

Implementasi Building Information Modeling (BIM) dalam Perencanaan dan Penjadwalan Pekerjaan Struktur Beton Gedung Griya Bumi Silampari di Kabupaten Musi Rawas

Lisa Kurnia^{1*}, Addy Sumarsono², Santi Sani³, Yeni Trianah⁴

¹Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Musi Rawas, Indonesia, lisaqurnia13@gmail.com

²Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Musi Rawas, Indonesia,
addysumarsono54@gmail.com

³Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Musi Rawas, Indonesia, santillg14@gmail.com

⁴Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Musi Rawas, Indonesia, trianah.yeni@yahoo.com

*Penulis korespondensi, email: lisaqurnia13@gmail.com

Abstrak—Indonesia sebagai negara berkembang tengah giat membangun infrastruktur, mendorong persaingan ketat di sektor konstruksi. Untuk meningkatkan efisiensi dan akurasi pelaksanaan, pemanfaatan teknologi *Building Information Modeling (BIM)* menjadi sangat penting. *BIM* memungkinkan visualisasi tiga dimensi sebelum pelaksanaan, mengurangi kesalahan desain, dan mempercepat proses konstruksi. Namun, implementasinya masih terbatas karena rendahnya pemahaman teknis di kalangan praktisi. Penelitian ini bertujuan menerapkan *BIM* level 3D (*modelling*), 4D (*scheduling*), dan 5D (*cost estimation*) pada pekerjaan struktur beton Gedung Griya Bumi Silampari di Kabupaten Musi Rawas. Pemodelan dilakukan menggunakan *Autodesk Revit* untuk menghasilkan visualisasi 3D dan perhitungan volume material, serta *Autodesk Navisworks* untuk menyusun *time schedule* berbasis simulasi. Hasil menunjukkan total anggaran pekerjaan struktur beton sebesar Rp4.208.985.174,27, mencakup pondasi, sloof, kolom, balok, pelat lantai, dak beton, dan penulangan. Penerapan *BIM* meningkatkan efisiensi, akurasi biaya, serta pengawasan waktu pelaksanaan. Disarankan agar teknologi *BIM* diadopsi lebih luas dalam proyek konstruksi serta diintegrasikan dalam kurikulum teknik sipil.

Kata kunci: *Building Information Modeling (BIM)*, BIM 3D (3D *modeling*), 4D (*Scheduling*), 5D (*Estimasi Biaya*), *Autodesk Revit*, *Autodesk Navisworks*

This article is licensed under the [CC-BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license.

1. Pendahuluan

Pembangunan infrastruktur di Indonesia terus berkembang pesat sebagai bagian dari strategi peningkatan daya saing nasional. Namun, dalam praktiknya, pelaksanaan proyek konstruksi masih sering menghadapi berbagai permasalahan umum seperti ketidaktepatan waktu pelaksanaan, ketidaksesuaian biaya dengan anggaran awal, serta rendahnya efisiensi dan integrasi antar proses perencanaan, pelaksanaan, dan pengawasan [1]–[3]. Permasalahan ini banyak disebabkan oleh metode kerja konvensional yang masih mendominasi sektor konstruksi, khususnya dalam perencanaan struktur bangunan gedung [4]–[6].

Secara khusus, pada banyak proyek struktur bangunan, proses perhitungan volume pekerjaan dan penyusunan anggaran masih dilakukan secara terpisah menggunakan perangkat lunak yang berbeda,

tanpa sistem integrasi yang efisien [7]–[9]. Hal ini tidak hanya meningkatkan risiko kesalahan teknis dan pengulangan pekerjaan, tetapi juga berdampak pada akurasi jadwal dan pengendalian biaya. Selain itu, visualisasi proyek yang masih dalam bentuk gambar 2D menyulitkan proses pemantauan kemajuan secara real-time, terutama pada proyek-proyek kompleks dengan banyak elemen struktur [10]–[12].

Penelitian ini menjadi penting untuk menjawab kebutuhan terhadap sistem perencanaan yang lebih efektif dan terintegrasi. Teknologi Building Information Modeling (BIM) hadir sebagai alternatif yang mampu menggabungkan pemodelan visual, estimasi volume material, dan penjadwalan proyek ke dalam satu platform terpadu. Implementasi BIM dapat menjadi solusi dalam meningkatkan efisiensi dan transparansi proyek konstruksi, khususnya pada pekerjaan struktur beton bangunan gedung [13]–[20]. Pemerintah Indonesia juga telah mendorong adopsi teknologi ini melalui regulasi dan pelatihan teknis yang terstandar [21]–[24].

Kebaruan dari penelitian ini terletak pada penerapan simultan BIM level 3D (modelling), 4D (scheduling), dan 5D (cost estimation) pada proyek bangunan gedung skala menengah di wilayah kabupaten, yang selama ini masih jarang diterapkan secara utuh [25]–[27]. Studi ini tidak hanya fokus pada aspek pemodelan visual, tetapi juga mengintegrasikan estimasi biaya dan penjadwalan berbasis simulasi. Pendekatan ini diharapkan dapat memberikan gambaran nyata tentang manfaat BIM dalam konteks proyek lokal, yang relevan untuk direplikasi pada proyek-proyek serupa [28].

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menerapkan teknologi BIM dalam pekerjaan struktur beton Gedung Griya Bumi Silampari di Kabupaten Musi Rawas. Penelitian ini difokuskan pada tiga level utama BIM, yaitu 3D untuk pemodelan struktur, 4D untuk penyusunan time schedule, dan 5D untuk estimasi biaya pekerjaan struktur. Dengan pendekatan ini, diharapkan penelitian dapat memberikan kontribusi dalam meningkatkan efisiensi, akurasi, dan integrasi sistem informasi pada proyek konstruksi bangunan gedung.

2. Metode

Penelitian ini dilaksanakan pada proyek pembangunan Gedung Griya Bumi Silampari yang berlokasi di Jalan HM Soeharto, Kecamatan Muara Beliti, Kabupaten Musi Rawas, Provinsi Sumatera Selatan. Lokasi ini dipilih karena merupakan proyek konstruksi gedung pemerintah daerah yang representatif untuk diterapkannya teknologi Building Information Modeling (BIM). Informasi visual mengenai lokasi proyek ditampilkan pada Gambar 1.

Metode yang digunakan dalam penelitian ini bersifat deskriptif-aplikatif, dengan pendekatan studi kasus berbasis pemodelan digital. Tahapan pertama yang dilakukan adalah studi literatur, yang mencakup kajian terhadap buku, jurnal, dan artikel ilmiah yang membahas penerapan BIM, terutama pada aspek quantity take off, scheduling, serta prinsip-prinsip pemodelan menggunakan perangkat lunak Autodesk Revit 2023 dan Autodesk Navisworks. Literatur juga digunakan sebagai dasar teknis dan konseptual dalam menyusun alur kerja penelitian.



Gambar 1. Lokasi proyek

Data yang digunakan bersumber dari data sekunder, yaitu data proyek yang diperoleh dari Dinas Pekerjaan Umum Cipta Karya dan Tata Ruang Kabupaten Musi Rawas. Data tersebut meliputi gambar teknis perencanaan struktur bangunan, Rencana Anggaran Biaya (RAB), Analisis Harga Satuan Pekerja (AHSP), dan jadwal pelaksanaan proyek (time schedule).

Tahapan pemodelan 3D dilakukan dengan menggunakan Autodesk Revit 2023. Langkah pertama adalah melakukan pengaturan awal proyek seperti satuan (project units), level, dan grid berdasarkan gambar rencana. Selanjutnya, dibuat family elemen struktur seperti pondasi, sloof, kolom, balok, dan pelat lantai. Proses pemodelan dimulai dari struktur bawah ke atas secara sistematis, disesuaikan dengan spesifikasi teknis gambar kerja. Pemodelan tulangan dilakukan pada setiap elemen beton dengan fitur Rebar sesuai dengan data teknis yang tersedia.

Setelah pemodelan selesai, dilakukan analisis clash detection untuk mengidentifikasi konflik geometri antar elemen struktur. Fitur interference check pada menu collaborate digunakan untuk mendeteksi dan memperbaiki benturan, sehingga model siap dilanjutkan ke tahap berikutnya.

Volume material diperoleh secara otomatis melalui proses quantity take off dengan fitur schedule quantities pada Autodesk Revit. Volume ini digunakan sebagai dasar penyusunan Rencana Anggaran Biaya (RAB), dengan cara mengalikan volume elemen dengan harga satuan berdasarkan AHSP.

Tahap akhir dalam metode ini adalah penjadwalan dan visualisasi 4D menggunakan Autodesk Navisworks. Model 3D yang telah disiapkan diimpor ke dalam Navisworks, kemudian diintegrasikan dengan time schedule untuk menghasilkan simulasi visual urutan pekerjaan. Proses ini memberikan gambaran waktu pelaksanaan secara dinamis dan menjadi alat bantu penting dalam pengawasan proyek.

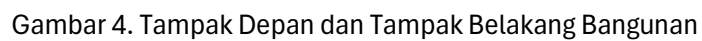
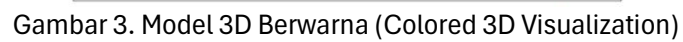
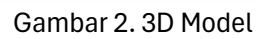
3. Hasil dan Pembahasan

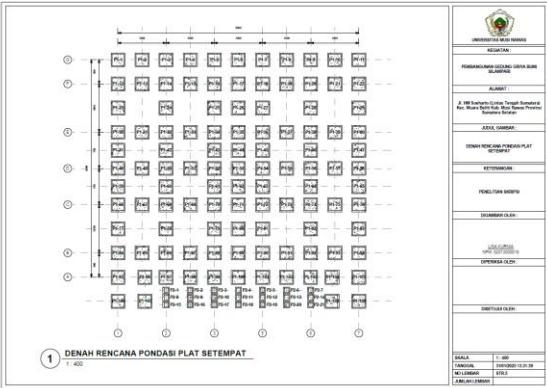
3.1 Hasil Penerapan *Building Information Modeling* (BIM) 3D (*3D Modeling*)

Penerapan Building Information Modeling (BIM) pada tahap pemodelan tiga dimensi (3D) menghasilkan visualisasi digital yang sangat bermanfaat dalam memahami keseluruhan konfigurasi struktur bangunan. Dengan pendekatan ini, model struktur bangunan dapat divisualisasikan secara utuh dalam bentuk tampilan spasial yang mencakup berbagai sudut pandang, baik dari tampak depan, belakang, samping kanan dan kiri, hingga denah dan detail teknis dari masing-masing elemen struktural. Keunggulan dari pemodelan 3D ini terletak pada kemampuannya dalam meningkatkan kualitas komunikasi teknis antara perencana, pelaksana, dan pihak terkait lainnya. Model 3D tidak hanya merepresentasikan geometri bangunan, tetapi juga berfungsi sebagai alat bantu analisis yang akurat dalam mengidentifikasi konflik desain sebelum pelaksanaan konstruksi dimulai.

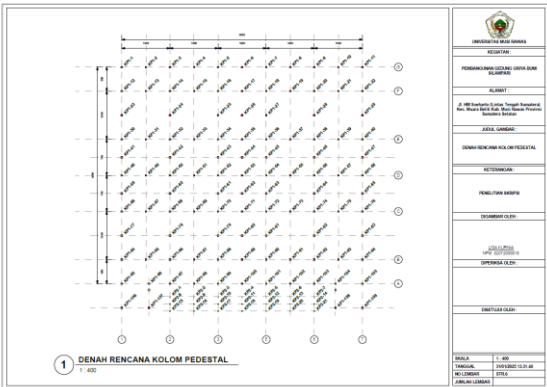
Dalam penelitian ini, hasil pemodelan 3D ditampilkan secara berurutan pada Gambar 2 hingga Gambar 18. Gambar 2 dan Gambar 3 menunjukkan bentuk umum dari 3D model dan versi berwarna, yang memberikan gambaran spasial menyeluruh terhadap desain struktur bangunan. Selanjutnya, Gambar 4 dan Gambar 5 menggambarkan tampak depan dan belakang serta sisi kanan dan kiri gedung secara visual yang mendekati kenyataan. Gambar 6 hingga Gambar 12 menyajikan denah teknis dari elemen-elemen penting struktur seperti pondasi plat setempat, kolom pedestal, sloof, kolom utama, pelat lantai, balok, hingga dak beton.

Sementara itu, Gambar 13 sampai Gambar 18 memperlihatkan detail struktural dari masing-masing komponen, seperti detail pondasi tipe P1 dan P2, tulangan kolom dan sloof, serta detail pelat dan balok. Keseluruhan gambar ini membuktikan bahwa BIM 3D sangat efektif dalam memvisualisasikan elemen bangunan secara presisi, sehingga menjadi referensi penting dalam proses perencanaan dan pengambilan keputusan teknis selama masa konstruksi.

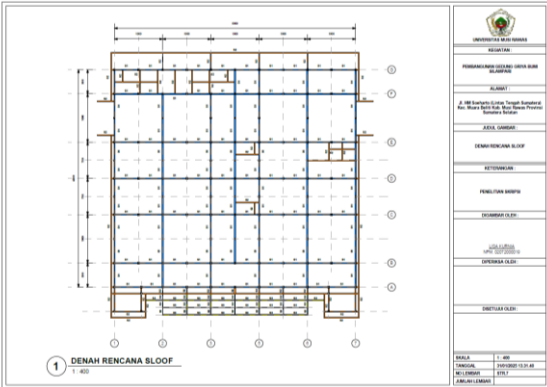




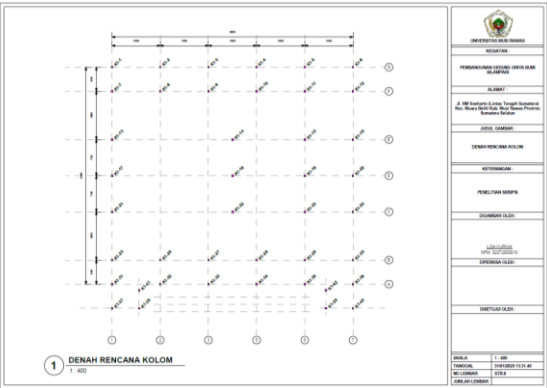
Gambar 6. Denah Rencana Pondasi Plat Setempat



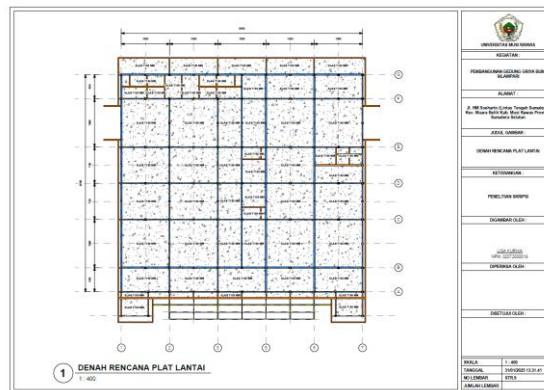
Gambar 7. Denah Rencana Kolom Pedestal



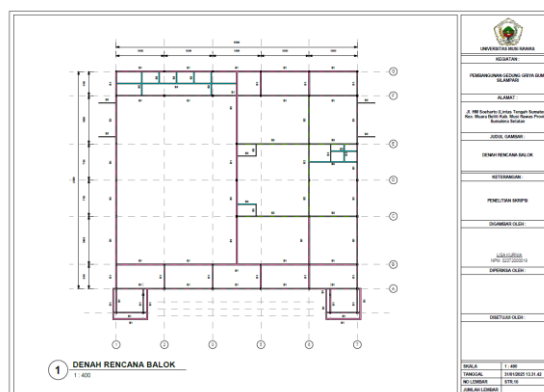
Gambar 8. Denah Rencana Sloof



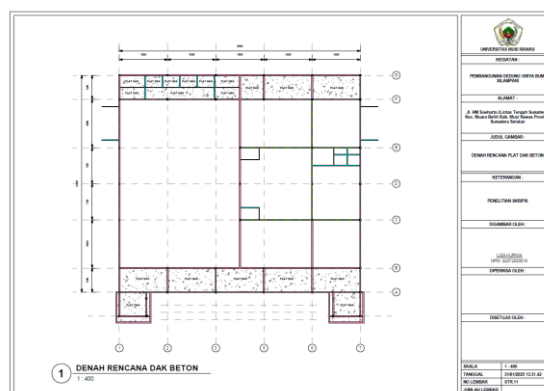
Gambar 9. Denah Rencana Kolom



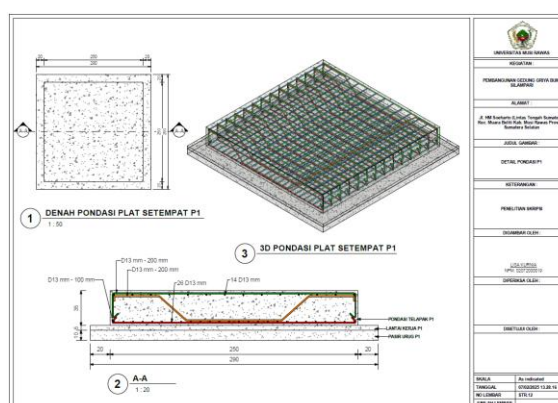
Gambar 10. Denah Rencana Pelat Lantai



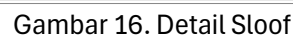
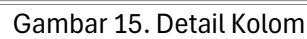
Gambar 11. Denah Rencana Balok

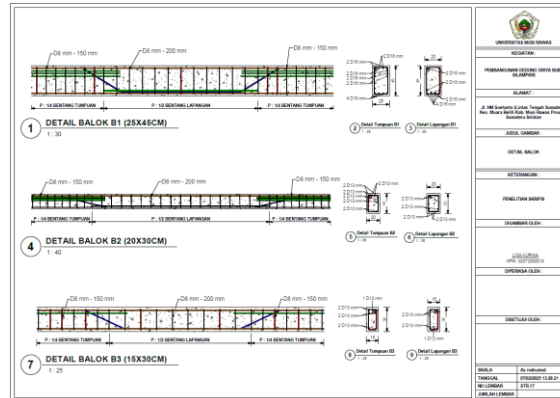


Gambar 12. Denah Rencana Dak Beton



Gambar 13. Detail Pondasi Tipe P1





Gambar 18. Detail Balok

3.2 Hasil Penerapan BIM 5D (Estimasi Biaya)

Quantity Take Off (QTO)

Setelah seluruh elemen struktur dimodelkan secara menyeluruh dalam *Autodesk Revit*, langkah berikutnya adalah melakukan proses *quantity take off* (QTO) yang dilakukan secara otomatis melalui fitur *schedule quantities*. Proses ini bertujuan untuk menghitung volume material yang dibutuhkan dalam pekerjaan struktur beton dan pembesian. Hasil QTO menunjukkan bahwa total volume beton yang diperlukan untuk seluruh komponen struktur dalam proyek ini mencapai 952,59 meter kubik. Volume ini terdiri atas beberapa bagian, termasuk pondasi, kolom pedestal, sloof, kolom utama, pelat lantai, balok, dan dak beton. Informasi lengkap mengenai perhitungan volume beton untuk setiap jenis pekerjaan dapat dilihat pada Tabel 1 yang menunjukkan hasil kuantifikasi digital secara detail dan akurat dari pemodelan yang dilakukan.

Tabel 1. Volume pekerjaan beton metode BIM

No	Elemen Struktur	Volume (m ³)
1	Pondasi	291,14
2	Kolom Pedestal	50,85
3	Sloof	99,22
4	Kolom	49,65
5	Plat Lantai	352,30
6	Balok	56,20
7	Dak Beton	53,23
	Total Volume Beton	952,59

Selain beton, perhitungan volume pembesian juga dilakukan untuk seluruh elemen struktur. Berdasarkan hasil QTO, pekerjaan pelat lantai tercatat sebagai pengguna pembesian terbesar, yakni mencapai 43.235,94 kilogram *wiremesh* M10 yang dipasang dalam dua lapisan. Total volume pembesian dari seluruh elemen struktur, termasuk tulangan pokok diameter D8 hingga D16, mencapai puluhan ton. Informasi ini memberikan dasar perencanaan logistik dan pengadaan material yang jauh lebih efisien. Rincian hasil volume pembesian tersebut ditampilkan secara sistematis dalam Tabel 2. Keunggulan utama metode ini adalah fleksibilitas dalam menyesuaikan data jika terjadi perubahan desain, karena setiap revisi pada model akan secara otomatis memperbarui perhitungan kuantitasnya.

Tabel 2. Volume pekerjaan penulangan metode BIM

No	Elemen Struktur	Jenis Pembesian	Volume (Kg)
1	Pondasi	D13	25.211,28
2	Kolom Pedestal	D13 / D12 / D8	3.588,67 / 490,93 / 1.469,47

No	Elemen Struktur	Jenis Pembesian	Volume (Kg)
3	Sloof	D16 / D13 / D8	13.093,16 / 4.337,36 / 3.276,58
4	Kolom	D13 / D8	3.378,21 / 1.383,31
5	Plat Lantai	Wiremesh M10 2L	43.235,94
6	Balok	D16 / D13 / D8	8.433,01 / 1.343,3 / 1.734,1
7	Dak Beton	Wiremesh M10 2L	10.090,64

Rencana Anggaran Biaya (RAB)

Langkah berikutnya setelah perhitungan volume selesai adalah penyusunan estimasi biaya atau *Rencana Anggaran Biaya* (RAB). Estimasi ini disusun dengan cara mengalikan volume pekerjaan dari hasil QTO dengan harga satuan berdasarkan *Analisis Harga Satuan Pekerjaan* (AHSP) yang berlaku. Dengan metode ini, estimasi biaya yang diperoleh lebih transparan, terukur, dan akurat karena seluruhnya berbasis pada model digital yang terverifikasi. Selain itu, proses ini juga memungkinkan pembaruan biaya secara otomatis jika terjadi perubahan pada model struktur. Rincian hasil perhitungan anggaran tersebut disajikan secara lengkap dalam Tabel 3, yang mencakup biaya untuk masing-masing elemen struktur utama, seperti pondasi, sloof, kolom, balok, pelat lantai, dan dak beton.

Tabel 3. Rencana Anggaran Biaya (RAB) dengan menggunakan metode BIM

No	Jenis Pekerjaan	Sub Pekerjaan	Jumlah Biaya (Rp)
1	Pekerjaan Pondasi	Pondasi Tipe P1 dan P2 (Pasir Urug, Lantai Kerja K-100, Beton K-300, Pembesian)	1.103.434.942,44
2	Kolom Pedestal	Tipe 1 dan Tipe 2 (Beton K-300, Pembesian D13 & D8)	218.867.653,74
3	Pekerjaan Sloof	Sloof S1, S2, dan S3 (Beton K-300, Pembesian D13–D16, Sengkang D8)	630.887.714,69
4	Pekerjaan Kolom	Kolom K1 (Beton K-300, Pembesian D13 & Sengkang D8)	200.194.991,77
5	Pekerjaan Plat Lantai	Plat Lantai (Beton K-300, Wiremesh M10 2 lapis)	1.429.578.551,40
6	Pekerjaan Balok	Balok B1, B2, B3 (Beton K-300, Pembesian D13–D16, Sengkang D8)	353.018.749,18
7	Pekerjaan Dak Beton	Plat Dak (Beton K-300, Wiremesh M10 2 lapis)	272.548.570,77
TOTAL KESELURUHAN			Rp 4.208.985.174,07

Penerapan *BIM 5D* terbukti memberikan efisiensi yang signifikan dalam proses penganggaran karena mampu mengurangi potensi kesalahan input manual serta mempercepat proses penyusunan RAB secara menyeluruh. Hal ini juga mendukung prinsip keterlacakan (*traceability*) dan akuntabilitas dalam pengelolaan anggaran proyek konstruksi.

3.3 Hasil Penerapan *BIM 4D* (*Scheduling*)

Penerapan *BIM 4D* dilakukan dengan mengintegrasikan model 3D yang telah dibangun di *Autodesk Revit* ke dalam perangkat lunak *Autodesk Navisworks* untuk proses penjadwalan berbasis visual. Penjadwalan ini bukan hanya menyusun urutan pekerjaan secara kronologis dalam bentuk tabel atau grafik batang, tetapi juga menyajikannya dalam bentuk animasi konstruksi virtual yang berjalan seiring waktu. Simulasi ini menampilkan urutan pembangunan elemen-elemen struktur, dimulai dari pekerjaan pondasi hingga ke pelat dan balok atas, dalam konteks waktu yang realistis.

Kelebihan dari simulasi visual ini terletak pada kemampuannya untuk memperlihatkan bagaimana proyek akan berkembang dari hari ke hari, sehingga memudahkan tim proyek dalam memahami alur pekerjaan, mengantisipasi konflik jadwal, dan menyusun strategi mitigasi terhadap potensi keterlambatan. Selain itu, pemodelan *4D scheduling* juga memberikan visualisasi yang mudah dipahami oleh stakeholder non-teknis, termasuk pemilik proyek atau pihak manajemen.

Hasil dari simulasi ini dapat diakses oleh semua pihak yang terlibat melalui pemindaian *QR Code* yang tersedia dalam Gambar 19. Dengan demikian, seluruh tahapan pelaksanaan dapat dimonitor secara lebih akurat dan efisien melalui pendekatan visual yang adaptif dan informatif, sebagaimana menjadi salah satu keunggulan utama dari implementasi *Building Information Modeling (BIM)* dalam industri konstruksi modern.



Gambar 19. QR Code Simulasi Jadwal Pelaksanaan Proyek (4D BIM)

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa penerapan metode Building Information Modeling (BIM) memberikan kontribusi signifikan dalam perencanaan dan manajemen proyek konstruksi secara digital. Pada tahap 3D modeling, visualisasi struktur bangunan yang dihasilkan melalui Autodesk Revit mampu menyajikan gambaran menyeluruh dan detail terhadap elemen-elemen struktural, seperti pondasi, sloof, kolom, balok, pelat lantai, dan dak beton. Hal ini mempermudah kolaborasi lintas disiplin, mengurangi potensi kesalahan desain, serta mempercepat proses validasi teknis sejak tahap perencanaan awal.

Selanjutnya, pada tahap 5D modeling, perhitungan Quantity Take Off (QTO) dan estimasi biaya proyek yang dilakukan secara otomatis melalui model digital terbukti lebih akurat dan efisien. Total volume pekerjaan beton tercatat sebesar 952,59 m³, sedangkan total volume pembesian mencapai puluhan ton dengan rincian sesuai jenis dan lokasi pekerjaan struktural. Estimasi anggaran yang disusun berdasarkan QTO menghasilkan Rencana Anggaran Biaya (RAB) struktural sebesar Rp 4.208.985.174,27 yang mencerminkan nilai proyek secara transparan dan terintegrasi.

Pada tahap akhir, penerapan 4D scheduling menggunakan Autodesk Navisworks memberikan simulasi waktu pelaksanaan proyek yang realistis. Simulasi ini tidak hanya menggambarkan urutan pekerjaan secara visual dari waktu ke waktu, tetapi juga memungkinkan analisis jadwal secara lebih proaktif untuk meminimalkan risiko keterlambatan pelaksanaan.

Dengan demikian, penelitian ini membuktikan bahwa integrasi teknologi BIM dari aspek 3D, 4D, hingga 5D mampu meningkatkan efektivitas dan efisiensi dalam perencanaan struktur bangunan. Hasil ini diharapkan menjadi acuan bagi praktisi teknik sipil dalam mengadopsi pendekatan digital berbasis BIM untuk mendukung proses desain, estimasi biaya, dan perencanaan jadwal pelaksanaan konstruksi secara komprehensif dan akurat.

Daftar Pustaka

- [1] M. L. Kamaruzzaman, “Implementing Building Information Modeling (BIM) in Construction: Benefits and Barriers,” *Int. J. Sustain. Constr. Eng. Technol.*, vol. 12, no. 1, pp. 50–58, 2021.
- [2] S. H. Sweis and R. Al-Debei, “Barriers to BIM adoption in construction projects: A case study approach,” *Eng. Constr. Archit. Manag.*, vol. 29, no. 2, pp. 514–533, 2022.
- [3] M. Arayici, “BIM implementation and adoption: a conceptual model,” *J. Build. Perform.*, vol. 2, no. 1, pp. 1–11, 2021.
- [4] M. Succar, “Building information modelling framework: A research and delivery foundation for industry stakeholders,” *Autom. Constr.*, vol. 18, no. 3, pp. 357–375, 2020.
- [5] D. M. Hall, “An Integrated Framework for Delivering High-Performance Buildings: A BIM-Based Approach,” *Buildings*, vol. 11, no. 9, pp. 1–14, 2021.
- [6] S. Azhar, “Building information modeling (BIM): Trends, benefits, risks, and challenges for the AEC industry,” *Leadersh. Manag. Eng.*, vol. 11, no. 3, pp. 241–252, 2020.
- [7] M. Lu and M. Olofsson, “Building Information Modeling: A Powerful Tool for Visualization in Construction,” *J. Constr. Eng. Manag.*, vol. 147, no. 2, pp. 1–10, 2021.
- [8] A. Volk, J. Stengel, and F. Schultmann, “Building Information Modeling (BIM) for existing buildings—Literature review and future needs,” *Autom. Constr.*, vol. 38, pp. 109–127, 2021.
- [9] F. Succar and M. Kassem, “Macro-BIM adoption: Conceptual structures,” *Autom. Constr.*, vol. 57, pp. 64–79, 2020.
- [10] T. S. Abanda, “BIM in the Architecture, Engineering and Construction (AEC) industry: A review of the literature,” *Graph. Eng. Des.*, vol. 4, no. 3, pp. 70–80, 2020.
- [11] J. Eastman et al., *BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors*, 3rd ed. Hoboken, NJ, USA: Wiley, 2020.
- [12] Y. Liu and D. Issa, “Survey: BIM and BIM-Enabled Integrated Practice Experience in the United States,” *J. Inf. Technol. Constr.*, vol. 26, pp. 99–116, 2021.
- [13] T. Borrmann, M. König, C. Koch, and J. Beetz, *Building Information Modeling: Technology Foundations and Industry Practice*, Cham: Springer, 2021.
- [14] C. Ustinovichius, “Multi-attribute decision-making model for choosing the most effective BIM tool,” *Autom. Constr.*, vol. 110, p. 103008, 2021.
- [15] A. Hosseini et al., “Exploring the expectations of BIM in construction projects: a SWOT analysis,” *J. Civ. Eng. Manag.*, vol. 25, no. 3, pp. 246–258, 2021.
- [16] L. Zhang and X. Hu, “Integration of 4D BIM and GIS for construction site layout planning,” *Autom. Constr.*, vol. 84, pp. 120–132, 2020.
- [17] K. B. Sacks, “Quantitative analysis of BIM implementation in the construction industry,” *Constr. Manag. Econ.*, vol. 39, no. 6, pp. 481–494, 2021.
- [18] M. Azhar and S. Brown, “BIM for sustainability analyses,” *J. Green Build.*, vol. 5, no. 4, pp. 87–97, 2020.
- [19] D. Bryde, M. Broquetas, and J. Volm, “The project benefits of Building Information Modelling (BIM),” *Int. J. Proj. Manag.*, vol. 31, no. 7, pp. 971–980, 2021.
- [20] R. Arif and S. Egbu, “Use of BIM in Construction Cost Management,” *Proc. 29th Annu. ARCOM Conf.*, pp. 1239–1248, 2020.
- [21] H. M. Lee, “BIM-Based Scheduling and Simulation for Construction Project,” *J. Comput. Civ. Eng.*, vol. 34, no. 5, pp. 04020045, 2020.
- [22] M. A. Mahamid, “Challenges of BIM implementation in the construction industry,” *Ain Shams Eng. J.*, vol. 12, no. 3, pp. 2667–2674, 2021.
- [23] K. Wong, Q. Yang, and G. Chen, “BIM and Sustainability: A Case Study in Design Phase,” *Build. Environ.*, vol. 57, pp. 216–222, 2020.
- [24] Y. Kim and J. Lee, “Clash Detection Management Using BIM Technology,” *J. Adv. Civ. Eng. Pract.*, vol. 6, pp. 25–33, 2021.
- [25] Autodesk, *Revit 2023 User Guide*, Autodesk Inc., 2023. [Online]. Available: <https://www.autodesk.com/>

- [26] Autodesk, *Navisworks 2023 User Guide*, Autodesk Inc., 2023. [Online]. Available: <https://www.autodesk.com/>
- [27] Kementerian PUPR, *Analisa Harga Satuan Pekerjaan (AHSP) Bidang Pekerjaan Umum*, Jakarta: Dirjen Bina Konstruksi, 2020.
- [28] SNI 7394:2008, *Tata Cara Perhitungan Harga Satuan Pekerjaan Beton untuk Konstruksi Bangunan Gedung dan Perumahan*, BSN, 2008.