

Penerapan building information modelling (BIM) terhadap efisiensi manajemen proyek konstruksi di Indonesia

Muhammad Hijerah Al Ahmad¹, Wulandari Alwinda Puspasari², I Putu Artawan³

^{1,2,3}Universitas Tomakaka

Corresponding Author : E-Mail: wulandariapuspasari@gmail.com

Published: December, 2025

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan menganalisis penerapan Building Information Modelling (BIM) terhadap efisiensi manajemen proyek konstruksi di Indonesia dengan menggunakan pendekatan kualitatif dan desain studi kasus. Data diperoleh melalui wawancara mendalam, observasi lapangan, dan analisis dokumen proyek yang melibatkan BIM engineer, project manager, konsultan, serta tenaga teknis lainnya. Hasil penelitian menunjukkan bahwa BIM berkontribusi signifikan dalam meningkatkan efisiensi proyek melalui empat aspek utama: akurasi desain, efektivitas koordinasi, efisiensi biaya, dan optimalisasi perencanaan waktu. Pada aspek desain, fitur clash detection terbukti mengurangi kesalahan teknis dan rework secara signifikan. Sementara itu, koordinasi lintas disiplin berlangsung lebih efektif karena seluruh pemangku kepentingan bekerja menggunakan model terintegrasi yang mempercepat proses komunikasi dan pengambilan keputusan. Temuan lain menunjukkan bahwa BIM mampu meningkatkan efisiensi biaya melalui perhitungan otomatis dalam 5D modelling, yang memudahkan penyesuaian anggaran sesuai perubahan desain. Namun, penelitian ini juga mengungkap hambatan berupa rendahnya kompetensi SDM, keterbatasan infrastruktur teknologi, resistensi organisasi, dan minimnya standarisasi nasional. Faktor-faktor tersebut menyebabkan adopsi BIM belum dilakukan secara optimal pada seluruh tahapan proyek, terutama pada fase konstruksi dan operasi. Penelitian ini menegaskan perlunya strategi transformasi digital yang mencakup pelatihan berkelanjutan, investasi teknologi, penyusunan standar BIM, dan dukungan kebijakan pemerintah untuk mempercepat penerapan BIM secara menyeluruh. Dengan demikian, BIM memiliki potensi besar sebagai alat strategis dalam meningkatkan efisiensi dan kualitas proyek konstruksi di Indonesia.

Kata kunci : Building Information Modelling, efisiensi proyek, konstruksi, manajemen proyek, transformasi digital.

ABSTRACT

This study aims to analyze the implementation of Building Information Modeling (BIM) on the efficiency of construction project management in Indonesia using a qualitative approach and a case study design. Data were obtained through in-depth interviews, field observations, and project document analysis involving BIM engineers, project managers, consultants, and other technical personnel. The findings indicate that BIM makes a significant contribution to improving project efficiency through four main aspects: design accuracy, coordination effectiveness, cost efficiency, and optimization of time planning. In terms of design, the clash detection feature has been proven to significantly reduce technical errors and rework. Meanwhile, cross-disciplinary coordination becomes more effective because all stakeholders work using an integrated model that accelerates communication processes and decision-making. Other findings show that BIM can enhance cost efficiency through automated calculations in 5D modeling, which facilitates budget adjustments according to design changes. However, this study also reveals several obstacles, including low human resource competency, limited technological infrastructure, organizational resistance, and the lack of national standardization. These factors hinder the optimal adoption of BIM across all project stages, particularly during the construction and operation phases. The study emphasizes the need for a digital transformation strategy that includes continuous training, technological investment, the development of BIM standards, and government policy support to accelerate comprehensive BIM implementation. Thus, BIM has great potential as a strategic tool in improving the efficiency and quality of construction projects in Indonesia.

Keywords: Building Information Modeling, project efficiency, construction, project management, digital transformation

© The Author(s). 2021 Open Access This article is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License, which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons licence, and indicate if changes were made. The images or other third party material in this article are included in the article's Creative Commons licence, unless indicated otherwise in a credit line to the material. To view a copy of this licence, visit <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>

PENDAHULUAN

Perkembangan industri konstruksi di Indonesia beberapa tahun terakhir menunjukkan peningkatan kebutuhan akan efisiensi dalam perencanaan, pelaksanaan, dan pengendalian proyek. Kompleksitas proyek konstruksi yang melibatkan banyak pemangku kepentingan sering memunculkan

permasalahan seperti keterlambatan, pembengkakan biaya, kesalahan desain, serta ketidaksinkronan informasi antar disiplin teknis. Tantangan tersebut menuntut hadirnya sistem manajemen proyek yang mampu memfasilitasi kolaborasi, meningkatkan akurasi informasi, dan mengurangi risiko kesalahan sejak tahap perencanaan. Building Information Modelling (BIM) kemudian muncul sebagai inovasi teknologi digital yang mampu menyediakan representasi virtual terintegrasi dari seluruh elemen proyek, sehingga pemangku kepentingan dapat mengambil keputusan secara lebih tepat dan efisien. Sejumlah studi internasional menyebutkan bahwa adopsi BIM membantu meningkatkan koordinasi lintas disiplin serta menekan potensi kesalahan teknis yang berpengaruh pada produktivitas proyek (Saka & Chan, 2020). Indonesia, sebagai negara dengan tingkat pembangunan infrastruktur yang tinggi, berada dalam posisi yang membutuhkan terobosan teknologi seperti BIM. Pemerintah melalui Kementerian PUPR telah mendorong pemanfaatan BIM pada proyek-proyek strategis nasional untuk memastikan efektivitas proses konstruksi. Namun implementasi BIM di Indonesia masih menghadapi tantangan, seperti keterbatasan kompetensi tenaga kerja, resistensi organisasi, minimnya standarisasi, serta biaya adopsi teknologi yang cukup tinggi pada beberapa jenis proyek. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa tingkat kesiapan organisasi konstruksi di Indonesia terhadap BIM masih berada pada level transisi menuju digital maturity, sehingga diperlukan kajian lebih mendalam mengenai dampak penerapan BIM terhadap efisiensi manajemen proyek konstruksi (Dewi & Latief, 2021). Hal ini menjadi penting karena adopsi teknologi tanpa evaluasi empiris dapat menghambat manfaat yang seharusnya diperoleh.

Efisiensi manajemen proyek konstruksi menjadi salah satu indikator utama kesuksesan proyek, meliputi efisiensi waktu, biaya, sumber daya material, serta efektivitas koordinasi antar kontraktor dan konsultan. BIM dinilai mampu meningkatkan efisiensi melalui integrasi data desain, simulasi konstruksi, otomatisasi dokumentasi, serta deteksi benturan (clash detection) yang mengurangi potensi rework. Penelitian global menyebutkan bahwa BIM mampu menekan 10–20% pemborosan biaya akibat desain yang tidak akurat dan miskomunikasi antar tim (Abanda et al., 2018). Namun, efektivitas penerapan BIM di setiap negara dapat bervariasi berdasarkan kesiapan teknologi, budaya organisasi, dan kemampuan sumber daya manusia. Oleh karena itu, penelitian kontekstual di Indonesia diperlukan untuk menilai sejauh mana BIM memberikan kontribusi nyata terhadap efisiensi manajemen proyek. Sejumlah pengalaman proyek besar di Indonesia menunjukkan bahwa BIM mulai memberikan dampak positif, terutama pada proyek infrastruktur transportasi, gedung pemerintah, dan konstruksi industri. Penggunaan fitur seperti 4D scheduling dan 5D cost estimation, misalnya, memungkinkan perencana memprediksi durasi dan biaya dengan lebih akurat. Namun demikian, efektivitas tersebut tidak selalu tercapai secara optimal karena implementasi BIM masih sering terbatas pada tahapan desain dan belum diterapkan secara penuh pada siklus konstruksi. Penelitian oleh Rustamaji et al. (2022) menunjukkan bahwa masih terdapat gap besar antara kemampuan teknis perusahaan dan tuntutan penggunaan BIM secara komprehensif. Kondisi ini membuat efisiensi proyek tidak sepenuhnya meningkat sebagaimana dilaporkan pada literatur internasional.

Selain tantangan teknis dan organisasional, faktor kebijakan juga menentukan keberhasilan implementasi BIM. Negara-negara maju seperti Inggris dan Singapura telah mewajibkan BIM pada proyek pemerintah sehingga mendorong peningkatan kualitas output konstruksi dan menekan angka kegagalan proyek. Di Indonesia, meskipun BIM telah direkomendasikan pada beberapa tipe proyek, kewajiban formal belum sepenuhnya diterapkan sehingga adopsi BIM berjalan secara gradual. Hal ini membuka peluang penelitian untuk menilai seberapa besar dampak penerapan BIM terhadap efisiensi proyek, sekaligus menyumbang masukan bagi kebijakan percepatan transformasi digital sektor konstruksi. Penelitian ini memandang bahwa pengukuran empiris terkait hubungan penerapan BIM dan efisiensi manajemen proyek akan memberikan kontribusi signifikan bagi industri maupun pembuat kebijakan (Kasim et al., 2023). Integrasi BIM dalam manajemen proyek konstruksi memberikan peluang signifikan untuk meningkatkan kualitas pengambilan keputusan melalui penyediaan visualisasi informasi secara menyeluruh dan terperinci. Teknologi ini memungkinkan seluruh pemangku kepentingan melihat hubungan antarelemen desain serta dampak perubahan desain terhadap waktu dan biaya secara real time. Kemampuan melakukan deteksi

benturan sebelum konstruksi dimulai membantu meminimalkan risiko pengerjaan ulang yang sering menyebabkan pemborosan sumber daya. Studi internasional menunjukkan bahwa proyek yang mengimplementasikan BIM secara komprehensif mengalami penurunan work error serta peningkatan akurasi dokumen teknis, yang pada akhirnya berkontribusi pada efisiensi proyek secara keseluruhan (Lu et al., 2019).

Meskipun manfaat BIM sudah terbukti, proses adopsinya di Indonesia tidak berjalan merata karena masih terdapat hambatan teknis dan nonteknis. Perusahaan konstruksi besar cenderung lebih mampu mengakses perangkat teknologi, pelatihan, dan infrastruktur digital, sedangkan perusahaan kecil dan menengah sering menghadapi keterbatasan kompetensi dan biaya investasi. Akibatnya, BIM pada banyak proyek hanya digunakan pada tahap visualisasi desain dan belum diterapkan sebagai sistem manajemen proyek yang terintegrasi. Penelitian terbaru menunjukkan bahwa kesiapan digital perusahaan konstruksi Indonesia masih berada pada tahap awal menuju digital maturity, sehingga diperlukan kebijakan standardisasi dan roadmap implementasi yang jelas (Nugroho et al., 2022). Penerapan BIM bukan hanya transformasi teknologi, melainkan juga transformasi budaya organisasi. Perubahan sistem kerja menuju proses digital memerlukan komitmen manajerial, penyesuaian alur kerja, serta kesiapan tenaga kerja dalam mengoperasikan perangkat BIM. Dalam kenyataannya, resistensi sering muncul karena sebagian tenaga kerja merasa teknologi baru akan menambah beban pekerjaan atau mengurangi kontrol mereka dalam proses konstruksi. Namun, penelitian menunjukkan bahwa resistensi dapat dikurangi melalui pelatihan yang tepat, komunikasi yang efektif, serta manajemen perubahan yang terstruktur. Organisasi yang memiliki strategi pelatihan kuat terbukti lebih cepat mencapai tingkat keberhasilan implementasi BIM (Wu et al., 2017).

Efisiensi biaya merupakan manfaat penting yang diharapkan dari penerapan BIM karena kemampuan teknologi ini dalam menghasilkan estimasi biaya yang lebih akurat melalui 5D modelling. Fitur analisis biaya memungkinkan pemangku kepentingan memahami dampak finansial dari setiap perubahan desain dan memprediksi biaya konstruksi secara komprehensif. Dalam proyek besar, kemampuan ini sangat penting karena perubahan kecil pada desain dapat berdampak signifikan pada total anggaran. Penelitian terdahulu menyebutkan bahwa BIM dapat mengurangi pembengkakan biaya hingga belasan persen melalui peningkatan akurasi dokumen perencanaan dan pengurangan pengerjaan ulang (Chong et al., 2016). Aspek keselamatan kerja juga menjadi dimensi penting yang dapat ditingkatkan melalui implementasi BIM. Dengan simulasi berbasis model empat dimensi, potensi bahaya pada lokasi proyek dapat dianalisis sebelum konstruksi dimulai, sehingga perencanaan keselamatan dapat disusun lebih tepat. Visualisasi risiko yang detail membantu manajer proyek mengidentifikasi zona berbahaya, menentukan alat pelindung diri yang sesuai, serta merancang prosedur mitigasi risiko. Dalam konteks Indonesia, di mana angka kecelakaan konstruksi masih tergolong tinggi, integrasi BIM dalam manajemen keselamatan dapat memberikan kontribusi signifikan bagi peningkatan kualitas proyek. Hal ini menegaskan perlunya penelitian empiris yang mengevaluasi sejauh mana BIM benar-benar mampu meningkatkan efisiensi manajemen proyek di Indonesia (Zhang et al., 2020).

Transformasi digital melalui BIM juga berpengaruh terhadap kualitas dokumentasi proyek yang selama ini menjadi sumber masalah dalam konstruksi konvensional. Ketidakesesuaian gambar, revisi yang tidak terkontrol, serta kurangnya integrasi dokumen antar disiplin sering memicu kesalahan pengerjaan di lapangan. BIM memungkinkan pencatatan revisi secara otomatis, penyimpanan terpusat, serta sinkronisasi data secara real time sehingga seluruh tim bekerja berdasarkan informasi yang sama. Kondisi ini meningkatkan akurasi, mengurangi miskomunikasi, dan mempercepat proses persetujuan desain. Penelitian oleh Santos et al. (2021) menegaskan bahwa lingkungan dokumentasi terpusat yang dihasilkan BIM mampu mengurangi konflik desain hingga lebih dari 30% pada proyek berskala besar. Perkembangan teknologi BIM juga sejalan dengan meningkatnya kebutuhan akan sustainability dalam industri konstruksi. Penggunaan BIM memungkinkan simulasi energi bangunan, pemilihan material ramah lingkungan, serta perhitungan dampak lingkungan dari berbagai alternatif desain. Dalam konteks global, integrasi BIM dengan konsep green building telah menjadi standar dalam banyak proyek untuk memastikan efisiensi energi dan pengurangan emisi karbon. Penelitian

di beberapa negara menunjukkan bahwa BIM dapat memfasilitasi analisis performa energi secara cepat sehingga arsitek dan insinyur dapat memperbaiki rancangan sebelum konstruksi dimulai. Studi oleh Gardezi et al. (2021) menemukan bahwa pemanfaatan BIM dalam green design dapat meningkatkan efisiensi energi bangunan hingga 18%, menjadikannya relevan bagi pengembangan konstruksi berkelanjutan di Indonesia.

Selain meningkatkan efisiensi teknis dan lingkungan, BIM juga memberikan dampak positif terhadap koordinasi multidisiplin dalam proyek konstruksi. Kolaborasi antara arsitek, insinyur struktur, insinyur mekanikal, serta kontraktor sering kali menjadi tantangan besar karena perbedaan standar, format data, dan sudut pandang desain. Dengan BIM, seluruh pemangku kepentingan bekerja dalam satu model terintegrasi yang memungkinkan deteksi konflik lintas disiplin secara lebih cepat. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa koordinasi berbasis model mengurangi waktu rapat teknis dan mempercepat pengambilan keputusan. Ma et al. (2018) menekankan bahwa BIM meningkatkan kualitas kolaborasi lintas disiplin hingga 25% melalui peningkatan transparansi dan keterbukaan informasi proyek. Perubahan struktur organisasi proyek juga menjadi dampak penting yang muncul akibat adopsi BIM. Dalam metode tradisional, alur komunikasi bersifat linear dan berlapis sehingga menyebabkan keterlambatan informasi serta potensi salah interpretasi. BIM mendorong pergeseran menuju struktur kolaboratif yang lebih horizontal, sehingga alur komunikasi menjadi lebih cepat dan responsif. Perusahaan yang menerapkan BIM secara menyeluruh dilaporkan mengalami peningkatan efisiensi koordinasi internal serta perbaikan pengendalian proyek. Penelitian oleh Turk et al. (2019) menyebutkan bahwa organisasi proyek yang mengadopsi BIM menunjukkan peningkatan kemampuan pengelolaan perubahan (change management) secara signifikan dibandingkan organisasi dengan metode konvensional.

Meskipun berbagai manfaat BIM telah dibuktikan secara empiris, implementasinya tetap memerlukan dukungan kebijakan yang kuat untuk memastikan standarisasi nasional. Negara-negara yang telah mewajibkan BIM pada proyek pemerintah terbukti mengalami peningkatan efisiensi proses konstruksi dan penurunan cost overrun dalam jangka panjang. Indonesia berada pada fase transisi menuju regulasi wajib BIM, namun proses ini membutuhkan strategi implementasi yang jelas serta peningkatan kapasitas industri. Penelitian terbaru oleh Shibeika & Harty (2020) menegaskan bahwa keberhasilan implementasi BIM sangat dipengaruhi kebijakan nasional, kesiapan teknologi industri, serta insentif yang diberikan pemerintah kepada perusahaan konstruksi. Kondisi ini memperkuat urgensi penelitian terkait efektivitas BIM terhadap efisiensi manajemen proyek konstruksi di Indonesia.

METODE PENELITIAN

Pendekatan penelitian yang digunakan adalah kualitatif dengan desain studi kasus karena penelitian ini berfokus pada pemahaman mendalam mengenai penerapan Building Information Modelling (BIM) dalam meningkatkan efisiensi manajemen proyek konstruksi di Indonesia. Pendekatan kualitatif dipilih untuk menggali fenomena secara holistik, termasuk pengalaman, tantangan, dan strategi yang diterapkan oleh berbagai aktor dalam proyek konstruksi. Metode ini memungkinkan peneliti memahami dinamika teknis dan non-teknis penerapan BIM yang tidak dapat dijelaskan secara komprehensif melalui metode kuantitatif. Selain itu, penerapan BIM sangat dipengaruhi oleh konteks organisasi dan perilaku individu, sehingga pendekatan kualitatif menjadi lebih relevan untuk mengevaluasi bagaimana teknologi ini benar-benar berkontribusi terhadap efisiensi proyek di lapangan. Unit analisis dalam penelitian ini terdiri dari beberapa perusahaan konstruksi skala menengah dan besar yang telah menerapkan BIM pada proyek infrastruktur, gedung bertingkat, atau fasilitas publik dalam lima tahun terakhir. Pemilihan perusahaan dilakukan melalui purposive sampling dengan mempertimbangkan kesiapan digital, kompleksitas proyek, dan peran BIM dalam alur kerja perusahaan. Pendekatan ini memungkinkan peneliti memilih konteks yang paling tepat untuk mengkaji fenomena secara mendalam. Selain unit organisasi, proyek yang dipilih juga harus memiliki dokumentasi BIM, laporan teknis, dan struktur manajemen proyek yang memungkinkan dilakukan analisis terhadap proses efisiensi yang terjadi.

Informan penelitian dipilih secara purposive dengan kriteria khusus mencakup BIM engineer, project manager, site manager, konsultan perencana, quantity surveyor, dan pihak manajemen perusahaan yang terlibat dalam keputusan implementasi BIM. Teknik purposive memungkinkan seleksi informan yang benar-benar menguasai persoalan dan mampu memberikan informasi mendalam tentang penerapan BIM. Jumlah informan tidak ditentukan secara pasti di awal, tetapi mengikuti prinsip saturation point, yaitu ketika data yang diperoleh sudah berulang dan tidak ada informasi baru yang muncul. Pendekatan ini penting agar data yang dihasilkan kaya dan representatif terhadap fenomena yang dikaji. Pengumpulan data dilakukan melalui tiga teknik utama: wawancara mendalam (in-depth interview), observasi langsung, dan analisis dokumen proyek. Wawancara mendalam digunakan untuk mengeksplorasi pengalaman informan mengenai implementasi BIM, mulai dari perencanaan, koordinasi, hingga evaluasi proyek. Pertanyaan yang diajukan bersifat semi-terstruktur untuk memberikan fleksibilitas bagi informan dalam menjelaskan situasi secara detail. Observasi dilakukan di ruang koordinasi BIM, workspace tim proyek, atau lokasi yang relevan untuk melihat bagaimana model BIM digunakan dalam pengambilan keputusan. Analisis dokumen dilakukan pada model BIM (jika memungkinkan), shop drawing, jadwal proyek, laporan RFI, dokumen koordinasi, dan standar operasional proyek yang terkait implementasi BIM.

Analisis data dilakukan menggunakan metode analisis tematik (thematic analysis) berdasarkan langkah-langkah coding terbuka, axial coding, dan selective coding. Proses analisis dimulai dengan membaca seluruh transkripsi wawancara secara berulang untuk memahami konteks data. Coding terbuka dilakukan untuk mengidentifikasi konsep atau makna penting dari pernyataan informan. Selanjutnya, axial coding digunakan untuk mengelompokkan kategori yang memiliki hubungan tematis, seperti hambatan teknis, manfaat efisiensi, koordinasi lintas disiplin, atau perubahan budaya organisasi. Pada tahap akhir, selective coding digunakan untuk mengembangkan tema-tema utama yang menggambarkan hubungan antara BIM dan peningkatan efisiensi manajemen proyek konstruksi. Triangulasi data diterapkan untuk menjaga validitas dan reliabilitas temuan penelitian. Triangulasi sumber dilakukan dengan membandingkan informasi antara informan dari berbagai posisi, seperti BIM engineer dengan project manager. Triangulasi metode dilakukan dengan menggabungkan wawancara, observasi, dan dokumentasi untuk memastikan konsistensi temuan. Validasi interpretasi dilakukan melalui member checking, di mana ringkasan wawancara atau hasil temuan dibagikan kembali kepada informan untuk memastikan bahwa interpretasi peneliti sesuai dengan kondisi sebenarnya. Pendekatan ini meningkatkan keabsahan data dan memperkuat kredibilitas penelitian kualitatif.

Selain itu, penelitian ini menggunakan pendekatan etnografi mini untuk memahami interaksi di lingkungan kerja BIM dan alur komunikasi antara tim proyek. Penggunaan pendekatan ini memungkinkan peneliti menangkap dinamika penggunaan BIM secara nyata, seperti bagaimana tim melakukan koordinasi model, revisi desain, atau deteksi benturan. Pendekatan ini juga membantu mengidentifikasi bagaimana teknologi memengaruhi perilaku kerja, kolaborasi, dan pengambilan keputusan dalam proyek. Informasi tersebut penting untuk memahami faktor-faktor yang berkontribusi terhadap peningkatan efisiensi proyek. Untuk memastikan instrumen penelitian terstruktur, pedoman wawancara disusun berdasarkan empat fokus utama penelitian: implementasi BIM, hambatan penerapan, strategi optimalisasi, dan dampak terhadap efisiensi manajemen proyek. Pedoman ini membantu peneliti menjaga konsistensi wawancara dan memudahkan proses analisis data. Instrumen observasi juga disusun untuk mencatat aktivitas koordinasi BIM, penggunaan model dalam rapat teknis, dan penggunaan fitur BIM seperti 4D scheduling atau clash detection. Analisis dokumen dilakukan untuk memverifikasi apakah ada korelasi antara praktik implementasi BIM dan hasil-hasil efisiensi proyek. Tabel instrumen berikut menggambarkan struktur data, teknik pengumpulan, dan tujuan analisis yang digunakan dalam penelitian ini.

Tabel 1. Instrumen dan Teknik Pengumpulan Data Penelitian Kualitatif

Fokus Penelitian	Sumber Data	Teknik Pengmpulan	Contoh Pertanyaan/Wawancara	Tujuan Analisis
Implementasi	BIM Engineer,	Wawancara	Bagaimana BIM	Mengidentifikasi

BIM	Project Manager		digunakan dalam perencanaan dan koordinasi?	proses implementasi BIM
Hambatan BIM	Manajer Proyek, Konsultan	Wawancara & Dokumentasi	Kendala apa yang muncul selama penggunaan BIM?	Menemukan faktor penghambat penerapan BIM
Strategi Optimalisasi	Manajemen Perusahaan	Wawancara	Bagaimana organisasi mengoptimalkan BIM?	Menilai kesiapan dan strategi perusahaan
Dampak Efisiensi	Semua Informan	Observasi & Analisis Dokumen	Apa perubahan efisiensi yang terlihat?	Mengukur kontribusi BIM terhadap efisiensi proyek

Dalam penelitian ini, analisis dilakukan secara iteratif, di mana proses pengumpulan dan analisis data berjalan secara simultan. Setiap wawancara yang selesai ditranskripsi langsung dianalisis untuk menemukan pola atau informasi penting yang dapat diarahkan pada wawancara berikutnya. Pendekatan iteratif seperti ini membantu peneliti mengumpulkan data secara lebih fokus dan mendalam. Selain itu, peneliti melakukan reflexive journaling untuk mencatat refleksi pribadi selama proses penelitian guna menjaga objektivitas dan menghindari bias interpretatif. Untuk menjaga etika penelitian, setiap informan diberikan penjelasan mengenai tujuan penelitian, hak kerahasiaan data, serta kebebasan untuk menghentikan wawancara kapan pun. Informan diminta memberikan persetujuan (informed consent) sebelum wawancara dimulai. Identitas perusahaan dan informan disamarkan untuk menjaga kerahasiaan. Data hanya digunakan untuk tujuan akademik dan disimpan secara aman. Etika penelitian ini mengikuti standar internasional penelitian kualitatif.

HASIL PENELITIAN

Interpretasi terhadap temuan pada tabel pertama menunjukkan bahwa penerapan BIM memiliki pengaruh nyata terhadap peningkatan akurasi desain dalam proyek konstruksi. Informan dari berbagai posisi menegaskan bahwa fitur clash detection yang menjadi inti dari BIM sangat membantu dalam mengidentifikasi benturan desain sejak tahap awal. Hal ini berbeda dari metode konvensional di mana benturan antar elemen arsitektur, struktur, dan MEP baru ditemukan ketika pekerjaan fisik sudah berjalan, menghasilkan biaya tambahan dan penundaan project schedule. Dengan demikian, penerapan BIM tidak hanya meningkatkan kualitas desain tetapi juga berkontribusi pada pengurangan pemborosan waktu dan biaya. Efisiensi koordinasi tim menjadi temuan paling dominan dalam penelitian ini. Penggunaan model tunggal yang terintegrasi memungkinkan seluruh disiplin teknis memiliki acuan informasi yang sama secara real time. Informan menyatakan bahwa rapat koordinasi menjadi jauh lebih efektif karena semua pihak dapat melihat perubahan yang terjadi dalam model secara langsung. Pengurangan ketergantungan pada gambar 2D serta minimnya kesalahan pemahaman antar tim menjadikan BIM sebagai alat komunikasi teknis yang melampaui pendekatan manual. Temuan ini memperkuat asumsi bahwa BIM membangun transparansi dan akuntabilitas dalam pengelolaan proyek.

Temuan pada aspek perencanaan waktu menunjukkan bahwa penggunaan 4D BIM memberikan dampak signifikan terhadap pengendalian jadwal. Simulasi visual progres waktu membantu manajer proyek memperkirakan konsekuensi dari setiap perubahan desain atau pergeseran aktivitas konstruksi. Informan menjelaskan bahwa simulasi 4D membuat jadwal lebih mudah dievaluasi, lebih realistis, dan lebih mudah dipahami oleh seluruh pihak yang terlibat. Kondisi ini sangat

menguntungkan proyek berskala besar dengan struktur aktivitas yang kompleks dan membutuhkan koordinasi intensif. Efisiensi biaya merupakan aspek lain yang memiliki korelasi langsung dengan penerapan BIM. Melalui 5D modelling, perubahan desain langsung terhubung dengan estimasi biaya dan volume pekerjaan. Informan menyatakan bahwa kemampuan ini sangat membantu quantity surveyor dalam menyusun BOQ (Bill of Quantity) yang lebih akurat. BIM juga mencegah terjadinya ketidaksesuaian antara desain dan anggaran, yang sering kali menjadi penyebab utama cost overrun. Dengan demikian, BIM mampu meminimalkan risiko finansial sejak awal perencanaan.

Tabel 1. Tema Utama Hasil Penelitian Penerapan BIM terhadap Efisiensi Proyek

Temuan Utama	Deskripsi Temuan	Contoh Informan	Implikasi Terhadap Proyek
Peningkatan Akurasi Desain	BIM memungkinkan identifikasi benturan desain (clash detection) lebih awal sehingga mengurangi revisi	“Dulu clash baru terlihat di lapangan, sekarang muncul sebelum konstruksi dimulai.” (BIM Engineer)	Mengurangi rework dan percepatan waktu konstruksi
Efisiensi Koordinasi Tim	Model terintegrasi memfasilitasi kolaborasi lintas disiplin	“Meeting koordinasi lebih cepat karena semua lihat model yang sama.” (Project Manager)	Pengambilan keputusan lebih cepat
Optimasi Perencanaan Waktu	Penggunaan 4D BIM mempermudah simulasi jadwal	“Simulasi jadwal dengan BIM jauh lebih jelas daripada Gantt Chart biasa.” (Scheduler)	Jadwal lebih realistis dan terkontrol
Efisiensi Biaya	5D BIM membantu prediksi biaya lebih akurat	“Perubahan desain langsung terlihat pada estimasi biaya.” (QS)	Mengurangi cost overrun

Implikasi yang terlihat dari keempat tema utama tersebut menunjukkan bahwa BIM bukan hanya alat desain, melainkan alat manajemen proyek yang mampu meningkatkan efisiensi pada berbagai tahapan siklus konstruksi. Informan menyebutkan bahwa dengan integrasi model yang baik, proses pengambilan keputusan menjadi lebih cepat dan minim miskomunikasi. Selain itu, peningkatan efisiensi yang dicapai tidak terbatas pada aspek teknis, tetapi juga mencakup aspek organisasi seperti budaya kerja kolaboratif dan percepatan proses administrasi. Secara keseluruhan, tabel pertama menunjukkan bahwa manfaat BIM dalam meningkatkan efisiensi manajemen proyek bersifat multidimensional. Peningkatan akurasi, peningkatan koordinasi tim, optimasi jadwal, dan efisiensi biaya merupakan bukti nyata bahwa BIM telah menjadi instrumen strategis dalam transformasi digital sektor konstruksi. Temuan ini menegaskan relevansi penelitian untuk memberikan gambaran empiris mengenai kontribusi BIM terhadap efisiensi proyek konstruksi di Indonesia.

Interpretasi dari tabel hambatan implementasi BIM menunjukkan bahwa kompetensi sumber daya manusia menjadi tantangan terbesar dalam implementasi teknologi ini. Banyak informan menjelaskan bahwa sebagian besar tenaga kerja belum terampil mengoperasikan BIM secara fungsional dan sering hanya mampu menggunakannya sebagai alat visualisasi sederhana.

Ketidakmampuan memaksimalkan fitur BIM menyebabkan manfaat teknologi ini tidak tercapai secara optimal. Kondisi ini mencerminkan perlunya strategi peningkatan kompetensi yang lebih terstruktur dan berkelanjutan. Hambatan infrastruktur teknologi juga menjadi isu yang signifikan. Proyek-proyek tertentu melaporkan bahwa komputer yang digunakan tidak sesuai spesifikasi minimum BIM, sehingga proses pemodelan berjalan lambat dan menghambat produktivitas. Ketika rendering model membutuhkan waktu lama, proses koordinasi teknis menjadi tidak efisien dan menghambat proses revisi desain. Temuan ini menegaskan bahwa implementasi BIM memerlukan investasi teknologi yang memadai agar efisiensinya dapat tercapai.

Resistensi organisasi merupakan hambatan yang bersifat psikologis dan struktural. Informan menjelaskan bahwa sebagian tenaga kerja senior lebih nyaman dengan metode konvensional dan enggan beralih ke sistem digital karena membutuhkan waktu belajar yang lebih panjang. Situasi ini menciptakan ketidakseimbangan penggunaan BIM dalam tim, di mana sebagian anggota bekerja dengan metode digital dan sebagian lainnya masih menggunakan cara tradisional. Akibatnya, konsistensi data menjadi terganggu dan alur koordinasi terhambat. Minimnya standarisasi nasional menjadi temuan yang juga sangat penting. Informan dari perusahaan yang berbeda melaporkan bahwa setiap perusahaan memiliki format, workflow, dan standar BIM sendiri, sehingga sulit bagi tim lintas perusahaan untuk bekerja dalam satu model yang memiliki standar kualitas yang sama. Ketidakhadiran standar nasional ini menyebabkan inkonsistensi output dan meningkatkan beban waktu dalam penyesuaian model BIM antar pihak yang bekerja sama dalam proyek.

Tabel 2. Hambatan Implementasi BIM di Proyek Konstruksi

Kategori Hambatan	Temuan Lapangan	Dampak terhadap Efisiensi	Saran Informan
Kompetensi SDM	Banyak staf belum terlatih mengoperasikan BIM secara penuh	BIM hanya digunakan sebagai visualisasi, bukan manajemen proyek	Pelatihan internal rutin dan pendampingan BIM
Infrastruktur Teknologi	Perangkat komputer dan software sering tidak memenuhi spesifikasi	Proses rendering lambat dan menghambat koordinasi	Investasi perangkat kerja standar BIM
Resistensi Organisasi	Tenaga senior enggan beralih dari metode konvensional	Proses menghambat konsistensi data	Manajemen perubahan dan sosialisasi intensif
Minimnya Standardisasi	Tidak ada standar nasional BIM yang menyeluruh	Output BIM berbeda tiap proyek/perusahaan	Penyusunan Standar Nasional BIM Indonesia

Hambatan-hambatan tersebut menandakan bahwa penerapan BIM tidak hanya membutuhkan kesiapan teknis, tetapi juga membutuhkan kesiapan institusional untuk melakukan transformasi digital. Perusahaan perlu mengadopsi kebijakan internal yang mendukung penggunaan BIM secara menyeluruh, mulai dari penyediaan pelatihan, peningkatan perangkat teknologi, hingga penerapan SOP BIM secara konsisten. Tanpa kesiapan ini, manfaat BIM tidak akan dapat dicapai secara optimal. Secara keseluruhan, tabel hambatan ini memberikan gambaran bahwa integrasi BIM ke dalam proses konstruksi masih memerlukan upaya besar dari seluruh pemangku kepentingan. Tantangan kompetensi, infrastruktur, resistensi, dan standarisasi harus diatasi secara sistematis agar implementasi BIM dapat berjalan efektif dan efisiensi proyek dapat meningkat secara signifikan.

Tabel 3. Matriks Manfaat BIM terhadap Efisiensi Manajemen Proyek

Aspek Efisiensi	Kondisi Sebelum BIM	Kondisi Setelah BIM	Peningkatan yang Teridentifikasi
Waktu	Banyak revisi desain di tengah proyek	Deteksi benturan lebih awal	Pengurangan waktu revisi hingga >30%
Biaya	Cost overrun sering terjadi	5D BIM menghitung biaya secara otomatis	Estimasi lebih akurat, penghematan 10–15%
Koordinasi	Rapat teknis lebih lama dan tidak efektif	Model terpusat mudah diakses semua tim	Waktu koordinasi berkurang signifikan
Kualitas Dokumen	Dokumen sering tidak sinkron antar disiplin	Pembaruan otomatis di seluruh model	Akurasi dokumen meningkat lebih dari 25%

Interpretasi terhadap tabel manfaat BIM menunjukkan bahwa aspek waktu merupakan salah satu komponen yang paling banyak terdampak oleh penerapan teknologi ini. Dengan adanya deteksi benturan secara otomatis, proses revisi desain menjadi jauh lebih cepat dibandingkan metode manual. Informan menyatakan bahwa pengurangan waktu revisi dapat mencapai lebih dari 30% pada proyek tertentu, terutama proyek yang melibatkan banyak instalasi MEP. Hal ini menunjukkan bahwa pencapaian efisiensi waktu bukan sekadar klaim, tetapi terbukti dalam operasional lapangan. Pada aspek biaya, efek positif BIM terlihat dari kemampuan sistem 5D untuk memperbarui estimasi biaya secara otomatis ketika terjadi perubahan desain. Kemampuan ini membantu quantity surveyor menilai implikasi finansial dari setiap revisi secara cepat dan akurat. Informan mengungkapkan bahwa pengurangan pemborosan biaya mencapai 10–15%, terutama karena menurunnya kebutuhan revisi dan pengecekan berulang. Hal ini memperlihatkan bahwa BIM tidak hanya menghemat waktu, tetapi juga membantu perusahaan menghemat anggaran proyek.

Aspek koordinasi menjadi salah satu faktor yang paling diperkuat oleh BIM. Sebelum BIM diterapkan, banyak informan menyatakan bahwa rapat koordinasi teknis bisa berlangsung lama karena setiap disiplin membawa versi dokumen berbeda. Setelah BIM digunakan, model terpusat memungkinkan semua pihak mengakses data yang sama, sehingga perbedaan persepsi dapat diminimalkan. Peningkatan efisiensi koordinasi ini terbukti mempercepat pengambilan keputusan teknis dan mengurangi potensi konflik. Kualitas dokumen perencanaan juga mengalami peningkatan signifikan. Dengan fitur update otomatis, perubahan pada satu bagian model secara langsung diperbarui pada elemen terkait lainnya. Hal ini meminimalkan risiko ketidaksinkronan dokumen yang sering menjadi akar permasalahan di lapangan. Informan menyatakan bahwa BIM meningkatkan akurasi dokumen lebih dari 25%, sehingga proses konstruksi menjadi lebih terkontrol dan tidak banyak terjadi pekerjaan ulang.

Manfaat-manfaat tersebut menunjukkan bahwa BIM beroperasi sebagai penghubung antara desain, biaya, waktu, dan kualitas proyek. Efisiensi yang dihasilkan bersifat sistemik dan saling memengaruhi. Ketika koordinasi membaik, revisi berkurang. Ketika revisi berkurang, biaya dan waktu menjadi lebih efisien. Ketika dokumen akurat, risiko kesalahan lapangan menurun. Pola temuan ini memperlihatkan bagaimana BIM mampu meningkatkan produktivitas secara keseluruhan. Secara umum, tabel manfaat tersebut memberikan bukti kuat bahwa BIM bukan hanya alat visualisasi, tetapi merupakan mekanisme kontrol proyek yang menghasilkan efisiensi terukur.

pada berbagai aspek. Manfaat ini menjadi dasar penting bagi perusahaan konstruksi untuk mengadopsi BIM sebagai bagian dari strategi transformasi digital mereka.

Tabel 4. Ringkasan Kesesuaian Implementasi BIM terhadap Lifecycle Proyek

Tahap Proyek	Peran BIM	Temuan Penelitian	Tingkat Efektivitas
Perencanaan	Penyusunan model awal & analisis desain	BIM digunakan untuk visualisasi 3D & analisis risiko	Tinggi
Desain	Koordinasi lintas disiplin	Clash detection mengurangi revisi	Sangat tinggi
Konstruksi	Monitoring progres (4D)	Belum digunakan optimal di beberapa proyek	Sedang
Anggaran	Perhitungan 5D cost	Perubahan biaya otomatis terupdate	Tinggi
Handover & Operasi	As-built model	Belum diadopsi semua perusahaan	Rendah–sedang

Interpretasi terhadap tabel keempat menunjukkan bahwa peran BIM sangat kuat pada tahap perencanaan dan desain. Pada tahap perencanaan, BIM membantu menyusun model awal yang dapat dianalisis dari sisi teknis maupun risiko. Informan menyebutkan bahwa BIM mempermudah identifikasi masalah potensial, sehingga perencanaan menjadi lebih matang sebelum pekerjaan fisik dimulai. Tingkat efektivitas yang tinggi pada tahap ini menunjukkan bahwa BIM merupakan alat perencanaan yang sangat strategis. Pada tahap desain, peran BIM menjadi lebih signifikan karena koordinasi lintas disiplin dilakukan dalam satu model yang sama. Clash detection memastikan bahwa desain struktur, arsitektur, dan sistem MEP selaras. Informan menyatakan bahwa BIM mampu mengurangi revisi desain secara drastis dibandingkan metode tradisional. Efektivitas yang sangat tinggi pada tahap ini memperlihatkan bahwa desain merupakan fase yang paling diuntungkan dari implementasi BIM.

Tahap konstruksi menunjukkan efektivitas yang sedang karena sebagian besar perusahaan belum menggunakan BIM secara penuh di lapangan. Informan menjelaskan bahwa BIM lebih banyak digunakan pada perencanaan dan desain, sedangkan implementasinya pada tahap konstruksi masih terbatas pada monitoring visual atau koordinasi tertentu. Padahal, fitur seperti 4D scheduling dan model clash aktual dapat sangat membantu pengendalian pekerjaan lapangan. Keterbatasan ini menunjukkan bahwa adopsi BIM belum komprehensif di seluruh lifecycle proyek. Pada aspek anggaran, peran BIM cukup kuat dan efektif. Fitur otomatisasi dalam menghitung volume pekerjaan dan biaya konstruksi memberikan transparansi dan konsistensi yang tinggi. Informan menyatakan bahwa penggunaan 5D BIM memudahkan penyusunan estimasi biaya dan pengendalian anggaran karena setiap perubahan desain langsung berdampak pada cost model. Tingkat efektivitas yang tinggi menunjukkan bahwa BIM membantu menjaga disiplin anggaran sejak tahap awal hingga pelaksanaan.

Tahap handover dan operasi masih memiliki efektivitas rendah hingga sedang. Banyak perusahaan menyatakan bahwa mereka belum menggunakan BIM untuk membuat as-built model atau fasilitas manajemen digital. Padahal, BIM sangat bermanfaat pada fase operasi untuk pengelolaan aset bangunan dalam jangka panjang. Hal ini menunjukkan bahwa implementasi BIM saat ini lebih berfokus pada fase konstruksi, sementara potensi manfaat jangka panjangnya belum dimanfaatkan secara optimal. Secara keseluruhan, tabel keempat memperlihatkan bahwa kemampuan BIM sebenarnya dapat mendukung seluruh siklus proyek, tetapi implementasinya masih terfragmentasi. Efektivitas tinggi pada tahap perencanaan dan desain menegaskan bahwa BIM sudah memberikan manfaat nyata, namun peningkatan penggunaan pada tahap konstruksi dan operasi sangat diperlukan agar efisiensi dapat tercapai secara menyeluruh dan berkelanjutan.

PEMBAHASAN

1. BIM sebagai Instrumen Efisiensi Teknis Proyek

Penerapan BIM terbukti berperan sebagai instrumen yang mampu meningkatkan efisiensi teknis proyek konstruksi melalui optimalisasi akurasi desain. Efisiensi ini terutama terlihat dari kemampuan BIM dalam melakukan deteksi benturan (clash detection) yang meminimalkan risiko kesalahan desain sebelum memasuki tahap konstruksi. Informan menjelaskan bahwa pada proyek konvensional, ketidaksinkronan antara elemen struktur, arsitektur, dan MEP sering ditemukan saat pekerjaan fisik sudah berjalan, sehingga menimbulkan rework dan pemborosan biaya. Dengan fitur otomatisasi analisis desain, BIM memastikan bahwa seluruh komponen model telah terkoordinasi dengan baik sebelum dieksekusi. Studi oleh Hosseini et al. (2020) menunjukkan bahwa BIM mengurangi volume pekerjaan ulang signifikan dan meningkatkan efisiensi teknis secara menyeluruh. Selain akurasi desain, BIM juga meningkatkan efektivitas proses dokumentasi teknis melalui pembaruan informasi yang berlangsung secara real time. Pada metode tradisional, perubahan desain sering tidak tersampaikan dengan benar kepada seluruh tim, sehingga menyebabkan banyak versi dokumen yang berbeda. Hal ini memicu potensi miskomunikasi dan ketidaksesuaian gambar di lapangan. Dengan BIM, setiap perubahan yang dilakukan pada satu elemen model akan memperbarui elemen terkait lainnya secara otomatis. Informan menyebutkan bahwa perubahan kecil yang dulu membutuhkan banyak revisi gambar kini dapat dilakukan secara cepat dan konsisten. Temuan ini sejalan dengan studi oleh Jeong et al. (2019) yang menemukan bahwa BIM meningkatkan integritas dokumentasi hingga lebih dari 40%.

Optimalisasi efisiensi teknis proyek juga terlihat dari peningkatan akurasi perhitungan volume material serta estimasi pekerjaan. Dengan pemodelan digital yang detail, estimator dapat menarik data kuantitas secara otomatis dari model 3D. Informan dari bagian quantity surveyor menjelaskan bahwa ketepatan volume material meningkat karena perhitungan tidak lagi bergantung pada interpretasi manual gambar 2D. Hal ini mengurangi risiko kelebihan pemesanan material ataupun kekurangan material yang dapat menghambat pekerjaan konstruksi. Penelitian oleh Lin et al. (2021) menegaskan bahwa penggunaan BIM dalam estimasi kuantitas meningkatkan akurasi BOQ dan mempercepat proses penyusunan anggaran. Peningkatan efisiensi teknis juga terkait dengan kemampuan BIM melakukan simulasi metode pelaksanaan konstruksi. Fitur 4D BIM memungkinkan manajer proyek memvisualisasikan urutan pekerjaan secara kronologis, sehingga dapat mengidentifikasi potensi hambatan sebelum pekerjaan dimulai. Informan menyampaikan bahwa simulasi ini membantu menentukan strategi pelaksanaan yang lebih efektif, terutama pada proyek kompleks yang memiliki keterbatasan ruang kerja dan potensi konflik aktivitas. Simulasi tersebut tidak hanya meningkatkan efektivitas teknis tetapi juga meminimalkan risiko keselamatan. Pendekatan simulatif ini telah dibuktikan efektif dalam studi oleh Jiang et al. (2022) yang menyatakan bahwa 4D BIM mampu meningkatkan reliabilitas perencanaan teknis proyek.

Kemampuan BIM dalam mempercepat proses koordinasi teknis merupakan aspek lain yang berkontribusi pada efisiensi proyek. Informan menjelaskan bahwa koordinasi lintas disiplin dapat

dilakukan dengan lebih sistematis karena setiap pihak dapat melihat pergerakan model secara langsung. Rapat teknis menjadi lebih terarah karena seluruh isu desain dan teknis dapat diidentifikasi secara visual dan bukan hanya berdasarkan asumsi. Hal ini mempercepat proses klarifikasi desain dan mengurangi frekuensi revisi yang tidak perlu. Penelitian oleh Abou-Ibrahim dan Hamzeh (2016) menunjukkan bahwa BIM mampu mempercepat proses koordinasi hingga 20–35%, bergantung pada kompleksitas proyek. Secara keseluruhan, temuan pada poin pembahasan pertama menunjukkan bahwa BIM telah menciptakan peningkatan efisiensi teknis yang signifikan pada berbagai aspek proyek konstruksi. Akurasi desain, integrasi dokumentasi, efisiensi perhitungan material, kemampuan simulasi konstruksi, dan percepatan koordinasi teknis menjadi bukti bahwa BIM tidak hanya berperan sebagai alat bantu visual, tetapi sebagai sistem manajemen teknis yang komprehensif. Penerapan yang optimal memungkinkan perusahaan mengurangi kesalahan, mempercepat proses perencanaan, dan meningkatkan keandalan sistem teknis proyek, sehingga hasil konstruksi menjadi lebih terkontrol, terukur, dan efisien.

2. Dampak BIM terhadap Koordinasi, Kolaborasi, dan Pengambilan Keputusan

Penerapan BIM memberikan perubahan signifikan terhadap pola koordinasi dan kolaborasi tim dalam proyek konstruksi. Informan menjelaskan bahwa sebelum menggunakan BIM, koordinasi lintas disiplin sering mengalami kendala akibat perbedaan pemahaman dokumen dan ketidaksinkronan perubahan desain. BIM kemudian menjadi alat utama yang menyatukan seluruh disiplin teknis dalam satu platform visual, sehingga mengeliminasi interpretasi yang berbeda. Model digital yang dapat diakses secara simultan oleh arsitek, struktural, MEP, dan kontraktor membuat proses diskusi teknis berlangsung lebih efektif. Penelitian oleh Gerges et al. (2017) mendukung temuan ini dengan menunjukkan bahwa BIM meningkatkan konsistensi data dan mengurangi miskomunikasi dalam rapat koordinasi. Dampak BIM pada komunikasi proyek juga terlihat dari perubahan cara tim menyampaikan informasi teknis. Informan menyatakan bahwa sebelum BIM diterapkan, gambar 2D sering memicu kesalahpahaman karena keterbatasan visualisasi. Dengan BIM, setiap isu teknis dapat ditunjukkan secara langsung melalui tampilan 3D dan simulasi model, sehingga permasalahan dapat diidentifikasi dengan cepat. Visualisasi ini tidak hanya mempermudah pemahaman bagi tenaga teknis, tetapi juga bagi pemilik proyek yang tidak memiliki latar teknis yang kuat. Studi oleh Oraee et al. (2019) menyatakan bahwa visualisasi BIM meningkatkan kualitas komunikasi lintas disiplin karena informasi lebih mudah dipahami oleh seluruh pihak terkait.

Percepatan proses pengambilan keputusan merupakan dampak lanjutan dari meningkatnya kualitas koordinasi. Informan menjelaskan bahwa keputusan teknis yang sebelumnya membutuhkan beberapa kali revisi gambar kini dapat diputuskan lebih cepat karena seluruh data tersedia secara terpusat. Perubahan desain dapat ditampilkan secara real time, sehingga tim dapat segera melakukan perbandingan alternatif solusi. Pola ini meningkatkan ketepatan keputusan dan mengurangi risiko kesalahan yang berdampak pada waktu konstruksi. Temuan ini diperkuat oleh studi Mahalingam et al. (2020) yang menunjukkan bahwa proyek dengan koordinasi berbasis BIM memiliki kecepatan pengambilan keputusan yang lebih tinggi dibandingkan proyek konvensional. Efisiensi kolaborasi juga terjadi karena BIM menyediakan lingkungan kerja digital yang mendukung integrasi berbagai disiplin. Informan menyebutkan bahwa keberadaan fitur-fitur seperti issue tracking, model coordination, dan federated model memungkinkan setiap pihak mengetahui tanggung jawabnya dalam menyelesaikan permasalahan teknis. Dengan demikian, BIM membentuk pola kerja kolaboratif yang lebih terstruktur dibandingkan metode manual yang bersifat fragmentaris. Penelitian Zaker & Coloma (2018) menemukan bahwa BIM meningkatkan performa kolaboratif tim proyek melalui mekanisme koordinasi yang lebih sistematis dan terkontrol.

BIM juga memperkuat hubungan antar pemangku kepentingan dalam proyek karena seluruh pihak bekerja di dalam lingkungan data yang sama. Informan menjelaskan bahwa ketika setiap perubahan tercatat secara digital, tingkat transparansi meningkat dan potensi konflik berkurang. Proses audit internal menjadi lebih mudah karena setiap revisi desain terekam dalam sistem, sehingga dapat ditelusuri kembali apabila terjadi kesalahan. Kondisi ini menciptakan budaya kerja yang lebih akuntabel dan mendukung terwujudnya manajemen proyek berbasis data. Penelitian oleh Leite et al.

(2020) menyatakan bahwa penggunaan BIM meningkatkan trust dan akuntabilitas di antara tim proyek karena alur komunikasi menjadi lebih jelas dan terverifikasi. Temuan pada poin pembahasan kedua menunjukkan bahwa BIM memberikan transformasi mendasar terhadap koordinasi, kolaborasi, dan komunikasi dalam proyek konstruksi. Dengan tersedianya model terintegrasi, proses penyampaian informasi menjadi lebih cepat, jelas, dan konsisten. Hal ini mempercepat proses rapat teknis, meminimalkan risiko miskomunikasi, dan meningkatkan efektivitas pengambilan keputusan. Peningkatan kolaborasi lintas disiplin ini menjadi bukti bahwa BIM bukan hanya alat desain, tetapi juga infrastruktur komunikasi yang mampu merevolusi cara kerja tim proyek secara keseluruhan.

3. Hambatan Implementasi BIM dan Implikasinya terhadap Manajemen Proyek

Hambatan implementasi BIM dalam proyek konstruksi di Indonesia tidak hanya bersifat teknis, tetapi juga bersifat struktural dan organisasional. Informan menjelaskan bahwa keterbatasan kompetensi SDM menjadi kendala paling dominan dalam upaya memaksimalkan teknologi BIM. Banyak tenaga kerja konstruksi yang belum memiliki pemahaman mendalam mengenai penggunaan BIM secara komprehensif, sehingga implementasi BIM sering hanya digunakan pada fungsi dasar seperti visualisasi 3D. Gap kompetensi ini dipengaruhi oleh minimnya kurikulum BIM di institusi pendidikan dan kurangnya pelatihan profesional. Studi oleh Ghaffarianhoseini et al. (2017) menunjukkan bahwa rendahnya tingkat literasi digital pekerja konstruksi menjadi hambatan utama perkembangan BIM di negara berkembang. Keterbatasan infrastruktur teknologi juga menjadi faktor yang sangat memengaruhi efektivitas BIM. Informan menyebutkan bahwa perangkat keras yang tidak memadai, seperti komputer dengan spesifikasi rendah, sering menyebabkan proses rendering lambat dan membuat koordinasi model tidak efisien. Selain itu, lisensi software BIM yang cukup tinggi menjadi hambatan bagi perusahaan kecil dan menengah untuk mengadopsi teknologi ini secara penuh. Kondisi ini menimbulkan kesenjangan digital antara perusahaan besar dan kecil, yang berdampak pada ketidakmerataan transformasi digital sektor konstruksi. Temuan ini sejalan dengan penelitian oleh Volk et al. (2018) yang menyatakan bahwa investasi awal yang tinggi merupakan hambatan utama adopsi BIM.

Resistensi terhadap perubahan menjadi hambatan lain yang tidak dapat diabaikan. Informan menyampaikan bahwa sebagian tenaga kerja senior lebih nyaman menggunakan metode tradisional yang telah mereka kuasai selama bertahun-tahun. Perubahan menuju sistem digital sering dianggap sebagai ancaman bagi stabilitas pekerjaan dan tingkat kenyamanan kerja. Jika tidak ditangani dengan pendekatan manajemen perubahan (change management) yang tepat, resistensi ini dapat memperlambat penerapan BIM pada level organisasi. Penelitian oleh Succar & Kassem (2015) menjelaskan bahwa resistensi pengguna merupakan faktor kunci dalam kegagalan implementasi BIM di berbagai proyek. Minimnya standarisasi BIM di tingkat nasional juga menimbulkan tantangan signifikan. Informan melaporkan bahwa setiap perusahaan menggunakan standar BIM yang berbeda, baik dari sisi Level of Detail (LOD), format koordinasi, maupun prosedur revisi model. Ketidakharmonisan standar ini membuat kolaborasi antar perusahaan, terutama pada proyek besar seperti infrastruktur publik, menjadi tidak efisien. Tanpa standar yang seragam, integrasi model lintas perusahaan dapat menghasilkan ketidaksesuaian informasi dan kesalahan teknis. Temuan ini konsisten dengan penelitian oleh Khosrowshahi & Arayici (2019), yang menekankan urgensi kebijakan BIM nasional untuk mempercepat implementasi yang efektif.

Hambatan-hambatan tersebut menunjukkan bahwa penerapan BIM membutuhkan pendekatan yang lebih luas daripada sekadar menyediakan perangkat dan software. Transformasi digital pada industri konstruksi memerlukan kesiapan organisasi yang menyeluruh, termasuk penyesuaian budaya kerja, penguatan sistem manajemen pengetahuan, dan dukungan kebijakan internal. Informan menekankan bahwa perusahaan yang berhasil mengimplementasikan BIM biasanya memiliki strategi yang jelas mengenai pelatihan tenaga kerja, investasi teknologi, serta workflow digital yang terstandarisasi. Hal ini menunjukkan bahwa BIM menuntut kesiapan institusional yang kuat untuk dapat berfungsi secara optimal. Secara keseluruhan, pembahasan ini memperlihatkan bahwa hambatan implementasi BIM memiliki implikasi langsung terhadap efisiensi manajemen proyek. Keterbatasan kompetensi menyebabkan fungsi BIM tidak dimaksimalkan, infrastruktur yang lemah menghambat proses teknis, resistensi organisasi menurunkan produktivitas, dan minimnya

standardisasi menciptakan inkonsistensi informasi. Jika hambatan ini tidak ditangani secara sistematis, manfaat BIM dalam meningkatkan efisiensi proyek tidak akan dapat dirasakan secara penuh. Temuan ini menegaskan perlunya strategi nasional dan korporasi yang lebih serius dalam mempercepat digitalisasi konstruksi.

4. Urgensi Transformasi Digital dan Strategi Optimalisasi BIM untuk Proyek Konstruksi Indonesia

Transformasi digital dalam industri konstruksi semakin mendesak untuk dilakukan, mengingat meningkatnya kompleksitas proyek dan tuntutan efisiensi yang lebih tinggi. Informan menekankan bahwa penerapan BIM bukan lagi sebuah pilihan, tetapi kebutuhan strategis agar perusahaan dapat bersaing dalam lingkungan industri yang semakin terdigitalisasi. Dalam konteks Indonesia, transformasi digital menjadi semakin relevan karena pemerintah mendorong percepatan pembangunan infrastruktur nasional. Namun, transformasi tersebut tidak dapat berjalan optimal jika tidak didukung oleh strategi yang komprehensif di tingkat perusahaan dan kebijakan publik. Penelitian oleh Oesterreich dan Teuteberg (2016) menyatakan bahwa digitalisasi industri konstruksi harus dimulai dari kesiapan organisasi yang mencakup teknologi, sumber daya manusia, dan budaya kerja. Optimalisasi penggunaan BIM membutuhkan investasi berkelanjutan, tidak hanya pada perangkat keras dan perangkat lunak, tetapi juga pada peningkatan kompetensi tenaga kerja. Informan yang berasal dari perusahaan besar menyebutkan bahwa pelatihan internal, sertifikasi profesional BIM, dan workshop berkala menjadi bagian penting dari strategi perusahaan untuk meningkatkan efektivitas implementasi BIM. Perusahaan yang aktif memberikan pelatihan kepada karyawan terbukti dapat mengurangi kesalahan operasional, mempercepat proses pemodelan, dan meningkatkan konsistensi data antar disiplin. Temuan ini selaras dengan hasil penelitian Hosseini et al. (2018), yang menegaskan pentingnya pelatihan berkelanjutan sebagai faktor kunci keberhasilan adopsi BIM.

Selain pelatihan, standardisasi internal menjadi strategi penting untuk memastikan implementasi BIM berjalan konsisten. Informan menyebutkan bahwa perusahaan yang memiliki standar BIM yang jelas, seperti Level of Detail (LOD), struktur penamaan file, dan alur koordinasi (workflow), cenderung mengalami lebih sedikit konflik dan kebingungan dalam penggunaan model. Standardisasi tersebut juga penting untuk memastikan kompatibilitas model antar tim dan mempermudah proses audit teknis. Tanpa standar yang kuat, penggunaan BIM dapat menghasilkan output yang tidak konsisten, bahkan menimbulkan konflik baru dalam proyek. Studi oleh Bradley et al. (2016) mendukung temuan ini dengan menekankan bahwa standardisasi merupakan fondasi penting dalam implementasi BIM yang matang. Dukungan kebijakan nasional juga diperlukan agar transformasi digital sektor konstruksi dapat berjalan secara sistematis. Informan dari perusahaan konsultan menyatakan bahwa negara-negara maju seperti Inggris dan Singapura berhasil mempercepat implementasi BIM karena pemerintah membuat regulasi wajib BIM untuk proyek publik. Di Indonesia, belum adanya kewajiban nasional membuat adopsi BIM berjalan sporadis dan tergantung pada kesadaran perusahaan masing-masing. Jika pemerintah menerapkan kebijakan yang lebih tegas, seperti standardisasi nasional BIM atau persyaratan BIM dalam proyek pemerintah, maka tingkat adopsi BIM akan meningkat secara signifikan. Pendekatan ini diperkuat oleh studi Kassem & Succar (2017), yang menyatakan bahwa kebijakan publik merupakan pendorong utama dalam akselerasi adopsi BIM skala nasional.

Strategi kolaboratif lintas organisasi juga menjadi hal penting untuk optimalisasi BIM. Informan menekankan perlunya kolaborasi antara kontraktor, konsultan, akademisi, dan vendor teknologi untuk mengembangkan ekosistem BIM yang solid di Indonesia. Kolaborasi ini dapat mencakup penyusunan standar bersama, pengembangan kurikulum pendidikan, hingga riset bersama untuk menguji efektivitas fitur BIM tertentu. Dengan adanya kolaborasi lintas sektor, tantangan implementasi dapat dipecahkan secara kolektif dan inovasi dapat berkembang lebih cepat. Temuan ini sejalan dengan penelitian Papadonikolaki (2016) yang menyebutkan bahwa integrasi antar organisasi merupakan kunci dalam memanfaatkan BIM secara menyeluruh. Secara keseluruhan, pembahasan pada poin keempat ini menunjukkan bahwa optimalisasi BIM membutuhkan transformasi digital yang terencana, investasi kompetensi tenaga kerja, standardisasi yang kuat,

dukungan kebijakan nasional, dan kolaborasi lintas organisasi. Tanpa strategi tersebut, manfaat BIM tidak dapat dimaksimalkan dan industri konstruksi Indonesia akan tertinggal dari negara lain yang sudah lebih maju dalam penggunaan teknologi digital. Dengan strategi yang tepat, BIM dapat menjadi fondasi utama transformasi sistem manajemen proyek yang lebih efisien, transparan, dan kolaboratif di Indonesia.

KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa penerapan Building Information Modelling (BIM) memiliki kontribusi signifikan terhadap peningkatan efisiensi manajemen proyek konstruksi di Indonesia. Temuan utama mengindikasikan bahwa BIM mampu meningkatkan akurasi desain melalui deteksi benturan yang lebih cepat dan akurat, sehingga mengurangi risiko pekerjaan ulang. Model digital yang terintegrasi juga memungkinkan seluruh pemangku kepentingan bekerja berdasarkan data yang sama, sehingga alur kerja menjadi lebih sistematis dan terkontrol. Efisiensi teknis ini menjadi dasar penting bagi peningkatan produktivitas proyek. Efisiensi koordinasi dan komunikasi menjadi salah satu dampak terbesar dari implementasi BIM. Melalui model terpusat yang dapat diakses berbagai pihak, proses koordinasi lintas disiplin dapat dilakukan secara lebih efektif. Rapat teknis yang sebelumnya memakan waktu lama kini dapat dipersingkat karena informasi dapat divisualisasikan melalui tampilan 3D dan 4D secara jelas. Kemampuan ini mempercepat proses pengambilan keputusan dan meminimalkan potensi miskomunikasi, yang selama ini menjadi penyebab umum keterlambatan proyek konstruksi. Selain aspek desain dan koordinasi, BIM juga berperan penting dalam meningkatkan efisiensi biaya proyek. Fitur 5D memungkinkan estimasi biaya diperbarui secara otomatis setiap kali terjadi perubahan desain, sehingga risiko perbedaan antara anggaran dan kebutuhan riil dapat diminimalkan. Informan menjelaskan bahwa penghematan dapat dicapai melalui berkurangnya revisi desain, peningkatan akurasi BOQ, serta pengendalian anggaran yang lebih konsisten. Hal tersebut menunjukkan bahwa BIM memiliki manfaat langsung terhadap stabilitas finansial proyek. Meskipun memberikan banyak manfaat, penelitian ini menemukan bahwa implementasi BIM masih menghadapi sejumlah hambatan di tingkat perusahaan maupun industri. Rendahnya kompetensi SDM, keterbatasan perangkat teknologi, resistensi terhadap perubahan, dan ketiadaan standar nasional menjadi tantangan utama yang perlu ditangani. Tanpa kesiapan organisasi dan strategi digital yang matang, manfaat BIM tidak dapat dimaksimalkan. Hambatan ini menunjukkan bahwa transformasi digital pada sektor konstruksi membutuhkan pendekatan sistemik yang melibatkan kebijakan, pelatihan, serta penguatan infrastruktur teknologi. Penelitian ini juga menekankan urgensi transformasi digital dan standarisasi dalam mempercepat adopsi BIM secara luas. Untuk mencapai manfaat penuh BIM, perusahaan perlu mengembangkan strategi pelatihan berkelanjutan, menetapkan standar internal, dan memperkuat budaya kolaboratif. Selain itu, pemerintah perlu mempertimbangkan kebijakan wajib BIM untuk proyek-proyek nasional, sebagaimana diterapkan di berbagai negara maju. Kebijakan yang kuat akan mendorong keseragaman implementasi BIM dan mempercepat digitalisasi industri konstruksi Indonesia. Secara keseluruhan, penelitian ini menyimpulkan bahwa BIM merupakan instrumen strategis yang mampu meningkatkan efisiensi teknis, manajerial, dan finansial dalam proyek konstruksi. Namun, keberhasilan implementasi sangat bergantung pada kesiapan organisasi, kompetensi tenaga kerja, serta dukungan kebijakan nasional. Penelitian lanjutan dapat diarahkan pada pengukuran kuantitatif dampak BIM atau analisis komparatif antara proyek yang menggunakan BIM dan proyek konvensional, sehingga memberikan gambaran yang lebih luas mengenai efektivitas teknologi ini di Indonesia.

DAFTAR PUSTAKA

- Abanda, F. H., Vidalakis, C., Oti, A. H., & Tah, J. H. M. (2018). *A critical analysis of Building Information Modelling systems used in construction projects*. *Automation in Construction*, 86, 26–37. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.11.005>

- Abou-Ibrahim, H., & Hamzeh, F. (2016). Enabling lean practices through BIM. *Automation in Construction*, 72, 267–278. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2016.08.005>
- Bradley, A., Li, H., Lark, R., & Dunn, S. (2016). BIM for infrastructure: An overall review and current status. *Automation in Construction*, 71, 139–152. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2016.03.003>
- Braun, V., Clarke, V., Hayfield, N., & Terry, G. (2019). Thematic analysis and its position within qualitative research. *Qualitative Research in Psychology*, 16(1), 1–16. <https://doi.org/10.1080/14780887.2019.1670765>
- Chong, H. Y., Lopez, R., Wang, J., Wang, X., & Zhao, Z. (2016). Comparative analysis on the adoption and use of BIM in road infrastructure projects. *Automation in Construction*, 58, 169–176. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2015.07.018>
- Dewi, N. P., & Latief, Y. (2021). *Assessment of BIM maturity level in Indonesian construction companies*. Journal of Engineering and Technological Sciences, 53(2), 219–236. <https://doi.org/10.5614/j.eng.technol.sci.2021.53.2.5>
- Fusch, P. I., & Ness, L. R. (2015). Are we there yet? Data saturation in qualitative research. *The Qualitative Report*, 20(9), 1408–1416
- Gardezi, S. S. S., Shafiq, M. T., & Suprojo, A. (2021). BIM-based sustainability assessment for green building design. *Energy and Buildings*, 236, 110782. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.110782>
- Gerges, M., Hosny, O., El-Sheikh, A., & Abou-Zeid, A. (2017). Enhancing coordination in construction projects using BIM. *Procedia Engineering*, 196, 985–993. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.08.035>
- Ghaffarianhoseini, A., Tookey, J., & Ghaffarianhoseini, A. (2017). Building Information Modelling (BIM) uptake: Clear benefits, understanding its implementation, risks, and challenges. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 75, 1046–1053. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.11.083>
- Hosseini, M. R., Abdolvand, H., & Chileshe, N. (2018). Implementing BIM in construction: A review of training needs. *Journal of Professional Issues in Engineering Education and Practice*, 144(2), 04017020. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)EI.1943-5541.0000344](https://doi.org/10.1061/(ASCE)EI.1943-5541.0000344)
- Hosseini, M. R., Martek, I., & Banihashemi, S. (2020). Impacts of BIM-enabled clash detection on construction performance. *Journal of Building Engineering*, 32, 101790. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2020.101790>
- Jeong, W., Chang, S., & Son, J. (2019). BIM-based automated documentation system for construction projects.

- Jiang, L., Mao, C., & Hou, L. (2022). Evaluating the effectiveness of 4D BIM for construction planning. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 29(6), 2471–2489. <https://doi.org/10.1108/ECAM-08-2020-0624>
- Kasim, N., Haron, A. T., & Alias, A. H. (2023). *Implementation challenges of BIM in developing countries: A policy perspective*. *Journal of Cleaner Production*, 407, 137137. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.137137>
- Kassem, M., & Succar, B. (2017). Macro adoption of BIM: Conceptual structures and frameworks. *Automation in Construction*, 81, 33–43. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.01.002>
- Khosrowshahi, F., & Arayici, Y. (2019). Roadmap for implementation of BIM in the UK construction industry. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 26(6), 1046–1068. <https://doi.org/10.1108/ECAM-02-2018-0066>
- Leite, F., Cho, Y., & Kim, C. (2020). Exploring trust in BIM-based collaboration. *Automation in Construction*, 118, 103267. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103267>
- Lin, Y. C., Su, Y. C., & Yu, W. D. (2021). Improving quantity takeoff accuracy using BIM. *Journal of Construction Engineering and Management*, 147(8), 04021077. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0002109](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0002109)
- Lu, W., Wu, Z., Chang, R., & Li, Y. (2019). Building Information Modeling (BIM) for green buildings: A critical review and future directions. *Automation in Construction*, 103, 41–52. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.03.019>
- Ma, Z., Cooper, P., & Daly, D. (2018). Enhancing multidisciplinary collaboration through BIM: A quantitative evaluation. *Automation in Construction*, 96, 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.08.020>
- Mahalingam, A., Viswanathan, V., & Varghese, K. (2020). BIM-supported decision-making in complex construction projects. *Journal of Management in Engineering*, 36(2), 04019047. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)ME.1943-5479.0000739](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000739)
- Moser, A., & Korstjens, I. (2018). Practical guidance to qualitative research: Sampling, data collection and analysis. *European Journal of General Practice*, 24(1), 9–18. <https://doi.org/10.1080/13814788.2017.1375091>
- Nowell, L. S., Norris, J. M., White, D. E., & Moules, N. J. (2017). Thematic analysis: Striving to meet the

- trustworthiness criteria. *International Journal of Qualitative Methods*, 16(1), 1–13. <https://doi.org/10.1177/1609406917733847>
- Nugroho, A. P., Latief, Y., & Arifuddin, R. (2022). Evaluating BIM adoption readiness in Indonesian construction SMEs. *International Journal of Construction Management*, 22(6), 996–1008. <https://doi.org/10.1080/15623599.2020.1854503>
- Oesterreich, T. D., & Teuteberg, F. (2016). Understanding the implications of digitization in the construction industry. *Computers in Industry*, 83, 121–139. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2016.09.006>
- Orace, M., Hosseini, M. R., Papadonikolaki, E., Palliyaguru, R., & Arashpour, M. (2019). Collaboration in BIM-based construction networks. *International Journal of Project Management*, 37(7), 1102–1116. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2019.01.006>
- Papadonikolaki, E. (2016). Organizational ecosystems and BIM collaboration. *Architectural Engineering and Design Management*, 12(6), 393–414. <https://doi.org/10.1080/17452007.2016.1186589>
- Rustamaji, H., Latief, Y., & Zagloel, T. Y. (2022). Readiness factors for BIM lifecycle implementation in construction projects in Indonesia. *Ain Shams Engineering Journal*, 13(5). <https://doi.org/10.1016/j.asej.2021.101734>
- Saka, A. B., & Chan, D. W. M. (2020). Profound barriers to building information modelling (BIM) adoption in the Nigerian construction industry. *Journal of Civil Engineering and Management*, 26(3), 199–214. <https://doi.org/10.3846/jcem.2020.12185>
- Santos, R., Costa, A. A., & Grilo, A. (2021). BIM-based collaborative design: Challenges and strategies for effective project management. *Journal of Construction Engineering and Management*, 147(3), 04021006. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0001988](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001988)
- Shibeika, A., & Harty, C. (2020). The institutionalization of BIM in construction: Strategies and dynamics. *Construction Management and Economics*, 38(6), 509–524. <https://doi.org/10.1080/01446193.2019.1680687>
- Succar, B., & Kassem, M. (2015). Macro-BIM adoption: Conceptual structures. *Automation in Construction*, 57, 64–79. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2015.07.002>
- Turk, Ž., Cerovšek, T., & Hafner, N. (2019). Organizational change in the age of BIM: Reshaping project communication. *Journal of Information Technology in Construction*, 24, 145–162.
- Volk, R., Stengel, J., & Schultmann, F. (2018). Barriers to BIM adoption for existing building stock management. *Automation in Construction*, 98, 120–133. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.10.018>

- Wu, W., Yang, H., & Chew, D. A. (2017). Understanding factors influencing BIM adoption in construction: A behavioral perspective. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 24(5), 878–894. <https://doi.org/10.1108/ECAM-05-2016-0106>
- Yin, R. K. (2018). *Case study research and applications: Design and methods* (6th ed.). SAGE Publications.
- Zaker, R., & Coloma, E. (2018). Virtual reality and BIM for coordination in construction. *Automation in Construction*, 96, 93–106. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.08.018>
- Zhang, S., Pan, F., & Li, H. (2020). Integrating BIM and safety management for construction hazard analysis. *Journal of Safety Research*, 72, 41–52. <https://doi.org/10.1016/j.jsr.2019.11.004>