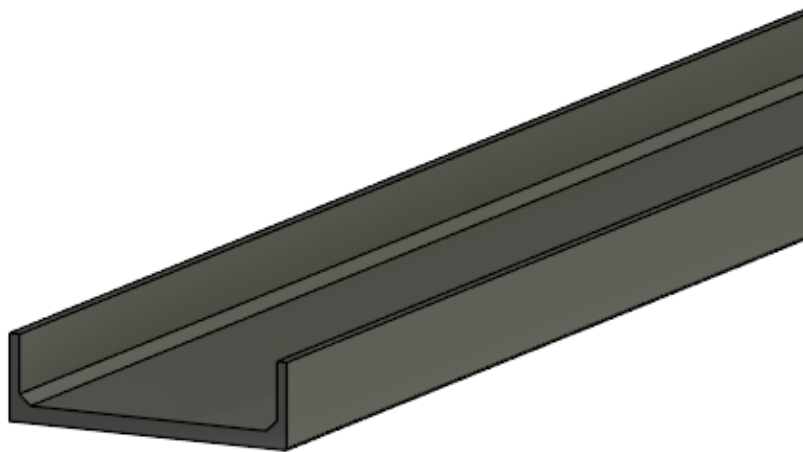
Gambar 3 Input Family Secara Manual di Revit

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).

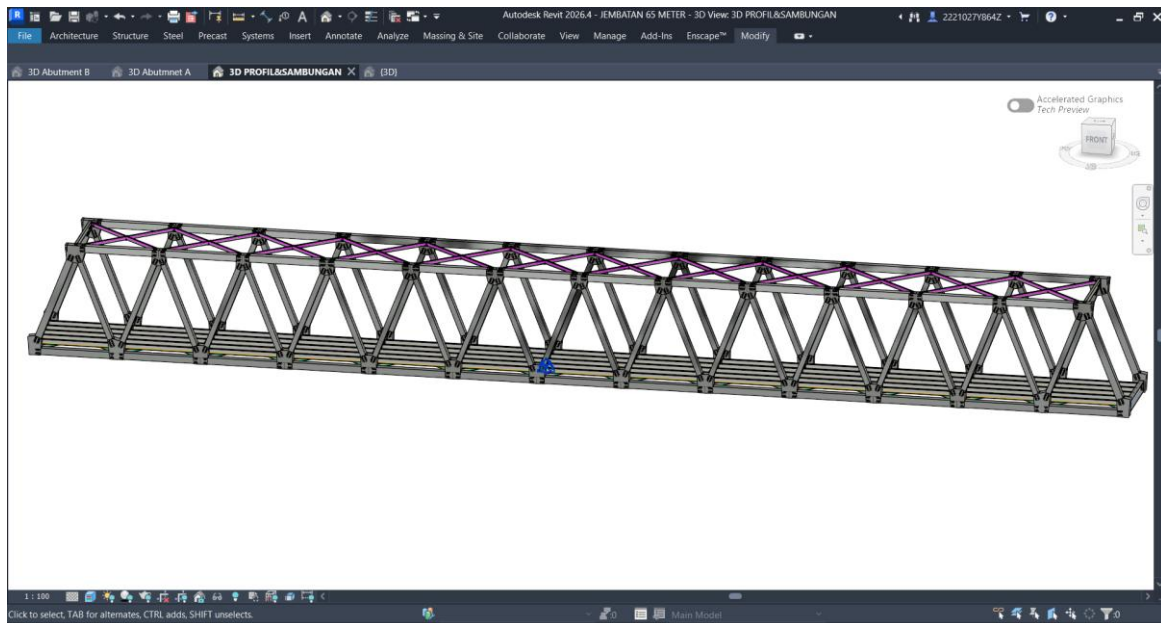


Gambar 4 Hasil Pemodelan Detail Sambungan

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

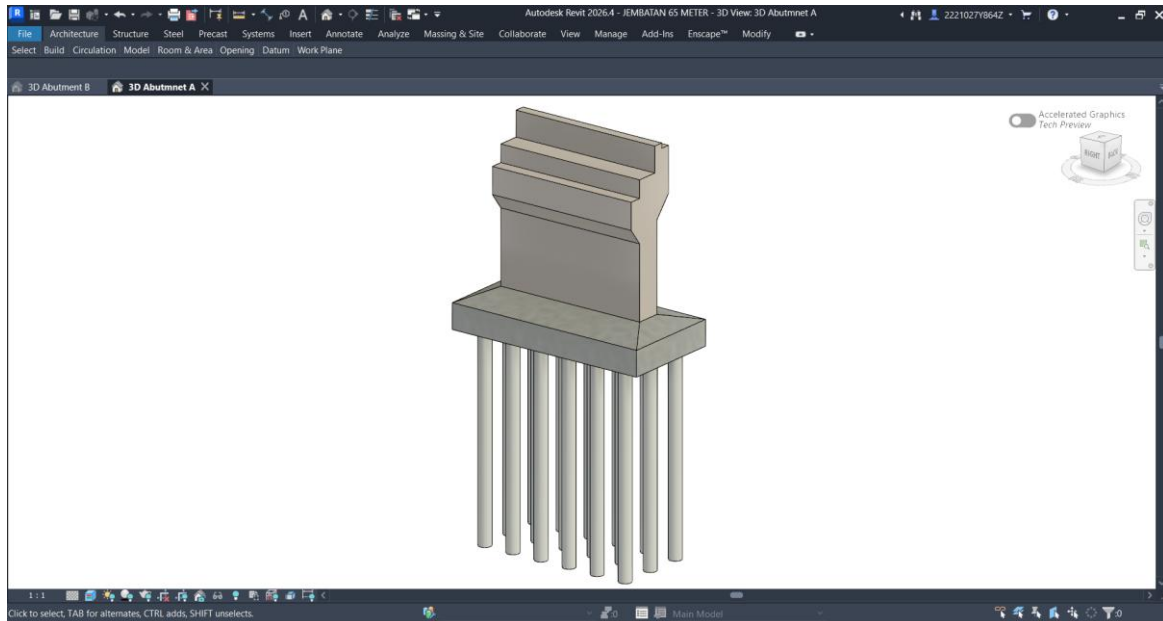
Sementara itu, pada bagian struktur bawah, pemodelan dilakukan untuk melihat kesesuaian bentuk dan posisi komponen pondasi serta dinding abutment beton bertulang. Dari hasil pemodelan, dapat dilihat bahwa susunan dan posisi elemen struktur bawah telah sesuai dengan kondisi yang ditunjukkan pada As-Built Drawing. Peninjauan juga dilakukan pada posisi perletakan elastomer jembatan untuk memastikan bahwa setiap perletakan berada pada posisi yang tepat dan bertumpu dengan baik di atas abutment. Secara visual, posisi perletakan terlihat sesuai dengan gambar *As-Built*, baik dari sisi letak maupun hubungannya dengan struktur abutment. Dengan adanya pemodelan ini, kondisi struktur bawah dapat terlihat lebih jelas dan memudahkan proses pengecekan antara model dengan dokumen *As-Built Drawing*.



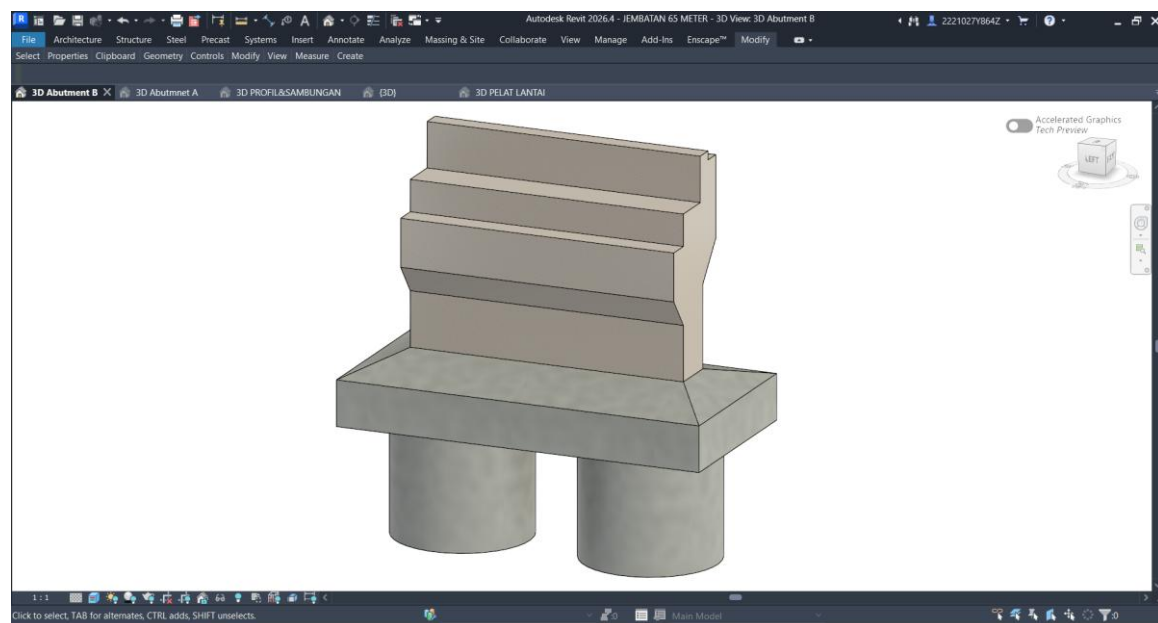
Gambar 7 Hasil Pemodelan Elastomer

Pada Abutmen A yang berada di sisi barat jembatan, pondasi yang digunakan adalah *Bored Pile* sebanyak 18 tiang utama dengan diameter 50 cm. Tiang menggunakan tulangan utama 16D8 dan tulangan sengkang Ø10-150 pada daerah tumpuan serta Ø10-150 pada daerah lapangan, dengan mutu beton K-350. Di atas pondasi terdapat pile cap dengan dimensi 8,1 m × 4,0 m × 1,4 m dan penulangan D13-100, kemudian dilanjutkan dengan struktur abutmen sepanjang 6,1 m yang menggunakan beton K-350 dengan tulangan D22-200 dan D13-100. Sementara itu, pada Abutmen B yang berada di sisi timur, pondasi yang digunakan berupa pondasi sumuran sebanyak 2 unit dengan diameter 3 m, menggunakan beton K-350 dengan tulangan utama D22-200 dan tulangan sengkang D13-100. Bagian pile cap memiliki dimensi yang sama dengan Abutmen A, yaitu 8,1 m × 4,0 m × 1,4 m dengan penulangan D13-100, sedangkan struktur abutmen memiliki panjang 6,1 m dengan mutu beton K-350 dan menggunakan tulangan D22-200 serta D13-100. Dari pemodelan 3D tersebut, kondisi dan susunan elemen struktur bawah pada kedua abutmen dapat

terlihat dengan lebih jelas, sekaligus memudahkan pengecekan kesesuaian dimensi, posisi, dan detail penulangan berdasarkan *As-Built Drawing*.

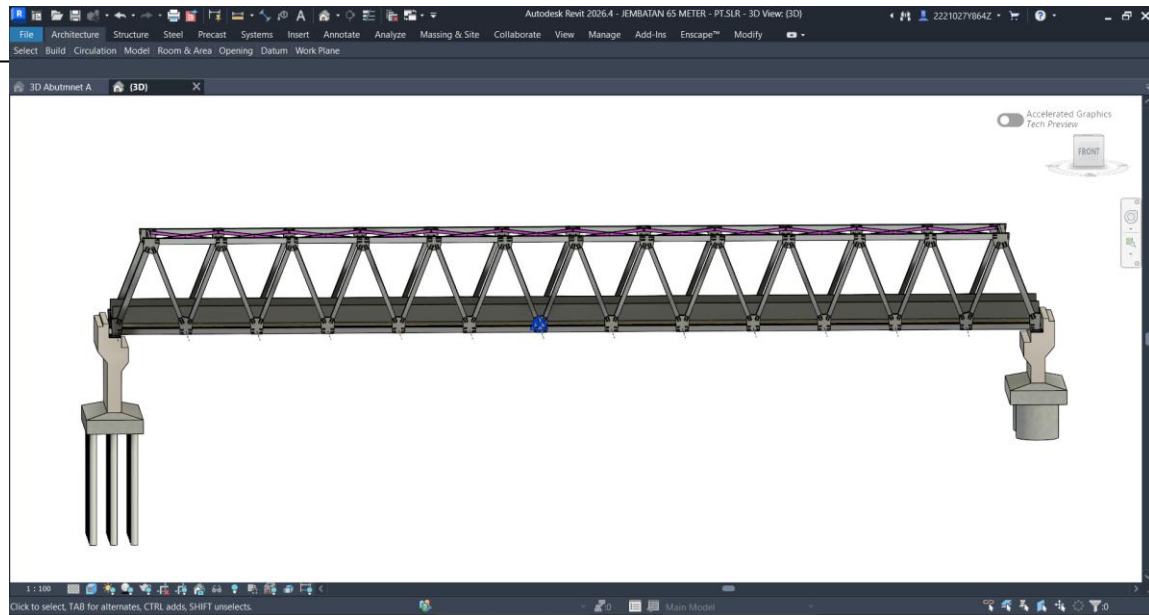


Gambar 8 Hasil Pemodelan Abutmen A



Gambar 9 Hasil Pemodelan 3D pondasi dan Abutmen B

Hasil identifikasi visual menunjukkan bahwa model 3D yang dibuat menggunakan Revit dapat menggambarkan kondisi jembatan sesuai dengan hasil pemodelan dan data pada *As-Built Drawing*. Setiap bagian jembatan dapat dilihat dengan lebih jelas, mulai dari struktur atas, struktur bawah, hingga komponen pendukung seperti perletakan dan elemen lainnya. Dengan adanya model 3D, posisi, bentuk, dan ukuran setiap elemen dapat diperiksa dengan lebih mudah tanpa harus melihat gambar secara terpisah. Model ini juga membantu memberikan gambaran yang lebih menyeluruh mengenai kondisi jembatan setelah selesai dibangun, sehingga informasi mengenai masing-masing komponen dapat tersusun dalam satu model yang saling terhubung. Selain sebagai dokumentasi, model tersebut dapat dimanfaatkan sebagai acuan untuk pengecekan kondisi eksisting, perencanaan pekerjaan pemeliharaan, maupun apabila di kemudian hari diperlukan perubahan atau pekerjaan pada bagian tertentu dari jembatan.



Gambar 10 Hasil Pemodelan 3D Jembatan PT Sawit Lamandau Raya

Analisis *Quantity Take-Off* (QTO) berbasis 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 telitinya 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:

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

- 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.

4. 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 dari pembuatan *as-grid*, pengaturan level elevasi, dan input parameter properti material mampu mentransformasikan data gambar kerja 2D konvensional menjadi model digital 3D parametrik. melalui koordinasi visual dan 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.
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 teraktualisasi 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 ketidakteelitian 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>
- Alifah, F. D., & Rochman, A. (2025). Perencanaan Ulang Struktur Atas Jembatan Kali Kemiri pada Ruas Jalan Kupu-Dukuh Turi berdasarkan SNI 1725: 2016 dan SNI 1729: 2020. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Sipil 2025*, 200–207.
- 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 I,2,3*. 2(3), 77–86.
- Indraprastha A, A. F. (2022). *Pengantar BIM dalam Arsitektur Buku Ajar untuk Mata Kuliah AR-4112 Pengantar BIM dalam Arsitektur*.
- Putra, A. F., & Puri, E. R. (2024). *urn a l T 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 K a j i a n 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>
- Yufrizal, A. H., Andreas, A., & Lestar, R. T. (2022). *BUKU AJAR BUILDING INFORMATION MODELING*.