Implementasi BIM Berbasis *Artificial Intelligence* untuk Optimasi Perencanaan Struktur Atas Gedung Katering Pondok Pesantren Kedunglo Al Munadhoroh

Derris Sandy Afgi Ma'ruf
Universitas Wahidiyah, email:d.sandy717@gmail.com
M. Ibnu Atho'illah
Universitas Wahidiyah, email:kulonbrantas@gmail.com

ABSTRAK

Perencanaan struktur konvensional yang mengandalkan gambar dua dimensi dan perhitungan manual rentan menimbulkan ketidaksesuaian data, kesalahan kuantitas pekerjaan, serta waktu pengerjaan yang relatif lama. Penelitian ini bertujuan menerapkan Building Information Modelling (BIM) berbasis Artificial Intelligence (AI) untuk optimasi perencanaan struktur atas Gedung Katering Pondok Pesantren Kedunglo Al Munadhoroh serta membandingkan Rencana Anggaran Biaya (RAB) antara perencanaan awal dan hasil optimasi. Penelitian terapan dengan pendekatan kuantitatif-komparatif ini mengintegrasikan Autodesk Revit sebagai basis pemodelan, enam script Dynamo sebagai sistem otomatisasi berbasis aturan, Autodesk Robot Structural Analysis Professional untuk analisis struktur, dan AI sebagai sistem pendukung keputusan. Gedung lima lantai setinggi 22 m dirancang sebagai Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus, Kategori Risiko III, dan Kategori Desain Seismik D dengan mengacu pada SNI 2847:2019, SNI 1726:2019, dan SNI 1727:2020. AI menghasilkan sepuluh variasi dimensi yang diseleksi menjadi tiga alternatif, yaitu D1 (Existing), D2 (Minimum), dan D3 (Maximum), kemudian dievaluasi melalui matriks keputusan terbobot empat kriteria. Hasil penelitian menetapkan D1 sebagai alternatif paling optimal dengan skor tertimbang 3,60 (72%), mengungguli D2 (3,50; 70%) dan D3 (3,40; 68%). RAB D1 sebesar Rp4.433.656.450,00 berada 6,2% di atas D2, tetapi 16,3% lebih hemat daripada D3, sehingga optimasi memvalidasi perencanaan awal sebagai titik keseimbangan terbaik antara keselamatan struktur dan efisiensi biaya.

Kata kunci: Artificial Intelligence; Building Information Modelling; optimasi struktur; Rencana Anggaran Biaya; sistem pendukung keputusan

ABSTRACT

Conventional structural design based on two-dimensional drawings and manual calculation is prone to data inconsistency, quantity take-off errors, and long processing time. This study aims to implement Artificial Intelligence (AI)-based Building Information Modelling (BIM) for optimizing the superstructure design of the Kedunglo Al Munadhoroh Islamic Boarding School Catering Building and to compare the cost budget plan (RAB) between the initial design and the optimization results. This applied research with a quantitative-comparative approach integrated Autodesk Revit as the modelling platform, six Dynamo scripts as a rule-based automation system, Autodesk Robot Structural Analysis Professional for structural analysis, and AI as a decision support system. The five-story, 22 m high building was designed as a Special Moment Resisting Frame, Risk Category III, and Seismic Design Category D, referring to SNI 2847:2019, SNI 1726:2019, and SNI 1727:2020. The AI generated ten dimensional variations filtered into three alternatives, namely D1 (Existing), D2 (Minimum), and D3 (Maximum), which were then evaluated through a four-criteria weighted decision matrix. The results established D1 as the most optimal alternative with a weighted score of 3.60 (72%), outperforming D2 (3.50; 70%) and D3 (3.40; 68%). The RAB of D1, IDR 4,433,656,450.00, was 6.2% above D2 yet 16.3% more economical than D3; the optimization therefore validated the initial design as the best balance between structural safety and cost efficiency.

Keywords: *Artificial Intelligence; Building Information Modelling; cost budget plan; decision support system; structural optimization*

PENDAHULUAN

Proyek konstruksi bangunan bertingkat memiliki kompleksitas tinggi karena melibatkan perencanaan struktur, perhitungan volume pekerjaan, dan penyusunan Rencana Anggaran Biaya (RAB) secara bersamaan. Pada praktiknya, metode perencanaan konvensional yang bertumpu pada gambar dua dimensi dan perhitungan manual masih dominan digunakan, padahal metode tersebut rawan menimbulkan ketidaksesuaian antara gambar perencanaan dan perhitungan volume, berpotensi menghasilkan kesalahan estimasi, serta memerlukan waktu yang relatif lama (Putra &

Herzanita, 2022). Ketidakakuratan estimasi biaya pada tahap perencanaan juga berdampak langsung terhadap pengendalian anggaran pelaksanaan proyek (Kinasih & Sucipto, 2023), sehingga diperlukan metode yang mampu memadukan gambar, volume pekerjaan, dan biaya dalam satu sistem yang terkoordinasi.

Building Information Modelling (BIM) hadir sebagai jawaban atas kebutuhan tersebut. BIM merupakan model digital bangunan yang berfungsi sebagai sumber informasi bersama sepanjang siklus proyek, mulai dari perencanaan hingga pengelolaan bangunan (Eastman et al., 2018). Sejumlah studi di Indonesia membuktikan manfaatnya: pemodelan dengan Autodesk Revit menghasilkan data dimensi dan volume material yang lebih akurat karena seluruh kuantitas ditarik langsung dari model tiga dimensi (Anjani et al., 2022); integrasi Revit dengan Autodesk Robot Structural Analysis Professional (RSAP) memungkinkan estimasi quantity take-off, RAB, dan analisis struktur dalam satu alur kerja (Siboro et al., 2023; Supiansyah, 2024); serta penerapan BIM terbukti meningkatkan efisiensi waktu dan membantu pengendalian biaya proyek (Friastri & Setiawan, 2024; Putra, 2025).

Kemampuan BIM semakin luas ketika dipadukan dengan otomatisasi dan kecerdasan buatan. Pemrograman visual Dynamo pada Revit memungkinkan pembacaan, pengolahan, dan modifikasi parameter model secara otomatis (Kensek, 2014), bahkan hingga rekonstruksi elemen BIM secara otomatis dari data lapangan (Rocha & Mateus, 2024). Pada sisi lain, Artificial Intelligence (AI) memungkinkan eksplorasi berbagai alternatif desain secara jauh lebih cepat dibandingkan perhitungan manual (Effendi & Satwiko, 2021). Sherif et al. (2022) menunjukkan bahwa model desain struktur dan optimasi biaya berbasis BIM yang terotomatisasi mampu mengevaluasi banyak alternatif penampang beton bertulang secara sistematis, sesuatu yang sulit dicapai dengan pendekatan konvensional.

Meskipun demikian, sebagian besar kajian BIM di tingkat nasional masih berfokus pada akurasi quantity take-off, penyusunan RAB, atau perbandingan dengan metode konvensional. Pemanfaatan AI generatif sebagai sistem pendukung keputusan (decision support system) yang menautkan keluaran analisis struktur dan biaya ke dalam matriks keputusan terbobot pada proyek nyata masih jarang dilakukan. Celah inilah yang diisi oleh penelitian ini dengan menempatkan AI pada ujung alur kerja Revit–Dynamo–RSAP untuk menyeleksi dan menilai alternatif dimensi elemen struktur secara objektif dan terukur.

Objek penelitian adalah Gedung Katering Pondok Pesantren Kedunglo Al Munadhoroh di Kota Kediri, bangunan lima lantai dengan fungsi katering, pusat oleh-oleh, gym, dan laundry yang menuntut struktur aman sekaligus efisien karena beban operasionalnya relatif tinggi dan berlokasi pada Kategori Desain Seismik D. Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini bertujuan untuk (1) mengimplementasikan BIM berbasis AI dalam optimasi perencanaan struktur atas gedung dan (2) membandingkan RAB antara hasil perencanaan awal dan hasil implementasi BIM berbasis AI.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan penelitian terapan dengan pendekatan kuantitatif-komparatif, yaitu membandingkan hasil perencanaan dan RAB perencanaan awal (eksisting) dengan alternatif hasil implementasi BIM berbasis AI. Objek penelitian berlokasi di Desa Bandar Lor, Kecamatan Mojoroto, Kota Kediri, Jawa Timur. Gedung terdiri atas lima lantai dengan tinggi antarlantai 4,00 m (lantai 1–4) dan 3,00 m (lantai 5–rooftop) sehingga tinggi total mencapai 22,00 m. Struktur direncanakan sebagai Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) dengan mutu beton fc' 25 MPa (K-300), mutu tulangan ulir fy 420 MPa (BJTS-42), dan tulangan polos fyt 280 MPa (BJTP-28), pada Kategori Risiko III (Ie = 1,25) dan Kategori Desain Seismik D. Perencanaan mengacu pada SNI 2847:2019 (Badan Standardisasi Nasional [BSN], 2019b), SNI 1726:2019 (BSN, 2019a), dan
SNI 1727:2020 (BSN, 2020), dengan rujukan ACI 318M-14 (American Concrete Institute, 2014) dan ASCE/SEI 7-16 (American Society of Civil Engineers, 2016).

Data primer berupa gambar perencanaan dan shop drawing, RAB awal proyek, serta data pembebanan diperoleh dari Departemen Perlengkapan Wahidiyah Pusat selaku perencana gedung. Data sekunder mencakup standar perencanaan, literatur ilmiah, serta Analisis Harga Satuan Pekerjaan (AHSP) dan daftar harga satuan bahan dan upah Kota Kediri yang mengacu pada Surat Edaran Direktur Jenderal Bina Konstruksi Nomor 30/SE/Dk/2025 (Direktorat Jenderal Bina Konstruksi, 2025).

Penelitian dilaksanakan melalui tujuh tahap. Pertama, pengumpulan dan verifikasi data. Kedua, penyusunan enam script Dynamo menggunakan kombinasi node standar dan bahasa pemrograman Python sebagai sistem otomatisasi berbasis aturan (rule-based system). Ketiga, pemodelan struktur tiga dimensi pada Autodesk Revit dengan penetapan grid dan level secara otomatis melalui Dynamo Player. Keempat, analisis dan pembebanan struktur pada RSAP yang mencakup 13 kasus beban dasar dan seismik serta kombinasi pembebanan ultimit, layan, dan aksidental hingga total 53 kasus beban; analisis modal menggunakan metode Lanczos dengan sepuluh ragam getar dan rasio redaman 5%, sedangkan beban gempa dianalisis secara dinamik respons spektrum ASCE 7-16 (Ss = 0,852 g; S1 = 0,402 g; kelas situs D) dengan kombinasi ortogonal 100/30. Kelima, perhitungan volume pekerjaan (quantity take-off) secara otomatis dari model dan penyusunan RAB berbasis AHSP Kota Kediri. Keenam, pengambilan keputusan berbantuan AI, yaitu Claude (Anthropic), yang berperan sebagai sistem pendukung keputusan untuk menghasilkan variasi dimensi, menyeleksi alternatif, dan menyusun skoring; keputusan akhir tetap berada pada perencana. Ketujuh, evaluasi dan penarikan kesimpulan.

Alternatif desain dievaluasi menggunakan matriks keputusan terbobot dengan empat kriteria, yaitu ketahanan terhadap gempa (30%), kekuatan struktur (30%), efisiensi material (20%), dan efisiensi biaya (20%). Proporsi bobot menempatkan keselamatan (60%) di atas efisiensi (40%) sesuai karakter bangunan Kategori Risiko III pada Kategori Desain Seismik D. Setiap kriteria dinilai dengan skala 1–5, dikalikan bobot menjadi skor terbobot, kemudian dijumlahkan dan dikonversi ke persentase terhadap skor maksimum lima.

Alternatif Desain Hasil Seleksi AI

AI menerima masukan berupa parameter perencanaan dan spesifikasi material, data dimensi, data pembebanan, hasil analisis struktur, serta data biaya, kemudian menghasilkan sepuluh variasi desain dimensi balok dan kolom. Dari sepuluh variasi tersebut, tiga alternatif direkomendasikan untuk dimodelkan dan dianalisis penuh, yaitu D1 (Existing Design) sebagai desain referensi lapangan yang berfungsi sebagai titik kalibrasi, D2 (Minimum Option) sebagai batas bawah kapasitas dengan estimasi penghematan volume beton 25–30%, dan D3 (Maximum Option) dengan faktor keamanan tertinggi untuk mengantisipasi beban besar. Dimensi ketiga alternatif disajikan pada Tabel 2.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Otomatisasi Pemodelan dengan Script Dynamo

Enam script Dynamo berhasil disusun dan dijalankan sebagai sistem otomatisasi pemodelan dan pengolahan data, sebagaimana dirangkum pada Tabel 1. Otomatisasi ini mencakup pembentukan grid dan level, pembuatan elemen kolom dan balok, perhitungan volume serta berat material beton dan tulangan, perhitungan luas bekisting, hingga ekspor hasil ke Microsoft Excel. Karena setiap perubahan model diperbarui secara parametrik, otomatisasi terbukti mempercepat proses pemodelan sekaligus meminimalkan kesalahan input manual (human error).

Tabel 1. Script Dynamo dan fungsinya

No	Nama Script	Fungsi
1	Grids	Membuat grid bangunan secara otomatis
2	Levels	Membuat level bangunan secara otomatis
3	Generate Columns	Membuat elemen kolom dan balok secara otomatis
4	Schedule and Quantities	Menghitung volume dan berat material beton serta besi tulangan
5	Luas Bekisting	Menghitung luasan bekisting secara otomatis
6	Data.ExportExcel	Mengekspor hasil perhitungan ke Microsoft Excel

Sumber: hasil penelitian, 2026

Tabel 2. Dimensi tiga alternatif desain struktur (mm)

Elemen	D1 — Existing	D2 — Minimum	D3 — Maximum
Balok tepi (b×h)	300 × 500	250 × 450	350 × 600
Balok interior (b×h)	350 × 500	300 × 450	400 × 600
Balok sekunder (b×h)	200 × 500	150 × 450	250 × 600
Kolom lantai 1–5 (b×h)	500 × 750	400 × 600	600 × 800
Kolom rooftop (b×h)	500 × 500	400 × 400	600 × 600

Sumber: output data Claude, 2026

Hasil Analisis Struktur

Ketiga model dianalisis pada RSAP dengan parameter yang identik. Seluruh alternatif mencapai partisipasi massa kumulatif lebih dari 90% pada

arah X dan Y selambat-lambatnya pada ragam getar keenam sehingga memenuhi SNI 1726:2019 Pasal 7.9.1, dengan ragam translasi yang dominan. Rekapitulasi hasil analisis disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Rekapitulasi hasil analisis struktur

Parameter	Satuan	D1	D2	D3
Periode fundamental, T_1	detik	1,40	1,48	0,94
Partisipasi massa kumulatif	%	> 90	> 90	> 90
Perpindahan lateral maks, UX	mm	172	178	111
Perpindahan lateral maks, UY	mm	181	237	144
Lendutan vertikal maks, UZ	mm	12	11	8
Gaya aksial kolom maks, FX	kN	2.229,41	2.039,14	2.737,21
Massa model seismik total	kg	5.095.269	4.478.163	5.947.549

Sumber: hasil pengolahan output RSAP, 2026

Kinerja seismik dievaluasi terhadap batas rasio simpangan 0,015 untuk Kategori Risiko III (ASCE 7-16 Tabel 12.12-1), sebagaimana disajikan pada Tabel 4. Ketiga alternatif berstatus aman dengan rasio kapasitas terhadap permintaan (C/D) simpangan lebih dari 1,0. D3 paling kaku dengan margin terbesar (C/D = 2,29), D1 memiliki margin yang sehat (1,82), sedangkan D2 paling fleksibel dengan margin tertipis (1,39) dan perpindahan arah-Y terbesar (237 mm) sehingga paling sensitif terhadap pengetatan kriteria. Pola serupa terlihat pada rasio kapasitas/permintaan kolom pada rasio tulangan 1,5% (φ = 0,65; faktor 0,80 untuk kolom sengkang menurut SNI 2847:2019 Pasal 22.4.2), yaitu 2,38 (D1), 1,67 (D2), dan 2,48 (D3).

Tabel 4. Perbandingan kriteria ketahanan gempa

Parameter	D1	D2	D3
Rasio simpangan rata-rata (UY/H)	0,0082	0,0108	0,0065
Batas simpangan izin	0,0150	0,0150	0,0150
Rasio kapasitas/permintaan simpangan	1,82	1,39	2,29
Rasio C/D kolom (ρ = 1,5%)	2,38	1,67	2,48
Status	AMAN	AMAN	AMAN

Sumber: hasil pengolahan data, 2026

Pemeriksaan balok terhadap SNI 2847:2019 menunjukkan seluruh balok pada ketiga alternatif berstatus memenuhi syarat (PASS). Tinggi seluruh penampang melampaui tebal minimum L/16 = 388 mm untuk bentang terpanjang 6.200 mm dengan margin +29% (D1), +16% (D2), dan +55% (D3), sedangkan lebar balok primer SRPMK memenuhi Pasal 18.6.2.1. Lendutan vertikal maksimum sebesar 12 mm (D1), 11 mm (D2), dan 8 mm (D3) berada di bawah batas layan L/480 = 12,92 mm. Perlu dicatat bahwa lendutan balok tepi D1 mencapai sekitar 93% dari batas layan sehingga menjadi perhatian pada verifikasi jangka panjang.

Efisiensi Material dan Perbandingan RAB

Kuantitas material ditarik langsung dari model Revit dan dirangkum pada Tabel 5. D2 merupakan alternatif paling efisien dengan berat total material 1.575.732 kg, sementara D1 lebih berat 15,8% dan D3 lebih berat 40,5% terhadap D2. Penambahan material D3 yang besar mencerminkan penampang yang berlebih relatif terhadap kebutuhan beban gedung.

Tabel 5. Perbandingan kuantitas material

Parameter	Satuan	D1	D2	D3
Volume beton	m^3	706,38	604,47	858,63
Berat beton	kg	1.695.317	1.450.737	2.060.710
Berat tulangan	kg	128.762	124.995	153.807
Berat total material	kg	1.824.079	1.575.732	2.214.518
Selisih terhadap termurah	%	+15,8	acuan	+40,5

Sumber: hasil pemodelan Autodesk Revit, 2026

Penyusunan RAB berbasis AHSP Kota Kediri menghasilkan perbandingan pada Tabel 6. RAB perencanaan awal (D1) sebesar Rp4.433.656.450,00. Alternatif D2 menghasilkan RAB Rp4.158.541.908,00 atau 6,2% lebih rendah daripada D1, sedangkan D3 mencapai Rp5.156.156.668,00 atau 16,3% lebih tinggi. Selisih biaya D3 terhadap D2 hampir mencapai satu miliar rupiah untuk tambahan keamanan yang melebihi kebutuhan.

Tabel 6. Perbandingan Rencana Anggaran Biaya (AHSP Kota Kediri)

Komponen	D1	D2	D3
Pekerjaan beton	Rp 869.485.943	Rp 744.046.583	Rp 1.056.886.833
Pekerjaan pembesian	Rp 2.047.311.535	Rp 1.987.426.468	Rp 2.445.535.225
Pekerjaan bekisting	Rp 1.516.858.972	Rp 1.427.068.857	Rp 1.653.734.610
Total RAB	**Rp 4.433.656.450**	**Rp 4.158.541.908**	**Rp 5.156.156.668**
Selisih terhadap D1	acuan	−6,2%	+16,3%

Sumber: hasil pengolahan data, 2026

Matriks Keputusan Terbobot

Skor mentah tiap kriteria mengikuti hasil analisis pada subbab sebelumnya: pada ketahanan gempa D1 = 4, D2 = 2, D3 = 5; pada kekuatan struktur D1 = 4, D2 = 3, D3 = 5; sedangkan pada efisiensi material maupun efisiensi biaya D2 = 5, D1 = 3, D3 = 1. Hasil pembobotan disajikan pada Tabel 7.

Tabel 7. Matriks keputusan terbobot

Kriteria	Bobot	D1	D2	D3
A. Ketahanan gempa	0,30	4 (1,20)	2 (0,60)	5 (1,50)
B. Kekuatan struktur	0,30	4 (1,20)	3 (0,90)	5 (1,50)
C. Efisiensi material	0,20	3 (0,60)	5 (1,00)	1 (0,20)
D. Efisiensi biaya	0,20	3 (0,60)	5 (1,00)	1 (0,20)
Total skor tertimbang	**1,00**	**3,60**	**3,50**	**3,40**
Persentase (skor ÷ 5)	—	72%	70%	68%
Peringkat akhir	—	1	2	3

Sumber: hasil pengolahan data, 2026

Angka dalam tanda kurung menyatakan skor terbobot (skor × bobot). D1 memperoleh total tertinggi, yaitu 3,60 atau setara 72%, mengungguli D2 (3,50; 70%) dan D3 (3,40; 68%). Tabel 7 memperlihatkan pola trade-off yang jelas: D3 unggul mutlak pada kedua aspek keselamatan tetapi terlemah pada kedua aspek efisiensi, D2 menunjukkan pola sebaliknya, sedangkan D1 tidak menjadi yang terbaik pada satu aspek pun namun konsisten memperoleh skor tinggi-menengah tanpa kelemahan ekstrem. Rentang total yang sempit (3,40–3,60) menunjukkan ketiganya sama-sama layak, tetapi D1 tampil sebagai titik optimum karena paling seimbang terhadap bobot yang ditetapkan.

Pembahasan

Keunggulan D1 bersumber dari keseimbangannya. D1 aman secara seismik dengan margin yang memadai (C/D = 1,82) sehingga terhindar dari dua kelemahan ekstrem, yaitu margin tertipis pada D2 (1,39) yang kurang ideal untuk bangunan Kategori Risiko III dan kapasitas berlebih (over-design) pada D3 (2,29) yang harus dibayar dengan pemborosan material 40,5% serta biaya 24,0% terhadap opsi termurah. Dengan biaya hanya 6,2% di atas D2 namun keandalan struktural lebih baik dan telah teruji di lapangan, D1 ditetapkan sebagai dimensi struktur paling optimal untuk dilaksanakan.

Temuan bahwa alternatif optimal justru merupakan perencanaan awal memberikan makna penting: implementasi BIM berbasis AI tidak semata-mata dimaksudkan menghasilkan desain yang lebih murah, melainkan menyediakan dasar pengambilan keputusan yang transparan, terukur, dan tertelusur atas pertukaran (trade-off) antara biaya dan keselamatan. Tanpa proses ini, klaim bahwa desain eksisting sudah optimal hanya bersandar pada pengalaman; dengan proses ini, klaim tersebut terkuantifikasi. Hasil ini sejalan dengan Sherif et al. (2022) yang menunjukkan bahwa otomatisasi desain dan biaya berbasis BIM mempercepat evaluasi banyak alternatif, sekaligus memperluas studi Siboro et al. (2023) dan Supiansyah (2024) yang berhenti pada integrasi pemodelan–analisis–estimasi, dengan menambahkan lapisan keputusan multikriteria berbantuan AI. Akurasi kuantitas yang menjadi dasar perbandingan biaya juga konsisten dengan temuan Anjani et al. (2022) karena seluruh volume ditarik langsung dari model tiga dimensi.

Beberapa catatan tetap perlu diperhatikan. Pertama, AI dalam penelitian ini berperan sebagai alat bantu, bukan pengganti insinyur (Effendi & Satwiko, 2021); seluruh keluaran divalidasi terhadap standar dan keputusan akhir berada pada perencana. Penyusunan prompt yang netral beserta instruksi sistem yang menekankan objektivitas diperlukan untuk menghindari kecenderungan keluaran yang membenarkan harapan penulis. Kedua, sebelum konstruksi perlu dilakukan pemeriksaan simpangan antartingkat secara eksplisit dengan faktor amplifikasi Cd dan faktor keutamaan Ie, verifikasi faktor redundansi (ρ = 1,3 untuk Kategori Desain Seismik D kecuali persyaratan SNI 1726:2019 Pasal 7.3.4.2 terpenuhi), serta pemastian komponen gempa vertikal. Ketiga, lendutan balok tepi D1 yang mendekati batas layan menuntut verifikasi lendutan jangka panjang dengan memperhitungkan rangkak dan susut beton, sementara kepadatan tulangan D2 yang tinggi (207 kg/m³) berpotensi menimbulkan kongesti pada pelaksanaan pengecoran. Keempat, karena RSAP masih relatif jarang digunakan di lapangan, komparasi hasil dengan perangkat lunak yang lebih mapan seperti SAP2000 disarankan untuk memperkuat validitas.

KESIMPULAN

Implementasi BIM berbasis AI dilakukan dengan mengintegrasikan Autodesk Revit sebagai basis pemodelan, enam script Dynamo sebagai sistem otomatisasi, RSAP sebagai perangkat analisis struktur, dan AI sebagai sistem pendukung keputusan. Otomatisasi terbukti mempercepat pemodelan dan meminimalkan kesalahan input manual, sedangkan analisis struktur menunjukkan ketiga alternatif memenuhi persyaratan SNI dengan partisipasi massa kumulatif lebih dari 90% dan seluruh balok berstatus memenuhi syarat. Matriks keputusan terbobot empat kriteria menetapkan D1 (Existing Design) sebagai alternatif paling optimal dengan skor 3,60 (72%), mengungguli D2 (3,50) dan D3 (3,40), karena paling seimbang antara keselamatan dan efisiensi: aman secara seismik dengan rasio kapasitas/permintaan 1,82 tanpa margin tipis seperti D2 (1,39) maupun kapasitas berlebih seperti D3 (2,29).

Dari sisi biaya, RAB perencanaan awal (D1) sebesar Rp4.433.656.450,00; alternatif D2 lebih rendah 6,2% tetapi memiliki margin keamanan seismik paling tipis sehingga kurang sesuai untuk bangunan Kategori Risiko III, sedangkan D3 lebih tinggi 16,3% karena kapasitas yang berlebih. Hasil optimasi dengan demikian memvalidasi perencanaan awal sebagai titik keseimbangan terbaik antara biaya dan keselamatan, sekaligus menunjukkan bahwa BIM berbasis AI memberikan dasar pengambilan keputusan yang transparan dan terukur. Penelitian selanjutnya disarankan melakukan pemeriksaan simpangan antartingkat dan lendutan jangka panjang sebelum konstruksi, memastikan kaidah pendetailan SRPMK termasuk prinsip kolom kuat–balok lemah, membandingkan hasil RSAP dengan perangkat lunak lain seperti SAP2000, serta memperluas lingkup hingga struktur bawah dan pekerjaan arsitektur, mekanikal, elektrikal, dan plumbing agar diperoleh estimasi biaya bangunan secara menyeluruh.

DAFTAR PUSTAKA

American Concrete Institute. (2014). *ACI 318M-14: Building code requirements for structural concrete and commentary*. American Concrete Institute.

American Society of Civil Engineers. (2016). *ASCE/SEI 7-16: Minimum design loads and associated criteria for buildings and other structures*. American Society of Civil Engineers.

Anjani, A., Bayzoni, Husni, H. R., & Niken, C. (2022). Penerapan building information modelling (BIM) menggunakan software Autodesk Revit pada Gedung 4 Rumah Sakit Pendidikan Perguruan Tinggi Negeri (RSPTN) Universitas Lampung. *JRSDD, 10*(1), 87–98.

Badan Standardisasi Nasional. (2019a). *SNI 1726:2019: Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan nongedung*. Badan Standardisasi Nasional.

Badan Standardisasi Nasional. (2019b). *SNI 2847:2019: Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung dan penjelasan*. Badan Standardisasi Nasional.

Badan Standardisasi Nasional. (2020). *SNI 1727:2020: Beban desain minimum dan kriteria terkait untuk bangunan gedung dan struktur lain*. Badan Standardisasi Nasional.

Direktorat Jenderal Bina Konstruksi. (2025). *Surat Edaran Direktur Jenderal Bina Konstruksi Nomor 30/SE/Dk/2025 tentang tata cara penyusunan perkiraan biaya pekerjaan konstruksi bidang pekerjaan umum dan perumahan rakyat: Lampiran VI Analisis Harga Satuan Pekerjaan (AHSP)*. Kementerian Pekerjaan Umum.

Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., & Liston, K. (2018). *BIM handbook: A guide to building information modelling for owners, designers, engineers, contractors, and facility managers* (3rd ed.). John Wiley & Sons.

Effendi, A. C., & Satwiko, P. (2021). Peran artificial intelligence dalam tahap perencanaan dan perancangan desain arsitektur. *JoDA (Journal of Digital Architecture), 1*(1), 52–59.

Friastri, S., & Setiawan, A. (2024). Systematic literature review: Peranan metode BIM dalam integrated project delivery (IPD) untuk mencapai triple constraint. *Jurnal Rekayasa Konstruksi Mekanika Sipil, 7*(1), 39–46. https://doi.org/10.54367/jrkms.v7i1.3182

Kensek, K. M. (2014). Integration of environmental sensors with BIM: Case studies using Arduino, Dynamo, and the Revit API. *Informes de la Construcción, 66*(536), e044. https://doi.org/10.3989/ic.13.151

Kinasih, A. L., & Sucipto. (2023). Analisa rencana anggaran pelaksanaan terhadap rencana anggaran biaya pada pekerjaan struktur bawah proyek Rumah Sakit Universitas Surabaya. *Composite: Journal of Civil Engineering, 3*(1), 40–48.

Putra, A. M. A., & Herzanita, A. (2022). Identifikasi parameter input estimasi biaya pada BIM (building information modelling). *Jurnal Artesis, 2*(1), 54–60.

Putra, W. D. (2025). Penerapan building information modelling (BIM) dalam manajemen proyek konstruksi (literature review). *Jurnal Teknik Sipil MACCA, 10*(1), 85–90.

Rocha, G., & Mateus, L. (2024). Using Dynamo for automatic reconstruction of BIM elements from point clouds. *Applied Sciences, 14*(10), 4078. https://doi.org/10.3390/app14104078

Sherif, M., Elbeltagi, E., & Hosny, O. (2022). Automated BIM-based structural design and cost optimization model for reinforced concrete buildings. *Journal of Construction Engineering and Management, 148*(10), 04022092.

Siboro, T. A., Fajri, H., & Firdasari. (2023). Implementasi BIM dalam estimasi QTO, RAB, dan analisis struktur menggunakan Revit dan Robot Structural Analysis (Gedung Asrama MAN 1 Langsa). *PRINCE, 2*(3), 274–288.

Supiansyah, A. (2024). *Implementasi building information modelling (BIM) dalam perencanaan struktur gedung kampus Jakarta Global University menggunakan Autodesk Robot Structural Analysis Professional dan Autodesk Revit* [Skripsi, Jakarta Global University].