

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sektor konstruksi di Indonesia sedang mengalami pemulihan yang signifikan setelah dampak negatif pandemi COVID-19. Pada tahun 2020, sektor ini tercatat mengalami kontraksi yang dalam akibat pembatasan sosial dan penurunan aktivitas ekonomi. Namun, sejak tahun 2021, sektor konstruksi kembali menunjukkan tanda-tanda pemulihan seiring dengan program pembangunan infrastruktur yang dicanangkan oleh pemerintah. Menurut Badan Pusat Statistik (BPS, 2023), sektor konstruksi mengalami pertumbuhan positif sebesar 5,1% pada triwulan ketiga 2023, seiring dengan dilanjutkannya proyek-proyek besar yang telah terhambat sebelumnya. Industri konstruksi di Indonesia terus berkembang sebagai salah satu pilar utama perekonomian nasional. Pada triwulan I tahun 2024, sektor ini memberikan kontribusi sebesar 10,23% terhadap Produk Domestik Bruto (PDB), menempati posisi keempat setelah sektor industri pengolahan, perdagangan, dan pertanian (BPS, 2024). Selain itu, sektor konstruksi menyerap lebih dari 8,77 juta tenaga kerja pada tahun 2023, menunjukkan pertumbuhan rata-rata 2,83% dibandingkan tahun-tahun sebelumnya (BPIW PUPR, 2023). Hal ini mencerminkan pentingnya sektor ini dalam menciptakan lapangan kerja dan mendukung pembangunan, meskipun ketergantungan pada tenaga kerja dalam jumlah besar menunjukkan perlunya modernisasi lebih lanjut untuk meningkatkan produktivitas.

Dari sisi nilai bisnis, industri konstruksi mencatatkan angka mencapai Rp423,4 triliun atau 12,73% dari total anggaran belanja negara tahun 2024 (Kementerian PUPR, 2024). Proyek strategis seperti pembangunan tol Trans-Sumatera, pengembangan Pelabuhan Patimban, dan proyek Ibu Kota Negara (IKN) Nusantara menjadi sorotan utama yang mendorong aktivitas konstruksi nasional. Namun, keberlanjutan proyek-proyek ini menghadapi tantangan dalam hal pembiayaan, dampak lingkungan, dan konsistensi kebijakan. Misalnya, pembangunan infrastruktur berskala besar sering kali membutuhkan investasi jangka panjang yang melibatkan pihak swasta, yang mungkin terhambat oleh regulasi yang belum sepenuhnya ramah investasi.

Dalam konteks global, daya saing industri konstruksi Indonesia juga meningkat, terbukti dengan naiknya peringkat daya saing global ke posisi 27, salah satu yang terbaik di Asia Tenggara (Ceritabaik Indonesia, 2024). Namun, meskipun ada kemajuan, tantangan dalam efisiensi proyek, inovasi teknologi, dan pengurangan ketergantungan pada impor bahan konstruksi masih menjadi perhatian utama. Tanpa langkah strategis untuk mengatasi tantangan ini, pertumbuhan yang diharapkan dari proyek strategis dapat terhambat, mengurangi potensi penuh sektor konstruksi untuk mendukung pembangunan ekonomi yang inklusif dan berkelanjutan.

Proyek konstruksi berskala besar sering kali menghadapi tantangan yang kompleks, termasuk keterlambatan, pembengkakan biaya, dan kesalahan teknis. Keterlambatan menjadi masalah yang paling umum, sering disebabkan oleh hambatan perizinan, perubahan desain selama proses konstruksi, hingga cuaca ekstrem. Menurut laporan Kementerian PUPR (2024) rata-rata proyek infrastruktur mengalami keterlambatan hingga 15% dari jadwal awal, dengan faktor perizinan dan logistik sebagai penyumbang utama. Keterlambatan ini tidak hanya mengganggu jadwal proyek tetapi juga berdampak langsung pada peningkatan biaya operasional, termasuk biaya tambahan tenaga kerja dan material.

Pembengkakan biaya adalah tantangan lain yang signifikan, biasanya diakibatkan oleh estimasi anggaran yang tidak akurat, kenaikan harga material, atau perubahan mendadak dalam lingkup pekerjaan. Dalam proyek berskala besar, seperti pembangunan infrastruktur jalan tol atau bandara, kenaikan kecil dalam anggaran awal dapat berakumulasi menjadi jumlah yang signifikan. Sebagai contoh, proyek tol Trans-Sumatera mengalami pembengkakan biaya hingga 18% dari anggaran awal akibat lonjakan harga material konstruksi dan penundaan logistik (BPIW, 2023). Hal ini menimbulkan beban finansial yang besar bagi pemilik proyek dan kontraktor, yang pada akhirnya dapat mengurangi kepercayaan investor.

Kesalahan teknis juga menjadi perhatian utama, sering kali muncul akibat kurangnya koordinasi antara tim desain dan pelaksana lapangan. Kesalahan ini dapat berupa ketidaksesuaian antara desain dan implementasi, penggunaan material yang tidak sesuai spesifikasi, atau bahkan kegagalan struktur yang serius. Sebuah studi dari ITB (2023) menunjukkan bahwa 25% kesalahan teknis dalam proyek infrastruktur disebabkan oleh dokumentasi yang tidak memadai dan pengawasan yang lemah. Kesalahan semacam ini tidak hanya berisiko meningkatkan biaya perbaikan tetapi

juga mengancam keselamatan publik, seperti yang terlihat dalam beberapa insiden pembangunan gedung dan jembatan yang mengalami keruntuhan sebelum selesai. Ketiga tantangan ini sering kali diperparah oleh kurangnya manajemen proyek yang efektif, keterbatasan sumber daya manusia yang berkualitas, serta teknologi konstruksi yang belum sepenuhnya dimanfaatkan. Penerapan teknologi seperti *Building Information Modeling* (BIM) dapat menjadi solusi untuk meningkatkan koordinasi dan akurasi, tetapi adopsinya masih terbatas di Indonesia, hanya mencapai 12% dari total proyek konstruksi menurut Ceritabaik Indonesia, 2024. Untuk mengatasi hambatan ini, diperlukan langkah strategis yang melibatkan sinergi antara pemerintah, kontraktor, dan akademisi guna mendorong efisiensi, inovasi, serta pengelolaan risiko yang lebih baik di sektor konstruksi.

Building Information Modeling (BIM) adalah pendekatan teknologi yang mengintegrasikan informasi digital untuk seluruh siklus hidup proyek konstruksi, dari tahap perencanaan, desain, konstruksi, hingga pemeliharaan. BIM memungkinkan kolaborasi multidisiplin yang lebih efisien dengan menyediakan platform terpadu di mana arsitek, insinyur, kontraktor, dan pemangku kepentingan lainnya dapat berbagi data secara *real-time*.

Salah satu manfaat utama BIM adalah kemampuan untuk meminimalkan risiko kesalahan desain dan meningkatkan akurasi dalam estimasi biaya dan jadwal. Dengan menggunakan model 3D yang terintegrasi dengan data teknis, BIM dapat menyimulasikan skenario proyek, mengidentifikasi potensi konflik antar disiplin (*clash detection*), dan menyelesaikannya sebelum konstruksi dimulai. Menurut laporan McKinsey (2023), adopsi BIM dapat mengurangi kesalahan proyek hingga 55% dan mempercepat waktu penyelesaian hingga 25%.

Selain itu, BIM mendukung manajemen sumber daya yang lebih baik melalui analisis yang mendalam. Misalnya, BIM memungkinkan simulasi penggunaan material yang optimal, sehingga dapat mengurangi limbah konstruksi dan dampak lingkungan. Hal ini sangat relevan di Indonesia, di mana proyek konstruksi skala besar seperti Ibu Kota Nusantara (IKN) memerlukan koordinasi multidisiplin yang kompleks dan berkelanjutan.

Namun, adopsi BIM di Indonesia masih menghadapi hambatan, seperti kurangnya pelatihan tenaga kerja, biaya implementasi yang tinggi, dan resistensi terhadap perubahan. Menurut data Kementerian PUPR (2024) hanya sekitar 12% proyek konstruksi nasional yang telah mengintegrasikan BIM. Untuk meningkatkan penetrasi

BIM, diperlukan kebijakan yang mendukung, termasuk insentif bagi perusahaan konstruksi yang mengadopsi teknologi ini dan penyediaan pelatihan bagi tenaga kerja. Dalam konteks globalisasi dan kompetisi yang semakin ketat, penerapan BIM bukan lagi pilihan tetapi kebutuhan untuk meningkatkan efisiensi, transparansi, dan daya saing sektor konstruksi Indonesia. Dengan integrasi yang efektif, BIM dapat menjadi solusi teknologi utama yang mendorong transformasi industri konstruksi menuju era digital.

Proyek konstruksi multidisiplin melibatkan kolaborasi antara berbagai disiplin ilmu yang berbeda untuk menghasilkan suatu bangunan atau infrastruktur yang kompleks. Dalam proyek semacam ini, berbagai keahlian teknis dan non-teknis, seperti arsitektur, teknik sipil, mekanikal, elektrik, dan manajemen konstruksi, digabungkan dalam satu kesatuan yang saling bergantung dan terkoordinasi. Pendekatan multidisiplin ini sangat penting untuk memastikan bahwa semua aspek teknis dan operasional dapat berjalan dengan efisien, aman, dan sesuai dengan standar yang ditetapkan. Arsitek bertanggung jawab atas desain dan estetika bangunan, memastikan desain memenuhi kebutuhan fungsional dan visual sesuai dengan keinginan klien serta memenuhi persyaratan hukum dan keselamatan. Di sisi lain, insinyur sipil merancang dan membangun struktur fisik proyek, seperti pondasi, jalan, jembatan, dan sistem drainase, serta bertanggung jawab atas perhitungan beban struktural dan kestabilan bangunan. Insinyur mekanikal mengelola sistem yang berhubungan dengan pemanas, ventilasi, dan pendingin udara (HVAC), sedangkan insinyur elektrik menangani sistem kelistrikan dan pencahayaan, serta teknologi lain seperti sistem keamanan. Manajer konstruksi memegang peranan penting dalam mengelola seluruh proses konstruksi, memastikan proyek selesai tepat waktu, sesuai anggaran, dan spesifikasi teknis, serta berfungsi sebagai penghubung antara pemilik proyek dan tim multidisiplin.

Namun, proyek konstruksi multidisiplin tidak tanpa tantangan. Salah satu tantangan terbesar adalah koordinasi dan komunikasi antara tim yang terdiri dari berbagai disiplin ilmu. Tanpa komunikasi yang baik, proyek bisa menghadapi tumpang tindih tugas, kesalahan desain, atau bahkan kegagalan teknis yang dapat menambah biaya. Selain itu, sering terjadi konflik desain antara estetika yang diinginkan arsitek dan persyaratan teknis dari insinyur sipil atau mekanikal, yang bisa menyebabkan perubahan desain atau peningkatan biaya. Manajemen waktu dan biaya juga menjadi isu penting, karena keterlambatan dalam satu bagian proyek dapat mempengaruhi

bagian lain, memperbesar pembengkakan biaya dan memperpanjang waktu penyelesaian. Selain itu, meskipun teknologi seperti *Building Information Modeling* (BIM) dapat membantu dalam perencanaan dan visualisasi proyek, adopsi teknologi ini di Indonesia masih terbatas, sehingga menghambat efisiensi dan kolaborasi antar disiplin.

Tantangan utama dalam proyek multidisiplin adalah bagaimana memastikan bahwa semua tim dan disiplin bekerja sesuai dengan tujuan proyek secara keseluruhan. Salah satu masalah yang paling umum adalah ketidaksesuaian antara rencana dan realisasi, yang pada akhirnya menyebabkan keterlambatan jadwal dan pembengkakan biaya. Menurut Johnson et al. (2010) proyek multidisiplin memerlukan pendekatan manajemen yang lebih terpadu dan integratif untuk mengelola kompleksitas ini. Pendekatan ini melibatkan koordinasi yang lebih baik antara berbagai tim disiplin untuk memastikan bahwa tujuan proyek tercapai dengan efisien, menghindari konflik antar tim, serta meminimalkan risiko yang dapat memengaruhi kelancaran proyek.

Proyek konstruksi berskala besar sering kali menghadapi tantangan koordinasi yang kompleks akibat keterlibatan banyak pihak dengan peran dan tanggung jawab yang berbeda. Salah satu kesulitan utama adalah komunikasi yang tidak efisien di antara tim yang terlibat. Dengan banyaknya *stakeholder*, seperti pemilik proyek, konsultan, kontraktor, subkontraktor, dan pemasok, sering terjadi *miss-komunikasi* yang menyebabkan informasi tidak tersampaikan dengan jelas atau tepat waktu. Hal ini dapat memicu kesalahan dalam implementasi atau keterlambatan pengambilan keputusan yang berdampak pada jadwal proyek.

Kurangnya sinkronisasi jadwal kerja juga menjadi tantangan signifikan. Dalam proyek besar, setiap aktivitas saling terkait, sehingga keterlambatan dalam satu tahap, seperti pengadaan material atau pekerjaan fondasi, dapat memengaruhi tahapan lainnya. Dampak ini sering kali berujung pada keterlambatan keseluruhan proyek dan peningkatan biaya.

Konflik antara berbagai disiplin ilmu adalah kendala lain yang umum terjadi. Perbedaan prioritas atau pendekatan teknis antara arsitek, insinyur sipil, mekanikal, dan elektrik sering kali memerlukan negosiasi dan revisi desain yang memakan waktu. Selain itu, jika tidak ada integrasi yang baik, seperti melalui teknologi *Building Information Modeling* (BIM), kemungkinan terjadi ketidaksesuaian antara desain dan implementasi di lapangan menjadi lebih tinggi.

Manajemen sumber daya manusia yang kurang optimal juga memperburuk kesulitan koordinasi. Dengan banyaknya tim yang bekerja pada berbagai lokasi dan tugas, memastikan semua tenaga kerja memiliki pemahaman yang sama tentang prioritas dan jadwal proyek menjadi tantangan besar. Hal ini diperburuk oleh rotasi pekerja atau pergantian personel yang dapat mengganggu kontinuitas koordinasi.

Untuk mengatasi tantangan-tantangan ini, diperlukan pendekatan manajemen proyek yang terintegrasi, pemanfaatan teknologi modern seperti BIM untuk menyinkronkan informasi dan jadwal, serta komunikasi yang efektif di antara seluruh pihak yang terlibat. Tanpa koordinasi yang baik, proyek besar berisiko menghadapi keterlambatan, pembengkakan biaya, dan penurunan kualitas hasil akhir.

Turner (2009) berpendapat bahwa pendekatan tradisional dalam manajemen proyek, yang seringkali tersegmentasi berdasarkan disiplin teknis, tidak cukup efektif dalam mengatasi kompleksitas yang ada. Hal ini karena dalam proyek multidisiplin, setiap disiplin harus saling terintegrasi dan berkolaborasi untuk mencapai hasil yang optimal. Proyek yang tidak mengadopsi pendekatan manajerial yang terpadu sering kali mengalami masalah koordinasi, keterlambatan, dan pembengkakan biaya. Oleh karena itu, manajemen proyek dalam konteks ini harus melibatkan komunikasi yang lebih efektif, penggunaan teknologi yang mendukung integrasi antar-disiplin, dan pengelolaan yang lebih cermat terhadap waktu dan biaya.

Pentingnya pendekatan multidisiplin dalam konstruksi modern semakin jelas seiring dengan semakin kompleksnya proyek dan harapan klien yang lebih tinggi. Kolaborasi antar disiplin tidak hanya mengurangi risiko kesalahan, tetapi juga memungkinkan terciptanya solusi yang lebih inovatif dan efisien. Dengan kerja sama yang solid antar disiplin, integrasi teknologi dan penggunaan material ramah lingkungan dapat dilakukan lebih efektif. Oleh karena itu, penting bagi semua pihak yang terlibat dalam proyek konstruksi multidisiplin untuk memiliki pemahaman yang mendalam tentang disiplin lain dan bekerja dalam sinergi yang baik. Penggunaan teknologi canggih seperti BIM dapat mempercepat proses kolaborasi, mengurangi kesalahan desain, dan menghasilkan hasil yang lebih optimal.

Building Information Modeling (BIM) telah menjadi solusi revolusioner dalam industri konstruksi, terutama dalam mengelola proyek multidisiplin yang kompleks. BIM memungkinkan integrasi berbagai bidang seperti arsitektur, teknik sipil, mekanikal, elektrik, dan manajemen konstruksi ke dalam satu platform digital. Relevansi utama

BIM terletak pada kemampuannya untuk menyediakan representasi digital dari seluruh siklus hidup proyek, mulai dari perencanaan hingga pemeliharaan.

Dengan BIM, setiap disiplin dapat bekerja secara kolaboratif melalui model digital yang terpadu. Misalnya, arsitek dapat merancang desain bangunan secara visual, sementara insinyur sipil dapat menambahkan analisis struktural langsung pada model yang sama. Di sisi lain, insinyur mekanikal dan elektrik dapat menyisipkan rancangan sistem HVAC atau kelistrikan ke dalam model tersebut tanpa mengganggu elemen lain. Integrasi ini mengurangi risiko konflik desain, seperti tumpang tindih instalasi mekanikal dan struktur bangunan, yang sering terjadi pada pendekatan tradisional.

BIM juga relevan dalam menyinkronkan jadwal proyek melalui fitur 4D (waktu) dan mengelola biaya secara real-time melalui 5D (anggaran). Dengan begitu, tim proyek dapat memantau progres pekerjaan, memperkirakan kebutuhan material, dan mengelola pengeluaran secara lebih akurat. Selain itu, BIM mendukung simulasi dan analisis, seperti pemanfaatan energi, efisiensi material, dan prediksi dampak lingkungan, sehingga membantu pengambilan keputusan yang lebih baik.

Dalam konteks proyek besar, BIM mempercepat proses koordinasi dengan menyediakan akses informasi yang transparan bagi semua pihak melalui platform *cloud*. Dengan fitur ini, pemilik proyek, kontraktor, subkontraktor, dan konsultan dapat berkolaborasi secara simultan, meminimalkan miskomunikasi, dan mengurangi kesalahan implementasi. Bahkan, perubahan desain yang mendadak dapat dilakukan dan dilihat secara *real-time* oleh seluruh tim, menghindari keterlambatan akibat revisi manual.

Relevansi BIM menjadi semakin krusial di era konstruksi modern, di mana kompleksitas proyek terus meningkat dan efisiensi waktu serta biaya menjadi prioritas. Dengan memanfaatkan BIM, industri konstruksi dapat mengatasi tantangan koordinasi multidisiplin, meningkatkan produktivitas, serta menghasilkan proyek yang lebih inovatif, efisien, dan berkelanjutan.

Urgensi penerapan *Building Information Modeling* (BIM) dalam industri konstruksi menjadi semakin mendesak di tengah tantangan kompleksitas proyek yang terus meningkat. BIM menawarkan solusi yang signifikan untuk mengatasi berbagai masalah klasik dalam konstruksi, seperti ketidakefisienan, kesalahan desain, dan komunikasi yang buruk antara berbagai disiplin ilmu.

BIM memungkinkan perencanaan dan pelaksanaan proyek yang lebih terstruktur melalui model digital yang mendukung simulasi 4D (waktu) dan 5D (anggaran). Dengan BIM, jadwal proyek dapat disinkronkan secara *realtime*, sehingga mengurangi potensi keterlambatan akibat ketidaksesuaian jadwal kerja. Selain itu, BIM membantu memprediksi kebutuhan material secara akurat, meminimalkan pemborosan, dan meningkatkan produktivitas di lapangan. Studi menunjukkan bahwa adopsi BIM dapat menghemat waktu proyek hingga 20% dan mengurangi biaya konstruksi hingga 15%. BIM menyediakan platform terintegrasi yang memungkinkan semua pihak mulai dari arsitek, insinyur, hingga kontraktor mengakses informasi proyek yang sama secara terpusat. Transparansi data ini mengurangi risiko miss-komunikasi yang sering kali menyebabkan kesalahan implementasi di lapangan. Dengan sistem berbasis *cloud*, semua perubahan desain atau jadwal dapat diperbarui secara *real-time* dan langsung terlihat oleh seluruh tim, memastikan koordinasi yang lebih baik.

Salah satu fitur utama BIM adalah kemampuan untuk mendeteksi tabrakan (*clash detection*) antara berbagai elemen desain, seperti struktur bangunan, instalasi mekanikal, dan sistem elektrik. Deteksi ini dilakukan pada tahap perencanaan, sehingga mengurangi risiko kesalahan yang mahal saat proyek sudah berjalan. Sebagai contoh, tabrakan antara saluran pipa dan struktur beton dapat diidentifikasi dan diselesaikan di model BIM sebelum pekerjaan lapangan dimulai, menghemat waktu dan biaya perbaikan.

Di Indonesia, pemerintah mulai mendorong adopsi BIM sebagai bagian dari strategi modernisasi industri konstruksi. Kementerian PUPR, misalnya, telah menetapkan penggunaan BIM sebagai standar dalam beberapa proyek infrastruktur besar, seperti pembangunan Ibu Kota Negara (IKN) Nusantara. Selain itu, regulasi yang mendorong efisiensi dan transparansi dalam proyek konstruksi semakin relevan dengan keunggulan yang ditawarkan BIM. Dukungan ini menjadi momentum penting bagi pelaku industri untuk berinvestasi dalam teknologi BIM guna meningkatkan daya saing mereka.

Penerapan BIM tidak hanya menjadi langkah inovatif tetapi juga kebutuhan strategis untuk menjawab tantangan modern dalam industri konstruksi. Dengan mengintegrasikan berbagai disiplin ilmu dalam satu platform digital, BIM mampu meningkatkan efisiensi waktu, biaya, dan produktivitas, sekaligus memastikan hasil proyek yang lebih berkualitas dan berkelanjutan. Dukungan regulasi dari pemerintah

memperkuat urgensi adopsi BIM sebagai standar baru dalam pengelolaan proyek konstruksi di Indonesia.

Proyek Jalan Tol Trans-Sumatera (JTTS) merupakan salah satu proyek strategis nasional (PSN) yang dirancang untuk memperkuat konektivitas antarwilayah di Pulau Sumatera. Dengan panjang total sekitar 2.974 kilometer, proyek ini bertujuan untuk menghubungkan Lampung di bagian selatan hingga Aceh di bagian utara. Proyek ini tidak hanya berfungsi sebagai jalur transportasi utama tetapi juga sebagai katalisator pertumbuhan ekonomi regional dan nasional.

Hingga akhir 2024, sekitar 1.741 kilometer jalan tol telah rampung dan dioperasikan, mencakup ruas - ruas penting seperti Bakauheni-Palembang, Pekanbaru-Dumai, dan Medan-Binjai (Kementerian PUPR, 2024). Kehadiran jalan tol ini mempersingkat waktu perjalanan antar kota secara signifikan. Sebagai contoh, perjalanan dari Lampung ke Palembang yang sebelumnya memakan waktu 12 jam kini dapat ditempuh dalam 5-6 jam melalui jalan tol.

Proyek JTTS juga menjadi pendorong pengembangan wilayah di sepanjang koridor jalan tol. Kawasan - kawasan industri, pusat logistik, dan destinasi wisata di Sumatera diproyeksikan tumbuh pesat, sejalan dengan peningkatan aksesibilitas. Selain itu, proyek ini menciptakan peluang besar dalam sektor konstruksi, dengan melibatkan ribuan tenaga kerja lokal serta penggunaan material dalam negeri, termasuk aspal dan beton pra-cetak.

Namun, tantangan tetap ada dalam pelaksanaan proyek besar ini, seperti pembebasan lahan yang lambat, kendala teknis di medan berat, dan pendanaan yang masif. Meski demikian, dukungan pemerintah dan partisipasi Badan Usaha Milik Negara (BUMN) seperti PT Hutama Karya menjadi kunci keberhasilan penyelesaian proyek ini. Total investasi yang dialokasikan untuk proyek ini mencapai Rp476 triliun, menjadikannya salah satu proyek infrastruktur terbesar di Indonesia (Ceritabaik Indonesia, 2024).

Sebagai tulang punggung transportasi darat di Sumatera, Jalan Tol Trans-Sumatera diharapkan dapat meningkatkan daya saing ekonomi pulau ini, mengurangi disparitas antarwilayah, serta memperkuat integrasi ekonomi nasional. Proyek ini mencerminkan komitmen Indonesia dalam membangun infrastruktur modern yang mendukung pembangunan berkelanjutan dan meningkatkan kesejahteraan masyarakat.

PT Hutama Karya, sebagai perusahaan konstruksi yang terkemuka di Indonesia, menghadapi berbagai tantangan dalam proyek-proyek besar dan multidisiplin, salah

satunya adalah Proyek Jalan Tol Trans-Sumatera (JTTS). Proyek ini merupakan bagian dari upaya pemerintah Indonesia untuk memperluas infrastruktur jalan tol yang menghubungkan berbagai provinsi di Pulau Sumatera. Namun, dalam perjalanan proyek JTTS, PT Hutama Karya menghadapi beberapa masalah yang umum terjadi dalam proyek-proyek berskala besar, seperti koordinasi yang tidak efektif antara berbagai disiplin ilmu yang terlibat, termasuk teknik sipil, mekanikal, elektrikal, dan arsitektur. Akibatnya, beberapa bagian dari proyek mengalami keterlambatan penyelesaian dan pembengkakan anggaran.

Koordinasi antar tim yang kurang terintegrasi sering menyebabkan perubahan desain yang memengaruhi jadwal dan anggaran proyek. Misalnya, kesalahan desain atau kesalahan dalam estimasi biaya dapat menyebabkan perluasan anggaran yang tidak direncanakan sebelumnya, atau penundaan yang memengaruhi timeline yang telah ditentukan. Sebagaimana dikemukakan oleh Turner (2009), proyek multidisiplin seperti JTTS memerlukan pendekatan manajemen yang lebih terpadu untuk mengatasi kompleksitas ini. Koordinasi yang buruk dapat memicu keterlambatan dan pembengkakan biaya, yang pada akhirnya mempengaruhi keberhasilan proyek secara keseluruhan.

Berdasarkan pengalaman tersebut, PT Hutama Karya menyadari bahwa untuk meningkatkan efisiensi manajemen waktu dan biaya, diperlukan teknologi yang mendukung koordinasi lebih baik antar disiplin ilmu. Salah satu solusi yang dapat diandalkan adalah penerapan teknologi *Building Information Modeling* (BIM). BIM memungkinkan integrasi data dalam satu platform terpusat, sehingga semua disiplin yang terlibat dalam proyek dapat bekerja dengan informasi yang sama dan saling berkolaborasi secara *real-time*. Menurut Eastman et al. (2011), penggunaan BIM dalam proyek multidisiplin dapat mengurangi risiko kesalahan desain, memfasilitasi komunikasi antar tim, dan mengidentifikasi potensi masalah lebih awal, sehingga membantu meminimalkan keterlambatan dan pembengkakan biaya.

Implementasi BIM dalam Proyek Jalan Tol Trans-Sumatera dapat meningkatkan efisiensi dalam hal perencanaan, pengelolaan sumber daya, serta pengendalian jadwal dan biaya. Sebagaimana ditegaskan oleh Kerzner (2017), untuk proyek multidisiplin seperti JTTS, teknologi seperti BIM tidak hanya mempermudah koordinasi antar tim, tetapi juga memastikan bahwa seluruh tim bekerja secara harmonis dengan tujuan yang sama, yaitu menyelesaikan proyek sesuai dengan jadwal dan anggaran yang telah ditetapkan. Dengan demikian, penerapan BIM

diharapkan dapat membawa perbaikan signifikan dalam pengelolaan proyek JTTS, baik dari segi waktu, biaya, maupun kualitas keseluruhan proyek.

Salah satu solusi yang semakin banyak diadopsi oleh industri konstruksi global untuk mengatasi tantangan kompleksitas proyek adalah penggunaan *Building Information Modeling* (BIM). BIM merupakan teknologi berbasis digital yang memungkinkan integrasi informasi secara real-time, memfasilitasi kolaborasi yang lebih efektif antar disiplin ilmu yang terlibat dalam proyek konstruksi. Dengan BIM, semua pihak yang terlibat dalam proyek baik itu arsitek, insinyur, kontraktor, hingga pemilik proyek dapat bekerja dengan informasi yang terpusat dan saling terintegrasi. Eastman et al. (2011) menyatakan bahwa BIM mampu meningkatkan efisiensi manajemen proyek dengan mengurangi risiko kesalahan, meningkatkan koordinasi antar tim, dan memberikan visualisasi yang lebih jelas terhadap seluruh proyek. Sebagai contoh, dengan BIM, tim proyek dapat dengan mudah mendeteksi masalah atau potensi konflik desain sejak dini, mengurangi risiko kesalahan yang dapat menyebabkan keterlambatan atau pembengkakan biaya.

Urgensi penerapan BIM dalam proyek konstruksi multidisiplin sangat dipengaruhi oleh kompleksitas proyek yang melibatkan banyak bidang, seperti arsitektur, teknik sipil, mekanikal, elektrik, dan manajemen proyek. Masing-masing disiplin memiliki data dan gambar teknis yang harus diintegrasikan secara harmonis. Dalam konteks ini, BIM memainkan peran sentral sebagai platform kolaborasi yang memungkinkan semua disiplin bekerja dalam satu model digital terintegrasi. Hal ini meminimalkan kesalahan desain, menghindari tumpang tindih pekerjaan, dan mengurangi kebutuhan perubahan mendadak selama proses konstruksi. Azhar (2011) mencatat bahwa "*BIM provides significant advantages, including improved visualization, enhanced productivity due to easy retrieval of information, and increased coordination of construction documents.*" Keunggulan ini menjadi alasan kuat mengapa BIM semakin mendesak untuk diadopsi.

Selain itu, BIM mampu meningkatkan efisiensi waktu dan biaya melalui proses otomatisasi yang canggih, seperti deteksi tabrakan (*clash detection*), estimasi biaya, dan simulasi konstruksi. Dengan fitur-fitur ini, BIM dapat mendeteksi potensi konflik teknis antar-komponen sejak tahap desain, sehingga menghindari perubahan desain yang mahal selama proses pembangunan. Sebuah studi oleh Hardin & McCool (2015) menyatakan bahwa "*The ability of BIM to provide clash detection and reduce change*

orders significantly improves project outcomes, especially in large and complex construction projects."

Pentingnya BIM juga terletak pada kemampuannya dalam mengelola data proyek secara transparan dan terpusat. Dalam proyek konstruksi multidisiplin, di mana komunikasi yang efektif menjadi kunci, BIM menyediakan akses data *real-time* yang mempercepat pengambilan keputusan. Setiap perubahan desain atau jadwal yang dilakukan oleh satu tim akan langsung terlihat oleh tim lain yang terkait, sehingga mempercepat proses kerja dan meningkatkan transparansi.

Dari perspektif global, banyak negara telah mewajibkan penggunaan BIM dalam proyek publik sebagai standar industri untuk meningkatkan efisiensi dan akuntabilitas. Pemerintah Indonesia, melalui Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (PUPR), juga mendorong penggunaan BIM pada proyek-proyek strategis nasional seperti Jalan Tol Trans Sumatera. Langkah ini sejalan dengan rekomendasi dari Arayici et al. (2011), yang menyebutkan bahwa *"BIM implementation should be supported by strong governmental policies to accelerate its adoption and realize its full potential in improving construction project delivery."*

Dengan semua keunggulan yang ditawarkannya, penerapan BIM bukan lagi sekadar pilihan, tetapi menjadi kebutuhan mendesak dalam proyek konstruksi multidisiplin. Perusahaan yang lambat mengadopsi teknologi ini berisiko kehilangan daya saing di pasar yang semakin kompetitif. Oleh karena itu, BIM menjadi solusi strategis yang harus diintegrasikan untuk memastikan keberhasilan proyek yang efisien, tepat waktu, dan berkelanjutan.

Namun, meskipun BIM telah terbukti efektif dalam berbagai studi internasional, penerapan teknologi ini di Indonesia, terutama di perusahaan-perusahaan besar seperti PT Hutama Karya, masih menghadapi berbagai tantangan. Salah satu tantangan utama adalah kesiapan sumber daya manusia (SDM). Banyak tenaga ahli yang masih belum memiliki keterampilan yang memadai dalam menggunakan BIM, sehingga memerlukan pelatihan khusus untuk mengoptimalkan potensi teknologi ini. Selain itu, adopsi BIM memerlukan investasi teknologi yang tidak sedikit, baik dalam hal perangkat keras maupun perangkat lunak. Tantangan lain yang tidak kalah penting adalah adaptasi proses kerja yang sudah berjalan di perusahaan. Implementasi BIM mengharuskan perubahan dalam cara kerja tradisional, yang mungkin memerlukan waktu untuk menyesuaikan dan mempengaruhi seluruh struktur organisasi yang terlibat dalam proyek.

Salah satu contoh penerapan BIM yang sukses di Indonesia adalah proyek-proyek besar yang dikelola oleh perusahaan konstruksi internasional, yang telah menunjukkan peningkatan signifikan dalam hal efisiensi waktu dan biaya. Namun, PT Hutama Karya sebagai salah satu perusahaan konstruksi terkemuka di Indonesia perlu menghadapi tantangan yang ada untuk dapat sepenuhnya mengadopsi BIM dalam proyek-proyek multidisiplin mereka, seperti dalam pembangunan jalan tol Trans-Sumatera.

Meskipun teknologi *Building Information Modeling* (BIM) telah diadopsi secara luas di berbagai negara sebagai solusi inovatif dalam industri konstruksi, implementasinya di Indonesia masih dihadapkan pada berbagai tantangan yang signifikan. Beberapa di antaranya meliputi keterbatasan sumber daya manusia yang terampil dalam mengoperasikan dan memanfaatkan teknologi ini secara optimal, tingginya investasi awal yang diperlukan untuk mengadopsi infrastruktur teknologi BIM, serta adanya resistensi terhadap perubahan, baik di tingkat manajerial maupun operasional. Tantangan ini memperlambat laju transformasi digital yang seharusnya membawa efisiensi dan peningkatan produktivitas di sektor konstruksi.

Di sisi lain, studi empiris mengenai dampak adopsi BIM di Indonesia masih terbatas, terutama yang mengevaluasi secara kuantitatif dan kualitatif bagaimana teknologi ini memengaruhi kinerja proyek konstruksi multidisiplin. Kurangnya data empiris ini menyulitkan para pemangku kepentingan untuk memahami nilai tambah BIM secara komprehensif, baik dari segi efisiensi waktu, pengurangan biaya, maupun peningkatan kolaborasi lintas disiplin. Dengan demikian, diperlukan penelitian yang lebih mendalam untuk mengisi kesenjangan ini dan memberikan wawasan berbasis bukti yang dapat mendorong percepatan adopsi BIM di Indonesia.

Novelty, Penelitian ini akan menjadi langkah awal yang signifikan untuk menjawab tantangan tersebut dengan menyediakan kerangka evaluasi holistik terhadap penerapan BIM di proyek konstruksi multidisiplin di Indonesia. Dengan mengombinasikan analisis kuantitatif berbasis data dan wawasan kualitatif dari pelaku industri, studi ini bertujuan tidak hanya untuk mengidentifikasi hambatan yang ada, tetapi juga untuk merumuskan strategi praktis yang dapat diterapkan untuk meningkatkan adopsi BIM. Temuan ini diharapkan dapat membuka peluang inovasi dalam manajemen proyek konstruksi di Indonesia, sekaligus memperkuat daya saing industri konstruksi nasional di tingkat global.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang yang telah dijelaskan sebelumnya, masalah utama yang diangkat dalam penelitian ini adalah:

1. Apakah tingkat penerapan *Building Information Modeling* (BIM) berpengaruh terhadap kinerja proyek konstruksi (biaya, waktu, dan mutu) pada proyek konstruksi multidisiplin?
2. Apakah tingkat penerapan *Building Information Modeling* (BIM) berpengaruh terhadap pertukaran data dan informasi antar-disiplin (arsitektur, teknik sipil, mekanikal, elektrik, dll.)?
3. Apakah pertukaran data dan informasi berpengaruh terhadap kinerja proyek konstruksi (biaya, waktu, dan mutu) pada proyek konstruksi multidisiplin?
4. Apakah tingkat penerapan *Building Information Modeling* (BIM) berpengaruh terhadap kinerja proyek konstruksi (biaya, waktu, dan mutu) pada proyek konstruksi multidisiplin dimoderasi dengan pertukaran data dan informasi?
5. Apa saja kendala yang memengaruhi efektivitas pertukaran data dan informasi melalui BIM, baik dari aspek teknologi, kompetensi tenaga kerja, maupun koordinasi antar-disiplin?
6. Bagaimana strategi mitigasi untuk mengurangi kendala yang memengaruhi efektivitas pertukaran data dan informasi melalui BIM, baik dari aspek teknologi, kompetensi tenaga kerja, maupun koordinasi antar-disiplin?
7. Bagaimana model yang dapat dirancang untuk meningkatkan penerapan BIM dengan mempertimbangkan pertukaran data dan informasi sebagai variabel utama yang berkontribusi terhadap peningkatan kinerja proyek?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini dapat dirumuskan sebagai berikut:

1. Menganalisis pengaruh tingkat penerapan *Building Information Modeling* (BIM) terhadap kinerja proyek konstruksi (biaya, waktu, dan mutu) pada proyek konstruksi multidisiplin
2. Menganalisis pengaruh tingkat penerapan *Building Information Modeling* (BIM) terhadap pertukaran data dan informasi antar-disiplin (arsitektur, teknik sipil, mekanikal, elektrik, dll.).
3. Menganalisis pengaruh pertukaran data dan informasi terhadap kinerja proyek konstruksi (biaya, waktu, dan mutu) pada proyek konstruksi multidisiplin.

4. Menganalisis pengaruh tingkat penerapan *Building Information Modeling* (BIM) terhadap kinerja proyek konstruksi (biaya, waktu, dan mutu) pada proyek konstruksi multidisiplin dimoderasi dengan pertukaran data dan informasi
5. Mengidentifikasi dan menganalisis kendala yang memengaruhi efektivitas pertukaran data dan informasi melalui BIM, baik dari aspek teknologi, kompetensi tenaga kerja, maupun koordinasi antar-disiplin.
6. Merumuskan strategi mitigasi yang efektif dalam mengurangi kendala-kendala yang memengaruhi efektivitas pertukaran data dan informasi melalui *Building Information Modeling* (BIM), dengan meninjau dari aspek teknologi, kompetensi tenaga kerja, serta koordinasi antar-disiplin.
7. Mengembangkan model yang dapat meningkatkan penerapan BIM dalam proyek konstruksi dengan memperhatikan pertukaran data dan informasi sebagai faktor utama yang berkontribusi terhadap peningkatan kinerja proyek.

1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Manfaat Teoritis

- a. Memberikan kontribusi pada pengembangan ilmu pengetahuan dan pengembangan sistem, khususnya dalam bidang manajemen konstruksi dan teknologi konstruksi, dengan menjelaskan hubungan antara penerapan *Building Information Modeling* (BIM), proses pertukaran data dan informasi, serta kinerja proyek.
- b. Menambah referensi akademik terkait pengaruh teknologi digital terhadap efisiensi dan efektivitas pelaksanaan proyek konstruksi multidisiplin.
- c. Mengembangkan pemahaman teoretis mengenai peran variabel *moderating* (proses pertukaran data dan informasi) dalam memperkuat hubungan antara penerapan BIM dan kinerja proyek.

2. Manfaat Praktis

- a. Memberikan panduan bagi praktisi konstruksi, termasuk kontraktor, konsultan, dan pemilik proyek, dalam mengoptimalkan penerapan BIM untuk meningkatkan kinerja proyek terkait biaya, mutu, dan waktu.
- b. Membantu pemangku kepentingan dalam proyek konstruksi untuk memahami pentingnya manajemen pertukaran data dan informasi yang efektif sebagai kunci keberhasilan proyek.

- c. Memberikan rekomendasi strategis kepada perusahaan konstruksi mengenai implementasi BIM yang efisien, termasuk identifikasi tantangan dan solusi untuk mengatasi hambatan dalam proses kolaborasi multidisiplin.
- d. Mendukung pemerintah atau regulator dalam merumuskan kebijakan atau regulasi yang mendukung adopsi BIM sebagai standar dalam pelaksanaan proyek konstruksi strategis di Indonesia.

3. Manfaat Kebijakan

- a. Menjadi acuan bagi pemangku kepentingan dalam merumuskan kebijakan atau standar penggunaan BIM pada proyek konstruksi, khususnya di sektor multidisiplin.
- b. Mendorong penerapan teknologi inovatif dalam industri konstruksi untuk meningkatkan produktivitas dan efisiensi.

1.5 Batasan Masalah

Agar studi dan permasalahan yang dikaji dapat lebih terfokus serta selaras dengan judul dan tujuan penulisan Tugas Akhir ini, penulis menetapkan batasan masalah sebagai berikut:

1. Fokus pada Proyek Tol Trans-Sumatera PT Utama Karya: Penelitian ini hanya akan membahas penerapan Building Information Modeling (BIM) dalam proyek Tol Trans-Sumatera yang dikelola oleh PT Utama Karya. Proyek lain atau proyek konstruksi di luar jaringan jalan tol ini tidak akan dijadikan objek studi.
2. Aspek Kinerja Proyek: Penelitian ini akan membatasi kajiannya pada tiga aspek kinerja proyek, yaitu biaya, mutu, dan waktu, yang menjadi fokus utama dalam evaluasi pengaruh penerapan BIM. Aspek lain seperti keselamatan kerja, lingkungan, atau dampak sosial tidak akan dibahas dalam penelitian ini.
3. Proses Pertukaran Data dan Informasi: Penelitian ini akan mengkaji hanya proses pertukaran data dan informasi yang terjadi selama fase perencanaan, desain, dan pelaksanaan proyek. Fokusnya adalah pada bagaimana BIM memfasilitasi komunikasi dan koordinasi antara disiplin ilmu yang terlibat, termasuk arsitektur, teknik sipil, mekanikal, dan elektrik.
4. Penerapan BIM: Penelitian ini membatasi penerapan BIM pada teknologi yang digunakan dalam tahap desain, perencanaan, dan pelaksanaan proyek konstruksi, serta bagaimana BIM mempengaruhi koordinasi antar disiplin.

Penelitian ini tidak akan mencakup penggunaan BIM pada aspek lainnya seperti pemeliharaan atau pengelolaan pasca-konstruksi.

5. Sumber Data: Penelitian ini akan menggunakan data primer yang diperoleh dari wawancara, survei, dan observasi langsung dengan pemangku kepentingan proyek (seperti manajer proyek, kontraktor, insinyur, arsitek, dan pihak terkait lainnya) serta data sekunder yang relevan. Penelitian ini tidak akan membahas atau menggunakan data dari proyek konstruksi yang belum menerapkan BIM.
6. Periode Waktu: Penelitian ini dibatasi pada proyek Tol Trans-Sumatera yang dilaksanakan dalam periode 2018-2023, guna memastikan relevansi penerapan BIM yang sudah teruji dalam konteks proyek saat ini.
7. Lingkup Teknologi BIM: Penelitian ini akan fokus pada penggunaan BIM yang mencakup elemen-elemen dasar seperti desain 3D, deteksi tabrakan (clash detection), serta simulasi dan analisis berbasis data. Teknologi canggih lainnya yang terkait dengan BIM, seperti integrasi dengan *Internet of Things* (IoT) atau kecerdasan buatan (AI), tidak menjadi fokus utama dalam penelitian ini.

1.6 Sistematika Penulisan

Secara umum, karya tulis ini terdiri dari lima bab, yaitu Pendahuluan, Tinjauan Pustaka, Metodologi Penelitian, Hasil dan Pembahasan, serta Kesimpulan dan Saran. Berikut adalah gambaran umum mengenai isi dari masing-masing bab tersebut.

BAB 1 PENDAHULUAN

Bab ini menjelaskan latar belakang yang mendasari pemilihan tema tugas akhir, permasalahan yang akan dipecahkan, tujuan yang ingin dicapai, manfaat yang diharapkan, serta batasan masalah untuk memperjelas ruang lingkup penelitian. Selain itu, juga diuraikan sistematika penulisan laporan yang akan memudahkan pemahaman secara terstruktur.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi kajian tentang penelitian sebelumnya dan landasan teori yang relevan dengan topik penelitian dalam tugas akhir ini, yang digunakan sebagai dasar dalam menganalisis masalah yang dibahas.

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini menguraikan jenis penelitian yang digunakan, prosedur dan teknik pengumpulan data, serta metode yang diterapkan untuk pengolahan dan analisis data dalam penelitian ini.

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

Di bab ini, akan disajikan data hasil penelitian yang telah dianalisis, beserta pembahasannya untuk menjelaskan temuan-temuan yang relevan.

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

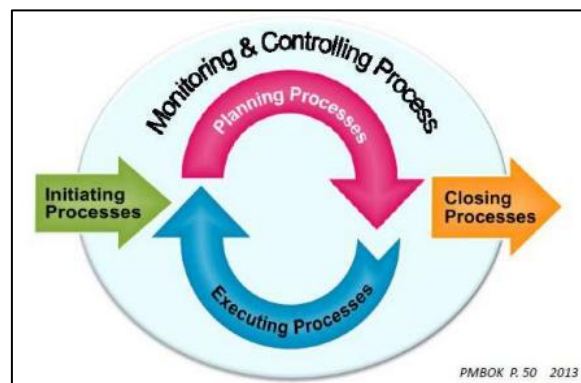
Bab penutup ini berisi kesimpulan dari seluruh hasil pembahasan yang telah dilakukan, serta saran-saran yang dapat diberikan berdasarkan temuan penelitian.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Manajemen Proyek Konstruksi

Proyek adalah kegiatan sementara yang memiliki waktu mulai dan selesai yang telah ditentukan, dengan tujuan dan hasil yang spesifik serta unik (Project Management Institute, 2021). Secara umum, proyek terdiri dari lima tahapan utama: *initiating*, *planning*, *executing*, *monitoring & controlling*, dan *closing*, seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.1. Setiap aktivitas dalam proyek harus melalui tahapan-tahapan tersebut, sehingga diperlukan pengawasan yang cermat di setiap tahap. Oleh karena itu, pengetahuan tentang manajemen proyek menjadi sangat penting bagi tim untuk memastikan keberhasilan proyek.



Gambar 2. 1 Tahapan Proyek

Sumber : Project Management Institute, 2021.

Tahapan proyek yang terdiri dari lima kelompok proses utama yaitu Proses manajemen proyek dimulai dengan *Initiating Processes* yang ditunjukkan oleh panah hijau mengarah ke kanan. Tahap ini merupakan langkah awal untuk mendefinisikan dan menyetujui proyek atau fase proyek, dengan tujuan utama menetapkan ruang lingkup awal serta mendapatkan persetujuan untuk memulai proyek. Setelah inisiasi, proyek memasuki *Planning Processes*, yang ditampilkan sebagai lingkaran merah

muda di tengah. Tahap ini berfokus pada penyusunan rencana terperinci yang mencakup tujuan, ruang lingkup, jadwal, anggaran, kualitas, sumber daya, dan risiko. Lingkaran ini menunjukkan hubungan berulang antara perencanaan dan pelaksanaan.

Selanjutnya, proyek berlanjut ke *Executing Processes*, yang diwakili oleh panah biru yang melingkar dari perencanaan ke pelaksanaan. Pada tahap ini, rencana yang telah disusun diimplementasikan untuk menghasilkan *deliverables* proyek. Sepanjang proses perencanaan dan pelaksanaan, *Monitoring & Controlling Processes* dilakukan secara terus-menerus. Proses ini, yang terletak di luar lingkaran utama, bertujuan untuk memantau, mengukur, dan mengendalikan kinerja proyek agar tetap sesuai dengan rencana awal.

Akhirnya, proyek mencapai *Closing Processes*, yang ditunjukkan oleh panah oranye mengarah ke kanan. Tahap penutupan ini berfokus pada penyelesaian semua kegiatan proyek, evaluasi akhir, serta penyerahan hasil akhir kepada pemangku kepentingan. Siklus ini menggambarkan bagaimana setiap proses saling berhubungan dan berperan penting dalam memastikan kesuksesan proyek secara keseluruhan.

Manajemen proyek merupakan sebuah disiplin keilmuan dalam hal perencanaan, pengorganisasian, pengelolaan serta pengendalian sumber daya yang tersedia untuk dapat mencapai tujuan-tujuan proyek. Aspek pengetahuan manajemen proyek meliputi 10 (sepuluh) bidang keilmuan dan tambahan 4 (empat) bidang keilmuan khusus untuk konstruksi yang dimuat dalam *Construction Extension to the PMBOK Guide* (Project Management Institute, 2021). Bidang keilmuan tersebut meliputi Manajemen Integrasi Proyek, Manajemen Lingkup Proyek, Manajemen Waktu Proyek, Manajemen Biaya Proyek, Manajemen Kualitas Proyek, Manajemen Sumber

Daya Manusia Proyek, Manajemen Komunikasi Proyek, Manajemen Risiko Proyek, Manajemen Pengadaan Proyek dan Manajemen *Stakeholder* Proyek (berlaku baik untuk proyek umum ataupun proyek konstruksi). Adapun empat bidang keilmuan tambahan khusus untuk konstruksi yaitu Manajemen Keselamatan Proyek, Manajemen Lingkungan Proyek, Manajemen Finansial Proyek, dan Manajemen Klaim Proyek.

Manajemen proyek konstruksi adalah penerapan pengetahuan, keterampilan, alat, dan teknik pada aktivitas proyek untuk memenuhi persyaratan proyek tersebut. Manajemen proyek mencakup proses mulai dari perencanaan, pengorganisasian, pelaksanaan, hingga pengendalian dan penyelesaian proyek dengan tujuan untuk mencapai hasil yang diinginkan dalam hal waktu, biaya, dan kualitas (Project Management Institute, 2021). Menurut Kerzner (2006) yang merupakan seorang pakar manajemen proyek, mendefinisikan manajemen proyek konstruksi sebagai serangkaian aktivitas yang mencakup perencanaan, pengorganisasian, pengarahan, dan pengendalian sumber daya dalam rangka mencapai tujuan proyek, dengan memperhatikan waktu, biaya, kualitas, serta risiko yang ada.

Heldman (2018) dalam bukunya "*Project Management JumpStart*" mendefinisikan manajemen proyek konstruksi sebagai upaya untuk merencanakan, melaksanakan, dan mengendalikan semua aspek proyek konstruksi dengan tujuan untuk mencapai sasaran yang ditetapkan (dalam hal kualitas, biaya, dan waktu), serta untuk meminimalkan risiko. Selanjutnya, Manajemen proyek merupakan suatu proses yang mengintegrasikan berbagai alat, sumber daya, dan metode untuk mencapai tujuan yang telah dirancang. Aktivitas dalam manajemen proyek mencakup tahapan perencanaan, pengorganisasian, pelaksanaan, serta pengendalian (Belferik et al., 2023).

Huemann & Turner (2024) dalam bukunya *"The Handbook of Project-based Management"* menyatakan bahwa manajemen proyek konstruksi adalah disiplin yang mencakup perencanaan dan pengendalian untuk mencapai tujuan yang telah ditetapkan, mengelola sumber daya proyek, dan mengatasi masalah yang muncul selama siklus hidup proyek. Menurut Mahyuddin et al. (2023) manajemen proyek konstruksi merupakan suatu ilmu dan konsep untuk menjalankan serta menyelesaikan sebuah pekerjaan proyek konstruksi agar pelaksanaan pekerjaan tersebut tepat waktu, tepat biaya, dan tepat kualitas. Pelaksanaan Manajemen Proyek pada pekerjaan konstruksi tidak lepas dari unsur-unsur kebutuhan biaya, kebutuhan sumber daya manusia, manajemen waktu, mutu, metode pelaksanaan yang efektif dan efisien, serta tingkat produksi dari pelaksanaan proyek tersebut.

Berdasarkan pemaparan tersebut diketahui bahwa manajemen proyek konstruksi adalah proses perencanaan, pengorganisasian, pelaksanaan, pengendalian, dan penyelesaian proyek dengan tujuan mencapai hasil yang diinginkan dalam hal waktu, biaya, dan kualitas. Proses ini melibatkan berbagai disiplin ilmu, koordinasi antar tim, serta pengelolaan sumber daya yang ada untuk memastikan proyek dapat diselesaikan sesuai dengan sasaran yang telah ditetapkan.

Tujuan utama manajemen proyek adalah untuk memenuhi kebutuhan proyek dengan mencapai hasil yang sesuai dengan ruang lingkup, waktu, biaya, dan kualitas yang telah ditetapkan. Manajemen proyek juga bertujuan untuk memaksimalkan nilai proyek bagi para pemangku kepentingan, sekaligus meminimalkan risiko dan kendala selama proses pelaksanaannya (Project Management Institute, 2021). Menurut Kerzner (2006) tujuan manajemen proyek adalah memastikan bahwa proyek diselesaikan tepat waktu, sesuai anggaran, dan dengan kualitas yang telah disepakati, serta memenuhi kebutuhan dan harapan klien. Selain itu, manajemen

proyek bertujuan untuk meningkatkan efisiensi penggunaan sumber daya yang ada dan memastikan keberhasilan proyek dalam mencapai hasil yang optimal.

Tujuan manajemen proyek adalah mengelola berbagai fungsi manajemen secara efektif untuk mencapai hasil optimal sesuai dengan persyaratan yang telah ditentukan, sekaligus memastikan pengelolaan sumber daya dilakukan dengan cara yang efisien dan efektif (Mahyuddin et al., 2023).

Menurut Belferik et al. (2023) manajemen proyek bertujuan untuk mencapai hasil optimal dalam hal waktu, biaya, dan kualitas melalui proses, teknik, dan alat yang mengoptimalkan penggunaan sumber daya serta meminimalkan risiko proyek. Berikut adalah tujuan utama manajemen proyek:

a. Mengelola Risiko

Manajer proyek bertugas mengidentifikasi, menganalisis, dan memitigasi risiko yang mungkin muncul, seperti akibat perubahan lingkungan atau kebijakan pemerintah.

Proses ini meliputi:

- Identifikasi Risiko: Mengantisipasi potensi masalah selama proyek berlangsung.
- Analisis Risiko: Menilai dampak dan kemungkinan terjadinya risiko.
- Mitigasi Risiko: Mengembangkan strategi untuk mengurangi dampak dan peluang terjadinya risiko.

b. Memaksimalkan Potensi Tim

Manajemen proyek memastikan setiap anggota tim memiliki peran dan tanggung jawab yang jelas serta dukungan sumber daya yang memadai. Potensi tim dapat dimaksimalkan melalui:

- Peningkatan keterampilan anggota tim melalui pelatihan.
- Komunikasi efektif antar anggota tim.

- Penyediaan sumber daya yang memadai untuk mendukung pelaksanaan tugas.

c. Menciptakan Perencanaan yang Tepat

Perencanaan mencakup penentuan tujuan proyek, jadwal, anggaran, dan kebutuhan sumber daya. Faktor eksternal, seperti perubahan kebijakan atau kondisi pasar, harus dipertimbangkan untuk membuat perencanaan yang realistis dan dapat diimplementasikan oleh tim.

d. Memanfaatkan Peluang

Manajemen proyek berupaya memanfaatkan peluang yang muncul selama proyek, seperti perkembangan teknologi atau perubahan kebijakan. Proses ini melibatkan identifikasi, evaluasi, dan pengembangan strategi yang dapat meningkatkan nilai proyek serta memberikan manfaat bagi organisasi.

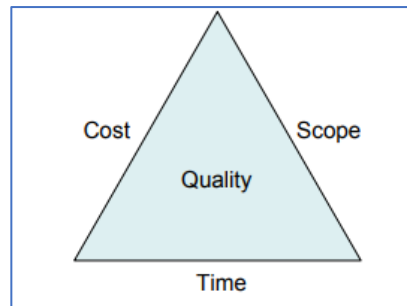
e. Mengelola Integrasi

Integrasi menghubungkan semua aspek proyek, seperti jadwal, sumber daya, dan risiko, agar proyek berjalan selaras dan sesuai rencana. Manajer proyek memastikan semua elemen saling terkait untuk mendukung penyelesaian proyek tepat waktu.

Manajemen proyek konstruksi bertujuan untuk menyelesaikan proyek dengan hasil yang optimal dalam aspek waktu, biaya, dan kualitas, serta memastikan penggunaan sumber daya yang efisien dan efektif. Tujuan ini selaras dengan prinsip Teori *Triple Constraint* atau *Iron Triangle*, yang menjelaskan keterkaitan antara tiga elemen utama proyek yaitu waktu (*time*), biaya (*cost*), dan ruang lingkup (*scope*). Ketiga elemen ini membentuk sebuah kerangka kerja yang saling memengaruhi satu sama lain. Apabila terjadi perubahan pada salah satu elemen, maka dua elemen lainnya juga akan mengalami dampak, baik secara langsung maupun tidak langsung.

Triplet Constraint menurut Soeharto (1999) adalah sebuah konsep dalam ilmu konstruksi yang bertujuan untuk memberikan pendekatan sistematis dalam pengelolaan proyek konstruksi. Model ini menekankan pada tiga elemen utama yang harus dikelola secara bersamaan untuk mencapai kesuksesan proyek. Elemen-elemen tersebut dikenal sebagai triplet atau tiga serangkai yang saling terkait, yaitu:

1. *Time* (Waktu) untuk menentukan jadwal pelaksanaan proyek dengan mempertimbangkan elemen manusia, mesin, dan material agar berjalan sesuai rencana. Manajemen waktu dalam proyek konstruksi bukan hanya tentang menyusun jadwal, tetapi juga memastikan bahwa setiap tahapan proyek dapat diselesaikan tepat waktu dengan memanfaatkan sumber daya manusia, mesin, dan material secara optimal.
2. *Cost* (Biaya) untuk mengatur dan mengelola anggaran yang dibutuhkan dengan memperhatikan efisiensi dari ketiga elemen tersebut. Manajemen biaya dalam proyek konstruksi melibatkan perencanaan, pengawasan, dan pengendalian semua pengeluaran yang terkait dengan pelaksanaan proyek. Elemen ini sangat penting untuk memastikan bahwa proyek berjalan sesuai dengan anggaran yang telah ditetapkan.
3. *Quality* (Kualitas) untuk menjaga kualitas hasil akhir proyek dengan memastikan bahwa semua elemen bekerja sesuai standar yang ditetapkan. Manajemen kualitas dalam proyek konstruksi bertujuan untuk memastikan bahwa hasil akhir proyek memenuhi standar dan spesifikasi yang telah ditetapkan oleh klien dan regulasi. Elemen ini mencakup proses perencanaan, pengendalian, dan peningkatan kualitas.



Gambar 2. 2 *Triplet Constraint*
Sumber : Soeharto (1999).

2.2 *Building Information Modeling (BIM)*

Menurut Succar (2013), *Building Information Modeling (BIM)* adalah sebuah pendekatan holistik yang mengintegrasikan proses, teknologi, dan data dalam industri konstruksi untuk mendukung kolaborasi lintas disiplin secara lebih efektif. BIM tidak hanya berfungsi sebagai model digital tiga dimensi dari suatu proyek, tetapi juga sebagai pusat informasi yang mencakup seluruh siklus hidup proyek, mulai dari tahap perencanaan, desain, konstruksi, hingga operasi dan pemeliharaan. Succar juga menekankan bahwa BIM memungkinkan pemangku kepentingan dalam proyek konstruksi untuk berbagi, memvisualisasikan, dan mengelola informasi secara *real-time*, sehingga meningkatkan efisiensi, mengurangi risiko kesalahan, dan mempercepat pengambilan keputusan. BIM mendukung berbagai tingkatan kematangan (*BIM Maturity Levels*), mulai dari penggunaan model 3D sederhana hingga integrasi penuh lintas platform dengan data yang saling terhubung.

Menurut Telaga (2018) *Building Information Modeling (BIM)* adalah suatu teknologi yang mengintegrasikan informasi proyek konstruksi ke dalam sebuah model digital tiga dimensi yang komprehensif. BIM tidak hanya berfungsi sebagai representasi visual dari elemen fisik bangunan, tetapi juga mencakup data terkait seperti spesifikasi material, jadwal konstruksi, estimasi biaya, dan informasi lainnya yang mendukung seluruh siklus hidup proyek. Lebih jauh, dijelaskan bahwa BIM mampu meningkatkan efisiensi dalam manajemen proyek dengan memfasilitasi koordinasi yang lebih baik antar disiplin (arsitektur, struktur, MEP), mengurangi risiko kesalahan desain, serta mempercepat proses pengambilan keputusan. Dengan BIM, semua pemangku kepentingan dapat bekerja pada satu platform yang sama, memungkinkan kolaborasi yang lebih efektif dan pengelolaan data yang terpusat.

Menurut Sacks et al. (2020) *Building Information Modeling (BIM)* didefinisikan sebagai proses pengelolaan informasi proyek konstruksi melalui model digital yang berfungsi

sebagai representasi virtual dari elemen fisik dan fungsional suatu bangunan. BIM tidak hanya terbatas pada visualisasi tiga dimensi (3D), tetapi juga mencakup dimensi tambahan seperti waktu (4D), biaya (5D), hingga aspek keberlanjutan dan operasional (6D dan 7D). BIM merupakan alat penting dalam meningkatkan efisiensi kolaborasi lintas disiplin, memungkinkan semua pemangku kepentingan—termasuk arsitek, insinyur, kontraktor, dan pemilik proyek—untuk bekerja secara simultan dalam satu platform terpadu. BIM juga mendukung pengelolaan data proyek secara *real-time*, memungkinkan deteksi dini terhadap potensi konflik (*clash detection*), pengurangan risiko kesalahan, dan optimalisasi proses pengambilan keputusan sepanjang siklus hidup proyek.

Menurut Takim et al. (2013), *Building Information Modeling* (BIM) adalah sebuah pendekatan teknologi berbasis model digital yang digunakan dalam industri konstruksi untuk mengintegrasikan dan mengelola informasi sepanjang siklus hidup proyek. BIM memungkinkan semua pemangku kepentingan, termasuk arsitek, insinyur, kontraktor, dan pemilik proyek, untuk berkolaborasi dalam satu platform yang terpusat. Penelitian tersebut juga menekankan bahwa BIM tidak hanya terbatas pada representasi visual tiga dimensi (3D), tetapi juga mencakup informasi terkait jadwal waktu (4D), estimasi biaya (5D), dan pengelolaan siklus hidup bangunan. Dengan menggunakan BIM, proyek konstruksi dapat meningkatkan efisiensi, mengurangi risiko kesalahan, mempercepat proses desain, serta meningkatkan akurasi dalam perencanaan dan pengendalian proyek. BIM juga membantu meningkatkan koordinasi lintas disiplin, yang pada akhirnya berkontribusi pada keberhasilan proyek konstruksi secara keseluruhan.

Roy & Firdaus (2020) *Building Information Modeling* (BIM) didefinisikan sebagai sebuah proses manajemen data yang menggunakan model digital untuk mendukung perencanaan, desain, konstruksi, dan operasional proyek konstruksi. BIM berfungsi sebagai pusat informasi yang memungkinkan kolaborasi lintas disiplin secara efisien melalui integrasi data dalam berbagai fase proyek. Ditekankan bahwa BIM tidak hanya meningkatkan akurasi dalam estimasi waktu dan biaya, tetapi juga mampu meminimalkan konflik antar-disiplin, meningkatkan efisiensi kerja, serta mendukung pengambilan keputusan berbasis data selama siklus hidup proyek.

Jung & Joo (2011) mendefinisikan *Building Information Modeling* (BIM) sebagai kerangka kerja terintegrasi yang mencakup berbagai aspek dari data konstruksi, mulai

dari pengelolaan properti geometrik dan non-geometrik hingga hubungan logis dan fisik antar elemen proyek. BIM tidak hanya berfungsi untuk representasi grafis, tetapi juga meningkatkan pengambilan keputusan melalui informasi yang terstruktur, memungkinkan kolaborasi lintas disiplin dalam industri konstruksi.

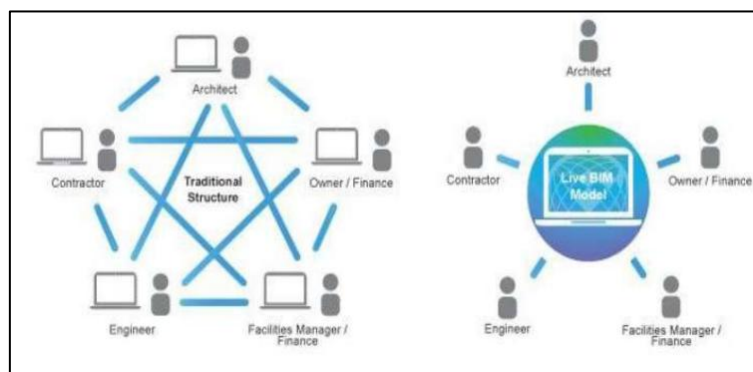
Building Information Modeling (BIM) didefinisikan sebagai pendekatan berbasis teknologi digital yang digunakan dalam industri konstruksi untuk menciptakan representasi virtual dari elemen fisik dan fungsional suatu proyek. BIM tidak hanya berfungsi sebagai alat perencanaan dan desain, tetapi juga sebagai sarana untuk mengintegrasikan informasi dari berbagai disiplin ilmu dalam satu platform. Hal ini bertujuan untuk meningkatkan efisiensi dalam pengelolaan proyek konstruksi, khususnya dalam aspek waktu, biaya, dan kualitas (Pantiga & Soekiman, 2021).

Sehingga dapat disimpulkan bahwa *Building Information Modeling* (BIM) adalah sebuah pendekatan berbasis teknologi yang mengintegrasikan informasi digital dalam sebuah model tiga dimensi untuk merencanakan, mendesain, membangun, dan mengelola proyek konstruksi. BIM tidak hanya mencakup representasi visual fisik dari proyek, tetapi juga data terkait seperti spesifikasi material, estimasi biaya, jadwal, dan operasional. Dengan BIM, kolaborasi antar berbagai disiplin ilmu (seperti arsitektur, struktur, dan MEP) dapat dilakukan lebih efektif, karena semua pemangku kepentingan bekerja pada satu platform yang sama dan dapat mengakses informasi secara *real-time*. BIM juga memungkinkan pemantauan dan kontrol yang lebih baik sepanjang siklus hidup proyek, mulai dari perencanaan, pelaksanaan, hingga pemeliharaan bangunan. Keunggulan utama dari BIM adalah kemampuannya dalam meningkatkan efisiensi, mengurangi kesalahan, mempercepat pengambilan keputusan, dan meminimalkan biaya dan waktu yang tidak terduga. Dengan integrasi data yang lebih baik, BIM membantu menciptakan proyek konstruksi yang lebih berkualitas dan lebih mudah dikelola.

Kehadiran *Building Information Modeling* (BIM) dalam proses konstruksi telah mengubah cara proyek dibangun dan dikelola. BIM mengintegrasikan informasi digital ke dalam model 3D yang mencakup berbagai elemen proyek, dari desain hingga operasional. Penggunaan BIM dalam konstruksi memiliki dampak signifikan pada efisiensi, koordinasi lintas disiplin, serta pengelolaan waktu dan biaya. Berikut adalah beberapa aspek utama keberadaan BIM dalam proses konstruksi:

1. Perencanaan dan Desain, BIM memungkinkan perencanaan yang lebih akurat dan pemodelan visual dari desain bangunan, yang mempermudah identifikasi potensi masalah sejak dini. Hal ini membantu tim desain untuk menciptakan model yang lebih terperinci dan sesuai dengan kebutuhan proyek.
2. Kolaborasi dan Koordinasi, BIM berfungsi sebagai platform kolaboratif, memungkinkan tim dari berbagai disiplin (arsitektur, struktur, MEP) untuk bekerja pada model yang sama. Ini mengurangi risiko kesalahan akibat kurangnya komunikasi atau pemahaman yang berbeda antara pihak terkait.
3. Manajemen Waktu dan Biaya, BIM berperan dalam meningkatkan akurasi estimasi biaya dan jadwal proyek. Dengan BIM, pengelolaan sumber daya dan perencanaan lebih terstruktur, memungkinkan pengawasan yang lebih efisien serta prediksi perubahan atau keterlambatan lebih dini.
4. Operasional dan Pemeliharaan, Setelah konstruksi selesai, model BIM terus berguna untuk pemeliharaan dan pengelolaan fasilitas. Informasi yang terdapat dalam model BIM memungkinkan pemilik bangunan untuk melakukan perawatan dan perbaikan yang lebih efisien, karena semua data tentang sistem bangunan tersedia dalam satu platform

BIM memungkinkan peningkatan produktivitas dan kualitas proyek konstruksi, mengurangi kesalahan, dan mempercepat proses penyelesaian proyek, serta mempermudah fase operasional setelah konstruksi.



Gambar 2. 3 Struktur Berbasis BIM

Sumber : Eastman et al. (2011).

Dengan hadirnya BIM, proses konstruksi tradisional yang sebelumnya rentan terhadap konflik dan kesalahpahaman antar pemangku kepentingan mengalami perubahan signifikan. Dalam metode konvensional, alur informasi sering kali tidak jelas dan kurang terdokumentasi dengan baik, sehingga berpotensi menyebabkan

kesalahan yang baru terdeteksi saat proyek sudah berjalan. Akibatnya, terjadi pengerjaan ulang yang memicu keterlambatan jadwal dan berujung pada pembengkakan biaya.

Selain itu, penggunaan berbagai *software* konvensional yang berbeda dalam satu proyek sering menghasilkan ketidakakuratan dalam perhitungan material dan pekerjaan. Ketidaksesuaian ini secara sistematis dapat berdampak pada menurunnya kualitas hasil akhir proyek, karena data yang tidak konsisten dan kurangnya integrasi antar disiplin. Struktur tradisional memiliki kelemahan dalam hal komunikasi dan koordinasi yang terfragmentasi. Sebaliknya, dengan penerapan BIM, kolaborasi lintas disiplin menjadi lebih efektif, transparan, dan terintegrasi dalam satu platform digital yang memungkinkan pengelolaan proyek yang lebih baik. Dengan BIM, masalah-masalah ini dapat diminimalkan melalui pengelolaan informasi yang terpusat, akurat, dan terintegrasi sepanjang siklus hidup proyek.

berdasarkan penelitian Berlian P. et al. (2016) yang Anda maksud adalah tentang kelebihan pengaplikasian Building Information Modeling (BIM), berikut adalah gambaran umum dari berbagai keunggulan BIM yang sering ditemukan dalam studi kasus proyek konstruksi:

1. Peningkatan Kolaborasi

BIM memungkinkan semua pemangku kepentingan—termasuk arsitek, insinyur, kontraktor, dan pemilik proyek—untuk berkolaborasi dalam satu platform digital yang terintegrasi. Hal ini mengurangi miskomunikasi dan meningkatkan efisiensi dalam pertukaran informasi.

2. Visualisasi yang Lebih Baik

Dengan BIM, model tiga dimensi (3D) memberikan gambaran yang jelas tentang desain proyek, memungkinkan pemangku kepentingan untuk memahami proyek secara menyeluruh sebelum konstruksi dimulai.

3. Manajemen Waktu dan Biaya yang Efisien

BIM membantu dalam estimasi biaya (5D BIM) dan penjadwalan waktu (4D BIM), yang memungkinkan perencanaan yang lebih akurat serta meminimalkan risiko keterlambatan dan pembengkakan biaya.

4. Deteksi Konflik Lebih Awal (*Clash Detection*)

BIM dapat mengidentifikasi potensi benturan atau konflik antara elemen desain yang berbeda, seperti antara struktur dan sistem mekanikal-elektrikal, sebelum konstruksi dimulai, sehingga mengurangi kebutuhan untuk pengerjaan ulang.

5. Pengelolaan Data Proyek Secara Terpusat

Semua informasi terkait proyek disimpan dalam satu model digital, yang memudahkan akses data, dokumentasi, dan pemantauan perkembangan proyek secara real-time.

2.3 Pertukaran Data dan Informasi

Proses pertukaran data dan informasi merupakan aspek krusial dalam keberhasilan pelaksanaan proyek konstruksi, terutama dalam proyek konstruksi multidisiplin yang melibatkan berbagai pihak dan disiplin ilmu. Dalam konteks proyek konstruksi, pertukaran data dan informasi mencakup komunikasi antara berbagai tim yang terlibat dalam perencanaan, desain, dan pelaksanaan proyek. Untuk memastikan efisiensi dan mengurangi kesalahan, proses ini harus dikelola dengan baik, menggunakan teknologi yang tepat, seperti *Building Information Modeling* (BIM).

Pertukaran data dan informasi dalam proyek konstruksi adalah proses komunikasi antara berbagai pihak yang terlibat dalam proyek yang melibatkan penyampaian, pengumpulan, dan distribusi informasi terkait proyek secara sistematis. Proses ini penting untuk menciptakan transparansi, mengurangi kesalahan, dan meningkatkan efisiensi pelaksanaan proyek (Liu & Issa, 2010). Sedangkan, Azhar (2011) mendefinisikan pertukaran data dan informasi dalam konteks teknologi *Building Information Modeling* (BIM) sebagai sistem yang memungkinkan komunikasi dan koordinasi yang lebih baik antar disiplin ilmu. Dalam BIM, informasi proyek dikelola dalam satu platform digital terintegrasi yang memungkinkan berbagai tim untuk mengakses, berbagi, dan memperbarui data secara *real-time*, sehingga meningkatkan akurasi dan efisiensi proses konstruksi.

Sacks et al. (2010) menyatakan bahwa pertukaran data dan informasi adalah bagian integral dari manajemen proyek yang melibatkan berbagai tim multidisiplin. Proses ini melibatkan komunikasi antara pihak-pihak yang berbeda, seperti arsitek, insinyur, dan kontraktor, untuk memastikan bahwa informasi yang tepat sampai ke orang yang tepat di waktu yang tepat. Hal ini sangat penting untuk menghindari kesalahan dan ketidaksesuaian dalam implementasi proyek. Papadopoulou dan Marinakis (2015) mengartikan pertukaran data dan informasi dalam proyek konstruksi sebagai aktivitas pengumpulan, distribusi, dan penggunaan informasi untuk memfasilitasi pengambilan keputusan yang tepat. Proses ini mencakup pengelolaan informasi teknis, manajerial, dan administratif yang penting untuk kelancaran operasional proyek.

Menurut Eastman et al. (2011), pertukaran data dan informasi dalam proyek konstruksi berbasis BIM merupakan kegiatan yang mengintegrasikan berbagai model dan data yang relevan untuk seluruh siklus hidup proyek. Proses ini tidak hanya mencakup penyampaian informasi antar disiplin ilmu, tetapi juga memastikan bahwa data yang dibagikan dapat digunakan untuk perencanaan, desain, konstruksi, dan pemeliharaan bangunan secara efektif.

Sehingga, pertukaran data dan informasi dalam proyek konstruksi adalah proses komunikasi dan distribusi informasi yang melibatkan berbagai pihak untuk memastikan kelancaran operasional proyek, meningkatkan akurasi, dan meminimalkan kesalahan dalam tahap desain dan pelaksanaan. Penerapan teknologi seperti BIM dapat memperbaiki proses ini, memungkinkan pertukaran data yang lebih efisien dan terkoordinasi.

Sacks et al. (2010) mengemukakan bahwa dalam proyek konstruksi multidisiplin, koordinasi antar tim teknis, seperti arsitek, insinyur sipil, mekanikal, dan elektrik, memerlukan sistem komunikasi yang sangat terstruktur. Tanpa komunikasi yang tepat, perbedaan persepsi dan prioritas antara disiplin dapat menimbulkan masalah seperti konflik desain atau keterlambatan. Mereka juga menekankan pentingnya pemahaman yang mendalam dari setiap disiplin terhadap kebutuhan dan keterbatasan disiplin lain untuk meningkatkan kerja sama yang efektif. Eastman et al. (2011) menekankan bahwa dalam proyek konstruksi berbasis BIM, komunikasi antar disiplin menjadi lebih terstruktur dan efisien. Teknologi BIM memungkinkan berbagai tim proyek untuk bekerja dengan satu model yang sama, yang memperjelas komunikasi dan koordinasi antar disiplin. Dengan BIM, desain dan perencanaan dapat dilakukan secara lebih kolaboratif, memungkinkan tim teknik sipil, mekanikal, elektrik, dan arsitektur untuk mengevaluasi dan mengoptimalkan solusi desain sebelum tahap konstruksi dimulai. Ini meningkatkan efektivitas komunikasi dan mempercepat pengambilan keputusan. Azhar (2011) dalam penelitiannya menjelaskan bahwa dalam proyek konstruksi yang melibatkan banyak disiplin, komunikasi antar tim sangat krusial untuk menyinkronkan perencanaan dan desain yang kompleks. Azhar menyarankan bahwa komunikasi harus terjadi secara terus-menerus selama seluruh siklus hidup proyek, mulai dari perencanaan hingga pemeliharaan, untuk memastikan bahwa setiap perubahan dalam desain atau spesifikasi diteruskan dengan tepat kepada semua pihak yang terlibat. Kym (2013) meneliti tentang pengaruh manajemen komunikasi dalam proyek konstruksi besar yang melibatkan banyak disiplin. Ia menyimpulkan bahwa proyek

dengan komunikasi antar disiplin yang buruk cenderung mengalami peningkatan biaya dan waktu, serta menurunnya kualitas akhir. Oleh karena itu, penggunaan platform komunikasi yang terintegrasi dan sistem informasi yang tepat sangat penting untuk memastikan bahwa semua tim proyek bekerja dengan pemahaman yang sama tentang tujuan dan kemajuan proyek.

Dalam proyek konstruksi multidisiplin, komunikasi antar tim yang terdiri dari berbagai disiplin ilmu seperti arsitektur, teknik sipil, mekanikal, elektrikal, dan manajemen konstruksi sangat penting. Setiap disiplin memiliki kebutuhan informasi yang berbeda, dan ketepatan serta kecepatan dalam pertukaran data sangat memengaruhi kelancaran proyek. Misalnya, perubahan desain oleh arsitek harus segera disampaikan kepada insinyur sipil dan mekanikal untuk menghindari kesalahan dalam pelaksanaan (Breen et al., 2016). Papadopoulou dan Marinakis (2015) meneliti pentingnya komunikasi yang efektif dalam proyek konstruksi, terutama dalam proyek-proyek besar yang melibatkan berbagai disiplin ilmu. Mereka mencatat bahwa konflik sering muncul ketika komunikasi antar tim tidak terkoordinasi dengan baik, yang dapat menyebabkan kesalahan teknis dan keterlambatan proyek. Oleh karena itu, mereka mengusulkan penggunaan teknologi informasi yang memfasilitasi pertukaran data yang lebih lancar dan transparan antara berbagai disiplin untuk meminimalkan kesalahan dan meningkatkan efisiensi.

Komunikasi antar disiplin dalam proyek konstruksi multidisiplin merupakan faktor kunci yang menentukan keberhasilan proyek. Beberapa tantangan yang muncul antara lain perbedaan bahasa teknis, koordinasi yang tidak efisien, dan konflik desain. Oleh karena itu, penerapan teknologi seperti BIM dan sistem komunikasi yang terintegrasi sangat penting untuk memfasilitasi kolaborasi yang lebih baik antar disiplin, meningkatkan efisiensi, dan mengurangi risiko kesalahan atau keterlambatan dalam proyek konstruksi.

Manajemen data dan informasi yang terpusat dalam Building Information Modeling (BIM) menjadi salah satu aspek krusial dalam meningkatkan efisiensi proyek konstruksi, terutama dalam proyek besar yang melibatkan banyak disiplin ilmu. Menurut Kym (2013), pengelolaan data yang terpusat dalam BIM memungkinkan akses real-time ke data yang lebih akurat, yang pada gilirannya mempercepat proses pengambilan keputusan. Dalam konteks proyek konstruksi, informasi yang terpusat membantu menghindari duplikasi data yang sering kali terjadi ketika berbagai tim bekerja dengan sistem yang terpisah. Hal ini tidak hanya memastikan konsistensi

data, tetapi juga memungkinkan tim yang berbeda untuk mengakses informasi yang relevan dengan cepat, di setiap tahap proyek. Sebagai contoh, tim desain arsitektur, teknik sipil, dan mekanikal dapat mengakses model yang sama dan memperoleh informasi terbaru tanpa harus menunggu pembaruan manual. Dengan demikian, manajemen data yang terpusat mendukung kelancaran komunikasi antar tim dan meminimalkan potensi kesalahan yang dapat terjadi akibat ketidaksesuaian data. Kym (2013) juga menekankan bahwa pendekatan ini memungkinkan proyek konstruksi untuk dilaksanakan lebih efisien, baik dari segi waktu, biaya, maupun mutu, karena memungkinkan pengelolaan sumber daya yang lebih baik dan pemantauan proyek yang lebih terstruktur.

Hambatan dalam pertukaran data dan informasi dalam proyek konstruksi dapat terjadi karena berbagai faktor teknis, organisasi, dan manusia. Menurut beberapa ahli, berikut adalah beberapa hambatan utama yang sering ditemui:

1. Kurangnya Standarisasi Data

Salah satu hambatan terbesar dalam pertukaran data adalah kurangnya standarisasi format dan sistem data antara berbagai disiplin ilmu. Menurut Azhar (2011), dalam proyek konstruksi multidisiplin, setiap disiplin (misalnya arsitektur, teknik sipil, mekanikal, elektrik) memiliki format data dan sistem yang berbeda. Hal ini menyebabkan kesulitan dalam integrasi data antara tim yang berbeda dan meningkatkan risiko kesalahan atau duplikasi informasi. Tanpa standarisasi, proses pertukaran data menjadi tidak efisien dan dapat menimbulkan masalah komunikasi yang signifikan.

2. Kesulitan dalam Integrasi Sistem Teknologi

Sacks et al. (2010) mencatat bahwa banyak proyek konstruksi besar masih menggunakan berbagai sistem perangkat lunak yang tidak dapat saling terintegrasi dengan baik. Hal ini menghambat pertukaran informasi secara lancar antara tim proyek, karena setiap sistem bekerja dengan cara yang berbeda dan tidak dapat berbagi data dengan mudah. Integrasi yang buruk antara berbagai teknologi ini memperlambat aliran informasi yang diperlukan untuk pengambilan keputusan yang cepat dan akurat.

3. Masalah Keamanan dan Privasi Data

Menurut Eastman et al. (2011), dalam proyek konstruksi yang melibatkan banyak pihak, termasuk kontraktor, subkontraktor, dan pihak terkait lainnya, masalah keamanan dan privasi data menjadi perhatian utama. Setiap pihak

mungkin memiliki informasi yang sensitif yang tidak dapat dibagikan secara sembarangan. Kurangnya protokol keamanan yang memadai dalam pertukaran data dapat menyebabkan kebocoran informasi penting atau bahkan peretasan data yang berdampak buruk pada kelangsungan proyek.

4. Keterbatasan Sumber Daya Manusia

Papadopoulou & Marinakis (2015) menekankan bahwa salah satu hambatan signifikan dalam pertukaran data adalah keterbatasan keterampilan teknis yang dimiliki oleh tim proyek. Banyak pekerja konstruksi dan manajer proyek yang belum terlatih dalam penggunaan teknologi canggih seperti *Building Information Modeling* (BIM) atau sistem manajemen proyek digital lainnya. Hal ini menyebabkan kesulitan dalam mengadopsi dan mengimplementasikan teknologi yang diperlukan untuk pertukaran data yang efisien.

5. Komunikasi yang Tidak Efektif Antara Tim

Komunikasi yang buruk antara berbagai disiplin ilmu juga dapat menghambat pertukaran data yang efektif. Menurut Kym (2013), ketidakjelasan dalam mendefinisikan tanggung jawab dan kurangnya koordinasi antara tim dapat menyebabkan informasi yang tidak diterima atau dipahami dengan baik. Hal ini sering menyebabkan kesalahan dalam desain atau implementasi, yang berdampak langsung pada keterlambatan proyek dan pembengkakan biaya.

6. Keterlambatan Pembaruan Data

Salah satu hambatan utama yang sering disebutkan oleh Kym (2013) adalah keterlambatan dalam pembaruan data di platform digital atau sistem manajemen proyek. Dalam proyek konstruksi besar, perbedaan antara data yang terbaru dan data yang sudah kadaluarsa dapat menyebabkan keputusan yang salah, menghambat kemajuan proyek, dan menyebabkan ketidaksesuaian antara desain dan implementasi.

Secara keseluruhan, hambatan dalam pertukaran data dan informasi dapat menurunkan efektivitas pengelolaan proyek konstruksi dan meningkatkan risiko kesalahan dan keterlambatan. Oleh karena itu, penting untuk memiliki sistem yang lebih terintegrasi, standar data yang jelas, serta peningkatan keterampilan tim proyek dalam menggunakan teknologi digital.

Indikator pertukaran data dan informasi dalam konteks proyek konstruksi, terutama yang melibatkan penerapan teknologi seperti *Building Information Modeling* (BIM),

dapat dilihat dari berbagai perspektif. Beberapa indikator utama menurut para ahli adalah sebagai berikut:

1. Kecepatan Akses Data

Menurut Kym (2013), salah satu indikator utama yang mencerminkan efektivitas pertukaran data adalah kecepatan akses terhadap data yang diperlukan. Dalam proyek konstruksi besar, kemampuan tim untuk mengakses data secara real-time dan tanpa hambatan adalah faktor kunci untuk pengambilan keputusan yang cepat dan akurat. Kecepatan akses ini memungkinkan respons yang lebih cepat terhadap perubahan kondisi atau masalah yang muncul selama proyek.

2. Akurasi dan Konsistensi Data

Eastman et al. (2011) menekankan bahwa akurasi dan konsistensi data adalah indikator penting dalam pertukaran data dan informasi. Data yang akurat dan konsisten antara berbagai disiplin ilmu memungkinkan tim untuk bekerja dengan dasar yang sama, mengurangi risiko kesalahan dan duplikasi, serta memastikan bahwa setiap perubahan atau pembaruan informasi dapat diterima oleh seluruh anggota tim dengan jelas dan tepat.

3. Integrasi Sistem

Sacks et al. (2010) menyatakan bahwa kemampuan sistem untuk mengintegrasikan berbagai sumber data adalah indikator penting dari pertukaran data yang efektif. Dalam proyek multidisiplin, data sering kali berasal dari berbagai sistem perangkat lunak dan platform yang berbeda. Kemampuan untuk mengintegrasikan data dari sistem yang berbeda ini akan memudahkan kolaborasi antar disiplin dan meningkatkan koordinasi serta transparansi dalam proyek.

4. Ketersediaan dan Pembaruan Data Secara Real-Time

Ketersediaan data yang diperbarui secara real-time adalah indikator penting lainnya yang digarisbawahi oleh Papadopoulou & Marinakis (2015). Dalam proyek konstruksi besar yang melibatkan banyak pihak, data yang terus diperbarui memastikan bahwa semua tim yang terlibat memiliki informasi terbaru. Hal ini mengurangi kemungkinan kesalahan akibat data yang sudah usang atau tidak relevan dengan kondisi proyek yang sedang berjalan.

5. Kolaborasi Antar Disiplin

Menurut Azhar (2011), kolaborasi antar disiplin ilmu dalam proyek konstruksi dapat dilihat dari seberapa efektif tim dalam berkomunikasi dan bertukar informasi. Indikator pertukaran data yang efektif mencakup seberapa baik tim desain, teknik sipil, mekanikal, dan elektrik dapat berbagi informasi secara terbuka, serta bagaimana informasi tersebut diterjemahkan ke dalam tindakan yang sesuai dalam proses konstruksi.

6. Keamanan dan Privasi Data

Kym (2013) juga mengidentifikasi keamanan dan privasi data sebagai indikator yang penting dalam pertukaran data. Dalam proyek konstruksi besar yang melibatkan banyak pihak, perlindungan terhadap data sensitif sangat diperlukan. Sistem yang memungkinkan pertukaran data dengan tingkat keamanan yang tinggi akan meningkatkan kepercayaan antar pihak dan meminimalkan risiko kebocoran informasi yang dapat merugikan proyek.

7. Keandalan dan Kualitas Data

Keandalan dan kualitas data menjadi indikator penting yang berhubungan dengan pengambilan keputusan yang efektif, seperti yang dijelaskan oleh Kym (2013). Data yang dapat dipercaya dan berkualitas tinggi memungkinkan manajer proyek dan tim teknis untuk merencanakan dan melaksanakan tugas mereka dengan lebih efisien, serta mengidentifikasi dan memitigasi risiko proyek sejak awal.

Secara keseluruhan, indikator pertukaran data dan informasi ini menggambarkan pentingnya pengelolaan data yang efisien dan terintegrasi dalam proyek konstruksi, yang pada gilirannya meningkatkan koordinasi antar disiplin, mengurangi kesalahan, serta mendukung kesuksesan proyek secara keseluruhan.

2.4 Manajemen Waktu

Manajemen waktu dalam proyek konstruksi adalah proses strategis yang mencakup perencanaan, pengorganisasian, pelaksanaan, serta pengendalian terhadap durasi setiap kegiatan dalam proyek. Tujuannya adalah memastikan bahwa semua tahapan proyek dapat diselesaikan sesuai jadwal yang telah ditentukan. Proses ini menjadi salah satu elemen kunci dalam pengelolaan proyek karena waktu yang terkelola dengan baik dapat mencegah keterlambatan, mengurangi risiko pembengkakan biaya, serta menjaga kualitas hasil akhir proyek sesuai dengan standar yang ditetapkan.

Keberhasilan manajemen waktu ditentukan oleh kemampuan tim proyek dalam menyusun jadwal realistis berdasarkan analisis jalur kritis (*Critical Path Method/CPM*), memantau kemajuan pekerjaan secara berkala, dan melakukan penyesuaian jadwal ketika hambatan tak terduga muncul. Misalnya, dengan alat bantu teknologi seperti *Building Information Modeling* (BIM), manajemen waktu dapat lebih terfokus pada simulasi jadwal proyek, prediksi potensi keterlambatan, serta pengintegrasian data secara *real-time* dari berbagai disiplin ilmu yang terlibat dalam konstruksi.

Menurut Kerzner (2006) manajemen waktu yang baik tidak hanya melibatkan perencanaan jadwal tetapi juga memerlukan pengendalian dan evaluasi yang berkelanjutan untuk memastikan aktivitas proyek tetap berjalan sesuai target. Kegagalan dalam pengelolaan waktu, seperti penjadwalan yang kurang matang atau kurangnya koordinasi antar-tim, dapat menyebabkan domino efek pada aspek lainnya, seperti peningkatan biaya dan penurunan kualitas pekerjaan.

Berbeda dengan Hendrickson & Au (1989) menjelaskan bahwa efisiensi dalam manajemen waktu proyek dapat dicapai dengan memanfaatkan float time untuk aktivitas non-kritis, menjaga produktivitas sumber daya di lapangan, dan menggunakan pendekatan kolaboratif antar-tim proyek. Manajemen waktu yang efektif tidak hanya sekadar mengikuti jadwal tetapi juga merespons dinamika yang terjadi selama pelaksanaan proyek dengan cepat dan tepat.

Project Management Institute (2021) menyatakan bahwa manajemen waktu dalam proyek konstruksi mencakup enam proses utama yang saling berkesinambungan, yakni mendefinisikan aktivitas, mengurutkan aktivitas, memperkirakan durasi aktivitas, mengembangkan jadwal, serta mengendalikan jadwal. Setiap proses dirancang untuk memastikan bahwa pekerjaan dapat direncanakan dan dilaksanakan dengan efisien, sehingga proyek selesai tepat waktu sesuai dengan rencana.

1. Mendefinisikan Aktivitas

Tahap ini bertujuan untuk mengidentifikasi seluruh pekerjaan yang harus dilakukan dalam proyek. Aktivitas didefinisikan secara rinci dengan mengacu pada *Work Breakdown Structure* (WBS), sehingga setiap bagian pekerjaan dapat diketahui dengan jelas tanggung jawabnya. Proses ini membantu dalam memahami cakupan kerja serta memastikan bahwa semua kegiatan yang dibutuhkan untuk mencapai tujuan proyek telah dimasukkan.

2. Mengurutkan Aktivitas

Setelah aktivitas didefinisikan, langkah selanjutnya adalah menentukan urutan pelaksanaannya. Aktivitas diatur berdasarkan hubungan logis, seperti ketergantungan antara satu aktivitas dengan aktivitas lainnya. Pendekatan seperti metode diagram jaringan (*network diagram method*) atau *Critical Path Method* (CPM) sering digunakan dalam tahap ini untuk mengidentifikasi jalur kritis proyek, yaitu rangkaian aktivitas yang menentukan durasi total proyek.

3. Memperkirakan Durasi Aktivitas

Proses ini melibatkan estimasi waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan setiap aktivitas berdasarkan sumber daya yang tersedia, seperti tenaga kerja, peralatan, dan material. Estimasi durasi yang akurat sangat penting untuk menghindari jadwal yang terlalu ketat atau terlalu longgar. Teknik seperti *analogous estimating* atau *parametric estimating* sering digunakan untuk memprediksi durasi dengan menggunakan data historis atau parameter yang relevan.

4. Mengembangkan Jadwal

Pada tahap ini, semua informasi dari proses sebelumnya digabungkan untuk membuat jadwal proyek yang menyeluruh. Jadwal ini mencakup penetapan waktu mulai dan selesai untuk setiap aktivitas, pengalokasian sumber daya, serta pengintegrasian jadwal antar-disiplin. Perangkat lunak manajemen proyek seperti Primavera atau Microsoft Project dapat digunakan untuk membuat jadwal yang lebih terstruktur dan mudah dipantau.

5. Mengendalikan Jadwal

Tahap ini berfokus pada pemantauan kemajuan proyek terhadap jadwal yang telah ditetapkan. Pengendalian jadwal dilakukan dengan membandingkan realisasi di lapangan dengan jadwal rencana untuk mendeteksi potensi keterlambatan. Jika terjadi penyimpangan, tindakan korektif seperti penyesuaian alokasi sumber daya atau perubahan urutan aktivitas dapat dilakukan untuk mengembalikan proyek ke jalurnya.

6. Menentukan Solusi untuk Keterlambatan

Ketika keterlambatan terdeteksi, langkah strategis perlu diambil untuk memitigasi dampaknya. Solusi dapat berupa percepatan aktivitas dengan menambah tenaga kerja atau alat, pengurangan cakupan kerja pada aktivitas yang kurang prioritas, atau penerapan metode konstruksi yang lebih efisien.

Pendekatan komprehensif ini membantu tim proyek untuk tidak hanya mengelola jadwal secara proaktif tetapi juga memberikan respons cepat terhadap dinamika yang

terjadi di lapangan. Dengan manajemen waktu yang terstruktur, potensi keterlambatan dapat diminimalkan, efisiensi kerja dapat ditingkatkan, dan hasil proyek dapat tercapai sesuai dengan target yang diharapkan.

Manajemen waktu dalam proyek konstruksi memiliki sejumlah indikator yang dapat digunakan untuk mengevaluasi efektivitasnya berdasarkan pandangan para ahli. Kerzner (2017) menegaskan bahwa salah satu indikator utama adalah perbandingan antara rencana dan realisasi, yang menunjukkan sejauh mana jadwal pelaksanaan di lapangan sesuai dengan jadwal yang direncanakan. Persentase pekerjaan yang selesai tepat waktu mencerminkan efektivitas perencanaan dan pelaksanaan awal. Selain itu, PMI (2021) dalam PMBOK Guide menyatakan bahwa durasi penyelesaian aktivitas kritis pada jalur kritis merupakan elemen kunci karena keterlambatan dalam aktivitas ini dapat berdampak pada keseluruhan proyek. Indikator ini dinilai dengan membandingkan waktu penyelesaian aktivitas pada jalur kritis dengan jadwal awal. Selanjutnya, Hendrickson (2008) menyoroti pentingnya pemanfaatan waktu menganggur (*float time*) dalam aktivitas non-kritis. *Float time* yang tidak dimanfaatkan secara efisien dapat menimbulkan masalah koordinasi antar-aktivitas. Indikator ini dievaluasi berdasarkan persentase pemanfaatan float time dalam jadwal proyek. Sears et al. (2015) menambahkan bahwa frekuensi perubahan jadwal selama pelaksanaan proyek menjadi cerminan kualitas perencanaan waktu. Semakin sedikit perubahan jadwal, semakin baik pula perencanaan awalnya.

Selain itu, Cleland dan Ireland (2006) memperkenalkan konsep keterlambatan yang ditoleransi, yang diukur melalui *schedule variance*, yaitu perbedaan antara jadwal rencana dan realisasi. Ini mencerminkan fleksibilitas jadwal tanpa mengorbankan hasil akhir proyek. Ahuja et al. (1994) juga menekankan pentingnya ketepatan dalam penjadwalan ulang sebagai respons terhadap hambatan yang terjadi selama proyek berlangsung. Waktu yang diperlukan untuk menyusun jadwal ulang menjadi indikator yang menggambarkan penguasaan tim terhadap manajemen waktu.

Teknologi juga menjadi bagian integral dalam manajemen waktu. Sacks et al. (2018) menunjukkan bahwa penggunaan teknologi seperti BIM untuk pemantauan waktu secara *real-time* merupakan indikator penting. Teknologi ini memungkinkan pengelolaan jadwal yang lebih efisien dan berbasis data aktual. Akhirnya, Atkinson (1999) menegaskan bahwa persentase penyelesaian tepat waktu menjadi indikator utama keberhasilan manajemen waktu. Persentase ini mencerminkan sejauh mana pekerjaan selesai sesuai atau lebih cepat dari jadwal yang telah ditentukan.

2.5 Manajemen Biaya

Manajemen biaya pada proyek konstruksi adalah proses yang mencakup perencanaan, pengendalian, dan pengelolaan anggaran proyek untuk mencapai keseimbangan antara biaya yang dianggarkan dengan biaya yang direalisasikan. Proses ini bertujuan memastikan proyek berjalan efisien dalam batasan anggaran tanpa mengorbankan kualitas hasil pekerjaan. Kerzner (2017) menjelaskan bahwa manajemen biaya meliputi aktivitas estimasi, penganggaran, dan pengendalian biaya untuk memastikan penyelesaian proyek dalam batas anggaran yang ditetapkan. Proses ini juga mencakup pengawasan terhadap pengeluaran serta penyesuaian anggaran jika terjadi perubahan selama pelaksanaan proyek.

Pendekatan yang lebih sistematis diuraikan oleh PMI (2021) yang mendefinisikan manajemen biaya sebagai serangkaian proses mulai dari estimasi biaya, penetapan anggaran, hingga pengendalian biaya, untuk memastikan kelengkapan pekerjaan sesuai dengan batasan anggaran yang ada. PMI juga menekankan pentingnya penggunaan alat dan teknik yang sistematis untuk mengurangi risiko pembengkakan biaya.

Selain itu, Hendrickson (2008) menekankan bahwa manajemen biaya mencakup pemantauan dan pengendalian biaya selama seluruh siklus hidup proyek, mulai dari tahap perencanaan hingga penyelesaian. Fokus utamanya adalah pada pengoptimalan alokasi sumber daya agar efisiensi anggaran dapat dicapai. Brook (2016) menambahkan bahwa manajemen biaya tidak hanya berkaitan dengan pengendalian pengeluaran, tetapi juga melibatkan penambahan nilai proyek melalui pengelolaan yang efektif. Hal ini mencakup identifikasi faktor yang berpotensi memengaruhi biaya serta mitigasi risiko pembengkakan anggaran.

Menurut Sears et al. (2015), manajemen biaya adalah upaya untuk mengukur dan mengendalikan biaya proyek konstruksi melalui penerapan teknik-teknik seperti *value engineering*, analisis biaya, dan *monitoring* secara *real-time* terhadap pengeluaran. Pendekatan ini memungkinkan proyek mencapai efisiensi anggaran tanpa mengurangi kualitas atau melampaui jadwal yang telah ditentukan. Dengan pendekatan yang holistik dan terintegrasi, manajemen biaya menjadi elemen kunci dalam keberhasilan sebuah proyek konstruksi.

Komponen utama dalam manajemen biaya proyek konstruksi meliputi estimasi biaya, penganggaran, dan pengendalian biaya. Setiap komponen ini memainkan peran yang

sangat penting dalam memastikan proyek dapat diselesaikan sesuai dengan anggaran yang telah ditetapkan.

1. **Estimasi Biaya** adalah langkah pertama dalam manajemen biaya, yang melibatkan perhitungan biaya yang diperlukan untuk menyelesaikan berbagai aktivitas dalam proyek. Estimasi biaya memberikan gambaran awal mengenai kebutuhan anggaran dan menjadi dasar dalam perencanaan anggaran keseluruhan. Kerzner (2017) menjelaskan bahwa estimasi biaya yang akurat sangat penting karena dapat mempengaruhi keputusan yang dibuat pada tahap awal proyek. Estimasi biaya yang tepat memungkinkan manajer proyek untuk mengidentifikasi risiko terkait biaya dan mengembangkan strategi mitigasi yang lebih baik.
2. **Penganggaran** adalah proses penetapan alokasi dana untuk setiap komponen proyek. Penganggaran ini berdasarkan estimasi biaya yang telah dilakukan sebelumnya dan digunakan untuk menentukan dana yang dibutuhkan pada setiap tahapan atau aktivitas dalam proyek. Menurut PMI (2021) dalam *PMBOK Guide*, penganggaran mencakup penetapan anggaran keseluruhan serta pengalokasian dana untuk setiap aktivitas, yang memungkinkan pengelolaan keuangan proyek secara lebih terstruktur dan terperinci. Penganggaran ini juga menyediakan titik acuan yang penting untuk memantau kinerja proyek terhadap anggaran yang telah ditetapkan.
3. **Pengendalian Biaya** adalah komponen yang melibatkan pemantauan pengeluaran aktual dan perbandingannya dengan anggaran yang telah disusun. Pengendalian biaya bertujuan untuk memastikan proyek tetap berada dalam batas anggaran dan bahwa setiap penyimpangan dari rencana anggaran dapat ditanggapi dengan cepat. Hendrickson (2008) menyatakan bahwa pengendalian biaya dalam proyek konstruksi berfokus pada pemantauan terus-menerus terhadap biaya yang terjadi, dan melakukan penyesuaian yang diperlukan untuk menjaga agar pengeluaran tidak melebihi anggaran yang telah disetujui. Hal ini melibatkan penggunaan berbagai teknik seperti analisis varians dan perbandingan antara biaya yang direncanakan dan yang sebenarnya terjadi selama pelaksanaan proyek.

Secara keseluruhan, ketiga komponen ini yaitu estimasi biaya, penganggaran, dan pengendalian biaya diharapkan dapat bekerja secara sinergis untuk memastikan

bahwa proyek konstruksi dapat diselesaikan dengan biaya yang efisien, tepat waktu, dan sesuai dengan kualitas yang diinginkan.

Indikator untuk manajemen biaya dalam proyek konstruksi digunakan untuk mengukur efektivitas pengelolaan biaya dan memastikan proyek selesai dalam anggaran yang telah ditetapkan. Beberapa indikator utama untuk manajemen biaya meliputi perbandingan antara anggaran dan realisasi, analisis variasi biaya, estimasi biaya yang akurat, pengendalian biaya melalui pemantauan real-time, serta penggunaan teknik pengelolaan biaya seperti *value engineering*. Berikut adalah penjelasan rinci tentang indikator-indikator tersebut beserta kutipan dari para ahli.

1. Perbandingan Antara Anggaran dan Realisasi

Indikator pertama yang digunakan dalam manajemen biaya adalah perbandingan antara anggaran yang telah ditetapkan dengan pengeluaran yang sebenarnya. Hal ini memungkinkan untuk menilai sejauh mana proyek mematuhi anggaran yang telah ditetapkan dan apakah ada pembengkakan biaya yang perlu diperbaiki. Menurut Kerzner (2017), salah satu prinsip dasar dalam manajemen proyek adalah memastikan bahwa proyek tetap dalam anggaran yang telah disepakati. Perbandingan ini dapat memberikan gambaran langsung tentang apakah ada potensi masalah yang akan memengaruhi kelancaran proyek. Indikator: Persentase selisih antara anggaran dan pengeluaran aktual.

2. Analisis Variansi Biaya (*Cost Variance*)

Analisis variasi biaya (*Cost Variance / CV*) mengukur perbedaan antara biaya yang direncanakan dan biaya yang sebenarnya terjadi pada suatu titik waktu dalam proyek. PMBOK Guide (2021) menyatakan bahwa analisis variasi biaya merupakan alat penting dalam pengendalian biaya karena memberikan informasi tentang apakah proyek menghabiskan lebih banyak atau lebih sedikit dari anggaran yang direncanakan. Jika variasi biaya negatif, itu berarti proyek sedang mengalami pembengkakan biaya. Indikator: $\text{Cost Variance (CV)} = \text{EV (Earned Value)} - \text{AC (Actual Cost)}$

3. Estimasi Biaya yang Akurat

Estimasi biaya yang akurat pada tahap perencanaan sangat penting untuk keberhasilan pengelolaan biaya. Hendrickson (2008) menjelaskan bahwa estimasi biaya harus didasarkan pada data yang valid dan metode yang sistematis untuk meminimalkan kemungkinan terjadinya penyimpangan biaya di kemudian hari. Estimasi yang akurat memungkinkan perencanaan anggaran yang lebih baik dan

memberikan dasar yang kuat untuk analisis biaya selama fase eksekusi proyek.
Indikator: Persentase ketepatan estimasi biaya.

4. Pemantauan Biaya Real-Time

Penggunaan teknologi untuk memantau biaya secara *real-time* telah menjadi praktik yang sangat efektif dalam manajemen biaya proyek. Sacks et al. (2018) mengungkapkan bahwa teknologi seperti *Building Information Modeling* (BIM) dan perangkat lunak manajemen proyek lainnya memungkinkan pengawasan biaya yang lebih efektif. Dengan memanfaatkan teknologi untuk memantau pengeluaran dan kinerja proyek secara *real-time*, tim proyek dapat segera mengidentifikasi penyimpangan biaya dan melakukan tindakan perbaikan yang diperlukan.
Indikator: Jumlah aktivitas yang dimonitor secara *real-time* menggunakan teknologi.

5. Penggunaan Teknik *Value Engineering*

Brook (2016) menyatakan bahwa *value engineering* adalah teknik untuk meningkatkan nilai proyek melalui pengelolaan biaya yang lebih efisien tanpa mengorbankan kualitas atau kinerja. Dalam konteks proyek konstruksi, teknik ini mengidentifikasi alternatif untuk solusi desain atau material yang lebih hemat biaya, tanpa mengurangi kualitas atau fungsi proyek.
Indikator: Persentase penghematan biaya yang diperoleh melalui aplikasi *value engineering*.

6. Estimasi Penghematan Biaya

Estimasi penghematan biaya juga dapat dihitung dengan menggunakan teknik seperti analisis biaya manfaat dan perbandingan biaya sepanjang siklus hidup proyek. Sears et al. (2015) menekankan pentingnya analisis biaya dan manfaat dalam menilai apakah pengeluaran ekstra selama tahap perencanaan akan membawa penghematan biaya jangka panjang.

Indikator: Perbandingan antara estimasi penghematan biaya dengan total pengeluaran yang direncanakan.

2.6 Proyek Multidisiplin

Proyek multidisiplin dalam konteks konstruksi merujuk pada proyek yang melibatkan berbagai disiplin ilmu atau spesialisasi teknik, seperti teknik sipil, struktur, mekanikal, elektrikal, dan lainnya. Manajemen proyek multidisiplin membutuhkan koordinasi yang efektif antara berbagai tim yang bertanggung jawab atas disiplin masing-masing untuk mencapai hasil proyek yang diinginkan sesuai waktu, biaya, dan kualitas.

Teori dasar dalam pelaksanaan proyek multidisiplin yaitu:

1. Pendekatan Terpadu dalam Manajemen Proyek Multidisiplin

Proyek multidisiplin merupakan jenis proyek yang melibatkan berbagai disiplin ilmu atau keahlian, seperti teknik sipil, mekanikal, elektrikal, arsitektur, dan lainnya. Proyek seperti ini menuntut pendekatan manajerial yang lebih terpadu untuk memastikan bahwa berbagai disiplin dapat bekerja sama secara harmonis dalam mencapai tujuan proyek. Turner (2009) menyatakan bahwa proyek multidisiplin memerlukan manajemen yang lebih terintegrasi karena kompleksitas yang timbul akibat integrasi berbagai disiplin ilmu. Dalam proyek semacam ini, komunikasi dan koordinasi antar tim menjadi hal yang sangat penting, karena keberhasilan proyek bergantung pada sinergi antara berbagai pihak. Tanpa koordinasi yang tepat, masalah dapat muncul, yang dapat menyebabkan keterlambatan atau pembengkakan biaya. Oleh karena itu, sebuah proyek multidisiplin harus dikelola dengan pendekatan yang holistik, di mana setiap disiplin bekerja untuk tujuan bersama, bukan hanya fokus pada pencapaian tujuan masing-masing.

2. Koordinasi Antar Disiplin

Koordinasi antar-disiplin merupakan elemen kunci dalam manajemen proyek multidisiplin. Kerzner (2017) menekankan bahwa keberhasilan proyek bergantung pada kemampuan untuk merencanakan dan mengawasi pekerjaan dari masing-masing disiplin agar sesuai dengan tujuan keseluruhan proyek. Dalam proyek multidisiplin, tim dari berbagai disiplin harus memiliki pemahaman yang sama mengenai tujuan proyek, meskipun latar belakang teknis mereka berbeda. Koordinasi yang baik akan menghindari terjadinya tumpang tindih pekerjaan, kesalahan dalam desain, atau bahkan kesalahan dalam implementasi, yang dapat mengarah pada pemborosan waktu dan biaya. Oleh karena itu, penting bagi manajer proyek untuk memastikan bahwa semua pihak yang terlibat memiliki kesepahaman yang sama tentang bagaimana kolaborasi antar-disiplin akan dilaksanakan.

3. Kompleksitas dalam Proyek Multidisiplin

Proyek multidisiplin sering kali lebih kompleks dibandingkan dengan proyek yang hanya melibatkan satu disiplin ilmu. Menurut Morris (2013), kompleksitas ini tidak hanya terletak pada aspek teknis, tetapi juga pada aspek manajerial yang melibatkan pengelolaan banyak tim dengan berbagai keahlian. Pengelolaan kompleksitas ini memerlukan perencanaan yang matang, pengelolaan sumber

daya yang efisien, serta penggunaan teknologi yang tepat. Sistem manajemen proyek berbasis BIM (*Building Information Modeling*) sering digunakan dalam proyek multidisiplin untuk mengurangi potensi kesalahan dan meningkatkan efisiensi. BIM memungkinkan berbagai disiplin bekerja dengan model digital yang terintegrasi, yang dapat memvisualisasikan keseluruhan proyek secara lebih baik dan mengidentifikasi potensi masalah sebelum konstruksi dimulai. Tanpa perencanaan yang matang dan penggunaan teknologi yang tepat, proyek multidisiplin bisa berisiko gagal atau mengalami pembengkakan biaya yang signifikan.

4. Manajemen Sumber Daya dalam Proyek Multidisiplin

Manajemen sumber daya dalam proyek multidisiplin sangat penting untuk memastikan kelancaran dan efisiensi pelaksanaan proyek. Setiap disiplin mungkin memerlukan jenis sumber daya yang berbeda, mulai dari tenaga kerja hingga material dan peralatan. Menurut PMBOK Guide (2021), manajemen sumber daya dalam proyek multidisiplin mencakup perencanaan, pengorganisasian, dan pengalokasian sumber daya manusia, material, dan peralatan sesuai dengan kebutuhan masing-masing disiplin. Koordinasi yang baik dalam pengelolaan sumber daya akan memastikan bahwa proyek berjalan sesuai dengan anggaran yang telah ditetapkan, sekaligus meminimalkan pemborosan yang dapat terjadi akibat ketidakseimbangan alokasi sumber daya.

5. Penggunaan Teknologi dalam Proyek Multidisiplin

Teknologi berperan besar dalam memfasilitasi kolaborasi antar berbagai disiplin dalam proyek multidisiplin. Salah satu teknologi yang sangat berperan penting adalah *Building Information Modeling* (BIM). BIM memungkinkan tim dari berbagai disiplin untuk bekerja dengan model digital yang terintegrasi, sehingga mempermudah koordinasi dan identifikasi potensi masalah sebelum konstruksi dimulai. Menurut Eastman et al. (2011), penggunaan BIM dalam proyek multidisiplin dapat meningkatkan efisiensi dan mengurangi risiko kesalahan teknis yang sering terjadi akibat komunikasi yang kurang efektif antara disiplin yang berbeda. Dengan demikian, teknologi seperti BIM memainkan peran penting dalam memastikan bahwa proyek multidisiplin dapat terlaksana dengan lancar dan sesuai dengan rencana.

6. Peran Manajer Proyek dalam Proyek Multidisiplin

Manajer proyek dalam proyek multidisiplin memegang peran yang sangat krusial. Mereka harus memastikan bahwa setiap disiplin bekerja secara terkoordinasi dan efektif. Menurut Schwalbe (2015), manajer proyek di proyek multidisiplin harus memiliki keterampilan kepemimpinan yang kuat, yang tidak hanya mencakup kemampuan untuk memotivasi tim, tetapi juga untuk mengelola konflik dan mengatasi berbagai masalah yang muncul dari kompleksitas proyek. Tugas manajer proyek adalah menjaga agar semua disiplin bekerja sesuai dengan rencana, sambil mengelola risiko dan memastikan proyek tetap berjalan dalam batas waktu dan anggaran yang telah ditetapkan.

7. Keuntungan Proyek Multidisiplin

Meskipun kompleks, proyek multidisiplin memiliki keuntungan dalam hal menciptakan solusi yang lebih komprehensif dan inovatif. Seperti dalam pembangunan infrastruktur besar atau gedung bertingkat, berbagai disiplin ilmu seperti teknik sipil, mekanikal, elektrik, dan arsitektur harus bekerja sama untuk menciptakan elemen-elemen yang saling terhubung dan mendukung satu sama lain. Menurut Burke (2013), keuntungan-keuntungan ini hanya dapat tercapai jika manajemen proyek dapat mengelola kompleksitas kolaborasi antar-disiplin dengan baik. Jika koordinasi antar tim berjalan lancar, proyek multidisiplin dapat menghasilkan solusi yang lebih efisien dan optimal, yang tidak hanya memenuhi tujuan teknis, tetapi juga meningkatkan nilai dan inovasi dalam proyek tersebut.

2.7 Manajemen Mutu Konstruksi

Manajemen mutu dalam konstruksi dapat dijelaskan melalui berbagai pendekatan teoretis yang mendasarinya. Juran's *Quality Trilogy* menyoroti tiga elemen utama: perencanaan mutu, pengendalian mutu, dan peningkatan mutu. Dalam konteks konstruksi, elemen-elemen ini diterapkan untuk memastikan bahwa setiap tahap, mulai dari desain hingga pelaksanaan, berjalan sesuai dengan spesifikasi yang telah ditentukan, sehingga hasil akhirnya memenuhi standar yang diharapkan. Sementara itu, Deming's *14 Points for Management* menekankan pentingnya perbaikan berkelanjutan di seluruh aspek manajemen mutu. Prinsip ini relevan dalam konstruksi dengan penerapan pendekatan berbasis data, pemantauan kualitas secara rutin, dan peningkatan proses secara sistematis untuk mencapai efisiensi dan keandalan yang lebih tinggi. Di sisi lain, Crosby's *Zero Defects* menawarkan perspektif yang berfokus pada pencegahan cacat sejak awal proyek. Dalam proyek konstruksi, pendekatan ini

diwujudkan melalui perencanaan yang cermat, pelaksanaan metode kerja yang terstandarisasi, dan pengawasan ketat untuk memastikan tidak ada kesalahan yang memengaruhi hasil akhir proyek. Ketiga pendekatan ini memberikan dasar yang kuat untuk manajemen mutu dalam mencapai keberhasilan proyek konstruksi yang optimal.

Manajemen mutu dalam konstruksi adalah pendekatan terstruktur yang berfokus pada perencanaan, pengendalian, dan peningkatan kualitas untuk memastikan bahwa proyek konstruksi memenuhi spesifikasi teknis, anggaran, dan waktu yang telah ditentukan, serta memuaskan kebutuhan pelanggan dan pemangku kepentingan lainnya. Manajemen mutu dalam konstruksi memiliki beragam definisi yang memberikan perspektif penting terhadap upaya pencapaian kualitas dalam proyek konstruksi. Menurut Juran (1988), manajemen mutu adalah upaya terorganisir untuk memastikan bahwa setiap proses konstruksi dan hasil akhirnya memenuhi spesifikasi yang telah ditentukan serta kebutuhan klien, melibatkan aktivitas perencanaan, pengendalian, dan peningkatan mutu sepanjang proyek. Sementara itu, Deming (1986) menekankan bahwa manajemen mutu dalam konstruksi adalah pendekatan sistematis yang berfokus pada perbaikan berkelanjutan dan keterlibatan seluruh pihak untuk mencapai hasil yang sesuai dengan standar mutu, anggaran, dan waktu yang telah ditetapkan. Pandangan serupa disampaikan oleh Feigenbaum (1991), yang menggarisbawahi pentingnya sistem terkoordinasi untuk mengintegrasikan perencanaan, pelaksanaan, dan pengawasan mutu guna menghasilkan produk akhir yang memuaskan semua pemangku kepentingan.

Dalam konteks standar global, ISO 9001:2015 mendefinisikan manajemen mutu konstruksi sebagai pendekatan sistematis yang memastikan bahwa setiap tahap proyek, mulai dari perencanaan, desain, pelaksanaan, hingga penyerahan hasil akhir, dilakukan sesuai dengan persyaratan yang ditentukan serta memenuhi ekspektasi pelanggan. Lebih lanjut, menurut Love, Holt, dan Li (2002), manajemen mutu konstruksi melibatkan proses proaktif untuk mengidentifikasi risiko mutu, menerapkan kontrol untuk meminimalkan kegagalan, serta memantau proses agar pekerjaan sesuai dengan spesifikasi teknis dan standar regulasi. Terakhir, Oakland and Marosszeky (2006) mendefinisikan manajemen mutu sebagai sistem manajemen yang terdiri dari proses, kebijakan, dan prosedur untuk memastikan pekerjaan konstruksi dilakukan secara efisien, bebas cacat, dan memenuhi kebutuhan klien. Definisi-definisi ini menunjukkan bahwa manajemen mutu konstruksi adalah

pendekatan yang menyeluruh, melibatkan berbagai elemen untuk memastikan keberhasilan proyek dengan standar tertinggi.

Manajemen mutu dalam konstruksi memberikan berbagai manfaat yang signifikan bagi keberhasilan proyek. Berikut adalah manfaat utama dari penerapan manajemen mutu konstruksi:

1. Peningkatan Kepuasan Pelanggan

Dengan memastikan bahwa setiap tahapan proyek memenuhi spesifikasi yang telah disepakati, manajemen mutu membantu meningkatkan kepercayaan dan kepuasan pelanggan terhadap hasil akhir proyek.

2. Efisiensi Operasional

Penerapan manajemen mutu memungkinkan identifikasi dan pengendalian proses yang tidak efisien, sehingga mengurangi pemborosan waktu, material, dan sumber daya lainnya.

3. Pengurangan Cacat dan Kesalahan

Melalui pengawasan mutu yang ketat, proyek konstruksi dapat mengurangi risiko cacat dalam desain maupun pelaksanaan, yang berpotensi menghemat biaya perbaikan.

4. Pengendalian Risiko

Manajemen mutu membantu mengidentifikasi potensi risiko di setiap tahap proyek dan menyediakan mekanisme kontrol untuk meminimalkan dampak negatif, termasuk keterlambatan dan pembengkakan biaya.

5. Peningkatan Kolaborasi Tim

Dengan adanya prosedur dan standar yang jelas, manajemen mutu mendorong komunikasi dan koordinasi yang lebih baik antar pihak yang terlibat dalam proyek, seperti kontraktor, konsultan, dan pemilik proyek.

6. Kepatuhan terhadap Regulasi

Manajemen mutu memastikan bahwa proyek konstruksi mematuhi standar teknis, regulasi, dan persyaratan hukum yang berlaku, sehingga mengurangi potensi sanksi atau litigasi.

7. Keberlanjutan dan Reputasi

Proyek yang dilakukan dengan manajemen mutu yang baik cenderung menghasilkan bangunan berkualitas tinggi dan tahan lama, yang pada akhirnya meningkatkan reputasi perusahaan di industri konstruksi.

8. Peningkatan Keunggulan Kompetitif

Dengan menunjukkan konsistensi dalam menghasilkan proyek berkualitas, perusahaan konstruksi dapat meningkatkan daya saing mereka di pasar dan menarik lebih banyak klien.

9. Pengelolaan Sumber Daya yang Lebih Baik

Manajemen mutu memastikan penggunaan sumber daya manusia, material, dan teknologi secara optimal, sehingga mendukung penyelesaian proyek secara efisien.

10. Mendukung Inovasi dan Perbaikan Berkelanjutan

Sistem manajemen mutu mendorong evaluasi dan analisis berkelanjutan terhadap proses konstruksi, yang dapat membuka peluang untuk inovasi dan peningkatan metode kerja.

Penerapan manajemen mutu tidak hanya memberikan manfaat jangka pendek dalam hal efisiensi dan pengendalian proyek, tetapi juga berkontribusi pada keberlanjutan dan keberhasilan jangka panjang perusahaan konstruksi.

2.8 Tinjauan Empiris

Tinjauan empiris dalam penelitian ini berfokus pada penerapan *Building Information Modeling* (BIM) dalam konteks proyek konstruksi, terutama dalam mengelola waktu dan biaya. Beberapa studi empiris yang relevan menunjukkan hasil yang signifikan terkait dampak BIM terhadap efisiensi proyek konstruksi. Sebagai contoh, penelitian oleh Azhar (2011) yang mengkaji penerapan BIM di proyek konstruksi besar menemukan bahwa penggunaan BIM dapat mengurangi waktu pelaksanaan proyek sebesar 15-20%, berkat kemampuannya dalam mendeteksi dan menyelesaikan potensi masalah lebih awal dalam proses perencanaan.

Studi lain oleh Tan et al. (2019) juga menunjukkan bahwa BIM dapat mengoptimalkan pengelolaan biaya melalui perencanaan yang lebih tepat dan pengurangan kesalahan desain yang biasa terjadi dalam proyek konvensional. Penelitian ini menyoroti pentingnya integrasi data yang akurat dalam BIM yang memungkinkan estimasi biaya lebih realistis dan pengendalian anggaran yang lebih baik. Selain itu, Ghaffarianhoseini et al. (2017) mencatat bahwa meskipun BIM memiliki potensi besar dalam mengurangi biaya dan waktu, implementasinya sering terkendala oleh hambatan seperti kurangnya pelatihan yang memadai dan resistensi terhadap perubahan dalam organisasi.

Di Indonesia, beberapa perusahaan besar, seperti PT Hutama Karya, telah mengimplementasikan BIM dalam proyek-proyek infrastruktur besar, termasuk jalan tol Trans-Sumatera. Penerapan BIM pada proyek tersebut terbukti efektif dalam mempercepat proses perencanaan dan koordinasi antar berbagai disiplin ilmu dalam proyek konstruksi multidisiplin, sehingga memungkinkan pengelolaan waktu dan biaya yang lebih efisien.

Dengan merujuk pada berbagai penelitian dan aplikasi di lapangan, tinjauan empiris ini mengonfirmasi bahwa penerapan BIM memiliki dampak positif yang besar dalam meningkatkan efisiensi waktu dan biaya pada proyek konstruksi, meskipun tantangan dalam penerapannya masih perlu diatasi untuk memaksimalkan potensinya.

Tabel 2. 1 Penelitian Terdahulu

No	Judul Penelitian/ Nama dan Tahun Penelitian	Hasil Penelitian	Perbedaan
1	Pengaruh Tingkat Penerapan BIM 5D Terhadap Kinerja Biaya Proyek Konstruksi Santoso et al. (2023)	Penerapan BIM 5D memberikan dampak signifikan terhadap pengelolaan biaya dalam proyek konstruksi. Dengan menggunakan BIM 5D, proyek dapat merencanakan lebih efektif, mendeteksi masalah lebih awal, serta mengendalikan biaya dengan lebih efisien melalui simulasi dan analisis yang lebih akurat. Integrasi dimensi kelima (biaya) dalam model BIM memungkinkan optimasi estimasi biaya, pengurangan pemborosan, dan peningkatan akurasi anggaran. Namun, meskipun BIM 5D menawarkan banyak manfaat, tantangan dalam implementasinya termasuk kurangnya pelatihan, ketidaksiapan perangkat	Penelitian Santoso dkk. lebih terfokus pada aplikasi BIM 5D dalam pembangunan gedung, sementara penelitian ini akan memfokuskan pada proyek jalan tol dengan menggunakan BIM sebagai alat untuk manajemen waktu dan biaya dalam proyek konstruksi multidisiplin. Penelitian ini juga akan mengkaji tantangan dan hambatan dalam penerapan BIM pada proyek jalan tol, serta hubungan adopsi BIM dengan peningkatan kinerja proyek secara lebih luas

		lunak, serta resistensi terhadap perubahan di kalangan pihak yang terlibat. Penelitian ini menyarankan peningkatan kapasitas sumber daya manusia dan infrastruktur untuk memaksimalkan potensi BIM 5D dalam meningkatkan kinerja biaya proyek konstruksi.	
2	3D Modeling Of Existing Toll Roads With BIM (Case Study: West Karawang Toll Exit) Amal & Dian Purnama (2023)	Dalam penelitian ini, hasil pemodelan 3D menunjukkan representasi yang sangat rinci dari elemen-elemen jalan tol, seperti jalur kendaraan, median, bahu jalan, dan elemen struktural lainnya. Selain itu, pemodelan 3D juga mencakup detail sistem drainase dan aspek keselamatan jalan, yang penting dalam perencanaan dan desain jalan tol. Pemodelan ini memberikan wawasan lebih baik dalam mengoptimalkan desain dan perencanaan infrastruktur jalan, serta mengidentifikasi potensi masalah lebih awal, yang sangat membantu dalam pengelolaan proyek konstruksi jalan tol.	Penelitian ini lebih menekankan pada model jalan tol yang sudah beroperasi, menggunakan data yang ada untuk melakukan analisis dan perencanaan lebih lanjut dan lebih fokus pada pemodelan jalan tol yang sudah ada dan tidak secara langsung membahas dampaknya terhadap manajemen waktu dan biaya dalam konteks proyek konstruksi yang lebih luas. Penelitian yang akan dilakukan lebih menekankan pada penerapan BIM dalam manajemen proyek konstruksi, termasuk pengelolaan waktu dan biaya, serta bagaimana adopsi BIM mempengaruhi efisiensi proyek.
3	Analisis Pengaruh Faktor-Faktor Building Information Modeling terhadap Tingkat	Berfokus pada faktor-faktor yang memengaruhi penerapan Building Information Modeling (BIM)	Fokus pada aspek multidisiplin dalam proyek konstruksi, khususnya pada

	Penerapan dan Kinerja Proyek pada Proyek Design and Build. Kurniawan & Suroso (2023)	pada proyek Design and Build serta dampaknya terhadap kinerja proyek. Dalam studi ini, ditemukan bahwa penerapan BIM memiliki pengaruh signifikan terhadap kinerja proyek, baik dari segi biaya, kualitas, maupun waktu. Faktor utama yang mempengaruhi penerapan BIM adalah kesiapan teknologi, manajemen, serta kompetensi SDM. Penerapan BIM yang lebih matang dapat meningkatkan efisiensi waktu, mengurangi biaya, dan memperbaiki kualitas hasil proyek. Selain itu, penelitian ini menunjukkan bahwa meskipun ada tantangan dalam implementasi BIM, seperti masalah integrasi antar pihak terkait dan kesulitan dalam pelatihan, manfaatnya jelas terlihat dalam peningkatan kinerja proyek secara keseluruhan.	pengaruh BIM terhadap manajemen waktu dan biaya dalam proyek jalan tol. Sementara penelitian ini lebih terfokus pada proyek Design and Build secara umum, penelitian Anda lebih spesifik mengamati penerapan BIM dalam konteks infrastruktur besar, seperti jalan tol, yang melibatkan banyak disiplin ilmu dan tantangan teknis yang lebih kompleks.
4	Aplikasi Building Information Modeling (BIM) dalam Perancangan Bangunan Gedung Fadhillah et al. (2022)	Hasil penelitian menunjukkan bahwa integrasi BIM tidak hanya meningkatkan akurasi desain struktur bangunan, tetapi juga mempercepat proses perancangan dan memungkinkan kolaborasi yang lebih efektif antar berbagai disiplin ilmu dalam proyek konstruksi	Penelitian ini berfokus pada penerapan BIM pada tahap desain dan perancangan gedung, sedangkan penelitian yang akan dilakukan berfokus pada pengaruh BIM terhadap manajemen waktu dan biaya dalam proyek konstruksi multidisiplin, termasuk jalan tol. Hal ini

			menunjukkan perbedaan dalam konteks aplikasi BIM, di mana penelitian sebelumnya lebih menekankan pada tahap desain, sedangkan penelitian yang akan dilakukan mencakup aspek operasional dan manajerial proyek secara keseluruhan.
5	Mengeksplorasi Penerapan Building Information Modeling (BIM) Pada Industri Konstruksi Indonesia dari Perspektif Pengguna Wibowo & Mieslenna (2019)	BIM telah terbukti meningkatkan koordinasi antara berbagai disiplin ilmu dalam proyek konstruksi, mempercepat proses desain dan pembangunan, serta meningkatkan akurasi estimasi biaya dan waktu. Namun, tantangan seperti kurangnya pemahaman terhadap BIM, keterbatasan perangkat lunak yang kompatibel, serta resistensi terhadap perubahan masih menjadi hambatan utama.	Penelitian ini lebih fokus pada penerapan BIM dari perspektif pengguna di Indonesia secara umum, sementara penelitian yang akan dilakukan lebih mendalam pada analisis pengaruh BIM terhadap manajemen waktu dan biaya pada proyek konstruksi jalan tol, yang juga melibatkan faktor multidisiplin. Penelitian yang akan dilakukan mengkaji dampak praktis dari penerapan BIM dalam konteks spesifik seperti proyek tol Trans-Sumatera, dengan pendekatan yang lebih terperinci pada aspek manajemen proyek.
6	Kajian Implementasi Building Information Modeling (BIM) di Dunia Konstruksi Indonesia Pantiga & Soekiman (2021)	Penelitian ini membahas bagaimana penerapan BIM dalam proyek-proyek konstruksi di Indonesia, dengan fokus pada manfaat dan tantangan yang dihadapi oleh industri	Penelitian Pantiga dan Soekiman lebih menitikberatkan pada implementasi BIM secara umum dalam industri konstruksi Indonesia, sementara

		ini. Menyoroti bahwa meskipun BIM memberikan banyak manfaat, seperti peningkatan efisiensi dan akurasi dalam perencanaan serta pengelolaan proyek, masih terdapat hambatan signifikan dalam penerapannya, terutama terkait dengan keterbatasan sumber daya manusia, infrastruktur teknologi, dan kesadaran akan BIM di kalangan pelaku industri. Penelitian ini juga mencatat adanya ketimpangan dalam tingkat adopsi BIM antara perusahaan besar dengan perusahaan kecil, serta perlunya adanya pelatihan lebih lanjut dan peningkatan kapasitas pada berbagai pihak yang terlibat dalam konstruksi. Penelitian ini menggarisbawahi pentingnya dukungan dari pemerintah dan institusi pendidikan untuk mempercepat proses adopsi BIM di Indonesia.	penelitian ini akan lebih mendalam pada aspek spesifik seperti penerapan BIM dalam konteks manajemen waktu dan biaya di proyek-proyek multidisiplin seperti jalan tol.
7	A Bibliometric Analysis of Building Information Modelling (BIM) Capability Research He et al. (2024)	Penelitian ini menunjukkan peningkatan signifikan dalam publikasi mengenai BIM selama periode 2006 hingga 2015, dengan penekanan pada peran BIM dalam memperbaiki interoperabilitas dan kolaborasi antara berbagai	Perbedaan dengan penelitian yang akan dilakukan, yaitu fokus pada terletak pada pendekatan empiris dan skala implementasi BIM yang lebih luas. Jurnal ini lebih mengarah pada analisis bibliometrik,

		pihak dalam industri konstruksi. Penelitian ini juga menyoroti tren penting dalam aplikasi BIM di berbagai sektor, serta pengaruhnya terhadap desain, konstruksi, dan pengelolaan proyek secara keseluruhan. Sebagian besar penelitian difokuskan pada pengembangan alat BIM, penerapan BIM dalam proyek besar, serta pengelolaan data dan informasi yang terkait. Selain itu, penelitian ini mencatat bahwa meskipun BIM menawarkan banyak manfaat dalam hal efisiensi dan pengendalian biaya, tantangan utama yang dihadapi termasuk kebutuhan untuk peningkatan kapasitas pengguna serta infrastruktur teknologi yang mendukung.	sedangkan penelitian yang akan dilakukan lebih fokus pada dampak praktis penerapan BIM terhadap kinerja biaya dan waktu proyek konstruksi spesifik, termasuk tantangan yang dihadapi dalam pelaksanaan langsung pada proyek jalan tol atau proyek konstruksi lainnya
8	Building Information Modelling and Information Management Bolpagni (2022)	Menyoroti pergeseran dari penggunaan desain berbantuan komputer (CAD) ke BIM dalam industri konstruksi, yang mendukung pengelolaan proyek dengan lebih efektif. BIM bukan hanya alat digital, melainkan metodologi yang mencakup teknologi, proses, dan kebijakan. Penelitian ini mengungkapkan manfaat dan tantangan BIM dalam	Perbedaannya dengan penelitian yang akan dilakukan adalah fokus pada integrasi manajemen informasi dalam BIM, sementara penelitian yang akan dilakukan lebih berorientasi pada penerapan BIM dalam konteks pengelolaan waktu dan biaya proyek konstruksi multidisiplin.

		seluruh siklus hidup aset, serta pentingnya pengembangan keterampilan dan penerapan standar internasional untuk keberhasilan implementasi BIM dalam organisasi	
9	Analisis Perbandingan Perhitungan Metode Konvensional Dan Building Information Modelling (BIM) Terhadap Volume Serta Biaya Pekerjaan Konstruksi Nur Dhou & Susanto (2023)	Hasil penelitian menunjukkan bahwa penerapan BIM memungkinkan perhitungan yang lebih akurat dan efisien, terutama dalam perhitungan volume beton dan pembesian, serta perencanaan biaya. Metode BIM dapat mengurangi kemungkinan kesalahan dalam perhitungan manual yang sering terjadi pada metode konvensional. Selain itu, penggunaan BIM juga mempercepat proses perhitungan dan memungkinkan visualisasi yang lebih jelas dari pekerjaan konstruksi, yang pada gilirannya mendukung pengendalian biaya lebih efektif. Namun, penelitian ini juga mengidentifikasi beberapa tantangan, seperti kebutuhan akan perangkat lunak yang lebih kuat dan pelatihan yang memadai bagi para pekerja konstruksi untuk memaksimalkan potensi BIM. Dibandingkan dengan	Penelitian yang akan dilakukan lebih luas dan lebih berfokus pada dampak BIM terhadap manajemen waktu dan biaya dalam proyek konstruksi yang lebih kompleks, yaitu proyek multidisiplin seperti proyek jalan tol. Penelitian yang akan dilakukan juga akan menganalisis bagaimana BIM berperan dalam mengelola waktu dan biaya sepanjang siklus hidup proyek, termasuk tantangan yang dihadapi dalam penerapannya dan bagaimana BIM membantu dalam pengurangan keterlambatan serta pembengkakan biaya di proyek besar. Dengan demikian, perbedaan utamanya adalah bahwa penelitian Anda lebih mendalam pada aplikasi praktis BIM dalam manajemen proyek secara keseluruhan, bukan hanya pada

		penelitian sebelumnya, penelitian ini lebih fokus pada perbandingan langsung antara dua metode perhitungan, yaitu BIM dan konvensional, dalam konteks perhitungan volume dan biaya yang lebih spesifik.	perhitungan volume dan biaya
10	Penilaian Efektivitas Implementasi Building Information Modelling (BIM) pada Proyek Konstruksi Bangunan Gedung Sarju et al. (2022)	Penelitian ini menganalisis enam variabel yang mempengaruhi keberhasilan BIM, yaitu organisasi, aplikasi, peralatan, tim proyek, proses, dan model bisnis. Enam variabel ini mencakup 123 indikator yang dievaluasi melalui survei terhadap tim perencanaan, kontraktor, dan manajemen konstruksi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa implementasi BIM dalam proyek konstruksi di Indonesia terbukti efektif, dengan nilai rata-rata skor tiap variabel lebih dari empat. Uji Anova Kruskal-Wallis mengungkapkan adanya perbedaan signifikan dalam efektivitas implementasi BIM di antara variabel-variabel tersebut. Penelitian ini memberikan wawasan bahwa faktor-faktor seperti kualitas organisasi, aplikasi BIM, dan keterlibatan tim proyek sangat menentukan efektivitas penerapan BIM	Penelitian yang akan dilakukan lebih berorientasi pada dampak BIM terhadap pengelolaan proyek secara keseluruhan, terutama dalam hal manajemen waktu dan biaya dalam proyek multidisiplin, sedangkan penelitian Sarju et al. lebih fokus pada efektivitas dan faktor-faktor yang mempengaruhi implementasi BIM dalam proyek konstruksi gedung.

		dalam meningkatkan kinerja proyek konstruksi.	
--	--	---	--

Penelitian ini berlandaskan pada temuan-temuan terdahulu yang menyoroti peran penting *Building Information Modeling* (BIM) dalam meningkatkan efisiensi dan kolaborasi dalam proyek konstruksi multidisiplin. Berdasarkan penelitian sebelumnya, penerapan BIM dalam proyek konstruksi dapat memperbaiki koordinasi antar berbagai disiplin ilmu, seperti arsitektur, teknik sipil, mekanikal, dan elektrikal, yang memungkinkan pertukaran data dan informasi yang lebih efisien di setiap tahapan proyek, mulai dari perencanaan, pelaksanaan, hingga pemantauan. Selain itu, penggunaan BIM juga terbukti berkontribusi pada pengurangan kesalahan komunikasi, mempercepat proses desain, serta membantu mengendalikan biaya dan waktu proyek, yang pada gilirannya meningkatkan kualitas hasil konstruksi. Namun, kendala dalam penerapan BIM, seperti keterbatasan teknologi, kurangnya kompetensi tenaga kerja, dan masalah koordinasi antar-disiplin, dapat menghambat efektivitas pertukaran data dan informasi, sehingga mempengaruhi kinerja proyek secara keseluruhan. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan model penerapan BIM yang optimal dengan mempertimbangkan pertukaran data dan informasi sebagai faktor utama yang dapat meningkatkan kinerja proyek dalam hal biaya, waktu, dan mutu.

2.9 Kerangka Pemikiran

Penerapan *Building Information Modeling* (BIM) dalam proyek konstruksi multidisiplin, seperti proyek jalan tol, memungkinkan pembuatan model digital yang mendetail tentang fisik dan fungsi proyek. Teknologi ini mendukung koordinasi antara berbagai disiplin ilmu, termasuk perencanaan teknik sipil, struktur, dan instalasi, yang sangat penting dalam proyek besar yang melibatkan banyak pihak. Dengan penerapan BIM, diharapkan efisiensi waktu dan biaya dapat ditingkatkan karena informasi yang lebih terintegrasi dan mudah diakses oleh semua pihak terkait. Hal ini sejalan dengan prinsip manajemen proyek menurut PMI (2021), yang menekankan pentingnya komunikasi dan kolaborasi yang efektif antara *stakeholder* untuk mencapai keberhasilan proyek.

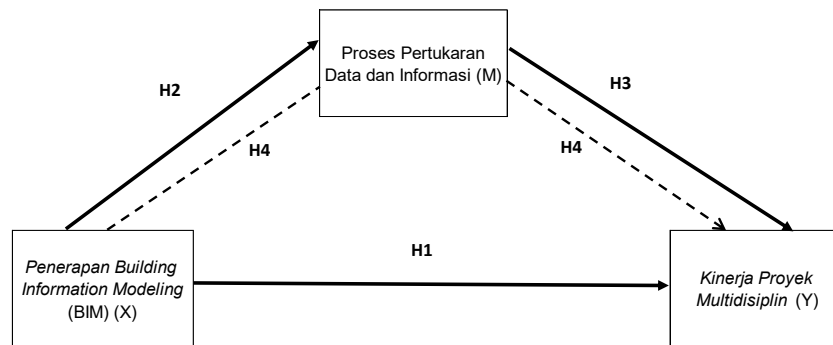
Dalam manajemen waktu proyek konstruksi, BIM memiliki peran penting dalam meningkatkan efisiensi. Dengan kemampuan untuk menyimulasikan perencanaan dan jadwal proyek lebih awal, BIM memungkinkan identifikasi potensi hambatan sejak

dini, sehingga mempercepat proses perbaikan dalam perencanaan dan pelaksanaan proyek. Pendekatan ini mendukung tahapan *schedule management* dalam manajemen proyek, yang mencakup perencanaan, pengendalian, dan pengelolaan jadwal (Kerzner, 2017). Selain itu, BIM memfasilitasi pemantauan perkembangan proyek secara *real-time*, yang mendukung pengendalian waktu dan memastikan proyek tetap berada pada jalurnya, sebagaimana ditekankan oleh teori *Earned Value Management* (EVM) yang mengukur kinerja proyek terhadap jadwal yang direncanakan.

BIM juga berdampak signifikan pada manajemen biaya proyek konstruksi. Integrasi data yang lebih akurat dalam model BIM memungkinkan estimasi biaya yang lebih tepat, karena seluruh informasi proyek, seperti material, tenaga kerja, dan durasi, terhubung dalam satu platform yang mudah diakses dan dimonitor. Prinsip ini relevan dengan konsep *Cost Management*, di mana pengendalian biaya proyek dilakukan melalui estimasi, anggaran, dan pengendalian varians untuk meminimalkan risiko pembengkakan biaya (PMI, 2021). Dengan demikian, BIM membantu mengurangi pemborosan dan ketidaktepatan perhitungan yang sering kali menyebabkan pembengkakan biaya dalam proyek konstruksi.

Namun, penerapan BIM dalam proyek konstruksi besar seperti jalan tol tidak tanpa tantangan. Beberapa hambatan yang sering dihadapi antara lain kurangnya pelatihan untuk tim proyek, kesulitan dalam integrasi teknologi baru, serta resistensi terhadap perubahan yang mungkin muncul di kalangan para pihak terkait. Menurut teori *Change Management* oleh Kotter (1996), keberhasilan adopsi teknologi seperti BIM sangat bergantung pada kesiapan organisasi dalam menghadapi perubahan, termasuk pelatihan dan dukungan yang memadai bagi tim. Selain itu, perangkat lunak BIM yang kompleks memerlukan keterampilan teknis yang tinggi, yang menjadi kendala bagi beberapa tim yang tidak terlatih dengan baik.

Pada akhirnya, kerangka pemikiran ini menekankan hubungan erat antara tingkat penerapan BIM dengan peningkatan kinerja manajemen waktu dan biaya. Semakin tinggi tingkat adopsi BIM dalam suatu proyek, semakin besar potensi untuk mengoptimalkan pengelolaan proyek, mengurangi keterlambatan, dan mencegah pembengkakan biaya. Hal ini mendukung prinsip *Triple Constraint* (biaya, mutu, waktu)** dalam manajemen proyek, yang menekankan pentingnya keseimbangan antara ketiga elemen untuk memastikan keberhasilan proyek.



Gambar 2. 4 Kerangka Pemikiran

Berdasarkan gambar kerangka pemikiran di atas, hipotesis penelitian yang dapat dirumuskan adalah:

Hipotesis Utama (H₁):

Diduga penerapan *Building Information Modeling* (BIM) secara signifikan mempengaruhi kinerja proyek konstruksi multidisiplin, yang mencakup biaya, mutu, dan waktu.

Penerapan *Building Information Modeling* (BIM) dalam proyek konstruksi multidisiplin telah terbukti memberikan dampak positif yang signifikan terhadap kinerja proyek, terutama dalam aspek biaya, mutu, dan waktu. Penelitian menunjukkan bahwa BIM dapat meningkatkan efisiensi proyek melalui penghematan biaya hingga 7-20% karena minimnya kesalahan desain dan kebutuhan *rework*, meningkatkan mutu melalui visualisasi yang lebih baik dan deteksi benturan, serta mempercepat waktu penyelesaian proyek melalui perencanaan yang lebih terintegrasi (Bryde et al., 2013; Barlish & Sullivan, 2012). Selain itu, kemampuan BIM untuk mengelola data multidisiplin secara terpusat memungkinkan kolaborasi yang lebih baik antar-pemangku kepentingan, sehingga menghasilkan keputusan yang lebih informatif dan meminimalkan risiko proyek (Azhar, 2011; Zhang et al., 2018).

Namun demikian, beberapa penelitian juga menemukan bahwa penerapan BIM tidak selalu memberikan dampak signifikan pada kinerja proyek, terutama jika dihadapkan pada kendala tertentu. Faktor-faktor seperti tingginya biaya investasi awal, kurangnya kesiapan sumber daya manusia, dan rendahnya kualitas data input dapat menghambat efektivitas BIM dalam mencapai efisiensi biaya, mutu, dan waktu (Miettinen & Paavola, 2014; He et al., 2017). Selain itu, resistensi terhadap teknologi baru dan kurangnya infrastruktur pendukung juga dapat mengurangi manfaat BIM

dalam proyek, khususnya pada proyek-proyek kecil atau di negara berkembang (Hosseini et al., 2016; Ahuja et al., 2018). Dengan demikian, dampak BIM terhadap kinerja proyek konstruksi bersifat kontekstual dan sangat tergantung pada kesiapan organisasi, skala proyek, dan kemampuan adaptasi teknologi.

Hipotesis Spesifik:

- 1. H₁: Diduga penerapan BIM berpengaruh positif terhadap peningkatan mutu proyek konstruksi multidisiplin, dengan mengurangi kesalahan desain, meningkatkan akurasi, dan memastikan kesesuaian antara desain dan implementasi.**

Penerapan Building Information Modeling (BIM) secara signifikan berpengaruh positif terhadap peningkatan mutu proyek konstruksi multidisiplin. Penelitian oleh Azhar (2011) menunjukkan bahwa BIM mampu mengurangi kesalahan desain melalui fitur deteksi benturan (clash detection), yang secara efektif mengidentifikasi konflik antar-komponen sebelum konstruksi dimulai. Hal ini tidak hanya meningkatkan akurasi desain, tetapi juga meminimalkan rework yang sering kali menjadi penyebab utama menurunnya mutu proyek. Selain itu, Bryde et al. (2013) menegaskan bahwa visualisasi berbasis BIM membantu memastikan kesesuaian antara desain dan implementasi di lapangan, sehingga menghasilkan kualitas konstruksi yang lebih baik. Zhang et al. (2018) juga mencatat bahwa BIM memungkinkan pengelolaan data proyek secara terpusat, sehingga semua pihak memiliki akses terhadap informasi yang akurat dan konsisten, yang pada akhirnya meningkatkan kualitas koordinasi dan hasil proyek secara keseluruhan.

Namun, beberapa penelitian menunjukkan bahwa penerapan BIM tidak selalu memberikan dampak positif terhadap mutu proyek, terutama jika terdapat keterbatasan teknis atau operasional. Menurut Miettinen dan Paavola (2014), kompleksitas teknologi BIM dapat menjadi kendala, terutama dalam proyek dengan tim yang kurang terlatih, yang dapat menyebabkan interpretasi desain yang salah dan berpotensi menurunkan mutu konstruksi. Selain itu, penelitian oleh He et al. (2017) mencatat bahwa ketergantungan pada data yang berkualitas tinggi membuat BIM kurang efektif jika data input awal tidak akurat atau tidak lengkap, sehingga kesalahan desain tetap terjadi. Hosseini et al. (2016) juga mengungkapkan bahwa keterbatasan interoperabilitas antar-perangkat lunak BIM dapat mempersulit koordinasi lintas disiplin, yang pada

akhirnya mengurangi keandalan dan konsistensi dalam implementasi desain di lapangan.

2. **H₁: Diduga penerapan BIM berpengaruh positif terhadap efisiensi waktu dalam proyek konstruksi multidisiplin, dengan mengurangi keterlambatan dan meningkatkan kecepatan penyelesaian proyek.**

Penerapan *Building Information Modeling* (BIM) terbukti berpengaruh positif terhadap efisiensi waktu dalam proyek konstruksi multidisiplin. Penelitian oleh Bryde et al. (2013) menunjukkan bahwa BIM mampu mengurangi keterlambatan proyek melalui fitur seperti *clash detection*, yang secara efektif mengidentifikasi konflik desain sebelum konstruksi dimulai, sehingga menghindari pekerjaan ulang yang memakan waktu. Selain itu, Eastman et al. (2011) mencatat bahwa BIM mendukung pengelolaan jadwal berbasis 4D, yang memungkinkan perencanaan dan pemantauan waktu proyek secara lebih terstruktur dan terintegrasi. Zhang et al. (2018) juga menemukan bahwa kolaborasi berbasis BIM mempercepat alur kerja antar-disiplin, karena semua pemangku kepentingan memiliki akses ke informasi *real-time* dan terpusat, sehingga keputusan dapat dibuat lebih cepat.

Meskipun demikian, beberapa penelitian menunjukkan bahwa penerapan BIM tidak selalu memberikan dampak positif terhadap efisiensi waktu. He et al. (2017) menemukan bahwa proses implementasi BIM sering kali memerlukan waktu tambahan untuk pelatihan tenaga kerja dan penyesuaian teknologi, terutama pada tahap awal proyek. Penelitian oleh Miettinen dan Paavola (2014) juga mencatat bahwa kurangnya *interoperabilitas* antar-perangkat lunak BIM dapat memperlambat koordinasi dan kolaborasi lintas disiplin, sehingga justru menimbulkan penundaan. Selain itu, Hosseini et al. (2016) menyebutkan bahwa jika data *input* awal tidak akurat atau lengkap, BIM dapat menyebabkan kesalahan dalam jadwal yang berdampak pada keterlambatan. Dalam beberapa kasus, resistensi terhadap teknologi baru dari tenaga kerja tradisional juga memperlambat penerapan dan pengoptimalan BIM (Ahuja et al., 2018).

3. **H₂: Diduga penerapan *Building Information Modeling* (BIM) berpengaruh positif terhadap proses pertukaran data dan informasi dalam proyek konstruksi multidisiplin.**

Penerapan *Building Information Modeling* (BIM) secara luas diakui meningkatkan efisiensi dalam proses pertukaran data dan informasi pada proyek konstruksi multidisiplin. Penelitian oleh Azhar (2011) menunjukkan bahwa BIM memungkinkan integrasi data dari berbagai disiplin (arsitektur, teknik, dan konstruksi) ke dalam satu platform yang seragam, sehingga memfasilitasi komunikasi yang lebih baik antar-*stakeholder*. Selain itu, BIM mendukung visualisasi yang jelas dan pemodelan data berbasis 3D hingga 6D, yang membantu memastikan bahwa semua pihak memiliki akses terhadap informasi yang sama secara *real-time* (Eastman et al., 2011). Zhang et al. (2018) juga menegaskan bahwa BIM mempermudah deteksi benturan (*clash detection*) dan mempercepat pengambilan keputusan karena kemampuannya untuk mengidentifikasi potensi konflik desain sebelum terjadi di lapangan. Lebih lanjut, Barlish dan Sullivan (2012) menyebutkan bahwa kemampuan BIM untuk mendokumentasikan data secara otomatis meningkatkan akurasi dan kecepatan dalam pertukaran informasi di proyek berskala besar.

Namun, beberapa penelitian mengungkapkan bahwa penerapan BIM tidak selalu memberikan pengaruh positif pada proses pertukaran data, terutama jika menghadapi kendala teknis dan non-teknis. Menurut Miettinen dan Paavola (2014), kompleksitas teknologi BIM dapat memperlambat pertukaran informasi, terutama jika tidak ada standarisasi yang jelas di antara disiplin yang berbeda. He et al. (2017) juga mencatat bahwa keterbatasan interoperabilitas perangkat lunak BIM sering kali menyebabkan hambatan dalam kolaborasi lintas platform, sehingga mengurangi efektivitas pertukaran data. Selain itu, penelitian oleh Hosseini et al. (2016) menunjukkan bahwa ketergantungan pada data berkualitas tinggi membuat BIM kurang efektif jika *input* data awal tidak akurat atau tidak lengkap, yang dapat mengakibatkan kesalahan komunikasi antara tim proyek. Resistensi terhadap teknologi baru dan kurangnya pelatihan juga menjadi penghambat dalam memanfaatkan potensi penuh BIM untuk pertukaran informasi (Ahuja et al., 2018).

4. **H₃: Diduga proses pertukaran data dan informasi yang lebih efisien melalui penerapan BIM berpengaruh positif terhadap pengelolaan biaya proyek, dengan mengurangi pembengkakan biaya dan mempercepat pengambilan keputusan terkait anggaran.**

Penerapan *Building Information Modeling* (BIM) secara efektif meningkatkan efisiensi dalam proses pertukaran data dan informasi, yang berkontribusi positif terhadap pengelolaan biaya proyek. Penelitian oleh Bryde et al. (2013) menunjukkan bahwa BIM dapat mengurangi pembengkakan biaya hingga 7-20% karena kemampuannya mendeteksi benturan desain sebelum konstruksi dimulai, sehingga meminimalkan *rework* dan pemborosan material. Selain itu, Barlish dan Sullivan (2012) menegaskan bahwa integrasi data berbasis BIM memungkinkan pengambilan keputusan yang lebih cepat dan lebih informatif terkait pengelolaan anggaran, karena semua pemangku kepentingan memiliki akses terhadap data *real-time* tentang biaya dan sumber daya. Eastman et al. (2011) juga menyebutkan bahwa BIM mendukung simulasi anggaran berbasis 5D, yang membantu meramalkan biaya proyek dengan lebih akurat, sehingga mencegah pengeluaran tak terduga.

Di sisi lain, penelitian juga menunjukkan bahwa efisiensi pertukaran data melalui BIM tidak selalu memberikan pengaruh positif terhadap pengelolaan biaya proyek, terutama jika terdapat hambatan teknis dan organisasi. He et al. (2017) mengidentifikasi bahwa kurangnya *interoperabilitas* antara perangkat lunak BIM dapat memperlambat proses analisis anggaran dan menyebabkan ketidaksesuaian data, yang justru dapat memicu biaya tambahan. Selain itu, penelitian oleh Miettinen dan Paavola (2014) menemukan bahwa ketergantungan BIM pada data awal yang akurat menjadi tantangan, karena jika data *input* tidak lengkap atau salah, pengelolaan biaya proyek dapat terganggu. Hosseini et al. (2016) juga mencatat bahwa kurangnya pelatihan tenaga kerja dalam penggunaan BIM dapat menyebabkan interpretasi data yang salah, sehingga menghambat pengambilan keputusan yang efisien terkait anggaran proyek.

Hipotesis Moderating (H4):

H₄: Diduga proses pertukaran data dan informasi yang lebih efisien melalui penerapan BIM dapat bertindak sebagai mediator yang memperkuat pengaruh penerapan BIM terhadap kinerja proyek dalam aspek biaya, mutu, dan waktu.

Proses pertukaran data dan informasi yang lebih efisien melalui penerapan *Building Information Modeling* (BIM) telah terbukti bertindak sebagai mediator yang memperkuat pengaruh BIM terhadap kinerja proyek konstruksi dalam aspek biaya, mutu, dan waktu. Penelitian oleh Bryde et al. (2013) menunjukkan bahwa efisiensi

dalam pertukaran data memungkinkan integrasi lintas disiplin yang lebih baik, sehingga mengurangi risiko kesalahan desain dan konflik antar-komponen, yang pada akhirnya menekan biaya proyek dan meningkatkan mutu. Selain itu, Zhang et al. (2018) menegaskan bahwa dengan akses *real-time* terhadap informasi berbasis BIM, pengambilan keputusan dapat dilakukan lebih cepat dan lebih tepat, yang berdampak positif pada efisiensi waktu proyek. Eastman et al. (2011) juga mencatat bahwa pertukaran data yang lebih efisien melalui BIM mendukung simulasi jadwal dan anggaran secara lebih akurat, sehingga memperkuat koordinasi antar-pemangku kepentingan dan mendorong kinerja proyek secara keseluruhan.