



Department of Digital Business

Journal of Artificial Intelligence and Digital Business (RIGGS)

Homepage: <https://journal.ilmudata.co.id/index.php/RIGGS>

Vol. 5 No. 2 (2026) pp: 21826- 21833

P-ISSN: 2963-9298, e-ISSN: 2963-914X

Analisis Volume Bekisting Pilar Jembatan Menggunakan Dynamo Revit pada Proyek Jalan Tol

Miguel Aryo Neshano Pratama^{1*}, Muhammad Faizal Ardhiansyah Arifin²

¹²Program Studi S1 Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang

*miguelneshano@students.unnes.ac.id

Abstrak

Pembangunan infrastruktur jembatan di Indonesia terus berkembang seiring meningkatnya kebutuhan konektivitas, khususnya pada proyek jalan tol yang memerlukan estimasi material secara akurat. Bekisting pilar jembatan merupakan salah satu komponen dengan proporsi biaya yang signifikan sehingga ketepatan perhitungan volumenya berpengaruh terhadap efisiensi anggaran proyek. Metode konvensional berbasis gambar dua dimensi masih banyak digunakan, namun membutuhkan waktu yang relatif lama dan rentan terhadap kesalahan manusia, terutama pada elemen dengan geometri kompleks seperti kolom bertahap, pier head tipe hammerhead, dan haunch. Penelitian ini bertujuan menganalisis volume bekisting pilar jembatan menggunakan integrasi Autodesk Revit 2026 dan Dynamo for Revit 3.6.1.2665 serta membandingkan akurasi dan efisiensi waktunya dengan metode manual. Pemodelan tiga dimensi dilakukan pada elemen kolom, pier head, dan haunch berdasarkan gambar kerja proyek jalan tol aktual. Selanjutnya, skrip visual programming pada Dynamo dikembangkan untuk mengekstraksi luas permukaan bekisting secara otomatis dan mengeksport hasilnya ke Microsoft Excel. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode Dynamo menghasilkan total luas bekisting sebesar 290,60 m² dengan deviasi rata-rata 0,07% dibandingkan metode manual sebesar 290,80 m². Deviasi maksimum terjadi pada komponen haunch sebesar 0,43%, sedangkan komponen lainnya menunjukkan deviasi 0,00%. Dari sisi efisiensi waktu, penggunaan Dynamo mampu mengurangi waktu pengerjaan dari 180 menit menjadi 85 menit atau lebih cepat sebesar 52,8%, dengan efisiensi tertinggi pada proses perhitungan luas permukaan mencapai 88,9%. Dengan demikian, integrasi Revit dan Dynamo terbukti akurat, efektif, dan efisien untuk mendukung digitalisasi quantity take-off pada proyek konstruksi jembatan.

Kata Kunci: BIM, Bekisting, Dynamo Revit, Pilar Jembatan, Volume Otomatis, Quantity Take-Off

1. Latar Belakang

Perkembangan infrastruktur transportasi di Indonesia mengalami percepatan yang signifikan dalam satu dekade terakhir. Data Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (PUPR) menunjukkan bahwa jaringan jalan tol Indonesia terus bertambah, dengan target 4.700 km hingga tahun 2030. Pembangunan jalan tol secara inheren memerlukan konstruksi jembatan dalam jumlah besar, mengingat kondisi topografi dan geografis Indonesia yang beragam. Jembatan sebagai sarana penghubung antardaerah tidak hanya berfungsi sebagai infrastruktur fisik, tetapi juga sebagai katalis pertumbuhan ekonomi regional yang menuntut kualitas konstruksi tinggi dan efisiensi anggaran yang terukur.

Dalam sistem struktur jembatan, pilar merupakan elemen vertikal utama yang menyalurkan beban dari bangunan atas (superstructure) ke pondasi (substructure). Fungsi struktural pilar yang kritis menjadikan proses konstruksinya harus dilakukan dengan presisi tinggi, mulai dari perencanaan, pemodelan, hingga pelaksanaan di lapangan. Salah satu aspek paling menentukan dalam pelaksanaan konstruksi pilar adalah proses bekisting, yaitu cetakan sementara yang digunakan untuk menahan beton segar hingga mencapai kekuatan rencana. Menurut Huszár & Lublóy (2021), biaya bekisting pada elemen struktur beton dapat mencapai 16% hingga 41% dari total biaya pekerjaan beton, tergantung pada bentuk struktur dan kompleksitas geometri. Mengingat proporsi biaya yang besar ini, akurasi dalam perhitungan volume bekisting memiliki dampak langsung yang signifikan terhadap estimasi biaya dan efisiensi anggaran proyek secara keseluruhan.

Kompleksitas geometri pilar jembatan tol, yang umumnya terdiri dari kolom bertingkat (multi-phase), pier head tipe hammerhead atau T, serta zona haunch sebagai penghubung transisi, menyebabkan perhitungan volume bekisting menjadi jauh lebih rumit dibandingkan elemen kolom gedung konvensional. Metode konvensional berbasis gambar 2D mengharuskan insinyur untuk melakukan dekomposisi geometri secara manual, memasukkan dimensi satu per satu ke dalam tabel spreadsheet, dan melakukan verifikasi berulang. Proses ini tidak hanya memakan waktu yang panjang—menurut estimasi praktisi, rata-rata 2 hingga 3 jam per pilar—tetapi juga rentan terhadap kesalahan manusia dengan tingkat error yang dapat mencapai 5% hingga 10% pada perhitungan kompleks. Kesalahan estimasi yang terakumulasi pada proyek skala besar dengan puluhan pilar dapat mengakibatkan pembengkakan biaya yang signifikan atau, sebaliknya, kekurangan anggaran yang menghambat pelaksanaan proyek.

Penelitian-penelitian terdahulu telah mengeksplorasi potensi Building Information Modeling (BIM) sebagai solusi atas keterbatasan metode konvensional. Pham et al. (2024) menunjukkan bahwa penerapan BIM pada Autodesk Revit mampu meningkatkan efisiensi estimasi kuantitas material melalui integrasi data yang akurat dan terkoordinasi. Smith (2014) menegaskan bahwa implementasi BIM secara signifikan memperkuat pengambilan keputusan pada tahap perencanaan hingga pelaksanaan proyek konstruksi. Das et al. (2025) melaporkan bahwa implementasi BIM dapat mengurangi durasi pelaksanaan proyek hingga 20% dan menurunkan biaya sekitar 15% melalui peningkatan koordinasi antardisiplin. Arifin et al. (2025) secara spesifik membuktikan bahwa integrasi Revit dan Dynamo dapat menghasilkan perhitungan volume bekisting secara otomatis dengan akurasi tinggi, dengan selisih nol persen terhadap metode manual pada studi kasus bekisting kolom gedung bertingkat. Akcamete et al. (2020) memperkuat temuan tersebut dengan menunjukkan bahwa metode otomatisasi estimasi bekisting berbasis Revit–Dynamo lebih cepat dan konsisten dibandingkan metode manual konvensional. Weng et al. (2021) juga mendemonstrasikan penggunaan skrip Dynamo untuk ekstraksi informasi BIM secara efisien pada pencetakan beton digital.

Meskipun demikian, sebagian besar penelitian yang telah dilakukan berfokus pada elemen bangunan gedung, sementara penerapan metodologi BIM dan Dynamo Revit secara spesifik pada pilar jembatan tol dengan geometri kompleks masih sangat terbatas. Penelitian yang membahas kombinasi kolom multifase, pier head hammerhead, dan haunch dalam satu framework otomatis belum banyak ditemukan dalam literatur yang ada. Kesenjangan penelitian (research gap) ini menjadi dasar dan motivasi utama penelitian ini untuk mengisi kekosongan tersebut dengan memberikan bukti empiris pada domain infrastruktur jembatan tol.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini merumuskan tiga pertanyaan utama: (1) Bagaimana pemodelan tiga dimensi pilar jembatan tol yang terdiri dari kolom, pier head, dan haunch dapat dilakukan menggunakan Autodesk Revit 2026? (2) Bagaimana tingkat akurasi perhitungan volume bekisting pilar jembatan menggunakan metode Dynamo Revit dibandingkan metode manual konvensional? (3) Seberapa besar efisiensi waktu yang dapat diperoleh melalui penerapan metode Dynamo Revit pada perhitungan volume bekisting pilar jembatan?

Penelitian ini bertujuan untuk: (1) melakukan pemodelan tiga dimensi pilar jembatan tol menggunakan Autodesk Revit 2026 berdasarkan gambar kerja aktual; (2) menganalisis dan membandingkan akurasi hasil perhitungan volume bekisting antara metode Dynamo Revit dan metode manual konvensional; serta (3) mengukur dan membandingkan efisiensi waktu pengerjaan antara kedua metode tersebut. Secara praktis, penelitian ini diharapkan memberikan manfaat bagi praktisi konstruksi sebagai referensi dalam mengadopsi otomatisasi BIM, bagi akademisi sebagai kontribusi empiris pada literatur BIM infrastruktur, serta bagi mahasiswa teknik sipil sebagai panduan implementasi Dynamo Revit pada proyek infrastruktur nyata.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif deskriptif yang bersifat komparatif. Data diperoleh melalui pemodelan tiga dimensi berbasis BIM menggunakan Autodesk Revit 2026 dan Dynamo for Revit 3.6.1.2665. Proses penelitian dilaksanakan dalam empat tahapan utama yang sistematis: (1) tahap perencanaan, yang mencakup studi literatur dan pengumpulan data gambar kerja; (2) tahap pelaksanaan, yang meliputi pemodelan 3D di Revit dan pengembangan skrip Dynamo; (3) tahap analisis data, yang mencakup perbandingan hasil perhitungan dan analisis statistik; serta (4) tahap pelaporan hasil. Penelitian ini tergolong dalam jenis penelitian terapan (applied research) yang berorientasi pada pemecahan masalah praktis di lapangan.

2.1. Objek dan Data Penelitian

Objek penelitian adalah komponen bekisting pilar jembatan tol yang terdiri dari tiga elemen utama: kolom, pier head tipe hammerhead, dan haunch. Subjek penelitian adalah proses perhitungan volume bekisting menggunakan dua metode yang diperbandingkan. Data primer yang digunakan adalah gambar kerja (shop drawing) pilar jembatan tol dan dokumentasi teknis lapangan. Data sekunder diperoleh dari spesifikasi teknis dokumen perencanaan, literatur BIM, dan standar konstruksi yang relevan. Keidentikan data antara kedua metode yang dibandingkan dijaga secara ketat untuk memastikan validitas perbandingan.

Tabel 1. Jenis dan Sumber Data Penelitian

No	Jenis Data	Sumber Data	Keterangan
1	Gambar kerja pilar jembatan	Proyek jalan tol (primer)	Shop drawing kolom, pier head, haunch
2	Spesifikasi teknis material	Dokumen perencanaan (sekunder)	Mutu beton, dimensi elemen
3	Data BIM referensi	Literatur & jurnal (sekunder)	Arifin et al. 2025, Pham et al. 2024
4	Hasil perhitungan manual	Peneliti (primer)	Baseline perbandingan
5	Output Dynamo Revit	Software (primer)	Hasil otomatisasi ekstraksi

2.2. Perangkat Keras dan Lunak

Perangkat keras yang digunakan dalam penelitian ini adalah laptop MSI Thin 14 dengan spesifikasi sebagai berikut: prosesor Intel Core i5-11400H, RAM 8 GB DDR4, penyimpanan SSD 512 GB, dan kartu grafis NVIDIA GeForce RTX 3050 4 GB. Spesifikasi ini memenuhi persyaratan minimum untuk menjalankan Autodesk Revit 2026 secara optimal. Perangkat lunak utama yang digunakan adalah Autodesk Revit 2026 untuk pemodelan BIM tiga dimensi, Dynamo for Revit 3.6.1.2665 untuk pengembangan skrip visual programming, dan Microsoft Excel 2021 untuk pengolahan dan verifikasi data hasil perhitungan.

2.3. Pemodelan Pilar Jembatan di Autodesk Revit

Pemodelan pilar jembatan dilakukan menggunakan Autodesk Revit 2026 berdasarkan gambar kerja yang tersedia dari proyek jalan tol aktual. Sebelum memulai pemodelan, dilakukan pengaturan proyek yang mencakup penetapan satuan metrik, level referensi, dan sistem koordinat global. Pemodelan dimulai dari elemen kolom sebagai elemen dasar, dilanjutkan dengan pier head, dan terakhir haunch sebagai zona transisi.

Elemen kolom dimodelkan sebagai family structural column dengan dimensi penampang 3,6 m × 2,5 m. Kolom terdiri atas tiga fase pengecoran (casting phase), masing-masing dengan tinggi 2,5 m sehingga tinggi total kolom mencapai 7,5 m. Pembagian tiga fase ini merepresentasikan praktik lapangan di mana pengecoran beton dilakukan secara bertahap untuk menghindari tekanan bekisting yang berlebihan. Setiap fase dimodelkan sebagai elemen terpisah dengan parameter bekisting (formwork) yang dikonfigurasi secara independen, memungkinkan ekstraksi luas permukaan per fase yang akurat.

Elemen pier head tipe hammerhead dimodelkan menggunakan family generic model dengan dimensi total panjang 8,5 m, lebar 2,5 m, dan tinggi 2,0 m. Bentuk hammerhead yang karakteristik ditambahkan melalui void form untuk menciptakan geometri yang sesuai dengan gambar kerja. Elemen haunch dimodelkan sebagai zona transisi antara puncak kolom dan dasar pier head, dengan geometri yang menyesuaikan pertemuan kedua komponen tersebut. Semua elemen dimodelkan dengan parameter Material yang ditetapkan sebagai beton (Concrete), sehingga sistem BIM dapat mengidentifikasi dan mengklasifikasikan elemen-elemen tersebut secara otomatis.

2.4. Pengembangan Skrip Dynamo

Setelah model pilar jembatan selesai dibuat di Revit, skrip visual programming dikembangkan menggunakan Dynamo for Revit 3.6.1.2665. Skrip ini dirancang untuk mengotomatisasi proses ekstraksi data luas permukaan bekisting dari model, sehingga mengeliminasi kebutuhan input manual yang rentan terhadap kesalahan. Pengembangan skrip mengikuti prinsip modular, di mana setiap kelompok node menangani fungsi spesifik yang dapat dimodifikasi secara independen.

Alur kerja skrip Dynamo dibangun melalui node-node yang terhubung secara logis. Tahap pertama adalah pengumpulan elemen menggunakan node All Elements of Category untuk mengidentifikasi seluruh elemen bekisting dalam model Revit. Tahap kedua adalah ekstraksi parameter menggunakan node Element.GetParameterValueByName untuk mengambil nilai parameter luas permukaan (Area) dari setiap elemen. Tahap ketiga adalah pengelompokan dan akumulasi menggunakan node List.GroupByKey untuk mengklasifikasikan hasil berdasarkan nama komponen. Tahap keempat adalah ekspor menggunakan node Data.ExportExcel untuk mengeksport hasil akhir ke lembar kerja Microsoft Excel secara otomatis. Keunggulan utama arsitektur skrip ini adalah kemampuan pembaruan otomatis: setiap kali dimensi model Revit direvisi, menjalankan ulang skrip Dynamo akan langsung menghasilkan nilai yang diperbarui tanpa perlu intervensi manual.

2.5. Metode Perbandingan dan Analisis Data

Perbandingan dilakukan antara hasil perhitungan Dynamo Revit dan hasil perhitungan manual konvensional. Metode manual dilaksanakan oleh peneliti yang sama menggunakan rumus geometri analitis berdasarkan gambar 2D dan Microsoft Excel, untuk memastikan konsistensi dan mengeliminasi bias komparator. Aspek yang dibandingkan mencakup dua dimensi: (1) akurasi hasil perhitungan volume bekisting dalam satuan m³, dan (2) efisiensi waktu pengerjaan dalam satuan menit untuk setiap tahapan proses.

Luas permukaan bekisting kolom persegi panjang dihitung berdasarkan rumus keliling penampang dikalikan tinggi per fase, sebagai berikut:

$$A = 2 \times (p + l) \times t \dots\dots\dots (1)$$

di mana A adalah luas permukaan bekisting (m²), p adalah panjang penampang kolom (m), l adalah lebar penampang kolom (m), dan t adalah tinggi per fase pengecoran (m). Dengan p = 3,6 m, l = 2,5 m, dan t = 2,5 m per fase, luas bekisting lateral per fase adalah 30,50 m², sehingga luas lateral total untuk tiga fase adalah 91,50 m². Luas tutup atas dan bawah per fase sebesar 3,6 × 2,5 = 9,0 m², total tutup untuk tiga fase adalah 52,50 m², menjadikan total luas bekisting kolom keseluruhan sebesar 144,00 m².

Persentase deviasi antara kedua metode dihitung menggunakan rumus:

$$\text{Deviasi (\%)} = |V_{\text{manual}} - V_{\text{Dynamo}}| / V_{\text{manual}} \times 100\% \dots\dots (2)$$

di mana V_{manual} adalah hasil perhitungan volume bekisting dengan metode manual (m^2) dan V_{Dynamo} adalah hasil perhitungan volume bekisting dengan metode Dynamo Revit (m^2). Persentase efisiensi waktu dihitung sebagai:

$$\text{Efisiensi (\%)} = (T_{\text{manual}} - T_{\text{Dynamo}}) / T_{\text{manual}} \times 100\% \dots\dots\dots (3)$$

di mana T_{manual} adalah total waktu pengerjaan dengan metode manual (menit) dan T_{Dynamo} adalah total waktu pengerjaan dengan metode Dynamo Revit (menit).

3. Hasil Dan Diskusi

Bagian ini menyajikan hasil penelitian mencakup tiga aspek utama: hasil pemodelan tiga dimensi pilar jembatan di Autodesk Revit, hasil pengembangan dan eksekusi skrip Dynamo, serta perbandingan efektivitas antara metode Dynamo Revit dengan metode manual dari segi akurasi dan efisiensi waktu.

3.1. Hasil Pemodelan Revit

Pemodelan tiga dimensi pilar jembatan di Autodesk Revit 2026 berhasil dilakukan sesuai spesifikasi gambar kerja. Model mencakup tiga elemen utama yang saling terintegrasi dalam satu model proyek Revit: kolom tiga fase, pier head hammerhead, dan haunch. Setiap elemen dimodelkan dengan parameter yang terstruktur, termasuk dimensi geometri, kategori material, dan fase konstruksi. Model menampilkan akurasi geometri yang tinggi karena dibangun langsung berdasarkan data gambar kerja teknik, tanpa interpolasi atau asumsi tambahan.

Elemen kolom berhasil dimodelkan dalam tiga fase terpisah dengan parameter bekisting aktif di setiap fase. Pier head hammerhead dimodelkan dengan kombinasi solid form dan void form untuk menghasilkan geometri yang presisi sesuai gambar kerja. Haunch sebagai zona transisi dimodelkan menggunakan pendekatan swept blend yang menggabungkan profil penampang kolom dengan profil dasar pier head. Model 3D yang dihasilkan memungkinkan visualisasi yang komprehensif dan dapat langsung digunakan sebagai sumber data untuk skrip Dynamo.

3.2. Hasil Skrip Dynamo

Skrip Dynamo for Revit berhasil dikembangkan dengan empat modul fungsional utama. Modul pengumpulan elemen berhasil mengidentifikasi dan mengklasifikasikan seluruh 49 elemen bekisting dalam model (3 kolom + 1 pier head + 1 haunch + 10 u-head tipe 2 + 30 u-head tipe 3 + 4 scaffold). Modul ekstraksi parameter berhasil membaca nilai parameter Area dari setiap elemen secara akurat. Modul pengelompokan mengklasifikasikan elemen berdasarkan nama family dan type, menghasilkan enam kategori komponen. Modul ekspor berhasil mengirimkan data ke Microsoft Excel dalam format tabel terstruktur secara otomatis.

Waktu eksekusi skrip Dynamo untuk seluruh proses ekstraksi data—dari pembacaan model hingga ekspor ke Excel—adalah kurang dari 5 menit. Kemampuan parametrik skrip ini memungkinkan pembaruan hasil secara real-time apabila terdapat revisi pada dimensi model Revit, yang merupakan keunggulan signifikan dibandingkan metode manual yang memerlukan pengulangan seluruh proses perhitungan dari awal setiap kali ada perubahan desain.

3.3. Perbandingan Hasil Perhitungan Volume Bekisting

Tabel 2 menyajikan perbandingan lengkap hasil perhitungan volume bekisting antara metode manual dan metode Dynamo Revit untuk setiap komponen pilar jembatan.

Tabel 2. Perbandingan Volume Bekisting antara Metode Manual dan Metode Dynamo Revit

Komponen Bekisting	Jumlah	Luas Manual (m^2)	Luas Dynamo (m^2)	Selisih (%)
My Column formwork	3 fase	144,00	144,00	0,00
PIER HEAD formwork	1	87,50	87,38	0,14
Haunch formwork	1	18,60	18,52	0,43
u head migel 2	10	12,50	12,50	0,00
u head migel 3	30	18,00	18,00	0,00
Scaffold with couplers	4	10,20	10,20	0,00
Total Keseluruhan	—	290,80	290,60	0,07

Berdasarkan Tabel 2, hasil perhitungan Dynamo Revit menunjukkan tingkat akurasi yang sangat tinggi terhadap metode manual. Komponen kolom (My Column formwork) dan tiga komponen lainnya (u head migel 2, u head migel 3, scaffold) menunjukkan deviasi 0,00%, yang berarti nilai yang diekstraksi Dynamo identik dengan perhitungan manual. Deviasi terbesar terjadi pada komponen haunch sebesar 0,43%, disusul pier head sebesar

0,14%. Perbedaan kecil ini disebabkan oleh perbedaan metode pembulatan nilai desimal dalam perhitungan manual dibandingkan presisi floating-point yang digunakan oleh Revit dan Dynamo.

Secara keseluruhan, total luas bekisting dari metode Dynamo adalah 290,60 m², sementara metode manual menghasilkan 290,80 m², dengan deviasi rata-rata hanya 0,07%. Tingkat akurasi yang sangat tinggi ini konsisten dengan temuan Arifin et al. (2025) yang melaporkan selisih 0% pada perhitungan bekisting kolom gedung menggunakan metode serupa, serta temuan Khosakitchalert et al. (2019) yang menunjukkan bahwa akurasi BIM untuk elemen kompleks dapat ditingkatkan melalui pemodelan family yang tepat. Valinejadshoubi et al. (2024) juga menegaskan bahwa sistem otomatis berbasis BIM memberikan akurasi yang lebih tinggi dan konsisten dibanding metode manual, terutama untuk elemen dengan geometri kompleks.

3.4. Perbandingan Efisiensi Waktu Pengerjaan

Tabel 3 menyajikan perbandingan waktu pengerjaan per tahapan antara metode manual dan metode Dynamo Revit.

Tabel 3. Perbandingan Waktu Pengerjaan antara Metode Manual dan Metode Dynamo Revit

Tahapan Pekerjaan	Manual (menit)	Dynamo Revit (menit)	Penghematan (%)
Interpretasi gambar kerja	30	30	0,0
Input dimensi & pemodelan	90	45	50,0
Perhitungan luas permukaan	45	5	88,9
Verifikasi & rekap data	15	5	66,7
Total Waktu	180	85	52,8

Data pada Tabel 3 menunjukkan bahwa metode Dynamo Revit mampu mempersingkat total waktu pengerjaan sebesar 52,8%, dari 180 menit menjadi 85 menit. Efisiensi terbesar terjadi pada tahap perhitungan luas permukaan, di mana Dynamo hanya membutuhkan 5 menit dibandingkan 45 menit pada metode manual, menghasilkan penghematan 88,9%. Hal ini karena Dynamo mengekstraksi nilai parameter luas secara otomatis dari model 3D tanpa memerlukan input ulang data dimensi. Tahap verifikasi dan rekap data juga menunjukkan efisiensi tinggi sebesar 66,7%, karena output Dynamo sudah terstruktur dalam format Excel yang siap dianalisis. Satu-satunya tahapan yang tidak menunjukkan penghematan adalah interpretasi gambar kerja (30 menit), karena tahapan ini merupakan proses kognitif yang sama untuk kedua metode.

Temuan ini sejalan dengan Pham et al. (2024) yang melaporkan bahwa sistem BIM otomatis secara signifikan mengurangi waktu perencanaan kebutuhan material beton dan bekisting. Das et al. (2025) juga melaporkan bahwa BIM dapat mengurangi durasi proyek hingga 20% secara keseluruhan. Selain efisiensi waktu yang terukur, terdapat keunggulan tambahan yang tidak terrefleksikan dalam perbandingan waktu di atas, yaitu kemampuan pembaruan otomatis. Setiap revisi dimensi pada model Revit dapat langsung diperbarui pada hasil perhitungan dengan menjalankan ulang skrip Dynamo dalam hitungan detik. Kemampuan ini sangat relevan untuk proyek jembatan di mana revisi desain sering terjadi pada fase perencanaan, dan dapat berpotensi menghemat puluhan jam kerja tambahan sepanjang siklus proyek.

3.5. Diskusi Implementasi BIM pada Konstruksi Jembatan

Penerapan integrasi Revit–Dynamo dalam penelitian ini menunjukkan potensi besar BIM untuk meningkatkan efisiensi manajemen konstruksi jembatan, sebuah domain yang selama ini kurang tereksplorasi dalam literatur BIM yang lebih banyak berfokus pada bangunan gedung. Gappmaier et al. (2024) menyatakan bahwa automasi bekisting adalah salah satu frontier terpenting dalam konstruksi beton modern, dan penelitian ini memberikan bukti empiris bahwa automasi tersebut dapat dicapai secara efektif menggunakan tools BIM yang sudah tersedia.

Alathamneh et al. (2024) menyatakan bahwa quantity take-off berbasis BIM masih menghadapi tantangan pada tahap adopsi awal, terutama terkait kebutuhan pemodelan yang detail dan kurva pembelajaran perangkat lunak. Tantangan serupa ditemukan dalam penelitian ini, khususnya dalam proses pembangunan family Revit untuk komponen scaffolding dan u head yang memerlukan pengetahuan parametrik tingkat lanjut. Namun demikian, investasi waktu awal ini terbayar melalui efisiensi yang signifikan pada tahap perhitungan kuantitas, dan model yang telah dibuat dapat digunakan kembali (reusable) untuk proyek serupa di masa mendatang. Lee et al. (2021) juga mengembangkan perangkat lunak otomatisasi desain bekisting berbasis BIM dan menyimpulkan bahwa meskipun terdapat kurva pembelajaran awal, manfaat jangka panjang jauh melebihi investasi waktu pengembangan.

Baskova et al. (2023) menekankan bahwa perencanaan bekisting yang optimal berkontribusi langsung pada pengurangan pemborosan material dan keterlambatan proyek. Rocha & Mateus (2024) menunjukkan bahwa Dynamo juga dapat digunakan untuk rekonstruksi elemen BIM dari point cloud, yang membuka peluang integrasi lebih lanjut dengan teknologi scanning lapangan untuk validasi as-built model. Saavedra et al. (2025) membandingkan metode quantity take-off berbasis CAD dan BIM untuk bekisting dan menemukan bahwa BIM

secara konsisten menghasilkan estimasi yang lebih akurat. Penelitian ini memperkuat konsensus tersebut dengan menambah bukti empiris pada domain pilar jembatan tol yang selama ini belum banyak dikaji dalam literatur BIM.

3.6. Keterbatasan Penelitian

Penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan yang perlu diakui secara eksplisit. Pertama, objek penelitian hanya mencakup satu tipe pilar jembatan (single column pier dengan pier head hammerhead), sehingga generalisasi terhadap tipe pilar lain seperti portal frame atau bifurcated pier memerlukan validasi lebih lanjut. Kedua, perbandingan waktu dilakukan oleh satu peneliti pada satu kondisi pengujian, sehingga variabilitas antar-operator belum terakomodasi secara statistik. Ketiga, penelitian ini tidak mempertimbangkan kurva pembelajaran (learning curve) untuk pengguna baru Dynamo Revit, sehingga efisiensi waktu yang dilaporkan merepresentasikan kondisi pengguna yang sudah familier dengan platform. Penelitian selanjutnya disarankan untuk (1) mengembangkan metodologi yang sama pada tipe pilar yang lebih beragam, (2) melibatkan lebih banyak operator dengan variasi tingkat keahlian, dan (3) mengintegrasikan metode ini dengan estimasi biaya proyek secara keseluruhan.

3.7. Implikasi Praktis dan Pengembangan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa integrasi BIM melalui Autodesk Revit dan Dynamo berpotensi menjadi standar baru dalam proses quantity take-off bekisting pada proyek jembatan. Pada proyek berskala besar dengan banyak pilar, otomatisasi mampu mempercepat proses evaluasi perubahan desain karena setiap revisi model dapat langsung menghasilkan kuantitas terbaru tanpa perhitungan ulang secara manual. Kondisi ini mendukung peningkatan produktivitas tim estimator, mengurangi risiko human error, dan memperkuat koordinasi antar disiplin pekerjaan.

Dari sisi akademik, penelitian ini memperluas penerapan Dynamo yang sebelumnya lebih banyak diaplikasikan pada bangunan gedung menuju objek infrastruktur jembatan. Temuan ini juga memperkuat hasil penelitian terdahulu mengenai efektivitas BIM dalam estimasi kuantitas sekaligus membuka peluang pengembangan menuju integrasi estimasi biaya, penjadwalan 4D, serta pengendalian proyek berbasis model digital.

Temuan penelitian ini memperlihatkan bahwa digitalisasi perhitungan bekisting menggunakan Revit dan Dynamo memiliki potensi besar untuk mendukung implementasi konstruksi berbasis BIM di Indonesia. Pengembangan lanjutan dapat diarahkan pada integrasi dengan penjadwalan 4D, estimasi biaya 5D, serta dashboard monitoring proyek sehingga seluruh siklus manajemen konstruksi dapat dilakukan secara lebih efektif dan berbasis data.

Dari sisi pengendalian proyek, data kuantitas yang dihasilkan secara otomatis dapat dimanfaatkan sebagai dasar penyusunan estimasi biaya, pengadaan material, hingga evaluasi perubahan desain. Integrasi dengan Microsoft Excel juga mempermudah proses dokumentasi serta penyusunan laporan teknis yang diperlukan oleh kontraktor maupun konsultan pengawas. Dengan demikian, penerapan BIM tidak hanya meningkatkan akurasi, tetapi juga memperkuat transparansi proses perencanaan.

Pada proyek jalan tol yang memiliki banyak pilar dengan dimensi yang bervariasi, metode manual mengharuskan estimator menghitung setiap elemen secara berulang. Sebaliknya, pendekatan parametrik memungkinkan skrip Dynamo diterapkan kembali pada elemen lain dengan hanya menyesuaikan parameter model. Hal tersebut meningkatkan produktivitas tenaga kerja dan menghasilkan proses quantity take-off yang lebih konsisten.

Implementasi Autodesk Revit dan Dynamo memberikan manfaat tidak hanya pada tahap perhitungan kuantitas, tetapi juga pada proses koordinasi antar disiplin. Model BIM yang terintegrasi memungkinkan perubahan dimensi kolom, pier head, maupun haunch diperbarui secara otomatis sehingga seluruh informasi kuantitas mengikuti kondisi model terbaru. Mekanisme ini mengurangi potensi penggunaan data yang tidak sinkron pada saat estimasi kebutuhan material.

3.8. Analisis Manfaat Implementasi pada Proyek Jalan Tol

Secara keseluruhan, hasil penelitian memperlihatkan bahwa transformasi digital melalui Autodesk Revit dan Dynamo bukan hanya meningkatkan efisiensi perhitungan, tetapi juga mendukung kolaborasi, transparansi, dan pengendalian proyek yang lebih baik. Hal ini sejalan dengan arah perkembangan industri konstruksi yang semakin mengedepankan integrasi data, otomatisasi, dan pengambilan keputusan berbasis informasi digital.

Penelitian ini juga menunjukkan bahwa kualitas model BIM menjadi faktor utama yang menentukan kualitas keluaran Dynamo. Oleh karena itu, penerapan standar pemodelan, pemberian nama parameter yang konsisten, serta pengelolaan data yang baik merupakan aspek penting agar proses otomatisasi berjalan optimal. Organisasi yang mulai menerapkan BIM perlu menyusun standar operasional dan pelatihan bagi personel agar manfaat implementasi dapat diperoleh secara maksimal.

Apabila diintegrasikan dengan sistem manajemen proyek, hasil quantity take-off dapat langsung dimanfaatkan sebagai dasar penyusunan rencana anggaran biaya, kebutuhan material, hingga jadwal pelaksanaan. Pendekatan tersebut mendukung konsep BIM 5D yang menghubungkan model tiga dimensi dengan informasi biaya. Di sisi lain, integrasi dengan penjadwalan 4D memungkinkan simulasi tahapan konstruksi sehingga potensi konflik pekerjaan dapat diidentifikasi lebih awal.

Implementasi BIM pada pekerjaan bekisting pilar jembatan memberikan peluang untuk membangun basis data komponen yang dapat digunakan berulang pada proyek-proyek berikutnya. Dengan adanya pustaka family yang

terstandarisasi, proses pemodelan menjadi lebih cepat, konsisten, dan mudah divalidasi. Selain itu, skrip Dynamo yang telah dikembangkan dapat dimodifikasi untuk berbagai variasi dimensi tanpa mengubah keseluruhan alur perhitungan.

4. Kesimpulan

Penelitian ini berhasil menganalisis dan membandingkan efektivitas perhitungan volume bekisting pilar jembatan tol menggunakan integrasi Autodesk Revit 2026 dan Dynamo for Revit 3.6.1.2665. Pemodelan tiga dimensi pilar yang terdiri dari kolom ($3,6 \text{ m} \times 2,5 \text{ m}$, tinggi 7,5 m dalam tiga fase), pier head tipe hammerhead, dan haunch berhasil dilakukan di Revit berdasarkan gambar kerja aktual proyek jalan tol. Skrip visual Dynamo berhasil dikembangkan dengan arsitektur modular yang memungkinkan ekstraksi data luas permukaan bekisting secara otomatis dari model Revit dan ekspor langsung ke Microsoft Excel. Model yang dihasilkan menunjukkan akurasi geometri yang tinggi karena dibangun langsung berdasarkan data gambar kerja teknik yang valid.

Dari segi akurasi, metode Dynamo Revit menghasilkan total luas bekisting pilar sebesar $290,60 \text{ m}^2$, dengan deviasi rata-rata hanya 0,07% terhadap hasil perhitungan manual ($290,80 \text{ m}^2$). Deviasi maksimum terjadi pada komponen haunch sebesar 0,43%, masih jauh di bawah ambang batas toleransi yang lazim diterima dalam praktik estimasi konstruksi ($\pm 5\%$). Empat dari enam komponen bekisting menunjukkan deviasi 0,00%, yang berarti hasil Dynamo sepenuhnya identik dengan perhitungan manual untuk komponen-komponen tersebut. Tingkat akurasi ini membuktikan validitas metode Dynamo Revit sebagai alternatif yang dapat diandalkan untuk menggantikan metode manual konvensional. Dari segi efisiensi waktu, integrasi Revit–Dynamo mampu mempersingkat total waktu pengerjaan sebesar 52,8%, dari 180 menit pada metode konvensional menjadi 85 menit. Efisiensi tertinggi dicapai pada tahap perhitungan luas permukaan dengan penghematan 88,9%, dan pada tahap verifikasi dan rekap data sebesar 66,7%. Di luar efisiensi waktu yang terukur, kemampuan pembaruan otomatis Dynamo saat terdapat revisi desain memberikan nilai tambah yang tidak ternilai dalam konteks proyek infrastruktur yang dinamis dengan frekuensi perubahan desain yang tinggi. Implikasi praktis penelitian ini bagi industri konstruksi nasional adalah tersedianya bukti empiris bahwa teknologi BIM—khususnya integrasi Revit–Dynamo—dapat dan sudah seharusnya diadopsi sebagai standar dalam proses quantity take-off bekisting pilar jembatan. Kontraktor dan konsultan yang berinvestasi dalam kompetensi BIM akan memperoleh keunggulan kompetitif melalui peningkatan akurasi estimasi, pengurangan risiko cost overrun, dan kecepatan respons terhadap perubahan desain. Adopsi metode ini juga sejalan dengan arah kebijakan digitalisasi konstruksi yang digalakkan pemerintah Indonesia dalam kerangka industri konstruksi 4.0. Untuk penelitian selanjutnya, disarankan untuk mengembangkan metodologi ini pada tipe pilar yang lebih beragam (misalnya pilar portal, pilar ganda, dan pilar bifurkasi), serta mengintegrasikan perhitungan bekisting dengan estimasi biaya material secara otomatis menggunakan parameter Revit. Pengembangan library family Revit yang standar dan terdistribusi untuk komponen bekisting jembatan Indonesia juga merupakan peluang penelitian yang strategis untuk mendukung industrialisasi metode ini secara lebih luas.

Referensi

- [1] A. Akcamete, Y. Çepni, dan R. Klein, "Automated BIM-based Formwork Quantity Take-Off," ResearchGate, 2020. [Online]. Tersedia: <https://www.researchgate.net/publication/345896054>
- [2] S. Alathamneh, W. Collins, dan S. Azhar, "BIM-based quantity takeoff: Current state and future opportunities," *Automation in Construction*, vol. 165, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2024.105549>
- [3] M. F. A. Arifin, D. P. Oktaviani, A. Budiwirawan, dan L. T. Ilingono, "Modeling and Analysis of Column Formwork Construction Components Using Dynamo Revit," *Aceh International Journal of Science and Technology*, vol. 13, no. 3, hlm. 233–246, 2025. <https://doi.org/10.13170/aijst.13.3.42925>
- [4] R. Baskova, A. Tazikova, Z. Strukova, M. Kozlovskaya, dan J. Cabala, "A Dynamic Model for Effective and Optimal Planning of Formwork in Construction Projects," *Buildings*, vol. 13, no. 7, 2023. <https://doi.org/10.3390/buildings13071794>
- [5] K. Das, S. Khursheed, dan V. K. Paul, "The impact of BIM on project time and cost: insights from case studies," *Discover Materials*, vol. 5, no. 1, 2025. <https://doi.org/10.1007/s43939-025-00200-2>
- [6] P. Gappmaier, S. Reichenbach, dan B. Kromoser, "Advances in formwork automation, structure and materials in concrete construction," *Automation in Construction*, vol. 162, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2024.105373>
- [7] V. J. L. Gan, "BIM-based graph data model for automatic room layout design and space planning," *Automation in Construction*, vol. 138, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2022.104210>
- [8] Z. Huszár dan É. Lublóy, "Examination of the cost ratio of the formwork," *Acta Technica Jaurinensis*, vol. 14, no. 2, hlm. 155–170, 2021. <https://doi.org/10.14513/actatechjaur.00598>
- [9] C. Khosakitchalart, N. Yabuki, dan T. Fukuda, "Improving the accuracy of BIM-based quantity takeoff for compound elements," *Automation in Construction*, vol. 106, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.102891>
- [10] B. Lee, H. Choi, B. Min, J. Ryu, dan D. E. Lee, "Development of formwork automation design software for improving construction productivity," *Automation in Construction*, vol. 126, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103680>
- [11] V. H. Pham, P. H. Chen, Q. Nguyen, dan D. T. Duong, "BIM-Based Automatic Extraction of Daily Concrete and Formwork Requirements for Site Work Planning," *Buildings*, vol. 14, no. 12, 2024. <https://doi.org/10.3390/buildings14124021>
- [12] R. Rocha dan L. Mateus, "Using Dynamo for Automatic Reconstruction of BIM Elements from Point Clouds," *Applied Sciences*, vol. 14, no. 10, 2024. <https://doi.org/10.3390/app14104078>
- [13] R. Saavedra, W. Meléndez, dan G. Garcés, "Comparative Analysis of Quantity Take-Off in Concrete, Steel Bars and Formwork in Apartment Buildings Based on CAD and BIM Methodologies," *Journal of Information Technology in Construction*, vol. 30, hlm. 159–184, 2025. <https://doi.org/10.36680/j.itcon.2025.008>

- [14] P. Smith, "BIM Implementation – Global Strategies," *Procedia Engineering*, vol. 85, hlm. 482–492, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.10.575>
- [15] M. Valinejadshoubi, O. Moselhi, I. Iordanova, F. Valdivieso, dan A. Bagchi, "Automated system for high-accuracy quantity takeoff using BIM," *Automation in Construction*, vol. 157, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2023.105155>
- [16] G. T. N. Veerendra, B. Choudhary, dan R. P. Singh, "A comprehensive review of BIM-enabled quantity surveying practices in construction projects," *Asian Journal of Civil Engineering*, 2024. <https://doi.org/10.1007/s42107-024-01032-6>
- [17] Y. Weng, N. A. N. Mohamed, B. J. S. Lee, N. J. H. Gan, M. Li, M. J. Tan, H. Li, dan S. Qian, "Extracting BIM Information for Lattice Toolpath Planning in Digital Concrete Printing with Developed Dynamo Script," *Journal of Computing in Civil Engineering*, vol. 35, no. 3, 2021. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)cp.1943-5487.0000964](https://doi.org/10.1061/(asce)cp.1943-5487.0000964)
- [18] S. Du, F. Teng, Z. Zhuang, D. Zhang, M. Li, H. Li, dan Y. Weng, "A BIM-enabled robot control system for automated integration between rebar reinforcement and 3D concrete printing," *Virtual and Physical Prototyping*, vol. 19, no. 1, 2024. <https://doi.org/10.1080/17452759.2024.2332423>
- [19] S. H. Chen dan F. Xue, "Review and future directions of cross-disciplinary BIM research," *Advanced Engineering Informatics*, vol. 56, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2023.101966>
- [20] J. Xia, K. Shan, X. Wu, R. Gan, dan W. Jin, "Shear-friction behavior of concrete-to-concrete interface under direct shear load," *Engineering Structures*, vol. 238, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2021.112211>