

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan teknologi digital telah mendorong perubahan dalam cara industri konstruksi merencanakan, memodelkan, mengelola, dan mengintegrasikan informasi proyek. Proses perencanaan yang sebelumnya banyak bergantung pada gambar dua dimensi dan pengolahan data manual mulai berkembang menuju sistem digital yang lebih terintegrasi melalui penerapan *Building Information Modeling* (BIM). BIM tidak hanya digunakan untuk membentuk representasi tiga dimensi, tetapi juga mengintegrasikan informasi geometris, material, kuantitas, dan data teknis dari setiap elemen konstruksi (Eastman et al., 2011). Dalam konteks Indonesia, penerapan BIM mulai berkembang tidak hanya pada proyek bangunan gedung, tetapi juga pada pekerjaan infrastruktur jalan dan jembatan (Cavieres-Lagos et al., 2024). Autodesk Revit menjadi salah satu perangkat lunak BIM yang digunakan untuk mendukung pemodelan struktur, penyajian gambar kerja, serta perhitungan volume berdasarkan model digital.

Meskipun Autodesk Revit mampu mendukung proses pemodelan dan perhitungan volume, metode konvensional yang dilakukan secara manual masih membutuhkan keterlibatan pengguna pada setiap tahapan pekerjaan. Pengguna perlu membuat, menempatkan, mengatur, dan menyesuaikan elemen satu per satu berdasarkan bentuk, dimensi, posisi, elevasi, orientasi, dan parameter yang diperlukan. Proses tersebut dapat membutuhkan durasi yang cukup besar ketika objek yang dimodelkan memiliki jumlah banyak, bentuk berulang, variasi geometri, atau pengaturan parameter yang seragam. Permasalahan tersebut menjadi lebih kompleks pada struktur jembatan karena geometrinya dapat dipengaruhi oleh alinyemen jalan, bentang, perbedaan elevasi, kemiringan, rotasi, dan hubungan antara struktur atas dengan struktur bawah (Cavieres-Lagos et al., 2024). Selain itu, ketepatan proses pemodelan menjadi penting karena model yang dihasilkan digunakan sebagai dasar untuk memperoleh informasi volume.

Salah satu alat bantu yang dapat digunakan untuk mengurangi pekerjaan manual dan repetitif dalam Autodesk Revit adalah *Visual Programming Dynamo*. Dynamo

terintegrasi dengan Revit dan memungkinkan pengguna menyusun alur kerja otomatis berbasis *node* dan *wire* untuk mengolah data, mengatur parameter, serta membentuk elemen model secara lebih terstruktur (Eddine et al., 2025). Dalam penelitian ini, otomatisasi pemodelan dilakukan melalui integrasi data Microsoft Excel, rangkaian *node* dan *wire*, serta *script* Python final yang dijalankan dalam Dynamo. Data dimensi, koordinat, elevasi, dan parameter elemen disusun dalam Excel, kemudian diproses oleh Dynamo untuk membentuk atau menempatkan elemen secara otomatis. *Artificial Intelligence* hanya digunakan sebagai alat bantu dalam tahap pengembangan dan penyempurnaan *script*, bukan sebagai pelaksana pemodelan pada saat pengujian.

Namun, penggunaan Dynamo tidak selalu menghasilkan tingkat efisiensi yang sama pada setiap jenis pekerjaan. Efektivitas *visual programming* dipengaruhi oleh karakteristik objek, kompleksitas alur kerja, struktur data, kebutuhan pengembangan *script*, serta kesesuaian metode otomatisasi dengan objek yang dikerjakan. *Visual programming* lebih sesuai digunakan untuk mengotomatisasi tugas tertentu, sedangkan pada proses yang lebih kompleks masih terdapat keterbatasan dalam kecepatan eksekusi, skalabilitas, dan kinerja dibandingkan pemrograman berbasis teks (Eddine et al., 2025). Oleh karena itu, penggunaan Dynamo tidak dapat langsung diasumsikan selalu lebih efisien daripada metode konvensional, tetapi perlu diuji berdasarkan karakteristik pekerjaan dan objek pemodelan yang digunakan.

Penelitian mengenai Autodesk Revit pada pekerjaan jembatan umumnya berfokus pada hasil pemodelan dan perhitungan volume, sedangkan penelitian mengenai Dynamo telah digunakan untuk otomatisasi pemodelan, pengolahan data, dan perbandingan durasi pemodelan pada objek bangunan gedung (Cavieres-Lagos et al., 2024; Putra et al., 2025). Meskipun demikian, kajian yang secara khusus membandingkan metode konvensional Autodesk Revit dan metode berbantuan Dynamo pada pemodelan elemen struktur jembatan masih terbatas. Belum banyak penelitian yang secara langsung menguji kedua metode pada objek serta tingkat kedetailan model yang sama berdasarkan durasi pemodelan dan volume. Penelitian ini dilakukan pada *Patimban Access Toll Road Construction Project Package 1*,

khususnya pada Bridge No. 10 dan Overpass No. 02, yang memiliki elemen dan karakteristik geometri yang relevan untuk digunakan sebagai objek perbandingan.

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini difokuskan pada perbandingan metode konvensional Autodesk Revit dan metode berbantuan *Visual Programming* Dynamo sebagai alat bantu dalam pemodelan BIM struktur jembatan. Elemen yang dikaji meliputi *abutment*, *pier*, *girder*, *abutment* pada kondisi *skew* dengan *wingwall*, dan Model *Overpass* dua bentang (terdiri atas *abutment*, *pier*, *girder*, dan *bearing pad*). Perbandingan dilakukan berdasarkan durasi pemodelan dan volume. Durasi pemodelan digunakan untuk menilai besarnya penghematan durasi dari masing-masing metode, sedangkan volume digunakan untuk mengevaluasi kesesuaian geometri model yang dihasilkan oleh kedua metode. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat memberikan gambaran mengenai kondisi ketika Dynamo mampu memberikan penghematan durasi dalam pemodelan struktur jembatan serta kondisi ketika metode konvensional masih lebih sesuai digunakan.

1.2 Identifikasi Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang, permasalahan dalam penelitian ini dapat diidentifikasi sebagai berikut:

1. Pemodelan struktur jembatan menggunakan metode konvensional Autodesk Revit masih membutuhkan pembuatan, penempatan, dan pengaturan elemen secara manual pada setiap tahapan pekerjaan;
2. Penggunaan Dynamo membutuhkan persiapan data Microsoft Excel, rangkaian *node* dan *wire*, serta *script* Python sehingga manfaatnya dapat berbeda berdasarkan karakteristik geometri, jumlah elemen, tingkat repetisi, dan frekuensi penggunaan kembali;
3. Belum diketahui besarnya perbedaan durasi pemodelan antara metode konvensional Autodesk Revit dan metode berbantuan *Visual Programming* Dynamo pada setiap objek struktur jembatan yang diteliti;
4. Belum diketahui tingkat kesesuaian volume yang dihasilkan oleh kedua metode sebagai indikator bahwa perbedaan proses pemodelan tidak menghasilkan perbedaan geometri pada tingkat ketelitian yang digunakan;

5. Belum diketahui karakteristik objek yang menyebabkan Dynamo memberikan penghematan durasi yang lebih besar atau lebih kecil dibandingkan metode konvensional Autodesk Revit.

1.3 Ruang Lingkup

Ruang lingkup penelitian ini digunakan untuk menjelaskan cakupan substansi dan lokus yang menjadi fokus penelitian. Ruang lingkup penelitian dibagi menjadi ruang lingkup substansi dan ruang lingkup lokus.

1.3.1 Ruang Lingkup Substansi

Ruang lingkup substansi penelitian ini mencakup hal-hal sebagai berikut:

1. Penelitian membandingkan dua metode pemodelan BIM struktur jembatan dalam lingkungan Autodesk Revit, yaitu metode konvensional Autodesk Revit dan metode berbantuan *Visual Programming* Dynamo;
2. Objek pemodelan yang ditinjau meliputi:
 - a. Kepala Jembatan (*abutment*);
 - b. Pilar (*pier*);
 - c. Gelagar (*girder*);
 - d. *Abutment* pada kondisi *skew* yang dilengkapi *wingwall*; dan
 - e. Model jembatan atau *overpass* dua bentang yang terdiri atas *abutment*, *pier*, *girder*, dan *bearing pad*.
3. Perbandingan kedua metode ditinjau berdasarkan:
 - a. Durasi pemodelan; dan
 - b. Hasil volume elemen struktur.
4. Pengukuran durasi dilakukan terhadap waktu kerja aktif (dimulai dari membuka halaman kerja Revit hingga menghasilkan volume) yang diperlukan untuk menyelesaikan proses pemodelan menggunakan prosedur yang telah melalui uji coba pendahuluan dan validasi;
5. Pada metode konvensional Autodesk Revit, proses yang diukur meliputi pembukaan halaman kerja Autodesk Revit, pembentukan geometri, pengaturan parameter, penempatan elemen, hingga menghasilkan volume;
6. Pada metode berbantuan *Visual Programming* Dynamo, proses yang diukur meliputi pembukaan halaman kerja Autodesk Revit dan Dynamo,

- penyusunan data masukan pada Microsoft Excel, pemasukan *script* Python final, penyusunan *node* dan *wire*, pelaksanaan *running*, pembentukan atau penempatan elemen, pengambilan hasil volume, serta pemeriksaan model;
7. AI digunakan sebagai alat bantu pada tahap uji coba pendahuluan untuk membantu pengembangan dan penyempurnaan *script* Python. AI tidak menjalankan proses pemodelan secara langsung dan tidak menjadi variabel yang dianalisis dalam penelitian;
 8. Proses *trial and error*, pengembangan alternatif *script*, dan penyempurnaan *workflow* yang dilakukan sebelum pengambilan data tidak dimasukkan dalam durasi pemodelan utama;
 9. Analisis durasi dilakukan untuk mengetahui selisih dan persentase penghematan durasi metode berbantuan Dynamo terhadap metode konvensional Autodesk Revit pada setiap objek pemodelan;
 10. Analisis volume dilakukan untuk mengetahui tingkat kesesuaian hasil model kedua metode menggunakan perhitungan selisih absolut dan *Relative Percent Difference*;
 11. Hasil penelitian dianalisis dengan mempertimbangkan karakteristik geometri, jumlah elemen, tingkat kompleksitas, serta tingkat repetisi guna mengidentifikasi kondisi ketika Dynamo lebih efektif dan kondisi ketika metode konvensional Autodesk Revit lebih praktis digunakan;
 12. Kedua metode menggunakan gambar acuan, dimensi, jumlah elemen, parameter, tingkat kedetailan model, perangkat, versi perangkat lunak, dan operator yang sama agar perbandingan dilakukan dalam kondisi yang setara;
 13. Rekaman video digunakan sebagai instrumen dokumentasi dan verifikasi untuk menentukan waktu mulai, waktu selesai, serta durasi kerja aktif. Jeda karena istirahat, gangguan dari luar, atau aktivitas yang tidak berkaitan dengan pemodelan tidak dimasukkan dalam pengukuran.

1.3.2 Ruang Lingkup Lokus

Ruang lingkup lokus penelitian ini berada pada *Patimban Access Toll Road Construction Project Package* 1. Data teknis dan gambar kerja yang digunakan sebagai acuan pemodelan berasal dari Bridge No. 10 dan Overpass No. 02. Pemilihan kedua objek didasarkan pada adanya dua tipologi struktur

jembatan yang menjadi fokus penelitian, yaitu jembatan sungai dan *overpass*. Bridge No. 10 dipilih untuk merepresentasikan jembatan sungai, sedangkan Overpass No. 02 dipilih untuk merepresentasikan *overpass*. Keduanya memiliki beberapa jenis elemen struktur yang sama dan pola elemen yang berulang, tetapi memiliki bentuk, susunan, serta konfigurasi geometri yang berbeda. Perbedaan tersebut sesuai dengan kebutuhan penelitian karena mencakup elemen individual, kondisi *skew*, tingkat repetisi tertentu, serta model jembatan dua bentang yang mengintegrasikan struktur atas dan struktur bawah.

Penggunaan kedua objek tersebut dibatasi sebagai sumber data dan objek studi pemodelan. Penelitian tidak dimaksudkan untuk mengevaluasi keseluruhan perencanaan, pelaksanaan, maupun kinerja *Patimban Access Toll Road Construction Project Package 1*.

1.4 Batasan Penelitian

Agar penelitian tetap terarah dan tidak meluas di luar tujuan yang telah ditetapkan, batasan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Data teknis dan gambar kerja yang digunakan sebagai acuan pemodelan berasal dari *Bridge No. 10* dan *Overpass No. 02* pada *Patimban Access Toll Road Construction Project Package 1*;
2. Pemodelan tidak mencakup seluruh komponen jembatan, seperti pelat lantai, diafragma, pagar jembatan, perkerasan, drainase, sambungan siar muai, fondasi dalam, penulangan, dan elemen pelengkap lain yang tidak termasuk dalam skenario pengujian;
3. Penelitian tidak membahas analisis pembebanan, kekuatan struktur, stabilitas, kapasitas struktur, desain penulangan, maupun evaluasi keamanan struktur jembatan;
4. Penelitian tidak membahas estimasi biaya konstruksi, harga satuan pekerjaan, penyusunan rencana anggaran biaya, maupun biaya pengembangan *workflow* Dynamo;
5. Volume yang dibandingkan dihitung berdasarkan geometri akhir dan jumlah elemen dalam model. Material dan densitas tidak digunakan sebagai dasar perhitungan karena penelitian tidak menghitung berat atau massa elemen;

6. Perbandingan volume digunakan untuk mengetahui tingkat kesesuaian hasil antara model yang dibuat menggunakan metode konvensional Autodesk Revit dan metode berbantuan Dynamo, bukan untuk menyatakan ketepatan terhadap volume aktual pekerjaan di lapangan;
7. Sebelum pengambilan data durasi, dilakukan uji coba pendahuluan untuk menentukan format Microsoft Excel, *script* Python, *node*, *wire*, dan urutan kerja hingga *workflow* dapat dijalankan sesuai kebutuhan pemodelan;
8. Durasi pembelajaran awal, pencarian metode, pengembangan alternatif *script*, serta proses *trial and error* yang dilakukan pada tahap uji coba pendahuluan tidak dimasukkan dalam durasi pemodelan utama;
9. Pada metode berbantuan Dynamo, durasi yang diukur mencakup penyusunan data Microsoft Excel, pemasukan *script* Python final, penyusunan *node* dan *wire*, pelaksanaan *running*, pembentukan atau penempatan elemen, pengambilan hasil volume, dan pemeriksaan hasil model;
10. Rekaman video hanya digunakan sebagai alat dokumentasi dan peninjauan kembali untuk menentukan waktu mulai, waktu selesai, dan durasi kerja aktif. Jeda karena istirahat, gangguan dari luar, atau aktivitas yang tidak berkaitan dengan proses pemodelan tidak dimasukkan dalam pengukuran;
11. AI hanya digunakan sebagai alat bantu pada tahap pengembangan dan penyempurnaan *script* Python. AI tidak menjalankan proses pemodelan secara langsung dan tidak menjadi variabel yang dianalisis;
12. Kedua metode dilaksanakan oleh operator yang sama menggunakan perangkat, versi perangkat lunak, gambar acuan, dimensi, jumlah elemen, parameter, dan tingkat kedetailan model yang sama. Oleh karena itu, nilai durasi yang diperoleh merupakan hasil pengukuran pada pelaksanaan tersebut dan bukan nilai rata-rata dari beberapa pengulangan;
13. Pengujian perubahan jumlah bentang pada objek *Overpass* dilakukan sebagai demonstrasi fleksibilitas penggunaan data Microsoft Excel dan Dynamo, tetapi tidak digunakan sebagai skenario perbandingan durasi tersendiri;
14. Hasil penelitian hanya berlaku pada objek, operator, perangkat, *workflow*, dan kondisi pengujian yang digunakan sehingga tidak dapat langsung digeneralisasikan untuk seluruh jenis dan konfigurasi struktur jembatan;

1.5 Perumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang sebelumnya, rumusan masalah penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Seberapa besar perbedaan durasi dan persentase penghematan durasi pemodelan elemen struktur jembatan antara metode konvensional Autodesk Revit dan metode berbantuan *Visual Programming* Dynamo?
2. Seberapa besar selisih volume pada elemen struktur jembatan yang diteliti antara metode konvensional Autodesk Revit dan metode berbantuan *Visual Programming* Dynamo?
3. Bagaimana karakteristik objek pemodelan yang lebih sesuai dimodelkan menggunakan metode konvensional Autodesk Revit dan metode berbantuan *Visual Programming* Dynamo?

1.6 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang telah disusun, maka tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menganalisis perbedaan durasi dan persentase penghematan durasi pemodelan elemen struktur jembatan antara metode konvensional Autodesk Revit dan metode berbantuan *Visual Programming* Dynamo;
2. Menganalisis selisih volume pada elemen struktur jembatan antara metode konvensional Autodesk Revit dan metode berbantuan *Visual Programming* Dynamo;
3. Menganalisis karakteristik objek pemodelan yang lebih sesuai dimodelkan menggunakan metode konvensional Autodesk Revit dan metode berbantuan *Visual Programming* Dynamo berdasarkan kompleksitas geometri, jumlah elemen, dan tingkat repetisi.

1.7 Manfaat Penelitian

Dalam penelitian tugas akhir ini diharapkan memiliki manfaat bagi beberapa pihak, yaitu:

1.7.1 Peneliti

Adapun manfaat penelitian bagi peneliti sebagai berikut:

1. Menambah pengetahuan dan wawasan peneliti bahwa pemodelan dan volume pada Autodesk Revit tidak hanya dapat dilakukan secara manual, tetapi juga dapat didukung dengan *Visual Programming* Dynamo. Melalui penyusunan *workflow* berbasis *node*, peneliti dapat memahami alur kerja otomasi, mengasah logika pemodelan serta memperoleh pengetahuan baru;
2. Memberikan pengalaman dalam membandingkan metode pemodelan dan perhitungan volume dari kedua metode;
3. Melatih kemampuan peneliti dalam melakukan pengukuran durasi kerja, pengolahan data waktu, dan perhitungan perbandingan durasi pemodelan;
4. Meningkatkan pemahaman mengenai efektivitas penggunaan teknologi otomasi dalam mendukung proses pemodelan struktur jembatan.

1.7.2 Institusi Pendidikan

Adapun manfaat penelitian bagi institusi pendidikan sebagai berikut:

1. Menjadi referensi akademik dalam pengembangan pembelajaran terkait BIM, Autodesk Revit, dan *Visual Programming* Dynamo;
2. Menambah sumber literatur mengenai penerapan teknologi digital dalam bidang konstruksi, khususnya pada pekerjaan infrastruktur jalan dan jembatan;
3. Mendukung pengembangan penelitian lanjutan yang berkaitan dengan perbandingan durasi pemodelan, otomasi, dan penggunaan *visual programming* dalam lingkungan BIM;
4. Memberikan kontribusi bagi institusi pendidikan dalam memperkuat pembelajaran berbasis teknologi konstruksi digital.

1.7.3 Praktisi atau Industri Konstruksi

Adapun manfaat penelitian bagi praktisi atau industri konstruksi sebagai berikut:

1. Memberikan gambaran mengenai pentingnya pemanfaatan teknologi digital dalam mendukung proses perencanaan dan pembangunan infrastruktur;
2. Menunjukkan bahwa penggunaan BIM dan alat bantu otomasi seperti Dynamo dapat mendukung proses pemodelan yang lebih efisien;
3. Memberikan pemahaman bahwa penggunaan teknologi digital dalam perencanaan infrastruktur dapat membantu menghasilkan proses kerja yang lebih efisien dan sesuai dengan kebutuhan pembangunan;
4. Memberikan manfaat tidak langsung bagi praktisi melalui peningkatan kualitas perencanaan infrastruktur yang lebih efektif, adaptif, dan sesuai kebutuhan.

