

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Industri konstruksi merupakan salah satu sektor strategis dalam mendukung pembangunan nasional melalui penyediaan infrastruktur dan fasilitas publik. Seiring meningkatnya kompleksitas proyek konstruksi, pengelolaan biaya dan waktu menjadi bagian penting dalam menentukan keberhasilan pelaksanaan proyek. Keberhasilan proyek tidak hanya ditinjau dari tercapainya mutu pekerjaan, tetapi juga dari kemampuan proyek memenuhi target biaya dan waktu yang telah ditetapkan. Oleh karena itu, diperlukan sistem perencanaan dan pengendalian proyek yang mampu menghasilkan informasi biaya, waktu, dan progres pekerjaan secara terintegrasi sehingga dapat mendukung proses pengambilan keputusan selama pelaksanaan konstruksi.

Salah satu proyek yang memerlukan pengelolaan biaya dan waktu secara terintegrasi adalah Proyek Pembangunan Gedung Kejaksaan Negeri Kabupaten Malang. Berdasarkan dokumen Harga Perkiraan Sendiri (HPS), proyek tersebut memiliki nilai sebesar Rp7.799.986.427,34 dengan lingkup pekerjaan yang meliputi pekerjaan persiapan, struktur, arsitektur, utilitas, serta pengembangan kawasan. Besarnya nilai proyek dan beragamnya jenis pekerjaan memerlukan proses perencanaan volume, biaya, dan jadwal yang akurat agar pelaksanaan proyek dapat berlangsung sesuai target yang telah ditetapkan.

Dalam pelaksanaan proyek konstruksi, proses perhitungan volume pekerjaan, penyusunan Rencana Anggaran Biaya (RAB), dan penjadwalan masih dapat dilakukan menggunakan dokumen dan proses pengolahan yang terpisah. Kondisi tersebut berpotensi menimbulkan ketidakkonsistenan data ketika terjadi perubahan desain atau volume pekerjaan karena penyesuaian perlu dilakukan pada beberapa dokumen secara terpisah. Selain meningkatkan potensi kesalahan perhitungan, proses tersebut juga dapat mengurangi efisiensi evaluasi terhadap perubahan biaya dan waktu proyek. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan yang mampu mengintegrasikan informasi geometrik bangunan, kuantitas pekerjaan, jadwal, dan biaya dalam satu alur pengelolaan informasi proyek.

Building Information Modeling (BIM) merupakan salah satu pendekatan digital yang dapat digunakan untuk mendukung kebutuhan tersebut. BIM memungkinkan informasi geometrik dan nongeometrik setiap elemen bangunan disimpan dalam model digital yang terintegrasi. Pada BIM 3D, model bangunan dapat digunakan untuk menghasilkan informasi kuantitas pekerjaan atau *quantity take-off* (QTO) berdasarkan elemen yang telah dimodelkan. Informasi kuantitas tersebut selanjutnya dapat diintegrasikan dengan harga satuan pekerjaan untuk menghasilkan estimasi biaya sebagai implementasi BIM 5D. Dengan pendekatan tersebut, perubahan pada model dapat ditelusuri terhadap perubahan kuantitas dan biaya sehingga proses estimasi menjadi lebih sistematis dan konsisten.

Selain aspek biaya, perencanaan proyek perlu mempertimbangkan ketidakpastian durasi pelaksanaan pekerjaan. Durasi aktivitas konstruksi dapat dipengaruhi oleh produktivitas tenaga kerja, ketersediaan material, kondisi lapangan, cuaca, dan keterkaitan antaraktivitas. Penjadwalan yang hanya menggunakan satu nilai durasi belum menggambarkan variasi waktu yang mungkin terjadi. Salah satu metode yang dapat digunakan untuk mengakomodasi ketidakpastian tersebut adalah *Program Evaluation and Review Technique* (PERT), yang menggunakan tiga estimasi waktu, yaitu waktu optimis (*optimistic time*), waktu paling mungkin (*most likely time*), dan waktu pesimis (*pessimistic time*) untuk memperoleh waktu harapan (*expected time*) setiap aktivitas.

Hasil analisis PERT dapat digunakan sebagai input penyusunan jadwal menggunakan Microsoft Project. Melalui hubungan ketergantungan antaraktivitas (*predecessor*), dapat diperoleh waktu mulai, waktu selesai, durasi proyek, dan lintasan kritis (*critical path*). Jadwal tersebut selanjutnya dapat dihubungkan dengan model BIM untuk mendukung integrasi dimensi waktu pada BIM 4D serta dikombinasikan dengan informasi biaya BIM 5D. Integrasi waktu dan biaya juga memungkinkan penyusunan bobot pekerjaan dan Kurva S sebagai gambaran perkembangan rencana pelaksanaan proyek terhadap waktu.

Informasi pada tahap perencanaan selanjutnya perlu dibandingkan dengan kondisi pelaksanaan agar kinerja proyek dapat dievaluasi secara kuantitatif. Salah satu metode yang dapat digunakan adalah *Earned Value Management* (EVM), melalui parameter *Planned Value* (PV), *Earned Value* (EV), dan *Actual Cost* (AC).

Ketiga parameter tersebut dapat digunakan untuk mengevaluasi kinerja biaya dan waktu melalui *Cost Performance Index* (CPI) dan *Schedule Performance Index* (SPI), serta mendukung estimasi kondisi biaya penyelesaian melalui *Estimate at Completion* (EAC), *Estimate to Complete* (ETC), dan *Variance at Completion* (VAC). Keandalan hasil EVM sangat bergantung pada konsistensi *baseline*, progres aktual, dan data biaya aktual pada periode evaluasi.

Berbagai penelitian terdahulu menunjukkan bahwa BIM 5D dapat mendukung perhitungan kuantitas, estimasi biaya, dan pengambilan keputusan proyek. Forgues dkk. (2015) mengkaji penerapan BIM 5D pada proses estimasi biaya, sedangkan Monteiro dan Martins (2016) membahas integrasi model BIM dengan manajemen biaya konstruksi. Lu dkk. (2017), Shen dkk. (2023), serta Pishdad-Bozorgi dan Omungwa (2024) menunjukkan perkembangan pemanfaatan BIM dalam pengelolaan informasi dan pengambilan keputusan. Pada konteks nasional, Suprpto (2021), Rizal dan Putra (2022), Prasetyo (2022), Fadillah dan Santosa (2023), serta Nazirul Fariq dkk. (2022) menunjukkan pemanfaatan BIM untuk estimasi volume, penyusunan RAB, transparansi biaya, dan simulasi biaya proyek. Namun, sebagian besar penelitian masih menempatkan BIM 5D, penjadwalan probabilistik, dan evaluasi kinerja proyek sebagai bagian analisis yang relatif terpisah.

Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini mengembangkan alur analisis yang mengintegrasikan BIM 3D sebagai dasar pemodelan dan QTO, metode PERT untuk memperoleh estimasi durasi probabilistik, Microsoft Project untuk penyusunan jadwal dan identifikasi lintasan kritis, BIM 5D untuk penyusunan estimasi biaya, Kurva S untuk menggambarkan distribusi bobot pekerjaan terhadap waktu, serta EVM untuk mengevaluasi kinerja biaya dan jadwal proyek pada periode data aktual yang tersedia. Integrasi tersebut diterapkan pada Proyek Pembangunan Gedung Kejaksaan Negeri Kabupaten Malang untuk menganalisis penerapan BIM 5D dalam mendukung perencanaan dan evaluasi biaya serta waktu proyek secara terintegrasi.

1.2 Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut, permasalahan penelitian diidentifikasi sebagai berikut:

1. Perhitungan kuantitas, estimasi biaya, dan penyusunan jadwal proyek masih berpotensi dilakukan melalui proses pengolahan yang terpisah sehingga konsistensi informasi antar dokumen perlu diverifikasi secara berulang.
2. Jadwal proyek yang menggunakan satu nilai durasi belum secara langsung mempertimbangkan ketidakpastian waktu pelaksanaan setiap aktivitas, sehingga diperlukan pendekatan probabilistik untuk memperoleh durasi yang lebih representatif.
3. Integrasi antara informasi kuantitas, biaya, dan jadwal diperlukan agar bobot pekerjaan serta distribusi biaya terhadap waktu dapat disusun secara konsisten sebagai dasar evaluasi kinerja proyek.
4. Evaluasi kinerja biaya dan waktu memerlukan *baseline*, progres aktual, dan biaya aktual yang konsisten agar indikator EVM dapat digunakan secara tepat pada periode pengamatan.
5. Penerapan BIM 3D, PERT, Microsoft Project, BIM 5D, Kurva S, dan EVM dalam satu alur analisis pada proyek gedung pemerintah masih perlu dikaji untuk mengetahui keterkaitan antartahap dan keluaran yang dihasilkan.

1.3 Rumusan Masalah

Berdasarkan identifikasi masalah tersebut, rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana penerapan *Building Information Modeling* (BIM) 3D dalam menghasilkan model bangunan dan *quantity take-off* pekerjaan sebagai dasar penyusunan estimasi biaya pada Proyek Pembangunan Gedung Kejaksaan Negeri Kabupaten Malang?
2. Bagaimana penerapan metode *Program Evaluation and Review Technique* (PERT) yang diintegrasikan dengan Microsoft Project dan dimensi waktu BIM dalam menghasilkan jadwal probabilistik, lintasan kritis (*critical path*), serta probabilitas penyelesaian Proyek Pembangunan Gedung Kejaksaan Negeri Kabupaten Malang?

3. Bagaimana penerapan BIM 5D yang diintegrasikan dengan hasil penjadwalan proyek sebagai dasar analisis *Earned Value Management* (EVM) dalam mengevaluasi kinerja biaya dan waktu serta memprediksi biaya penyelesaian proyek pada periode analisis yang tersedia?

1.4 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah tersebut, tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menganalisis penerapan BIM 3D dalam menghasilkan model bangunan dan *quantity take-off* pekerjaan sebagai dasar penyusunan estimasi biaya pada Proyek Pembangunan Gedung Kejaksaan Negeri Kabupaten Malang.
2. Menganalisis penerapan metode PERT yang diintegrasikan dengan Microsoft Project dan dimensi waktu BIM dalam menghasilkan jadwal probabilitistik, lintasan kritis, serta probabilitas penyelesaian proyek.
3. Menganalisis penerapan BIM 5D yang diintegrasikan dengan hasil penjadwalan sebagai dasar analisis EVM untuk mengevaluasi kinerja biaya dan waktu serta memprediksi biaya penyelesaian proyek pada periode analisis yang tersedia.

1.5 Batasan Masalah

Agar pembahasan tetap terarah dan konsisten dengan tujuan penelitian, batasan masalah ditetapkan sebagai berikut:

1. Objek penelitian adalah Proyek Pembangunan Gedung Kejaksaan Negeri Kabupaten Malang dengan menggunakan dokumen perencanaan dan data pelaksanaan yang tersedia.
2. Pemodelan bangunan dilakukan menggunakan Autodesk Revit 2025 pada lingkup elemen struktur dan arsitektur yang diperlukan untuk menghasilkan model BIM 3D dan QTO.
3. Kuantitas pekerjaan yang dapat diekstraksi dari model menggunakan hasil QTO Autodesk Revit, sedangkan item yang tidak dimodelkan secara eksplisit dapat dihitung secara manual berdasarkan gambar kerja dan spesifikasi teknis. Sumber setiap kuantitas harus dinyatakan secara jelas.
4. Analisis biaya difokuskan pada pekerjaan struktur, arsitektur, dan pagar keliling yang termasuk dalam lingkup rekapitulasi penelitian. Pekerjaan mekanikal,

elektrikal, plumbing (MEP), utilitas lainnya, dan pengembangan kawasan di luar lingkup tersebut tidak dianalisis secara rinci.

5. Analisis durasi menggunakan metode PERT berdasarkan kuesioner kepada 10 responden dengan parameter waktu optimis (a), waktu paling mungkin (m), dan waktu pesimis (b) dalam satuan minggu.
6. Penyusunan jadwal, hubungan ketergantungan antaraktivitas, dan identifikasi lintasan kritis dilakukan menggunakan Microsoft Project berdasarkan waktu harapan hasil PERT. Integrasi BIM 4D dibatasi pada keterkaitan informasi waktu dengan model dan urutan pelaksanaan, tanpa analisis sumber daya secara rinci.
7. Penyusunan BIM 5D dilakukan dengan mengintegrasikan kuantitas pekerjaan dengan harga satuan yang digunakan pada dokumen proyek untuk memperoleh estimasi biaya lingkup analisis dan *Budget at Completion* (BAC).
8. Evaluasi EVM aktual dilakukan pada periode yang didukung oleh data progres dan biaya aktual. Data progres aktual yang tersedia sampai minggu ke-10 digunakan sebagai periode evaluasi aktual; perhitungan setelah periode tersebut, apabila disajikan, diperlakukan sebagai proyeksi (*forecast*) dan dibedakan dari kinerja aktual.
9. Penelitian tidak membahas analisis desain struktur, metode pelaksanaan secara rinci, optimasi sumber daya, analisis risiko, maupun aspek operasi dan pemeliharaan bangunan.

1.6 Hipotesis Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan deskriptif kuantitatif dengan studi kasus dan tidak menguji hubungan sebab-akibat antarvariabel melalui pengujian statistik inferensial. Oleh karena itu, hipotesis statistik tidak dirumuskan secara khusus. Analisis diarahkan pada pengukuran dan perbandingan hasil pemodelan BIM, estimasi durasi PERT, jadwal Microsoft Project, estimasi biaya BIM 5D, dan indikator EVM sesuai data penelitian yang tersedia.

1.7 Asumsi Penelitian

Asumsi yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Dokumen DED, RAB/HPS, HSPK, spesifikasi teknis, jadwal proyek, laporan progres, dan data biaya pelaksanaan yang digunakan merupakan dokumen yang dapat merepresentasikan informasi proyek pada periode penelitian.
2. Model BIM 3D disusun berdasarkan geometri, dimensi, material, dan elemen yang tercantum pada dokumen DED sehingga dapat digunakan sebagai basis QTO pada lingkup yang dimodelkan.
3. Penilaian 10 responden pada kuesioner PERT dianggap mewakili *expert judgment* berdasarkan kompetensi dan pengalaman responden di bidang konstruksi gedung.
4. Harga satuan pekerjaan yang digunakan dalam estimasi biaya mengikuti harga satuan pada dokumen proyek dan diperlakukan tetap untuk keperluan perbandingan pada lingkup analisis.
5. Hubungan ketergantungan antaraktivitas pada Microsoft Project disusun berdasarkan urutan teknis pelaksanaan dan memungkinkan hubungan *Finish-to-Start* maupun *Start-to-Start* pada aktivitas yang secara teknis dapat berlangsung tumpang tindih.
6. Analisis kinerja aktual hanya ditafsirkan pada periode yang memiliki data aktual; hasil proyeksi tidak digunakan untuk menyatakan bahwa kondisi aktual pada periode mendatang telah terjadi.

1.8 Manfaat Penelitian

1.8.1 Manfaat Teoritis

Penelitian ini diharapkan memberikan kontribusi pada kajian manajemen konstruksi, khususnya mengenai keterkaitan BIM 3D dan QTO, penjadwalan probabilistik berbasis PERT, integrasi jadwal dengan BIM 5D, penyusunan Kurva S, serta penggunaan EVM untuk evaluasi kinerja biaya dan waktu. Hasil penelitian juga diharapkan menjadi referensi bagi penelitian lanjutan yang mengembangkan integrasi informasi proyek berbasis BIM.

1.8.2 Manfaat Praktis

1. Bagi pemilik proyek, penelitian memberikan gambaran mengenai penggunaan informasi BIM, jadwal, dan biaya sebagai dasar pemantauan dan pengambilan keputusan proyek.
2. Bagi konsultan perencana, pengawas, dan kontraktor, penelitian dapat menjadi referensi dalam penyusunan QTO, estimasi biaya, jadwal probabilistik, serta evaluasi kinerja proyek secara lebih terintegrasi.
3. Bagi akademisi dan peneliti, penelitian menyediakan studi kasus penerapan BIM 5D yang dikombinasikan dengan PERT, Microsoft Project, Kurva S, dan EVM pada proyek gedung pemerintah.

1.9 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan tesis disusun dalam lima bab sebagai berikut:

1. BAB I Pendahuluan, memuat latar belakang, identifikasi masalah, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, hipotesis penelitian, asumsi penelitian, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan.
2. BAB II Tinjauan Pustaka, memuat sintesis penelitian terdahulu, perkembangan penerapan BIM dalam pengelolaan proyek, penjadwalan probabilistik, integrasi biaya-waktu dan EVM, kesenjangan penelitian, posisi penelitian, serta kerangka konseptual.
3. BAB III Metodologi Penelitian, menjelaskan jenis penelitian, lokasi dan objek, data dan sumber data, teknik pengumpulan data, instrumen penelitian, serta tahapan analisis BIM 3D, PERT, Microsoft Project, BIM 5D, Kurva S, dan EVM.
4. BAB IV Hasil Penelitian dan Pembahasan, menyajikan hasil pemodelan dan QTO, analisis PERT dan penjadwalan, estimasi biaya BIM 5D, integrasi biaya-waktu, Kurva S, serta evaluasi EVM yang dibahas sesuai periode data aktual dan proyeksi.
5. BAB V Kesimpulan dan Saran, memuat kesimpulan yang menjawab rumusan masalah serta saran untuk penerapan dan pengembangan penelitian selanjutnya.