

INTEGRASI *BUILDING INFORMATION MODELING* UNTUK EVALUASI AKURASI VOLUME, BIAYA, DAN WAKTU PADA PEKERJAAN STRUKTUR GEDUNG: STUDI KASUS RSUD KAJEN PEKALONGAN

Integration of Building Information Modeling for Evaluating the Accuracy of Quantity Take-Off, Cost Estimation, and Construction Scheduling in Building Structural Works: A Case Study of Kajen Regional General Hospital, Pekalongan

Muhamad Hilman Nafi Syaroif¹, Ashal Abdussalam², Nasyiin Faqih^{*3}, Mochammad Qomaruddin⁴, Mushtofa Mushtofa⁵

^{1,2,3} Universitas Sains Al-Qur'an Wonosobo, Jl. KH. Hasyim Asy'ari Km. 03 Kalibeber Kec. Mojotengah 56351

⁴ Universitas Islam Nahdlatul Ulama Jepara, Jl. Taman Siswa, Pekeng, Kauman, Tahunan, Kec. Tahunan, Kabupaten Jepara, Jawa Tengah 59451

⁵ Universitas Bojonegoro, Jl. Lettu Suyitno No.2, Glendeng, Kalirejo, Kec. Bojonegoro, Kabupaten Bojonegoro, Jawa Timur 62119

Korespondensi^{*3}: nasyiin@unsiq.ac.id

Diterima: 8 Juni 2026, Disetujui: 30 Juni 2026

ABSTRAK

Industri konstruksi memiliki tingkat kompleksitas yang tinggi sehingga membutuhkan estimasi biaya dan perencanaan waktu yang akurat untuk mencegah pemborosan material, pembengkakan biaya, serta keterlambatan proyek. *Building Information Modeling (BIM)* merupakan teknologi pemodelan digital 3D terintegrasi yang mampu menghasilkan data volume, estimasi biaya, dan penjadwalan secara lebih presisi. Penelitian ini membahas penggunaan konsep *Building Information Modeling* dalam menganalisis dan membandingkan volume pekerjaan struktur, estimasi biaya, serta durasi pelaksanaan pekerjaan. Pemodelan elemen struktur dibuat menggunakan software Autodesk Revit yang kemudian dihitung volume pekerjaan secara otomatis melalui *Quantity Take Off (QTO)*, sedangkan estimasi biaya diolah menggunakan Microsoft Excel. Penjadwalan disusun melalui Microsoft Project dan disimulasikan dalam bentuk 4D menggunakan Autodesk Navisworks. Hasil penelitian menunjukkan bahwa BIM mampu memberikan volume pekerjaan yang lebih akurat dengan selisih volume beton sebesar 0,16% dan volume pembedaan 0,12% jika dibandingkan metode konvensional. Perbedaan tersebut berdampak pada selisih biaya pekerjaan beton sebesar Rp 3.785.493,55 dan pekerjaan pembedaan sebesar Rp 7.401.634,03. Selain itu, metode BIM menghasilkan total durasi pekerjaan struktur selama 157 hari, yang terintegrasi secara langsung dengan model digital sehingga memudahkan proses koordinasi dan evaluasi jadwal proyek. Secara keseluruhan, penerapan BIM terbukti dapat memberikan data volume yang lebih akurat, memudahkan koordinasi jadwal, serta meningkatkan ketepatan dan efisiensi proses perencanaan maupun pelaksanaan dibandingkan metode konvensional.

Kata kunci: *Building Information Modeling, Quantity Takeoff, Biaya, Penjadwalan*

ABSTRACT

Construction projects are inherently complex, requiring accurate cost estimation, work volume calculation, and scheduling to reduce material waste, budget overruns, and project delays. Conventional methods for these tasks often rely on manual measurements and calculations, which can introduce errors and inefficiencies. *Building Information Modeling (BIM)* offers a digital approach that integrates 3D modeling to produce more precise quantity data, cost estimates, and schedules. This study examines the application of BIM in structural works by modeling elements in Autodesk Revit, allowing automatic extraction of quantities through *Quantity Take-Off (QTO)*. Cost estimation was prepared using Microsoft Excel, while the construction schedule was developed in Microsoft Project and simulated in 4D using Autodesk Navisworks. The results demonstrate that

BIM improves the accuracy of work volumes, with differences of 0.16% for concrete and 0.12% for reinforcement compared to conventional calculations. These discrepancies affected cost estimation, resulting in deviations of Rp 3,785,493.55 for concrete and Rp 7,401,634.03 for reinforcement. Moreover, BIM facilitated a total structural work duration of 157 days, with schedules directly linked to the digital model, enabling better coordination, visualization, and evaluation of construction sequences. The integration of cost, volume, and schedule data provides a comprehensive framework that supports decision-making and project monitoring. Overall, the use of BIM enhances planning accuracy, reduces the risk of delays and cost overruns, and increases efficiency in executing structural projects, demonstrating clear advantages over traditional methods.

Keywords: Building Information Modeling, Quantity Take Off, Cost Estimation, Scheduling

PENDAHULUAN

Industri konstruksi merupakan sektor yang memiliki tingkat kompleksitas tinggi, baik dari sisi teknis, manajerial, maupun koordinasi antar pemangku kepentingan. Kompleksitas ini menuntut adanya ketelitian dalam setiap tahapan proyek, khususnya pada aspek estimasi biaya dan perencanaan waktu, yang menjadi faktor kunci dalam menentukan keberhasilan suatu proyek konstruksi. Ketidakkuratan dalam perhitungan volume pekerjaan, estimasi biaya, maupun penjadwalan dapat berdampak signifikan terhadap kinerja proyek, seperti terjadinya pembengkakan biaya (*cost overrun*), keterlambatan penyelesaian (*delay*), serta pemborosan material. Kondisi ini sering dijumpai pada proyek konstruksi yang masih menggunakan metode konvensional berbasis gambar dua dimensi (2D), di mana proses perhitungan dilakukan secara manual dan sangat bergantung pada ketelitian individu, sehingga berpotensi menimbulkan kesalahan (*human error*) [1]. Permasalahan tersebut menunjukkan pentingnya pendekatan yang lebih sistematis dan berbasis teknologi dalam meningkatkan kualitas perencanaan konstruksi.

Metode konvensional dalam perencanaan dan pengendalian proyek umumnya dilakukan secara terpisah antara perhitungan volume, estimasi biaya, dan penyusunan jadwal. Ketidakterpaduan ini menyebabkan rendahnya efisiensi dalam proses koordinasi serta kesulitan dalam melakukan pembaruan data apabila terjadi perubahan desain. Selain itu, keterbatasan visualisasi pada gambar 2D juga menyulitkan dalam memahami hubungan antar elemen struktur, sehingga berpotensi menimbulkan duplikasi perhitungan atau bahkan kekurangan volume pada elemen tertentu. Dalam konteks perencanaan struktur, akurasi perhitungan sangat penting karena kesalahan kecil pada dimensi atau volume dapat berdampak pada kinerja struktur secara keseluruhan, sebagaimana ditunjukkan dalam studi perilaku struktur beton bertulang yang sangat sensitif terhadap perubahan parameter desain dan pembebanan [2]. Oleh karena itu, dibutuhkan metode yang mampu mengintegrasikan data geometrik dan non-geometrik secara simultan untuk meningkatkan ketepatan hasil analisis.

Seiring dengan perkembangan teknologi digital, *Building Information Modeling* (BIM) hadir sebagai pendekatan inovatif yang mampu mengintegrasikan seluruh informasi proyek ke dalam suatu model digital berbasis tiga dimensi (3D). Menurut [3], BIM merupakan representasi digital dari karakteristik fisik dan fungsional

suatu bangunan yang dapat digunakan sebagai basis informasi sepanjang siklus hidup proyek. Tidak hanya terbatas pada pemodelan geometrik, BIM juga memungkinkan integrasi dimensi lain seperti waktu (4D) dan biaya (5D), sehingga proses perencanaan dan pengendalian proyek dapat dilakukan secara lebih komprehensif dan terintegrasi. Dengan adanya BIM, perhitungan volume pekerjaan dapat dilakukan secara otomatis melalui fitur *Quantity Take Off* (QTO), yang mampu meningkatkan akurasi serta mengurangi potensi kesalahan perhitungan. Hal ini sejalan dengan perkembangan pemodelan komputasional dalam bidang Teknik Sipil yang semakin banyak digunakan untuk meningkatkan ketelitian analisis struktur dan efisiensi proses perencanaan [4].

Selain itu, BIM juga memberikan kemudahan dalam proses estimasi biaya dan penjadwalan proyek. Integrasi antara model 3D dengan data biaya memungkinkan penyusunan rencana anggaran biaya yang lebih akurat dan transparan, serta mendukung penerapan konsep *value engineering* dalam optimasi biaya konstruksi [5]. Sementara itu, integrasi dengan jadwal proyek memungkinkan visualisasi tahapan konstruksi dalam bentuk simulasi 4D, sehingga mempermudah dalam memahami urutan pekerjaan serta mengidentifikasi potensi konflik sejak tahap perencanaan. Pendekatan ini tidak hanya meningkatkan efisiensi pelaksanaan proyek, tetapi juga mendukung pengambilan keputusan yang lebih cepat dan tepat. Dalam konteks yang lebih luas, transformasi digital seperti BIM juga merupakan bagian dari perkembangan menuju era *Society 5.0* yang menekankan integrasi teknologi dalam berbagai sektor, termasuk konstruksi dan pendidikan profesional [6].

Lebih lanjut, penerapan teknologi berbasis digital dalam berbagai bidang telah terbukti mampu meningkatkan efektivitas dan efisiensi proses kerja, termasuk dalam bidang pendidikan dan rekayasa teknik. Sebagai contoh, penggunaan teknologi digital interaktif dalam pembelajaran terbukti mampu meningkatkan motivasi dan pemahaman pengguna [7]. Hal ini menunjukkan bahwa integrasi teknologi dalam proses kerja, termasuk dalam konstruksi melalui BIM, memiliki potensi besar dalam meningkatkan kualitas hasil serta efisiensi proses. Selain itu, perkembangan teknologi analisis data dan *machine learning* juga mulai diterapkan dalam bidang konstruksi, seperti dalam prediksi kenyamanan termal bangunan, yang menunjukkan adanya pergeseran menuju pendekatan berbasis data dalam pengambilan keputusan teknik [8].

Di sisi lain, aspek lingkungan dan keberlanjutan juga menjadi perhatian penting dalam industri konstruksi modern. Pengelolaan sumber daya yang efisien serta pengurangan dampak lingkungan menjadi bagian dari indikator keberhasilan proyek. Studi terkait analisis lingkungan, seperti penelitian mengenai sedimentasi dan aktivitas manusia di kawasan Dieng, menunjukkan bahwa aktivitas pembangunan memiliki keterkaitan erat dengan perubahan lingkungan [9]. Oleh karena itu, penerapan BIM yang mampu mendukung analisis keberlanjutan menjadi sangat relevan dalam konteks pembangunan berkelanjutan. Selain itu, pendekatan kuantitatif dalam pengukuran volume dan perubahan fisik, seperti pada studi pengukuran erosi tebing sungai berbasis data spasial, juga menunjukkan pentingnya akurasi data dalam pengambilan keputusan teknik [10].

Dalam konteks perencanaan struktur bangunan, berbagai metode analisis dan perancangan telah dikembangkan untuk meningkatkan keamanan dan kinerja struktur, termasuk desain bangunan tahan gempa serta analisis struktur berbasis perangkat lunak [11]. Hal ini menunjukkan bahwa integrasi antara teknologi dan metode analisis yang tepat sangat diperlukan dalam menghasilkan perencanaan konstruksi yang optimal. Selain itu, pengembangan aplikasi berbasis komputer dalam bidang teknik sipil juga telah dilakukan untuk mendukung analisis struktur dan perencanaan konstruksi, seperti pada pengembangan program perhitungan dinding penahan tanah [12]. Dengan demikian, BIM dapat dipandang sebagai kelanjutan dari evolusi teknologi dalam bidang konstruksi yang mengintegrasikan berbagai aspek analisis dalam satu platform terpadu.

Penelitian ini mengambil studi kasus pada proyek pembangunan Gedung Rumah Sakit Umum Daerah (RSUD) Kajen Kabupaten Pekalongan, yang merupakan bangunan dengan struktur beton bertulang, memiliki luas total bangunan sebesar 6.924 m² dan terdiri dari empat lantai. Fokus penelitian diarahkan pada pekerjaan struktur, meliputi elemen pondasi, kolom, balok, dan pelat lantai, yang merupakan komponen utama dalam menentukan kekuatan dan stabilitas bangunan. Dalam penelitian ini dilakukan analisis perbandingan antara metode konvensional dan metode berbasis BIM dalam hal perhitungan volume pekerjaan, estimasi biaya, serta penjadwalan proyek.

Melalui pendekatan pemodelan menggunakan Autodesk Revit untuk menghasilkan *Quantity Take Off* (QTO) [13], pengolahan biaya menggunakan *Microsoft Excel*, serta penjadwalan

menggunakan *Microsoft Project* yang diintegrasikan dengan *Autodesk Navisworks* dalam simulasi 4D, penelitian ini berupaya memberikan evaluasi komprehensif terhadap keunggulan BIM dibandingkan metode konvensional. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan kontribusi nyata dalam meningkatkan akurasi, efisiensi, dan integrasi dalam manajemen proyek konstruksi, serta menjadi referensi bagi pengembangan implementasi BIM di Indonesia. Dengan demikian, penerapan BIM tidak hanya berperan dalam meningkatkan ketepatan perhitungan volume, biaya, dan waktu, tetapi juga memberikan nilai tambah (*value*) yang signifikan terhadap keseluruhan kinerja proyek konstruksi.

METODE

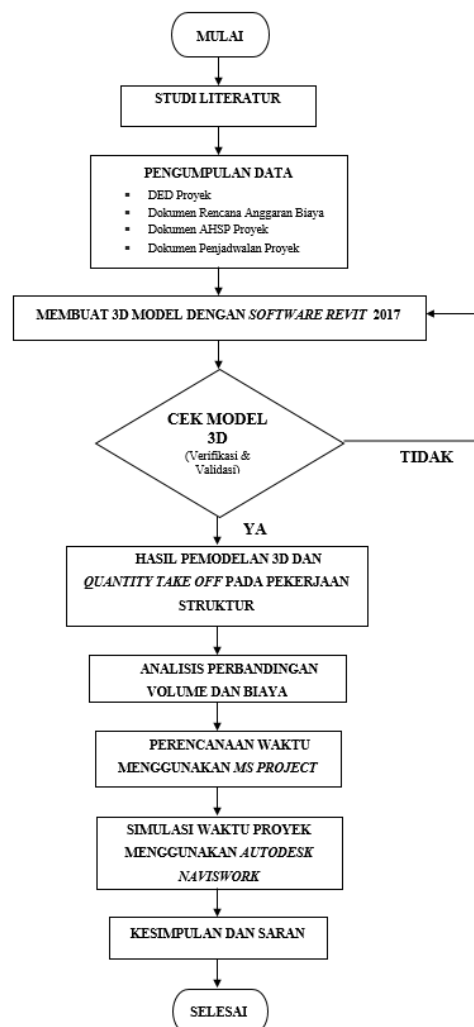
Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode komparatif yang bertujuan untuk membandingkan hasil perhitungan volume pekerjaan, estimasi biaya, serta durasi waktu pelaksanaan antara metode konvensional dan metode berbasis *Building Information Modeling* (BIM). Pendekatan ini dipilih karena mampu memberikan gambaran numerik yang objektif terhadap tingkat perbedaan dan efisiensi dari kedua metode yang dibandingkan. Seluruh tahapan penelitian disusun secara sistematis dan berurutan, dimulai dari studi literatur, pengumpulan data, pembuatan model, verifikasi dan validasi, pengolahan data, analisis, hingga penarikan kesimpulan. Alur penelitian ini dirancang untuk memastikan bahwa setiap proses yang dilakukan saling terintegrasi dan menghasilkan *output* yang dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah.

Tahap awal penelitian dimulai dengan studi literatur yang bertujuan untuk memperoleh dasar teoritis dan konseptual terkait penerapan *Building Information Modeling* dalam industri konstruksi. Kajian literatur mencakup pemahaman mengenai konsep dasar BIM, perkembangan dimensi BIM mulai dari 3D sebagai representasi geometrik, 4D sebagai integrasi waktu, hingga 5D yang mencakup aspek biaya. Selain itu, literatur yang dikaji juga meliputi metode *Quantity Take Off* (QTO), teknik estimasi biaya konstruksi, serta metode penjadwalan proyek yang umum digunakan dalam praktik konstruksi. Penelusuran literatur juga difokuskan pada penelitian-penelitian terdahulu yang relevan, khususnya yang membahas perbandingan antara metode konvensional dan metode berbasis BIM. Melalui tahap ini, dapat diidentifikasi kesenjangan penelitian (*research gap*) serta diperoleh justifikasi ilmiah terhadap pentingnya penelitian

yang dilakukan, sekaligus memperkuat kerangka metodologi yang digunakan.

Tahap berikutnya adalah pengumpulan data yang merupakan bagian penting dalam penelitian ini. Data yang digunakan berupa data sekunder yang diperoleh dari proyek pembangunan Gedung RSUD Kajen Kabupaten Pekalongan. Data tersebut meliputi gambar *Detail Engineering Design* (DED) yang berfungsi sebagai acuan utama dalam pembuatan model tiga dimensi serta dasar perhitungan volume pekerjaan struktur. Selain itu, digunakan dokumen Rencana Anggaran Biaya (RAB) sebagai pembanding terhadap hasil estimasi biaya yang diperoleh dari metode BIM. Untuk mendukung perhitungan biaya yang lebih akurat, digunakan pula Analisa Harga Satuan Pekerjaan (AHSP) yang menjadi dasar dalam menentukan nilai biaya berdasarkan volume pekerjaan. Dokumen penjadwalan proyek juga digunakan sebagai referensi dalam penyusunan jadwal menggunakan perangkat lunak *Microsoft Project*. Seluruh data yang diperoleh terlebih dahulu dilakukan proses verifikasi untuk memastikan kelengkapan, konsistensi, dan kesesuaian antar dokumen, sehingga dapat digunakan secara optimal dalam proses pemodelan dan analisis.

Setelah data dinyatakan lengkap dan valid, tahap selanjutnya adalah pembuatan model tiga dimensi menggunakan perangkat lunak *Autodesk Revit 2017*. Pemodelan difokuskan pada elemen struktur bangunan yang meliputi pondasi, kolom, balok, *sloof* atau *tie beam*, serta pelat lantai. Proses pemodelan dilakukan dengan mengacu secara langsung pada gambar DED sehingga setiap elemen yang dibuat memiliki dimensi, elevasi, dan spesifikasi teknis yang sesuai dengan perencanaan. Dalam proses ini dilakukan pengaturan *grid* dan level sebagai acuan geometrik bangunan, kemudian dilanjutkan dengan input dimensi serta material setiap elemen struktur. Penyesuaian elevasi antar elemen juga dilakukan untuk memastikan keterhubungan struktur secara vertikal maupun horizontal. Selain itu, parameter struktur diatur sesuai dengan spesifikasi desain agar model yang dihasilkan tidak hanya bersifat visual, tetapi juga mengandung informasi teknis yang dapat digunakan dalam analisis. Model 3D yang dihasilkan pada tahap ini berfungsi sebagai basis data yang terintegrasi, yang selanjutnya akan digunakan untuk proses perhitungan volume dan analisis lainnya.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Tahap berikutnya adalah verifikasi dan validasi model yang bertujuan untuk memastikan bahwa model yang telah dibuat sesuai dengan gambar perencanaan. Proses ini dilakukan dengan membandingkan dimensi model terhadap gambar DED, memeriksa kelengkapan elemen struktur, serta memastikan tidak terjadi kesalahan dalam hubungan antar elemen. Verifikasi juga mencakup pengecekan potensi kesalahan seperti duplikasi elemen atau ketidaksesuaian elevasi. Apabila ditemukan ketidaksesuaian, maka dilakukan perbaikan hingga model dinyatakan valid. Proses ini dilakukan secara iteratif, sehingga model yang dihasilkan benar-benar representatif terhadap kondisi perencanaan. Validasi model menjadi tahap krusial karena akan sangat mempengaruhi akurasi hasil perhitungan volume dan analisis selanjutnya.

Setelah model tervalidasi, dilakukan proses *Quantity Take Off* (QTO) untuk memperoleh volume pekerjaan secara otomatis. QTO

dilakukan menggunakan fitur yang tersedia dalam *Autodesk Revit*, di mana volume dihitung berdasarkan parameter geometrik yang telah terdefinisi dalam model. *Output* dari proses ini berupa data volume pekerjaan struktur, seperti volume beton dalam satuan meter kubik dan berat pembesian dalam satuan kilogram.

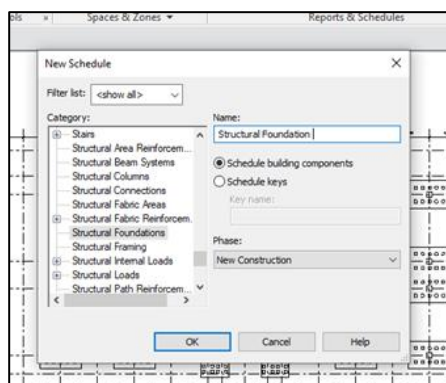
Proses *Quantity Take Takeoff* Menggunakan *Revit*

Penggunaan *Building Information Modeling* (BIM) dalam proses *Quantity Takeoff* dimulai dengan memanfaatkan model 3D yang telah dibuat di *Revit*. Proses ini melibatkan beberapa langkah antar lain:

1. Membuat *schedule*

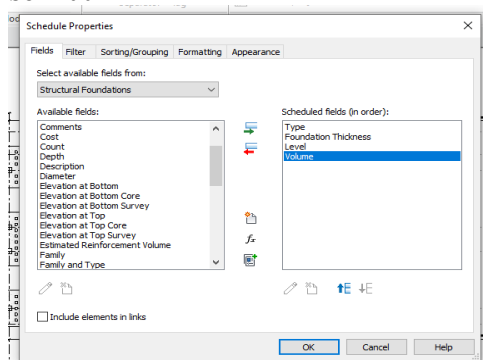
Schedule *Revit* adalah fitur yang digunakan untuk menampilkan data kuantitas atau volume dari model 3D. Dalam membuat *Schedule* dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut:

- Buka *Tab Schedule/Quantities*: Pergi ke tab *Analyze* dan pilih *Schedules/Quantities*. Pilih Kategori Elemen: Pilih kategori elemen yang akan dihitung (misalnya, kolom, balok, atau pelat), kemudian klik OK seperti pada gambar 2. berikut.



Gambar 2. Tampilan *New Schedule*

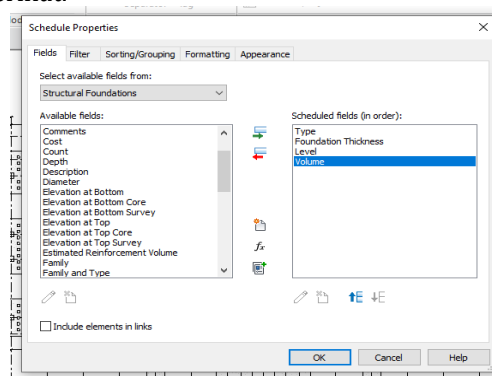
- Pengaturan *Fields* (kolom data): *Fields* digunakan untuk memilih informasi penting yang ingin dimunculkan di dalam *schedule* dengan memilih data yang relevan seperti nama elemen, *type*, volume, level, dan panjang, dan lainnya, seperti pada gambar 3. berikut.



Gambar 3. Tampilan pengaturan *fields*

2. Hasil *Schedule*

Setelah proses pembuatan *Schedule* selesai, langkah selanjutnya adalah mengekstraksi data kuantitas. Pada tahap ini, hasil *schedule* *revit* ditinjau untuk memperoleh informasi data kuantitas elemen struktur. Data ini mencakup *type*, level, dan volume beton, dan lainnya, tampilan *schedule* *revit* seperti pada gambar berikut.



Gambar 4. Tampilan Hasil *Schedule* *Revit*

Keunggulan metode ini terletak pada kemampuannya dalam menghitung volume secara otomatis dan akurat, termasuk mempertimbangkan interaksi antar elemen struktur, seperti perpotongan yang dapat mengurangi volume secara nyata. Dengan demikian, potensi kesalahan perhitungan yang sering terjadi pada metode manual dapat diminimalkan secara signifikan.

Data volume yang diperoleh selanjutnya diolah untuk menghitung estimasi biaya pekerjaan menggunakan *Microsoft Excel*. Perhitungan biaya dilakukan dengan mengalikan volume pekerjaan dengan harga satuan yang diperoleh dari dokumen AHSP. Proses pengolahan data dilakukan secara sistematis untuk setiap jenis pekerjaan, sehingga diperoleh total biaya pekerjaan struktur berdasarkan metode BIM. Hasil perhitungan ini kemudian dibandingkan dengan biaya yang terdapat dalam dokumen RAB proyek sebagai representasi metode konvensional. Perbandingan ini bertujuan untuk mengetahui selisih biaya yang terjadi serta mengevaluasi efisiensi penggunaan metode BIM dalam estimasi biaya.

Analisis perbandingan volume dan biaya dilakukan dengan menghitung selisih absolut dan persentase perbedaan antara kedua metode. Analisis dilakukan secara rinci pada setiap item pekerjaan struktur untuk mengidentifikasi bagian yang memiliki perbedaan signifikan maupun yang relatif sama. Hasil analisis ini digunakan untuk mengevaluasi tingkat akurasi dan efisiensi metode BIM dibandingkan metode konvensional. Selain itu, analisis juga dilakukan

secara deskriptif untuk menjelaskan faktor-faktor yang menyebabkan terjadinya perbedaan, seperti pengaruh metode perhitungan, tingkat detail model, serta potensi kesalahan pada metode manual.

Tahap selanjutnya adalah perencanaan penjadwalan proyek menggunakan *Microsoft Project*. Durasi setiap pekerjaan dihitung berdasarkan volume pekerjaan dan produktivitas tenaga kerja yang digunakan. Penyusunan jadwal dilakukan dengan mempertimbangkan hubungan ketergantungan antar pekerjaan, sehingga urutan pelaksanaan sesuai dengan kondisi di lapangan. Hasil dari tahap ini berupa *Gantt Chart* yang menggambarkan urutan pekerjaan serta durasi total pelaksanaan proyek. Penjadwalan yang disusun tidak hanya memberikan informasi mengenai waktu pelaksanaan, tetapi juga menjadi dasar dalam integrasi dengan model BIM pada tahap berikutnya.

Integrasi antara model 3D dan jadwal proyek dilakukan untuk menghasilkan simulasi 4D menggunakan *Autodesk Navisworks*. Proses ini dilakukan dengan menghubungkan elemen model dengan aktivitas pekerjaan yang terdapat pada jadwal proyek. Simulasi 4D yang dihasilkan mampu menampilkan tahapan konstruksi secara visual berdasarkan waktu, sehingga memudahkan dalam memahami urutan pekerjaan serta mengidentifikasi potensi konflik yang mungkin terjadi. Selain itu, simulasi ini juga dapat digunakan sebagai alat evaluasi terhadap efektivitas jadwal yang telah disusun, sehingga dapat meningkatkan kualitas perencanaan proyek secara keseluruhan.

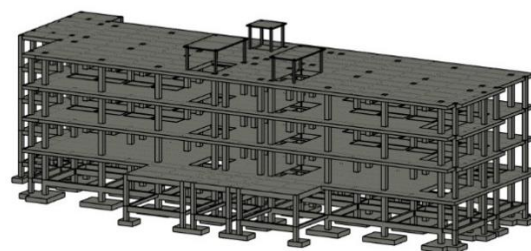
Tahap akhir penelitian adalah analisis dan interpretasi hasil yang diperoleh dari seluruh proses sebelumnya. Analisis dilakukan secara kuantitatif dengan membandingkan nilai volume, biaya, dan waktu antara metode BIM dan metode konvensional, serta secara deskriptif untuk menjelaskan keunggulan dan keterbatasan masing-masing metode. Berdasarkan hasil analisis tersebut, kemudian disusun kesimpulan yang menjawab tujuan penelitian, yaitu mengevaluasi efektivitas BIM dalam meningkatkan akurasi dan efisiensi perencanaan proyek konstruksi. Selain itu, diberikan pula saran yang diharapkan dapat menjadi masukan bagi pengembangan penelitian selanjutnya maupun implementasi BIM dalam praktik konstruksi di Indonesia. Tahap akhir penelitian adalah analisis dan interpretasi hasil yang diperoleh dari seluruh proses sebelumnya. Analisis dilakukan secara kuantitatif dengan membandingkan nilai volume, biaya, dan waktu antara metode BIM dan metode konvensional,

serta secara deskriptif untuk menjelaskan keunggulan dan keterbatasan masing-masing metode. Berdasarkan hasil analisis tersebut, kemudian disusun kesimpulan yang menjawab tujuan penelitian, yaitu mengevaluasi efektivitas BIM dalam meningkatkan akurasi dan efisiensi perencanaan proyek konstruksi. Selain itu, diberikan pula saran yang diharapkan dapat menjadi masukan bagi pengembangan penelitian selanjutnya maupun implementasi BIM dalam praktik konstruksi di Indonesia.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Pemodelan BIM 3D

Pembuatan model dilakukan sebagai tahap awal dalam penerapan *Building Information Modeling* (BIM) pada penelitian ini. Pemodelan dilakukan menggunakan perangkat lunak *Autodesk Revit 2017*. Pemodelan difokuskan pada elemen struktur bangunan, yang meliputi pondasi pile cap, kolom, *sloof/tie beam*, balok, dan pelat lantai. Hasil dari tahap pembuatan model ini adalah model tiga dimensi bangunan yang digunakan sebagai sumber data untuk analisis volume, biaya, dan penjadwalan. Berikut gambar hasil model yang telah dibuat menggunakan *software Autodesk Revit* pada gambar 5.



Gambar 5. Pemodelan 3D Gedung

2. Quantity Takeoff

Quantity Takeoff (QTO) merupakan proses perhitungan volume pekerjaan secara otomatis yang dihasilkan dari model BIM berdasarkan parameter dimensi pada model yang telah dibuat. Hasil QTO berupa Volume pekerjaan struktur yang digunakan sebagai dasar analisis dalam perbandingan volume dan biaya. Berikut Berikut tabel rekapitulasi hasil *Quantity Takeoff* dari *software Autodesk Revit* pada tabel 1 dan 2.

Tabel 1. Rekapitulasi Hasil *Quantity Takeoff* Pekerjaan Beton

No	Lantai	Pondasi (m ³)	Kolom (m ³)	Balok (m ³)	Plat Lantai (m ³)
1	Lantai 1	290,19	120,3	117,4	211,3
2	Lantai 2	-	75,6	185,7	115,7
3	Lantai 3	-	75,6	185,7	115,7

No	Lantai	Pondasi (m ³)	Kolom (m ³)	Balok (m ³)	Plat Lantai (m ³)
4	Lantai 4 & Rooftop	-	77,7	204,5	131,4

Tabel 2. Rekapitulasi Hasil *Quantity Takeoff* Pekerjaan Beton

No	Lantai	Berat Pembesian (Kg)
1	Lantai 1	137.029,568
2	Lantai 2	66.933,824
3	Lantai 3	66.933,824
4	Lantai 4 & Rooftop	69.667,375

3. Perbandingan Volume BIM dan Konvensional

Perbandingan selisih volume antara metode BIM dengan metode konvensional dapat dilihat di tabel 3. Berdasarkan tabel 3 di bawah dihasilkan selisih volume beton antara metode BIM dengan metode konvensional, Didapat total selisih volume pekerjaan beton sebesar 0,16%, selisih terbesar pada pekerjaan beton plat lantai 1

dengan selisih 0,34% dan selisih terkecil yaitu pada pekerjaan pondasi dan kolom dengan selisih 0%. Selisih total volume pekerjaan pembesian 0,12%, dengan selisih volume terbesar 17% pada pekerjaan pembesian lantai 4 dan rooftop, sedangkan selisih terkecil yaitu 10% pada pekerjaan pembesian lantai 2 dan 3.

Hasil analisis didapat kesamaan volume pada kolom dan pondasi pilecap menunjukkan bahwa Revit mampu menghasilkan estimasi volume yang akurat. Perbedaan yang terjadi pada elemen lain disebabkan oleh perbedaan metode perhitungan, dimana metode konvensional sangat bergantung pada ketelitian dalam membaca gambar DED yang digunakan sebagai acuan dalam perhitungan volume, sehingga potensi human eror bisa lebih besar. sedangkan BIM menghitung berdasarkan model 3D dan secara otomatis membaca bagian perpotongan antar komponen struktur sehingga terjadi pengurangan volume akibat perpotongan antar komponen struktur. Dengan demikian volume yang dihasilkan lebih efisien dan akurat, serta dapat meminimalisir terjadinya kesalahan perhitungan seperti perhitungan ganda pada elemen tertentu.

Tabel 3. Perbandingan Volume Metode BIM dan Konvensional

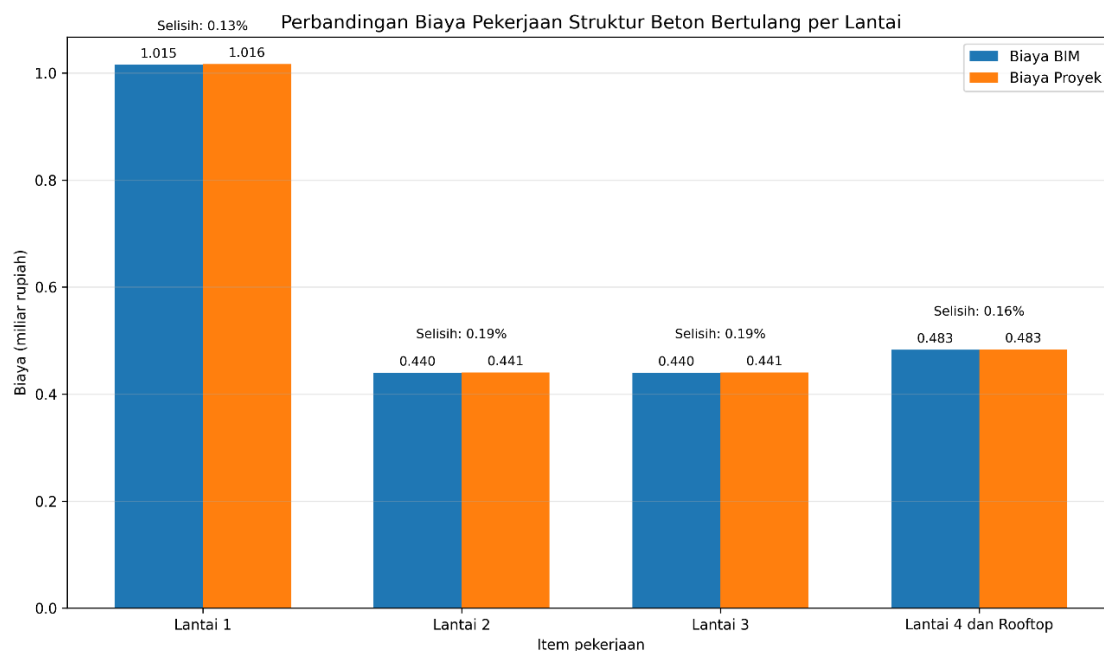
No	Jenis Pekerjaan	Sat	Vol BIM	Vol Proyek	Selisih	%
A	Pekerjaan Beton Lantai 1					
1	Pekerjaan Pondasi	m ³	290,190	290,190	0,000	0,00%
2	Pekerjaan Kolom	m ³	120,360	120,360	0,000	0,00%
3	Pekerjaan Sloof/ Tiebeam	m ³	117,499	117,650	0,151	0,13%
4	Pekerjaan Balok	m ³	211,367	211,895	0,528	0,25%
5	Pekerjaan Plat Lantai	m ³	130,955	131,402	0,447	0,34%
B	Pekerjaan Beton Lantai 2					
1	Pekerjaan Kolom	m ³	75,600	75,600	0,000	0,00%
2	Pekerjaan Balok	m ³	185,710	186,061	0,351	0,19%
3	Pekerjaan Plat Lantai	m ³	115,725	116,107	0,382	0,33%
C	Pekerjaan Beton Lantai 3					
1	Pekerjaan Kolom	m ³	75,600	75,600	0,000	0,00%
2	Pekerjaan Balok	m ³	185,710	186,061	0,351	0,19%
3	Pekerjaan Plat Lantai	m ³	115,725	116,107	0,382	0,33%
D	Pekerjaan Beton Lantai 4 dan Rooftop					
1	Pekerjaan Kolom	m ³	77,760	77,760	0,000	0,00%
2	Pekerjaan Balok	m ³	204,523	204,954	0,431	0,21%
3	Pekerjaan Plat Lantai	m ³	131,478	131,700	0,222	0,17%
Total Volume Pekerjaan Beton		m³	2.038,202	2.041,448	3,246	0,16%
E	Pekerjaan Beton Lantai 4 dan Rooftop					
1	Lantai 1	kg	137.029,568	137.197,237	167,669	0,12%
2	Lantai 2	kg	66.933,824	67.002,866	69,041	0,10%
3	Lantai 3	kg	66.933,824	67.002,866	69,041	0,10%
4	Lantai 4 dan Rooftop	kg	69.667,375	69.782,703	115,328	0,17%
Total Berat Pekerjaan Pembesian		kg	340.564,592	340.985,671	421,080	0,12%

Namun, akurasi Revit juga bergantung pada ketelitian dalam penginputan informasi kedalam software. Dengan demikian perbedaan dipengaruhi oleh keterbatasan metode konvensional, tingkat detail model, serta kualitas input data pada model BIM.

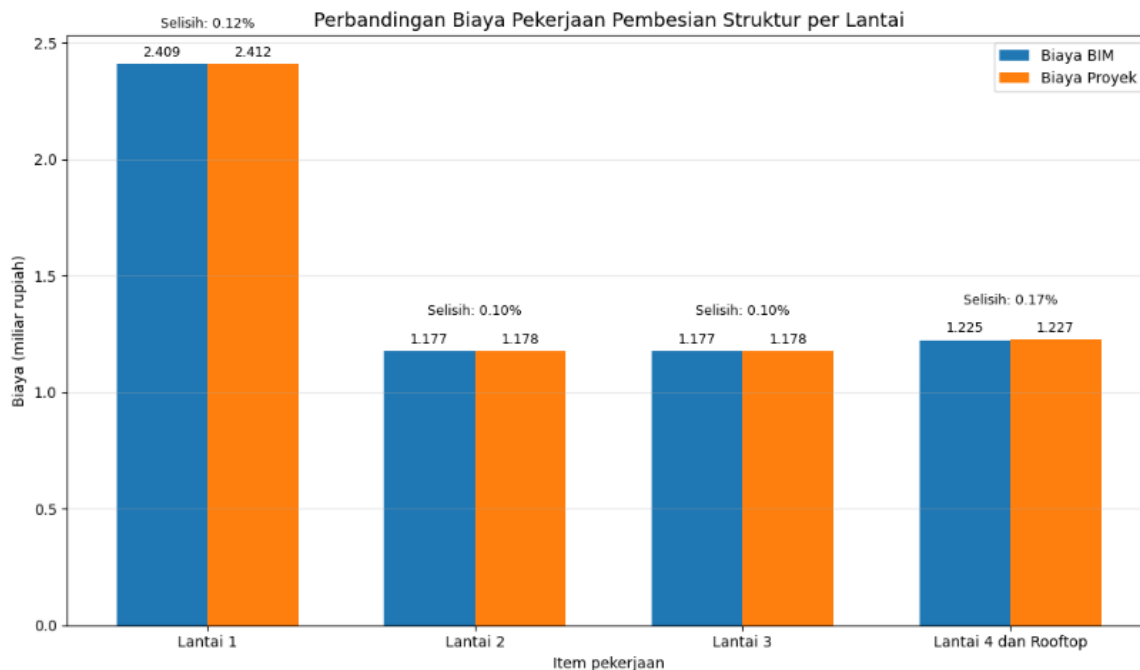
4. Perbandingan Biaya

Perbandingan biaya antara metode BIM dengan metode konvensional dapat dilihat pada Tabel 2. Berdasarkan hasil analisis, diperoleh bahwa total biaya pekerjaan beton menggunakan metode BIM sebesar Rp 2.377.285.572,92, sedangkan berdasarkan konversi bill of quantity pada dokumen proyek sebesar Rp 2.381.071.066,47, sehingga terdapat selisih biaya sebesar Rp 3.785.493,55. Untuk pekerjaan pembesian, biaya yang dihasilkan dari metode BIM sebesar Rp 5.986.359.251,07, sementara hasil perhitungan berdasarkan dokumen proyek sebesar Rp 5.993.760.885,10, dengan selisih sebesar Rp 7.401.634,03. Secara persentase, selisih biaya pada pekerjaan beton sebesar 0,16% dan pada pekerjaan pembesian sebesar 0,12%, di mana hasil perhitungan menggunakan *software Autodesk Revit 2017* menunjukkan nilai yang lebih rendah dibandingkan metode konvensional.

Berdasarkan hasil tersebut, dapat disimpulkan bahwa estimasi biaya menggunakan metode BIM cenderung lebih efisien. Hal ini dipengaruhi oleh tingkat akurasi dalam perhitungan kebutuhan material yang diperoleh melalui pemodelan tiga dimensi, sehingga mampu mengurangi potensi kesalahan perhitungan serta menghindari terjadinya perhitungan ganda pada elemen struktur. Selain itu, kemampuan BIM dalam membaca perpotongan antar elemen struktur secara otomatis juga berkontribusi terhadap perhitungan volume yang lebih realistis. Dengan demikian, penerapan BIM tidak hanya meningkatkan akurasi estimasi biaya, tetapi juga mendukung implementasi konsep 5D BIM dalam penyusunan rencana anggaran biaya yang lebih terintegrasi. Kondisi ini secara tidak langsung berimplikasi pada efisiensi penggunaan sumber daya serta pengurangan pemborosan material (*waste*) selama pelaksanaan proyek. Lebih lanjut, hasil ini menunjukkan bahwa BIM memiliki potensi besar untuk meningkatkan kualitas pengendalian biaya proyek konstruksi secara keseluruhan.



Gambar 6. Biaya Pekerjaan Struktur Beton Bertulang Gambar



Gambar 7. Biaya Pekerjaan Struktur Beton Bertulang

5. Perencanaan Penjadwalan

Perencanaan penjadwalan dilakukan untuk menentukan durasi pelaksanaan setiap item pekerjaan konstruksi serta total waktu penyelesaian proyek. Perhitungan durasi pekerjaan dihitung berdasarkan rumus sebagai berikut.

$$T = \frac{V \times k}{n}$$

Dimana :

T = Waktu/Durasi Pekerjaan

k = Koefisien Tenaga Kerja

V = Volume Pekerjaan

n = Jumlah Tenaga Kerja

Durasi pekerjaan yang telah diperoleh dari hasil perhitungan selanjutnya dimasukkan ke dalam perangkat lunak *Microsoft Project* untuk disusun menjadi jadwal pelaksanaan proyek secara terstruktur dan sistematis. Proses penyusunan jadwal ini dilakukan dengan mempertimbangkan hubungan ketergantungan antar pekerjaan (*activity dependency*), sehingga urutan pelaksanaan dapat disesuaikan dengan kondisi teknis di lapangan serta logika konstruksi yang berlaku. Hubungan antar aktivitas, seperti *finish-to-start*, *start-to-start*, maupun *finish-to-finish*, diatur secara cermat untuk memastikan bahwa setiap pekerjaan dapat berjalan sesuai urutan yang tepat tanpa menimbulkan konflik atau tumpang tindih aktivitas. Pengaturan ini menjadi penting karena kesalahan dalam penentuan

hubungan pekerjaan dapat berdampak pada keterlambatan proyek secara keseluruhan.

Dalam penyusunan jadwal, tidak hanya hubungan antar aktivitas yang diperhatikan, tetapi juga aspek durasi pekerjaan yang dihitung berdasarkan volume pekerjaan dan produktivitas tenaga kerja yang digunakan. Selain itu, alokasi sumber daya seperti tenaga kerja dan waktu pelaksanaan juga menjadi pertimbangan utama agar jadwal yang dihasilkan bersifat realistis dan dapat diimplementasikan di lapangan. Analisis jalur kritis (*critical path method*) juga dilakukan untuk mengidentifikasi aktivitas-aktivitas yang memiliki pengaruh langsung terhadap total durasi proyek, sehingga dapat diketahui pekerjaan mana yang harus diprioritaskan dalam pelaksanaannya. Dengan demikian, jadwal yang disusun tidak hanya berfungsi sebagai rencana waktu, tetapi juga sebagai alat pengendalian yang dapat digunakan untuk meminimalkan risiko keterlambatan.

Hasil dari pengolahan data penjadwalan menggunakan *Microsoft Project* menunjukkan bahwa total durasi pelaksanaan pekerjaan struktur adalah selama 157 hari. Durasi ini merupakan hasil perencanaan yang telah disesuaikan dengan kondisi volume pekerjaan, produktivitas tenaga kerja, serta urutan pelaksanaan pekerjaan yang logis. Nilai durasi tersebut dapat digunakan sebagai acuan dalam pengendalian waktu proyek, baik pada tahap perencanaan maupun pelaksanaan. Dengan adanya jadwal yang terstruktur, pihak pelaksana

proyek dapat melakukan monitoring terhadap progres pekerjaan secara berkala serta melakukan penyesuaian apabila terjadi deviasi dari rencana awal.

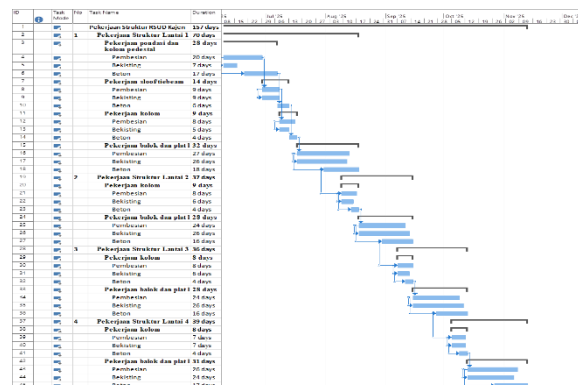
Penjadwalan yang telah disusun kemudian diintegrasikan dengan model tiga dimensi (3D) yang telah dibuat sebelumnya menggunakan perangkat lunak *Autodesk Revit*. Integrasi ini dilakukan melalui *Autodesk Navisworks* untuk menghasilkan simulasi penjadwalan berbasis BIM dalam bentuk 4D. Pada tahap ini, setiap elemen model 3D dihubungkan dengan aktivitas pekerjaan yang terdapat dalam jadwal, sehingga terbentuk keterkaitan antara aspek geometrik dan aspek waktu. Hasil integrasi ini berupa visualisasi tahapan konstruksi yang dapat ditampilkan secara dinamis sesuai dengan urutan dan durasi pekerjaan yang telah direncanakan.

Simulasi 4D yang dihasilkan memberikan gambaran yang lebih nyata mengenai proses pelaksanaan proyek dari waktu ke waktu. Dengan adanya visualisasi ini, pengguna dapat memahami urutan pekerjaan secara lebih jelas dibandingkan hanya melalui jadwal konvensional berbentuk tabel atau diagram batang. Selain itu, simulasi ini juga memungkinkan identifikasi potensi permasalahan sejak tahap perencanaan, seperti adanya konflik pekerjaan, ketidaksesuaian urutan pelaksanaan, atau kemungkinan keterlambatan pada aktivitas tertentu. Dengan demikian, perbaikan terhadap jadwal dapat dilakukan lebih awal sebelum proyek memasuki tahap pelaksanaan di lapangan.

Lebih lanjut, integrasi antara model 3D dan jadwal pekerjaan ini juga meningkatkan efektivitas komunikasi antar pihak yang terlibat dalam proyek, seperti perencana, kontraktor, dan pengawas. Visualisasi yang dihasilkan dapat digunakan sebagai media komunikasi yang lebih informatif dan mudah dipahami, sehingga meminimalkan kesalahan interpretasi terhadap rencana pelaksanaan proyek. Hal ini menjadi salah satu keunggulan utama dari penerapan BIM dibandingkan metode konvensional yang hanya mengandalkan dokumen dua dimensi dan jadwal terpisah.

Hasil akhir dari penyusunan jadwal ini ditampilkan dalam bentuk *Gantt Chart* pada *Microsoft Project* yang menggambarkan hubungan antar pekerjaan, durasi masing-masing aktivitas, serta total waktu pelaksanaan proyek secara keseluruhan. *Gantt Chart* ini tidak hanya berfungsi sebagai alat visualisasi jadwal, tetapi juga sebagai dasar dalam pengendalian waktu proyek yang dapat digunakan untuk

melakukan evaluasi terhadap progres pekerjaan. Dengan adanya integrasi antara penjadwalan dan model BIM, proses perencanaan dan pengendalian waktu menjadi lebih terstruktur, akurat, dan mudah untuk dievaluasi, sehingga dapat mendukung keberhasilan pelaksanaan proyek konstruksi secara keseluruhan, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 8. Gantt Chart Pekerjaan Struktur pada Ms. Project

6. Simulasi Penjadwalan

Simulasi penjadwalan berbasis Building Information Modeling (BIM) merupakan tahap lanjutan dari integrasi antara model geometrik tiga dimensi (3D) dengan data waktu (*schedule*) yang telah disusun sebelumnya. Pada penelitian ini, proses simulasi dilakukan dengan memanfaatkan perangkat lunak *Autodesk Navisworks* sebagai platform utama untuk menggabungkan model struktur hasil pemodelan *Autodesk Revit* dengan data penjadwalan dari *Microsoft Project*. Integrasi ini dilakukan melalui proses impor data, di mana model 3D dalam format yang kompatibel dan file jadwal proyek dihubungkan dalam satu lingkungan kerja yang terintegrasi. Tahap selanjutnya adalah melakukan pengaitan (*linking*) antara elemen-elemen struktur dalam model dengan aktivitas pekerjaan yang terdapat dalam jadwal, sehingga setiap komponen bangunan memiliki hubungan langsung dengan waktu pelaksanaannya.

Dalam praktik profesional konstruksi, proses pengaitan ini menjadi tahap krusial karena menentukan kualitas simulasi yang dihasilkan. Setiap elemen, seperti kolom, balok, pelat, dan pondasi, harus dipetakan secara tepat terhadap aktivitas pekerjaan yang sesuai. Ketidaktepatan dalam proses ini dapat menyebabkan visualisasi yang tidak akurat dan berpotensi menimbulkan kesalahan interpretasi dalam perencanaan. Oleh karena itu, dalam penelitian ini dilakukan pendekatan sistematis dengan mengelompokkan elemen struktur berdasarkan zona pekerjaan,

lantai, dan jenis aktivitas, sehingga proses linking menjadi lebih terstruktur dan mudah dikendalikan.

Setelah proses integrasi dan pengaitan selesai, *Autodesk Navisworks* digunakan untuk menghasilkan simulasi 4D [14] yang menampilkan tahapan pelaksanaan konstruksi secara dinamis berdasarkan waktu. Simulasi ini memperlihatkan bagaimana elemen-elemen struktur dibangun secara bertahap sesuai dengan urutan pekerjaan yang telah direncanakan. Dengan demikian, pengguna dapat melihat progres pembangunan dalam bentuk visual yang realistis, mulai dari pekerjaan pondasi hingga struktur atas. Pendekatan ini jauh lebih informatif dibandingkan metode konvensional yang hanya mengandalkan *Gantt Chart* atau diagram jaringan tanpa visualisasi spasial [15].

Dari perspektif perencanaan teknik sipil, simulasi 4D ini memiliki nilai strategis yang sangat tinggi. Visualisasi yang dihasilkan memungkinkan perencana dan pelaksana proyek untuk memahami interaksi antar pekerjaan secara lebih komprehensif. Sebagai contoh, pekerjaan struktur pada lantai atas tidak dapat dilakukan sebelum pekerjaan pada lantai bawah selesai, dan hal ini dapat divisualisasikan secara jelas dalam simulasi. Selain itu, potensi konflik pekerjaan, seperti tumpang tindih aktivitas atau keterbatasan ruang kerja, dapat diidentifikasi lebih awal sebelum proyek dilaksanakan di lapangan. Dengan demikian, simulasi ini berfungsi sebagai alat mitigasi risiko yang efektif dalam perencanaan proyek konstruksi [16].

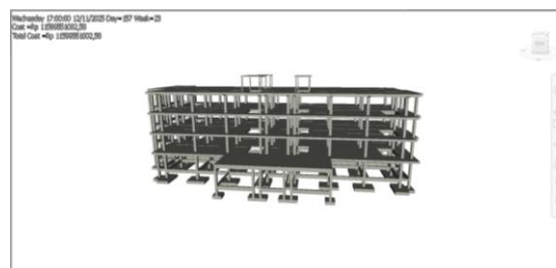
Pengalaman dalam proyek-proyek berskala internasional menunjukkan bahwa penerapan BIM 4D tidak hanya meningkatkan kualitas perencanaan, tetapi juga berkontribusi terhadap efisiensi pelaksanaan proyek secara keseluruhan. Integrasi antara waktu dan model memungkinkan koordinasi yang lebih baik antar disiplin, seperti antara tim struktur, arsitektur, dan manajemen konstruksi. Selain itu, simulasi ini juga dapat digunakan sebagai alat komunikasi yang efektif antara pihak-pihak yang terlibat dalam proyek, termasuk owner, kontraktor, dan konsultan. Dengan visualisasi yang mudah dipahami, proses pengambilan keputusan dapat dilakukan dengan lebih cepat dan akurat. Lebih lanjut, simulasi penjadwalan berbasis BIM juga mendukung konsep *lean construction*, di mana fokus utama adalah pada pengurangan pemborosan (*waste*) dan peningkatan nilai (*value*) dalam setiap tahapan proyek. Dengan adanya visualisasi tahapan konstruksi, perencanaan penggunaan sumber daya seperti tenaga kerja, material, dan peralatan dapat

dilakukan secara lebih optimal. Hal ini memungkinkan penyesuaian jadwal secara dinamis apabila terjadi perubahan kondisi di lapangan, sehingga fleksibilitas dalam pengendalian proyek menjadi lebih tinggi.

Dalam konteks penelitian ini, simulasi 4D yang dihasilkan memberikan gambaran yang jelas mengenai urutan pelaksanaan pekerjaan struktur Gedung RSUD Kajen Pekalongan sesuai dengan durasi yang telah direncanakan. Setiap tahapan konstruksi dapat diamati secara kronologis, sehingga memudahkan dalam melakukan evaluasi terhadap jadwal yang telah disusun. Selain itu, simulasi ini juga memungkinkan identifikasi potensi keterlambatan pada aktivitas tertentu, sehingga tindakan korektif dapat direncanakan sejak awal.

Keunggulan lain dari simulasi BIM adalah kemampuannya dalam meningkatkan transparansi dan akuntabilitas dalam perencanaan proyek. Dengan adanya model yang terintegrasi, setiap perubahan desain atau jadwal dapat langsung diperbarui dan divisualisasikan, sehingga meminimalkan miskomunikasi antar pihak. Hal ini menjadi sangat penting dalam proyek konstruksi yang memiliki kompleksitas tinggi dan melibatkan banyak pihak.

Secara keseluruhan, simulasi penjadwalan berbasis BIM tidak hanya berfungsi sebagai alat visualisasi, tetapi juga sebagai instrumen analisis dan evaluasi yang komprehensif. Integrasi antara model 3D dan data penjadwalan menghasilkan pendekatan yang lebih modern, akurat, dan efisien dalam perencanaan konstruksi. Oleh karena itu, penerapan BIM 4D dalam penelitian ini menunjukkan bahwa teknologi ini mampu memberikan nilai tambah yang signifikan dalam meningkatkan kualitas perencanaan, mengurangi risiko kesalahan, serta mendukung keberhasilan pelaksanaan proyek konstruksi secara menyeluruh. Hasil simulasi penjadwalan yang telah dibuat menggunakan *Autodesk Navisworks* ditunjukkan pada Gambar 9 sebagai representasi visual tahapan konstruksi berbasis waktu.



Gambar 9. Simulasi Penjadwalan BIM

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa penerapan *Building Information Modeling* (BIM) dalam penelitian ini dimulai melalui pembuatan model tiga dimensi menggunakan perangkat lunak *Autodesk Revit* yang mampu menghasilkan *quantity takeoff* (QTO) atau volume pekerjaan secara otomatis. Selain itu, BIM juga mendukung penyusunan penjadwalan yang terintegrasi dengan *Microsoft Project*, sehingga hubungan antara model 3D dan jadwal pekerjaan dapat divisualisasikan dalam bentuk simulasi 4D. Pendekatan ini terbukti mampu meningkatkan akurasi data volume, mempermudah koordinasi antar tahapan pekerjaan, serta meningkatkan efisiensi dalam proses perencanaan dan pelaksanaan dibandingkan metode konvensional yang masih bergantung pada gambar dua dimensi dan perhitungan manual.

Hasil perbandingan menunjukkan bahwa terdapat selisih volume pekerjaan beton sebesar 0,16%, dengan selisih terbesar terjadi pada pekerjaan plat lantai 1 sebesar 0,34%, sedangkan selisih terkecil terdapat pada pekerjaan pondasi dan kolom yang tidak menunjukkan perbedaan (0%). Pada pekerjaan pembesian, selisih total volume sebesar 0,12%, dengan selisih terbesar sebesar 0,17% pada pembesian lantai 4 dan rooftop, serta selisih terkecil sebesar 0,10% pada pembesian lantai 2 dan 3. Perbedaan volume tersebut berdampak pada selisih biaya, di mana pekerjaan beton memiliki selisih sebesar Rp 3.785.493,55, sedangkan pekerjaan pembesian sebesar Rp 7.401.634,03. Hasil ini menunjukkan bahwa metode BIM mampu menghasilkan estimasi yang lebih akurat dan cenderung lebih efisien dibandingkan metode konvensional.

Dalam aspek penjadwalan, penerapan BIM yang didukung oleh *Microsoft Project* dan *Autodesk Navisworks* menghasilkan total durasi pelaksanaan pekerjaan struktur selama 157 hari. Integrasi antara model 3D dan jadwal pekerjaan memungkinkan visualisasi tahapan konstruksi secara lebih jelas melalui simulasi 4D, sehingga membantu dalam memahami urutan pekerjaan serta mengidentifikasi potensi kendala sejak tahap perencanaan. Secara keseluruhan, penggunaan BIM tidak hanya meningkatkan akurasi perhitungan volume dan biaya, tetapi juga memberikan keunggulan dalam pengendalian waktu pelaksanaan proyek secara lebih terstruktur dan terintegrasi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Universitas Sains Al-Qur'an (UNSIQ) Jawa Tengah di Wonosobo, khususnya Program Studi Teknik Sipil, atas dukungan akademik, fasilitas, serta bimbingan yang diberikan selama proses penelitian ini. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada pihak yang telah memberikan akses data proyek pembangunan Gedung RSUD Kajen Kabupaten Pekalongan, sehingga penelitian ini dapat dilaksanakan dengan baik dan menghasilkan analisis yang komprehensif.

Penulis juga mengapresiasi para dosen pembimbing serta semua pihak yang telah memberikan arahan, masukan, dan bantuan selama proses penyusunan penelitian ini, baik dalam tahap pemodelan, pengolahan data, maupun analisis berbasis *Building Information Modeling* (BIM). Semoga seluruh kontribusi yang diberikan dapat menjadi amal kebajikan dan memberikan manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan di bidang konstruksi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] H. T. Tigauw, F. M., Aprilianto, F., & Santoso, "No Title," *J. Inov. Konstr.*, vol. 2, no. 2, pp. 58–65, 2023.
- [2] R. S. DIAN, *ANALISIS PERILAKU KOLOM BETON BERTULANG MUTU TINGGI BERPENAMPANG LINGKARAN AKIBAT BEBAN STATIK MONOTONIK*. scholar.unand.ac.id, 2019.
- [3] C. Eastman, P. Teicholz, R. Sacks, and K. Liston, *BIM Handbook*. New York: Wiley, 2008.
- [4] N. Faqih and E. Aji Laksono, "Pemodelan Komputasional Untuk Menentukan Kekuatan Struktur Bangunan," *J. Ilm. Arsit.*, vol. 12, no. .2, pp. 63–68, 2022.
- [5] N. Khanifah, N. Faqih, A. Abdussalam, and M. Qomaruddin, "ANALISIS PENERAPAN REKAYASA NILAI (VALUE ENGINEERING) PEKERJAAN STRUKTUR PADA PROYEK PEMBANGUNAN GEDUNG HOTEL PERMAI BANJARNEGARA," *J. Ilm. Arsit.*, vol. 13, no. 1, pp. 126–132, 2023.
- [6] M. C. Tavares, G. Azevedo, R. P. Marques, and M. A. Bastos, "Tantangan pendidikan profesi akuntansi di Era 5.0: Sebuah tinjauan sistematis." 2023.

- [7] M. A. Nisa and R. Susanto, "Pengaruh Penggunaan Game Edukasi Berbasis Wordwall Dalam Pembelajaran Matematika Terhadap Motivasi Belajar," *Indones. Inst. Couns. Educ. Ther.*, vol. 7, no. 1, p. 140, 2022, doi: 10.29210/022035jpci0005.
- [8] H. Sibyan, J. Svajlenka, H. Hermawan, N. Faqih, and A. N. Arrizqi, "Thermal comfort prediction accuracy with machine learning between Regression Analysis and Naïve Bayes Classifier," *Sustainability*, vol. 14, no. 23, p. 15663, 2022.
- [9] T. R. Soeprbowati, S. W. A. Suedy, Hadiyanto, A. A. Lubis, and P. Gell, "Diatom assemblage in the 24 cm upper sediment associated with human activities in Lake Warna Dieng Plateau Indonesia," *Environ. Technol. Innov.*, vol. 10, pp. 314–323, 2018, doi: 10.1016/j.eti.2018.03.007.
- [10] R. Spiekermann, H. Betts, J. Dymond, and L. Basher, "Volumetric measurement of river bank erosion from sequential historical aerial photography," *Geomorphology*, 2017, doi: 10.1016/j.geomorph.2017.08.047.
- [11] N. Faqih, "DESAIN DAN ANALISIS STRUKTUR PELAT DI ATAS GORONG-GORONG UNTUK PENGENDALIAN AIR MENGGUNAKAN SAP 2000," *Device*, vol. 13, no. 1, pp. 118–123, 2023.
- [12] R. Yuliet, A. Hakam, I. Firtsilova, and F. Anafwil, "Pembuatan Program Aplikasi Konstruksi Dinding Penahan Tanah Untuk Kondisi Gempa Dengan Visual Basic 6.0," *J. Rekayasa Sipil*, vol. 8, no. 2, p. 75, 2012, doi: 10.25077/jrs.8.2.75-84.2012.
- [13] H. Hermawan, N. Faqih, F. N. Azizah, Y. Hermansyah, and A. N. Arrizqi, "GAYA ARSITEKTUR BANGUNAN KOLONIAL DI WONOSOBO," *J. Ilm. Arsit.*, vol. 12, no. 2, pp. 80–87, 2022.
- [14] N. Faqih, "Evaluasi kinerja waduk dengan metode simulasi," 2013.
- [15] G. B. Prasetyo, *Tinjauan Kuat Tekan Beton Geopolymer dengan Fly Ash Sebagai Bahan Pengganti Semen*. eprints.ums.ac.id, 2015.
- [16] M. F. Ilhami, "Optimasi Alokasi Penggunaan Lahan Kawasan Das Serayu Hulu Di Kecamatan Kejajar Berbasis Mitigasi Erosi," *Unibraw*, no. 1, p. 149, 2020.