

Strategi integratif mengatasi hambatan adopsi teknologi konstruksi modern di Indonesia: pendekatan solusi regulasi, finansial, dan SDM

Luthfi Fitri Pramudya^{1,*}, Mayangsari Rafiqa Putri¹, Muhammad Farrel Ghiffary¹

¹Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta, Indonesia

Article Info

Available online

Keywords:

Building Information Modelling
Technology adoption
Technology Acceptance Model (TAM)
Diffusion Of Innovation (DoI)
Digital construction

Corresponding Author:

Luthfi Fitri Pramudya
25914019@students.uii.ac.id

Abstract

The implementation of Building Information Modeling (BIM) and digital technologies in the construction industry offers significant efficiency, yet its widespread adoption faces systemic and individual constraints. This study aims to map the challenges, opportunities, and strategic solutions in construction digitalization through a theoretical lens. A systematic literature review (SLR) was conducted on ten relevant articles using the PRISMA guidelines. Data were analyzed using deductive thematic analysis based on the Technology Acceptance Model (TAM) and Diffusion of Innovations (DoI). The findings indicate a strong interconnection between macro-systemic barriers (DoI) and micro-psychological factors (TAM). Key challenges include perceived complexity due to limited human resource competence, cultural incompatibility with conventional practices, and a lack of regulatory mandates. Automation offers relative advantages in cost and error reduction. Effective digital diffusion requires multi-stakeholder synergy through regulatory intervention, targeted training, and IT infrastructure investment.

Copyright © 2026 Universitas Islam Indonesia
All rights reserved

Pendahuluan

Lansekap makro dan dinamika modernisasi industri konstruksi nasional

Sektor konstruksi di Indonesia tengah tumbuh pesat seiring bergesernya fokus dari infrastruktur konvensional menuju sistem yang pintar dan terintegrasi. Pertumbuhan ini didorong oleh berbagai Proyek Strategis Nasional (PSN), terutama megaprojek Ibu Kota Nusantara (IKN) yang menjadi pusat baru tata ruang dan pertumbuhan nasional (S. Riyadi dkk., 2024). Namun, proyek berskala besar seperti ini membawa tantangan rumit, mulai dari geometri yang kompleks hingga tenggat waktu yang sangat ketat. Risiko tinggi tersebut tidak lagi dapat ditangani secara efektif jika hanya mengandalkan metode tradisional yang

padat karya. Akibatnya, industri konstruksi nasional harus melakukan lompatan teknologi demi meningkatkan efisiensi, menekan pemborosan material (*construction waste*), dan menjaga akurasi anggaran (Henong & Naikofi, 2021). Dalam transisi ini, teknologi seperti *Building Information Modeling* (BIM) untuk kolaborasi data, teknologi *precast* (pracetak) tingkat lanjut, serta *Internet of Things* (IoT) untuk pemantauan struktur secara *real-time* hadir sebagai pilar utama (Olatunji, 2022). Ketiga teknologi inilah yang kini mendefinisikan ulang standar produktivitas konstruksi modern di Indonesia.

Tekanan regulatif dan dinamika kepatuhan hukum industri konstruksi

Pergeseran ke arah modernisasi ini tidak terjadi begitu saja karena kesadaran pelaku industri, melainkan dipicu oleh kebijakan pemerintah yang bersifat dari atas ke bawah (*top-down*) (Utomo & Rohman, 2019). Pemerintah secara bertahap menyusun aturan hukum yang mengubah adopsi teknologi dari sekadar pilihan manajemen menjadi kewajiban hukum yang mengikat. Langkah ini dimulai lewat Peraturan Menteri PUPR No. 22/PRT/M/2018, yang mewajibkan penggunaan *Building Information Modeling* (BIM) minimal tingkat 3D untuk bangunan negara dengan luas di atas 2000 meter persegi dan lebih dari dua lantai. Aturan ini diperkuat oleh Peraturan Pemerintah (PP) No. 16 Tahun 2021 tentang Peraturan Pelaksanaan UU Bangunan Gedung. PP ini tidak hanya mengubah sistem izin menjadi Persetujuan Bangunan Gedung (PBG), tetapi juga memperketat standar Bangunan Gedung Hijau (BGH) (Iman dkk., 2021). Kedua regulasi tersebut menjadi pendorong utama (*mandatory catalyst*) yang memaksa pemilik proyek, konsultan, dan kontraktor keluar dari zona nyaman untuk segera menerapkan teknologi digital demi mematuhi hukum.

Realitas lapangan dan tantangan implementasi teknologi modern

Namun, kenyataan di lapangan menunjukkan adanya kesenjangan (*gap*) besar antara harapan regulasi pusat dan kesiapan industri konstruksi nasional. Hambatan utamanya adalah tingginya investasi awal (*capital expenditure*), terutama untuk pengadaan komputer berspesifikasi tinggi dan lisensi perangkat lunak modern yang mahal. Kondisi ini memicu ketimpangan; inovasi digital akhirnya hanya dinikmati oleh kontraktor BUMN atau korporasi besar, sedangkan pengusaha menengah ke bawah kian terpinggirkan (Mieslenna & Wibowo, 2019). Masalah finansial ini diperparah oleh ketidaksesuaian (*mismatch*) kompetensi

SDM teknik sipil. Kurikulum di banyak kampus dinilai masih tradisional dan lambat beradaptasi, sehingga meluluskan sarjana yang gagap menghadapi sistem kerja kolaboratif seperti BIM. Hambatan berat juga datang dari birokrasi daerah. Kurangnya literasi digital aparatur serta minimnya Tim Ahli Bangunan Gedung (TABG) yang kompeten membuat proses perizinan berbasis BIM atau sertifikasi Bangunan Gedung Hijau (BGH) sering kali macet (*bottleneck*). Akhirnya, daerah cenderung kembali ke cara manual yang justru menghambat percepatan teknologi dari pusat (Andani & Windari, 2025).

Meskipun penelitian terdahulu telah mengidentifikasi hambatan-hambatan tersebut, sebagian besar literatur hanya fokus memetakan masalah tanpa menawarkan solusi komprehensif. Untuk mengisi celah riset (*research gap*) ini, penelitian kami hadir dengan pendekatan solutif melalui strategi penyelesaian yang integratif. Kami tidak lagi mengulang pembahasan soal hambatan di lapangan, melainkan fokus menyusun rekomendasi taktis lewat tiga pilar utama: optimalisasi kebijakan, skema keuangan, dan peningkatan kapasitas SDM. Penelitian ini bertujuan menghasilkan model solusi menyeluruh yang dapat menjadi panduan strategis bagi pemerintah (*policymakers*) dan praktisi dalam mempercepat adopsi teknologi konstruksi di Indonesia secara merata dan berkelanjutan.

Tinjauan Pustaka

Teori manajemen perubahan dan adopsi teknologi dalam ekosistem konstruksi

Percepatan teknologi di sektor konstruksi tidak hanya bergantung pada kesiapan perangkat keras atau lunak, tetapi juga sangat dipengaruhi oleh kesiapan individu dalam menerima perubahan. Secara historis, industri konstruksi di Indonesia bersifat padat karya, terfragmentasi, dan berbasis proyek (*project-based*). Karakteristik inilah yang memicu penolakan budaya (*cultural resistance*) yang cukup kuat terhadap

digitalisasi. Untuk membedah penyebab lambatnya adopsi teknologi ini, dua kerangka teori utama dapat digunakan secara saling melengkapi: *Diffusion of Innovations* (DoI) yang dikembangkan oleh Rogers (2003) dan *Technology Acceptance Model* (TAM) yang diinisiasi oleh Davis (1989).

Perspektif Diffusion of Innovations (DoI)

Dalam perspektif teori *Diffusion of Innovations* (DoI) oleh (Rogers, 2003), sebuah inovasi dikomunikasikan melalui saluran tertentu dalam suatu sistem sosial dari waktu ke waktu berdasarkan lima karakteristik utama, yakni *relative advantage*, *compatibility*, *complexity*, *trialability*, *observability*; yang mana dalam konteks industri konstruksi padat karya di Indonesia, hambatan difusi ini termanifestasi secara nyata pada tiga aspek krusial. Pertama, terdapat faktor kerumitan (*complexity*) di mana teknologi mutakhir seperti *Building Information Modeling* (BIM) tingkat lanjut maupun integrasi *Internet of Things* (IoT) dinilai memiliki tingkat kompleksitas operasional yang terlalu tinggi bagi pekerja lapangan konvensional yang secara historis terbiasa dengan metode analog dua dimensi (2D). Kedua, aspek keselarasan (*compatibility*) menunjukkan bahwa inovasi digital sering kali mengalami benturan sosiokultural karena tidak sejalan dengan budaya kerja padat karya lokal yang masih sangat mengandalkan keterampilan manual adaptif serta instruksi verbal spontan di tapak proyek. Ketiga, rendahnya kemampuan untuk diuji coba (*trialability*) yang dipicu oleh karakteristik proyek konstruksi dengan margin keuntungan tipis dan risiko finansial tinggi, pada akhirnya membuat kontraktor enggan berspekulasi melakukan uji coba teknologi baru secara mandiri karena bayang-bayang kegagalan sistemik, seperti denda keterlambatan hingga risiko kegagalan struktur, sehingga mayoritas pelaku industri lebih memilih bersikap defensif sebagai kelompok kolot (*laggards*) atau *late adopters* ketimbang menjadi pionir inovasi (Utomo & Rohman, 2019).

Perspektif Technology Acceptance Model (TAM)

Sementara *Diffusion of Innovations* (DoI) berfokus pada karakteristik inovasi dalam sistem sosial, *Technology Acceptance Model* (TAM) yang dikembangkan oleh Davis (1989) membedah adopsi dari level psikologis dan persepsi individu pengguna melalui dua konstruk utama penentu niat perilaku untuk menggunakan teknologi (*behavioral intention to use*), yaitu *Perceived Usefulness* (PU / Persepsi Kemanfaatan) dan *Perceived Ease of Use* (PEOU / Persepsi Kemudahan Penggunaan), yang mana dalam ekosistem konstruksi padat karya Indonesia, hubungan kausalitas keduanya mengalami distorsi yang cukup parah. Distorsi pertama bersumber dari rendahnya persepsi kemudahan penggunaan (PEOU), di mana pekerja tingkat operasional seperti tukang, mandor, dan pengawas lapangan dengan latar belakang pendidikan non-digital cenderung mempersepsikan platform komputasi konstruksi sebagai sistem baru yang mengintimidasi dan rumit, sehingga ketika PEOU berada pada titik rendah, persepsi terhadap kegunaannya (PU) secara linear ikut menurun meskipun secara teoritis teknologi tersebut mampu memangkas waktu kerja secara signifikan. Kondisi ini diperparah oleh adanya konflik kepentingan terkait aspek kemanfaatan (PU), di mana kontraktor skala menengah melihat bahwa utilitas dari investasi teknologi yang mahal tidak memberikan dampak instan pada likuiditas jangka pendek mereka, terlebih dalam sistem pengadaan nasional yang sejauh ini masih menempatkan parameter harga penawaran terendah sebagai penentu utama pemenang tender. Alhasil, selama sistem remunerasi, skema tender, dan penghargaan industri belum berpihak pada efisiensi teknologi, motivasi intrinsik pekerja maupun organisasi untuk bertransformasi meninggalkan metode konvensional akan tetap berada pada titik terendah.

Metodologi Penelitian

Penelitian ini dirancang sebagai studi kepustakaan murni (*library research*) dengan menerapkan metode *Systematic Literature Review* (SLR). Pendekatan ini dipilih untuk mengintegrasikan, mengevaluasi, dan menyintesis temuan-temuan dari berbagai penelitian terdahulu secara sistematis, transparan, dan dapat direplikasi (*replicable*). Validitas akademis dalam penelitian ini dijaga ketat melalui penerapan protokol PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*) guna meminimalisir bias subjektif peneliti dalam proses seleksi literatur serta memastikan rumusan solusi akhir didasarkan pada basis bukti (*evidence-based*) yang kuat.

Strategi pencarian literatur

Pengumpulan data sekunder dalam penelitian ini dilakukan melalui mekanisme pencarian elektronik secara sistematis pada tiga basis data (*database*) ilmiah bereputasi tinggi, yaitu Scopus, ScienceDirect, dan SINTA (Sinta - Science and Technology Index), dengan menerapkan kombinasi kata kunci (*search string*) berbasis operator Boolean yang dirancang secara spesifik, yakni ("BIM" OR "Building Information Modeling" OR "Green Construction") AND ("Barriers" OR "Challenges") AND ("Solutions" OR "Strategies") AND "Indonesia". Strategi pencarian ini diimplementasikan guna memastikan seluruh artikel jurnal ilmiah terdahulu yang diekstraksi memiliki relevansi kontekstual yang tinggi, baik dari segi substansi teknologi konstruksi modern yang dikaji maupun batasan geografis ekosistem industri konstruksi di Indonesia, sehingga data yang diperoleh mampu menyediakan basis bukti (*evidence-based*) yang kuat untuk dianalisis lebih lanjut.

Kriteria inklusi dan eksklusi (*screening & eligibility*)

Guna memastikan bahwa seluruh artikel yang dianalisis memiliki relevansi tinggi terhadap fokus resolusi masalah, penelitian

ini menetapkan kriteria seleksi yang ketat melalui batasan inklusi dan eksklusi yang komprehensif. Kriteria inklusi membatasi pemilihan pada artikel jurnal ilmiah yang diterbitkan dalam rentang waktu sepuluh tahun terakhir (2016–2026), ditulis dalam bahasa Indonesia atau bahasa Inggris, berfokus pada industri konstruksi di negara berkembang, khususnya Indonesia, serta secara eksplisit membahas hambatan sekaligus menawarkan strategi solusi pada aspek regulasi, finansial, maupun SDM. Sebaliknya, kriteria eksklusi diterapkan untuk mengeliminasi artikel yang hanya berupa tinjauan konseptual tanpa dukungan data empiris, artikel dari prosiding konferensi yang belum ditelaah sejawat (*non-peer reviewed*), serta penelitian yang berfokus pada aplikasi teknologi di luar sektor konstruksi sipil.

Alur seleksi data (Protokol PRISMA)

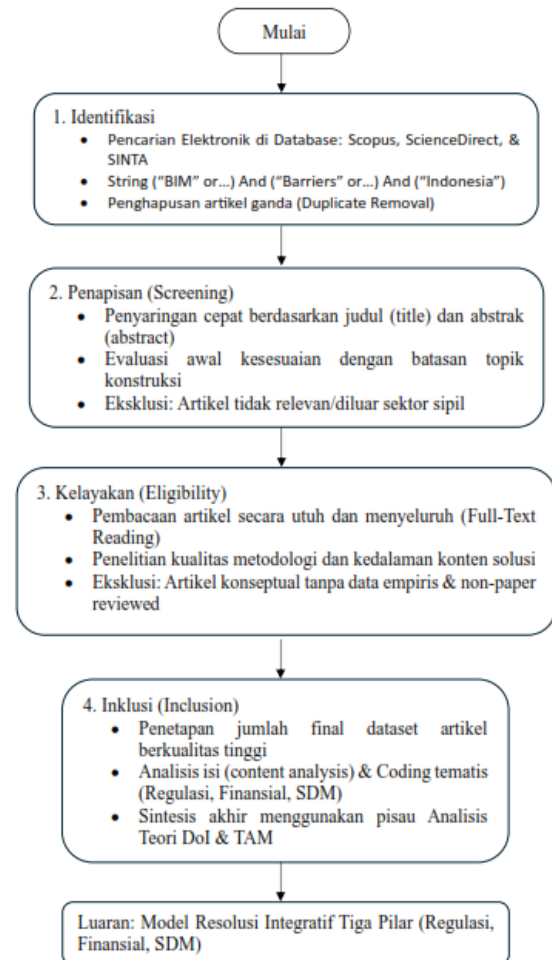
Proses penyaringan literatur dalam penelitian ini dilakukan secara bertahap mengikuti empat tahapan utama diagram alir PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*) guna menjamin transparansi dan akuntabilitas seleksi data. Tahapan ini diawali dengan proses identifikasi (*identification*) untuk mengumpulkan seluruh artikel dari hasil pencarian awal di berbagai basis data sekaligus melakukan penghapusan terhadap artikel yang ganda (*duplicate removal*). Langkah tersebut kemudian dilanjutkan dengan tahap penapisan (*screening*), di mana peneliti memeriksa relevansi setiap artikel secara cepat berdasarkan judul dan abstrak guna memastikan kesesuaiannya dengan kriteria inklusi yang telah ditetapkan. Selanjutnya, pada tahap kelayakan (*eligibility*), dilakukan pembacaan artikel secara utuh (*full-text reading*) untuk menguji kualitas metodologi serta kedalaman pembahasan mengenai solusi hambatan teknologi konstruksi. Prosedur ini diakhiri dengan tahap inklusi (*inclusion*) yang bertujuan untuk menetapkan jumlah final artikel berkualitas tinggi yang memenuhi seluruh prasyarat

untuk diekstraksi dan disintesis ke dalam analisis utama penelitian.

Teknik analisis dan sintesis data

Data dari artikel-artikel final yang lolos seleksi dianalisis menggunakan Analisis Isi (*Content Analysis*) yang bersifat kualitatif-tematis. Peneliti melakukan koding (*coding*) terhadap teks untuk mengelompokkan data ke dalam tiga kluster masalah dan solusi. Selanjutnya, proses sintesis dan pembahasan terhadap kluster tersebut dibedah secara kritis menggunakan lensa teoretis *Diffusion of Innovations* (DoI) untuk memetakan karakteristik difusi sosial inovasi, serta *Technology Acceptance Model* (TAM) untuk menganalisis aspek psikologis persepsi kemanfaatan dan kemudahan penggunaan teknologi oleh aktor konstruksi.

Selanjutnya, hasil sintesis dari berbagai jurnal terdahulu tersebut dipetakan menggunakan matriks kontras untuk melihat konsensus (solusi yang paling banyak disepakati oleh para peneliti terdahulu) maupun diskrepansi (perbedaan hasil antar-peneliti). Hasil akhir dari sintesis SLR ini kemudian diformulasikan menjadi sebuah Model Resolusi Integratif Tiga Pilar yang bertindak sebagai jawaban komprehensif atas permasalahan adopsi teknologi konstruksi di Indonesia.



Gambar 1. Diagram Alir Tahapan Penelitian Berdasarkan Protokol PRISMA (Adaptasi Moher dkk., 2009)

Hasil dan Pembahasan

Sebagai langkah awal untuk memetakan lanskap penelitian secara empiris, dilakukan penelaahan mendalam terhadap sepuluh jurnal terdahulu yang relevan dengan topik ini. Melalui tinjauan literatur tersebut, diidentifikasi berbagai variasi kendala teknis maupun non-teknis serta rekomendasi strategis yang diusulkan oleh para peneliti sebelumnya. Rangkuman komprehensif dari sepuluh studi literatur tersebut disajikan secara sistematis pada Tabel 1 di bawah ini.

Tabel 1. Rangkuman Jurnal Terdahulu

No	Judul	Hambatan yang Ditemukan	Solusi yang Ditawarkan
1.	<i>The Barrier and Driver Factors of Building Information Modelling (BIM) Adoption in Indonesia: A Preliminary Survey</i> (Utomo & Rohman, 2019)	Adopsi teknologi di Indonesia utamanya dihambat oleh keterbatasan tenaga ahli kompeten akibat minimnya keahlian khusus di dalam tim proyek internal maupun organisasi eksternal.	- Sebagai solusi fundamental, institusi pendidikan tinggi dan penyedia pelatihan profesional harus dilibatkan secara aktif dalam menyelenggarakan sertifikasi keahlian berkelanjutan guna mengatasi keterbatasan tenaga ahli dan meningkatkan pemahaman SDM secara masif. - Elaborasi studi kasus melalui analisis manfaat-biaya yang transparan diperlukan untuk membuktikan keuntungan finansial dan efisiensi nyata BIM guna meruntuhkan keraguan pelaku industri terkait ROI (<i>Return on Investment</i>). - Optimalisasi tekanan institusional perlu dilakukan dengan memperketat skala regulasi mandat pemerintah (<i>coercive pressures</i>) serta memfasilitasi iklim kompetisi sehat agar perusahaan terdorong meniru kisah sukses adopsi teknologi kompetitornya (<i>mimetic pressures</i>).
2.	Faktor Yang Memengaruhi Penerapan <i>Building Information Modeling</i> (BIM) Dalam Tahapan Pra Konstruksi Gedung Bertingkat (Sekarsari, 2019)	- Hambatan paling dominan dalam penerapan BIM adalah faktor biaya/ekonomi karena tingginya investasi awal untuk pembelian <i>software</i> resmi, pembaruan <i>hardware</i>, dan pelatihan staf yang mahal bagi perusahaan konstruksi. - Faktor sumber daya manusia turut menghambat akibat minimnya tenaga kerja ahli yang menguasai pengoperasian BIM serta kurangnya program pelatihan internal bersertifikat di dalam organisasi perusahaan. - Resistensi terhadap perubahan menjadi hambatan karena kurangnya motivasi dan kesiapan staf untuk bermigrasi dari metode kerja konvensional (2D CAD) ke sistem kerja berbasis BIM.	- Perusahaan konstruksi disarankan untuk mulai mengalokasikan anggaran khusus jangka panjang guna membiayai pengadaan lisensi <i>software</i> penunjang BIM serta peningkatan spesifikasi <i>hardware</i>. - Manajemen perusahaan harus secara aktif menyelenggarakan program pelatihan BIM yang terstruktur bagi para staf teknis untuk mengikis resistensi kerja sekaligus mencetak tenaga ahli internal. - Penerapan regulasi dan SOP internal yang mewajibkan koordinasi berbasis BIM sejak tahap pra-konstruksi sangat penting untuk menekan kesalahan desain sekaligus meningkatkan efisiensi biaya proyek secara keseluruhan.

Lanjutan Tabel 1. Rangkuman Jurnal Terdahulu

No	Judul	Hambatan yang Ditemukan	Solusi yang Ditawarkan
3.	Penerapan <i>Building Information Modelling</i> (BIM) dalam Peningkatan Efisiensi dan Keberlanjutan pada Proyek <i>High-Rise Building</i> di Indonesia (Mahardika & Windari, 2025)	- Keterbatasan kompetensi dan kemampuan teknis SDM dalam mengoperasikan teknologi BIM menjadi salah satu hambatan utama yang memperlambat optimalisasi penerapannya di Indonesia. - Kurangnya regulasi dan kebijakan pemerintah yang kuat dalam mewajibkan atau mendorong migrasi secara masif ke ekosistem BIM menjadi hambatan bagi percepatan adopsi teknologi ini di industri konstruksi Indonesia.	- Dukungan pelatihan yang lebih terstruktur dan masif bagi para praktisi industri sangat diperlukan guna meningkatkan keterampilan teknis pengguna dalam menguasai fitur-fitur multi-dimensi BIM secara pesat. - Intervensi pemerintah melalui penyusunan regulasi yang tegas, mengikat, dan suportif sangat dibutuhkan untuk menciptakan ekosistem industri yang mewajibkan adopsi BIM pada proyek skala besar di Indonesia.
4.	Identifikasi Tantangan dalam Penerapan <i>Green Building</i> di Jakarta (Christophorus dkk., 2023)	- Kesadaran dan penerapan konsep bangunan hijau di Indonesia, khususnya DKI Jakarta, masih sangat terbatas dengan baru tercatatnya 15 bangunan yang tersertifikasi resmi oleh <i>Green Building Council Indonesia</i> (GBCI) saat penelitian dilakukan. - Pengujian statistik menunjukkan bahwa faktor teknis dan finansial secara konsisten menjadi kendala utama yang paling memengaruhi keengganan <i>stakeholders</i> atau pemilik proyek untuk berinvestasi.	- Perusahaan jasa konsultan disarankan untuk memfasilitasi dan mendanai tenaga ahli mereka dalam mengikuti pelatihan resmi GBCI agar pihak <i>developer</i> dapat dengan mudah menemukan tenaga ahli bersertifikat. - Pemerintah diharapkan segera menerbitkan standar atau panduan teknis yang aplikatif, jelas, dan komprehensif sebagai acuan baku dalam mendirikan <i>green building</i>. - Otoritas terkait harus menggalakkan program sosialisasi dan edukasi berkala kepada masyarakat serta pelaku industri mengenai manfaat jangka panjang dan efisiensi operasional bangunan hijau. - Adopsi teknologi ramah lingkungan dan efisien energi, seperti <i>AC Variable Refrigerant Volume</i> dan sistem daur ulang air limbah, serta penggunaan metode atau material alternatif sangat diperlukan untuk menekan tingginya biaya konstruksi <i>green building</i>.

Lanjutan Tabel 1. Rangkuman Jurnal Terdahulu

No	Judul	Hambatan yang Ditemukan	Solusi yang Ditawarkan
5	<i>The Constraint Factors for Implementation of Green Construction Concept in Building Development Project</i> (Arman dkk., 2023)	- Implementasi <i>Green Construction</i> di sektor industri konstruksi Indonesia secara umum masih berada pada tahap awal dan perkembangannya cenderung lambat atau stagnan. - Analisis data menunjukkan bahwa keengganan utama pemilik proyek dan pengembang untuk beralih ke konstruksi hijau berakar pada tingginya biaya modal awal serta ketiadaan payung hukum yang tegas dari pemerintah.	- Pemerintah harus menyusun rancangan undang-undang atau peraturan daerah yang lebih tegas dan bersifat wajib (<i>mandatory</i>) untuk proyek skala tertentu, serta menyediakan skema insentif finansial maupun non-finansial guna menarik minat investor. - Penyelenggaraan program pelatihan, seminar, dan sertifikasi keahlian hijau secara berkala, serta pengintegrasian konsep pembangunan berkelanjutan ke dalam kurikulum pendidikan tinggi teknik sipil dan arsitektur sangat diperlukan untuk meningkatkan kapasitas teknis para pelaku konstruksi. - Mendorong industri manufaktur lokal untuk memproduksi material ramah lingkungan secara massal sangat penting agar harganya di pasar menjadi lebih kompetitif dan mudah dijangkau. - Menggalakkan sosialisasi mengenai <i>life-cycle cost</i> (analisis biaya siklus hidup) sangat penting untuk membuktikan bahwa meskipun biaya awalnya tinggi, konstruksi hijau jauh lebih hemat dalam biaya operasional dan perawatan jangka panjang.
6.	<i>Assessment of Site Development Compliance with GBC Indonesia Greenship Criteria in a Technology Office Complex</i> (I. C. Riyadi dkk., 2026)	- Kampus kehilangan 3 poin pada kriteria ASD 5 karena gagal mempertahankan area hijau dengan tanaman lokal atau produktif sebesar minimal 40% dari total area lansekap akibat dominasi perkerasan lahan. - Kampus kehilangan 3 poin pada kriteria ASD 6 karena tidak memiliki sistem pengelolaan limpasan air hujan yang memadai untuk mengurangi beban volume air yang mengalir ke saluran drainase kota.	- Untuk mengoptimalkan lansekap hijau (Solusi ASD 5), disarankan melakukan penataan ulang vegetasi dengan memprioritaskan tanaman lokal yang tangguh pada area terbuka serta mengintegrasikan konsep taman vertikal atau taman atap jika lahan horizontal terbatas. - Untuk menerapkan <i>stormwater management</i> (Solusi ASD 6), disarankan membangun infrastruktur

Lanjutan Tabel 1. Rangkuman Jurnal Terdahulu

No	Judul	Hambatan yang Ditemukan	Solusi yang Ditawarkan
			retensi dan infiltrasi air hujan seperti sumur resapan, biopori, tangki pemanen air hujan, serta menggunakan <i>paving block</i> berpori di area parkir agar air dapat meresap langsung ke dalam tanah dan meminimalkan genangan.
7.	Implementasi <i>Building Information Modeling</i> (BIM) dalam Perhitungan Volume Besi Tulangan dan <i>Bar Bending Schedule</i> (Salsabila & Apdeni, 2025)	• Perhitungan data material membutuhkan waktu pengerjaan yang cukup lama. • Memiliki risiko kesalahan akibat kelalaian manusia (<i>human error</i>) yang cukup tinggi dalam proses menghitung manual. • Sulit untuk melakukan revisi atau penyesuaian apabila sewaktu-waktu terjadi perubahan desain pada struktur bangunan. • Kurangnya integrasi informasi di antara berbagai aspek dalam proses pengelolaan proyek konstruksi.	• Membuat pemodelan struktur dan penulangan secara detail dalam format 3D berdasarkan data perencanaan (<i>shop drawing</i> dan DED). • Mengotomatisasi pengeluaran hasil <i>bar bending schedule</i> (BBS) langsung dari informasi model bangunan yang telah dibuat sehingga meminimalkan pengerjaan berulang. • Menggunakan data BBS dari Tekla ke dalam <i>software Cutting Optimization Pro</i> untuk menghitung serta mengoptimalkan pola pemotongan besi sehingga sisa material (<i>waste</i>) menjadi seminimal mungkin.
8.	Implementasi Sistem Informasi Manajemen Bangunan Gedung (SIMBG) pada Dinas Pekerjaan Umum dan Penataan Ruang Kabupaten Minahasa Utara (Rengkuan dkk., 2025)	• Belum diterbitkannya Keputusan Bupati mengenai Standar Operasional Prosedur (SOP) pengelolaan PBG melalui SIMBG mengakibatkan acuan hukum teknis di tingkat daerah masih lemah. • Kegiatan sosialisasi mengenai SIMBG kepada masyarakat luas masih sangat kurang, sehingga banyak warga atau pemohon yang belum mengetahui kewajiban penggunaan sistem berbasis daring ini. • Banyak pemohon dari kalangan masyarakat mengalami kesulitan atau gagap teknologi saat harus mengoperasikan sistem, mengisi data, dan mengunggah dokumen persyaratan secara mandiri. • Proses pelayanan akan tertunda cukup lama apabila pemohon bersikap lambat atau tidak aktif dalam melengkapi kekurangan berkas yang diminta melalui sistem.	• Pemerintah daerah diharapkan segera menerbitkan Keputusan Bupati atau regulasi resmi yang mengatur SOP pengelolaan PBG melalui SIMBG agar memiliki kekuatan hukum yang jelas. • Dinas terkait harus menggalakkan program sosialisasi, edukasi, dan penyuluhan secara berkala mengenai alur kerja SIMBG melalui media massa, media sosial, maupun pertemuan langsung di tingkat kecamatan atau desa. • Penyediaan meja layanan bantuan (<i>helpdesk</i>) atau posko asistensi di kantor dinas sangat diperlukan untuk membantu dan memandu masyarakat yang mengalami kendala teknis atau kesulitan

Lanjutan Tabel 1. Rangkuman Jurnal Terdahulu

No	Judul	Hambatan yang Ditemukan	Solusi yang Ditawarkan
			dalam mengoperasikan aplikasi SIMBG.
9.	<i>Readiness for the Implementation of Building Information Modeling (BIM) in Controlling Construction Costs for Public Works Projects During a Crisis</i> (Lay dkk., 2026)	- Manajemen proyek di lapangan masih sangat didominasi oleh metode tradisional seperti penggunaan gambar 2D (AutoCAD), dokumen manual, dan koordinasi tim secara langsung tatap muka. - Sistem pengendalian biaya yang dilakukan menggunakan <i>spreadsheet</i> terpisah dan tidak terintegrasi langsung dengan desain bangunan mengakibatkan estimasi biaya tidak otomatis terbaru saat terjadi perubahan desain, serta memperlambat respons terhadap perubahan harga material di masa krisis. - Tingkat pemahaman pemangku kepentingan terhadap konsep BIM masih sangat rendah yang diperparah oleh minimnya pelatihan serta keahlian teknis untuk mengoperasikannya. - Keterbatasan infrastruktur teknologi informasi (TI) dan tingginya biaya investasi awal untuk pengadaan perangkat lunak (<i>software</i>) BIM menjadi kendala dalam penerapan teknologi tersebut. - Belum adanya klausul atau standarisasi regulasi dari pemerintah yang mewajibkan atau mendukung penggunaan BIM dalam kontrak-kontrak proyek publik menyebabkan tiadanya payung hukum bagi implementasi teknologi tersebut.	- Pemerintah diharapkan segera menyusun regulasi nasional dan standar baku penerapan BIM, serta secara resmi mengintegrasikan klausul kewajiban BIM ke dalam dokumen kontrak proyek publik. - Organisasi konstruksi harus meningkatkan kompetensi para pelaku industri melalui program pelatihan intensif dan sertifikasi BIM secara berkala guna menekan resistensi perubahan budaya kerja dari konvensional ke digital. - Investasi terarah guna memperkuat infrastruktur teknologi informasi (TI), pemanfaatan perangkat lunak terintegrasi, serta pembangunan ekosistem data terpusat (<i>centralized system</i>) diperlukan agar data visual (3D), jadwal (4D), dan biaya (5D) dapat menyatu, sehingga proyek memiliki ketahanan yang adaptif dalam merespons fluktuasi biaya secara <i>real-time</i> di situasi krisis.
10.	<i>Challenges and barriers in BIM adoption and implementation in infrastructure projects</i> (Lin dkk., 2025)	- Sebanyak 19,4% responden menilai kurangnya keahlian dalam penggunaan BIM, manajemen data, dan teknologi <i>digital twin</i> sebagai hambatan yang sangat kritis. - Rendahnya kesadaran akan metodologi BIM dan ketersediaan data di sepanjang siklus hidup proyek kereta api menjadi hambatan metodologis yang paling signifikan dalam industri tersebut.	- Program pengembangan pengetahuan yang komprehensif bagi para pemangku kepentingan perlu diinisiasi melalui pelatihan serta edukasi formal mengenai BIM, manajemen data, <i>digital twins</i>, dan desain komponen infrastruktur perkeretaapian. - Penyediaan peluang nyata bagi para praktisi sangat penting untuk memberikan

Lanjutan Tabel 1. Rangkuman Jurnal Terdahulu

No	Judul	Hambatan yang Ditemukan	Solusi yang Ditawarkan
		- Kurangnya desain modular pada komponen kereta api menyulitkan proses pembaruan atau perbaikan tanpa merusak bagian sekitarnya, sehingga menghambat pembaruan data BIM secara efektif. - Minimnya masukan teknis dari para pelaku rantai nilai (<i>value chain</i>) maupun rekan kerja menjadi salah satu faktor pembatas dalam upaya meningkatkan praktik BIM di lapangan. - Kendala dalam interoperabilitas perangkat lunak, termasuk kurangnya pembaruan informasi secara <i>real-time</i> dan interaktivitas alat BIM untuk manajemen risiko serta pengelolaan limbah konstruksi, menjadi salah satu hambatan dalam penerapan teknologi ini.	- pengalaman langsung dalam mengaplikasikan pengetahuan dan teknologi BIM di lapangan. - Kolaborasi dan berbagi pengetahuan lintas organisasi di tingkat internasional perlu difasilitasi guna mempercepat transfer teknologi serta pemahaman standar global. - Penguatan inovasi alat, metode, algoritma, serta teknologi berbasis digital perlu didorong melalui inisiatif bersama yang dipimpin oleh badan pemerintah, organisasi swasta, dan institusi akademik.

Berdasarkan rangkuman dari sepuluh penelitian terdahulu mengenai hambatan dan solusi dalam implementasi teknologi serta sistem digital konstruksi, diperlukan sebuah langkah sintesis teoretis agar temuan empiris tersebut dapat dianalisis secara lebih mendalam. Oleh karena itu, data deskriptif tersebut dikodifikasi dan dipetakan ke dalam sebuah matriks analisis dengan mengintegrasikan variabel-variabel dari kerangka kerja *Technology Acceptance*

Model (TAM) dan teori *Diffusion of Innovations* (DoI). Integrasi ini bertujuan untuk mengelompokkan faktor psikologis pengguna individu di tingkat mikro sekaligus mengevaluasi kesiapan sistemik organisasi di tingkat makro dalam menerima inovasi baru. Berikut adalah matriks pemetaan data yang menjembatani temuan literatur dengan pisau analisis teoretis yang digunakan:

Tabel 2. Matriks Pemetaan Data Adopsi Teknologi Konstruksi (TAM & DoI Framework)

No	Kategori Temuan (Kendala & Solusi) berdasarkan Jurnal	Kategori Teori TAM	Kategori Teori DoI	Interpretasi Analisis (Sintesis)
1	Sumber Daya Manusia: Kompetensi & Keahlian Teknis - Kendala: Minimnya tenaga kerja ahli, keahlian khusus, dan kompetensi operasional BIM/teknologi digital (Jurnal 1, 2, 3, 9, 10). - Solusi: Pelatihan intensif, edukasi formal kurikulum, sertifikasi keahlian berkelanjutan, dan program praktis	<i>Perceived Ease of Use</i> (PEOU): <i>Low</i> kompetensi menurunkan persepsi kemudahan; pelatihan menaikkan PEOU pengguna.	<i>Complexity</i>: Kurangnya keahlian memicu tingginya persepsi kerumitan teknologi. <i>Ability</i>: Keterbatasan kapasitas adopsi.	Keterbatasan kompetensi SDM di Indonesia memicu tingginya nilai <i>Complexity</i> (kerumitan). Solusi pelatihan terstruktur bertindak sebagai intervensi mikro untuk menurunkan tingkat kerumitan tersebut, sehingga <i>Perceived Ease of Use</i> (PEOU) meningkat dan

Lanjutan Tabel 2. Matriks Pemetaan Data Adopsi Teknologi Konstruksi (TAM & DoI Framework)

No	Kategori Temuan (Kendala & Solusi) berdasarkan Jurnal	Kategori Teori TAM	Kategori Teori DoI	Interpretasi Analisis (Sintesis)
	lapangan (Jurnal 1, 2, 3, 5, 10).			mempercepat niat adopsi.
2	Budaya Organisasi: Resistensi & Kesadaran (<i>Awareness</i>) - Kendala: Gagap teknologi, rendahnya kesadaran metodologi baru, serta tingginya resistensi migrasi dari sistem konvensional/2D CAD ke digital (Jurnal 2, 4, 8, 9, 10). - Solusi: Sosialisasi/edukasi berkala, keterbukaan budaya belajar, pembentukan posko bantuan (<i>helpdesk</i>) (Jurnal 1, 4, 5, 8).	<i>Perceived Usefulness</i> (PU): Rendahnya kesadaran menurunkan persepsi kemanfaatan. <i>Attitude Towards Using</i>: Menolak karena zona nyaman.	<i>Compatibility</i>: Ketidaksesuaian nilai dan kebiasaan kerja konvensional saat ini dengan sistem digital baru.	Budaya industri konstruksi masih memiliki <i>Compatibility</i> yang rendah terhadap digitalisasi. Resistensi individu muncul karena metode baru dianggap mengganggu kenyamanan kerja konvensional. Kampanye kesadaran dan <i>helpdesk</i> terbukti efektif mengubah sikap (<i>Attitude</i>) negatif menjadi positif.
3.	Ekonomi & Finansial: Biaya Investasi Awal - Kendala: Tingginya modal investasi awal untuk pembelian lisensi <i>software</i> resmi, peningkatan spesifikasi <i>hardware</i>/TI, serta biaya pelatihan staf yang mahal (Jurnal 2, 4, 5, 9). - Solusi: Alokasi anggaran jangka panjang perusahaan dan investasi infrastruktur TI terarah (Jurnal 2, 9).	<i>Perceived Ease of Use</i> (PEOU): Faktor biaya yang membebani dipersepsikan sebagai "usaha keras" eksternal sistem.	<i>Trialability</i>: Rendahnya kemampuan uji coba skala kecil karena komitmen biaya awal terlampau tinggi.	Investasi finansial yang besar membatasi aspek <i>Trialability</i> organisasi (perusahaan tidak bisa mencoba BIM setengah-setengah tanpa membeli lisensi mahal). Akibatnya, faktor ekonomi bertindak sebagai penghambat eksternal yang menekan kemudahan keputusan adopsi (PEOU).
4.	Justifikasi Ekonomi: Bukti Finansial & ROI - Kendala: Keengganan pemilik proyek (developer) berinvestasi akibat keraguan profitabilitas (Jurnal 4, 5). - Solusi: Analisis manfaat-biaya (CBA), pembuktian penghematan biaya melalui analisis <i>life-cycle cost</i>, skema	<i>Perceived Usefulness</i> (PU): Pembuktian nilai ekonomi meningkatkan keyakinan atas kemanfaatan teknologi.	<i>Relative Advantage</i>: Keunggulan finansial jangka panjang (efisiensi operasional) dibanding metode lama. <i>Observability</i>: Hasil hemat terlihat nyata.	Pemilik proyek enggan mengadopsi karena hasil keuntungan belum terlihat jelas (<i>Observability</i> rendah). Melalui instrumen analisis <i>life-cycle cost</i> dan pembuktian empiris, <i>Relative Advantage</i> (keunggulan biaya jangka panjang) dapat tervisualisasi, yang secara langsung mendongkrak

Lanjutan Tabel 2. Matriks Pemetaan Data Adopsi Teknologi Konstruksi (TAM & DoI Framework)

No	Kategori Temuan (Kendala & Solusi) berdasarkan Jurnal	Kategori Teori TAM	Kategori Teori DoI	Interpretasi Analisis (Sintesis)
	insentif, dan material lokal (Jurnal 1, 5).			<i>Perceived Usefulness</i> (PU) di mata investor.
5.	Institusional: Regulasi & Kebijakan Pemerintah - Kendala: Lemahnya acuan hukum di tingkat daerah, belum adanya kebijakan wajib (<i>mandatory</i>), ketiadaan klausul standarisasi dalam dokumen kontrak proyek publik (Jurnal 3, 5, 8, 9). - Solusi: Penerbitan regulasi tegas (RUU/Perda/Keputusan Kepala Daerah), standarisasi baku nasional, dan kewajiban klausul kontrak publik (Jurnal 1, 3, 5, 8, 9).	<i>Behavioral Intention</i> (Niat Perilaku): Tekanan luar yang langsung memaksa niat penggunaan tanpa perlu menunggu kesiapan internal.	<i>Compatibility</i> : Penyelarasan inovasi dengan sistem hukum kontrak pengadaan nasional/institusional.	Ketiadaan payung hukum menciptakan kekosongan <i>Compatibility</i> institusional. Solusi berupa intervensi regulasi pemerintah (<i>coercive pressures</i>) memaksa terciptanya keselarasan hukum. Regulasi wajib ini memotong proses keraguan individu dan langsung mengarahkan pada <i>Behavioral Intention</i> (keharusan mengadopsi).
6.	Teknis & Interoperabilitas Perangkat Lunak - Kendala: Sistem terpisah (<i>spreadsheet</i>, gambar 2D manual), risiko <i>human error</i> tinggi, lambat merespons fluktuasi krisis, ketidakmampuan integrasi data <i>real-time</i> (Jurnal 7, 9, 10). - Solusi: Otomatisasi output (BBS), pemodelan 3D detail, integrasi multi-dimensi (3D, 4D, 5D), ekosistem terpusat (<i>centralized system</i>), optimasi <i>software</i> pemotong besi (Jurnal 7, 9, 10).	<i>Perceived Usefulness</i> (PU): Otomatisasi data dan ketahanan krisis <i>real-time</i> sangat menaikkan utilitas sistem. <i>Perceived Ease of Use</i> (PEOU): Otomatisasi menekan pengerjaan berulang.	<i>Relative Advantage</i>: Keunggulan otomatisasi mutlak dibandingkan metode manual rawan galat. <i>Complexity</i>: Reduksi kerumitan melalui integrasi terpusat.	Hambatan teknis berupa tidak sinkronnya data manual merepresentasikan tingginya <i>Complexity</i> kerja. Solusi integrasi multidimensi (3D-4D-5D) dan sistem terpusat menawarkan <i>Relative Advantage</i> yang masif karena memotong <i>waste material</i> dan mendongkrak efisiensi waktu pengerjaan. Hal ini memperkuat <i>Perceived Usefulness</i> (PU) dan <i>Perceived Ease of Use</i> (PEOU) secara simultan bagi para <i>engineer</i> di lapangan.

Berdasarkan hasil sintesis dan kategorisasi data menggunakan integrasi kerangka kerja *Technology Acceptance Model* (TAM) dan *Diffusion of Innovations* (DoI) pada tabel matriks di atas, dapat diidentifikasi pola-pola kritis yang memengaruhi dinamika adopsi teknologi konstruksi digital di

lapangan. Untuk memberikan analisis yang lebih terstruktur dan mendalam bagi arah kebijakan industri, berikut dijabarkan poin-poin mendasar mengenai tantangan yang dihadapi, peluang yang dapat dieksplorasi, serta solusi strategis yang ditawarkan:

Tantangan

1. Tingginya Persepsi Kerumitan (*Complexity*). Keterbatasan kompetensi dan minimnya tenaga ahli dalam mengoperasikan fitur multidimensi memicu anggapan bahwa teknologi digital terlalu rumit untuk diterapkan di lapangan.
2. Rendahnya Keselarasan Budaya (*Compatibility*). Terdapat resistensi kuat dari pelaku industri dan pekerja lapangan yang enggan keluar dari zona nyaman metode konvensional, seperti gambar 2D CAD dan dokumen manual ke ekosistem digital yang terintegrasi.
3. Keterbatasan Kemampuan Uji Coba (*Trialability*). Tingginya modal awal untuk membeli lisensi perangkat lunak resmi, meningkatkan spesifikasi perangkat keras, dan membiayai pelatihan membuat organisasi kecil enggan berinvestasi. Mereka kesulitan menguji coba teknologi ini dalam skala kecil tanpa komitmen finansial yang besar.
4. Belum adanya mandat yang jelas, payung hukum di tingkat daerah, atau standarisasi nasional yang mewajibkan penggunaan teknologi modern ini di dalam dokumen kontrak proyek publik.

Peluang

1. Meningkatkan Keunggulan Relatif (*Relative Advantage*). Penerapan pemodelan 3D yang detail dan otomatisasi pengeluaran data seperti perhitungan besi tulangan (*Bar Bending Schedule/BBS*), berpeluang besar memangkas pengerjaan ulang (*rework*) serta menekan risiko kesalahan akibat kelalaian manusia (*human error*).
2. Mewujudkan Ketahanan Proyek Terintegrasi (*Perceived Usefulness*). Integrasi multidimensi antara data visual (3D), penjadwalan (4D), dan manajemen biaya (5D) dalam satu ekosistem terpusat memudahkan manajemen untuk merespons fluktuasi

harga material secara langsung (*real-time*), terutama saat situasi krisis.

3. Justifikasi Investasi Berbasis Data. Melalui analisis biaya-manfaat (*cost-benefit analysis*) dan analisis biaya siklus hidup (*life-cycle cost analysis*), industri dapat membuktikan efisiensi operasional jangka panjang dari bangunan hijau atau digital. Hal ini penting untuk menarik minat para investor.
4. Akselerasi Difusi Inovasi Lewat Kompetisi. Fleksibilitas manajemen dalam merekayasa ulang proses bisnis serta dorongan untuk meniru keberhasilan kompetitor (*mimetic pressures*) dapat dimanfaatkan sebagai momentum untuk mempercepat adopsi teknologi secara massal.

Solusi

1. Intervensi Kompetensi Makro dan Mikro. Melibatkan institusi pendidikan tinggi dalam pembaruan kurikulum teknik, serta menyelenggarakan pelatihan intensif dan sertifikasi keahlian secara berkala demi meningkatkan persepsi kemudahan penggunaan (*Perceived Ease of Use*).
2. Penguatan Tekanan Mandat Pemerintah (*Coercive Pressures*). Mendorong pemerintah daerah untuk segera menerbitkan aturan tegas (seperti Perda atau Perkada) yang bersifat wajib (*mandatory*), serta memasukkan klausul penggunaan teknologi digital ke dalam dokumen kontrak proyek publik berskala besar.
3. Investasi Infrastruktur TI dan Sistem Terpusat. Memperkuat infrastruktur teknologi informasi secara terarah, mengalokasikan anggaran jangka panjang untuk lisensi perangkat lunak terintegrasi, dan membangun ekosistem data terpusat (*centralized system*).
4. Penyediaan Dukungan Teknis Langsung (*Helpdesk*). Menyediakan layanan bantuan (*helpdesk*) atau posko asistensi di kantor dinas terkait untuk mendampingi serta memandu para

praktisi yang mengalami kendala teknis saat mengoperasikan sistem atau aplikasi baru.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis mendalam dan sintesis teoretis yang mengintegrasikan kerangka kerja *Technology Acceptance Model* (TAM) dan *Diffusion of Innovations* (DoI) terhadap seluruh temuan mengenai tantangan, peluang, serta solusi digitalisasi konstruksi, maka dapat ditarik tiga poin kesimpulan utama sebagai berikut.

1. Sinkronisasi antar Faktor Makro-Sistematik (DoI) dan Faktor Mikro-Psikologis (TAM). Keberhasilan adopsi teknologi digital seperti BIM tidak hanya ditentukan oleh kecanggihan alat, melainkan oleh kesiapan sistem dan persepsi penggunaanya. Hambatan makro—seperti tiadanya regulasi dan ketidaksesuaian budaya kerja (*compatibility*)—secara langsung menurunkan persepsi individu terhadap kemudahan (*perceived ease of use*) dan kemanfaatan (*perceived usefulness*) teknologi. Efisiensi biaya dan waktu baru dapat dicapai secara massal jika ada intervensi struktural yang mampu menekan kerumitan (*complexity*), sehingga menumbuhkan niat bertindak (*behavioral intention*) yang positif untuk beralih ke digital.
2. Urgensi Sinergi Multi Pemangku Kepentingan dalam Mempercepat Difusi Inovasi. Karena tantangan konstruksi bersifat multidimensi (kompetensi, finansial, dan hukum), solusinya tidak bisa dijalankan secara parsial. Diperlukan kolaborasi terarah: Pemerintah berperan vital memberikan tekanan mandat (*coercive pressures*) lewat regulasi wajib; Institusi Akademik bertanggung jawab memitigasi kesenjangan keahlian lewat pembaruan kurikulum demi meningkatkan kemudahan penggunaan; sedangkan Sektor Swasta aktif membuktikan keunggulan relatif

(*relative advantage*) dari segi finansial (*Return on Investment/ROI*) melalui kesuksesan proyek di lapangan.

3. Pergeseran Paradigma Menuju Penguatan Kapabilitas Manusia dan Institusional. Transformasi digital yang berkelanjutan menuntut perubahan fokus, dari pendekatan instrumental (sekadar pengadaan *hardware* dan *software*) menjadi pendekatan yang berpusat pada manusia (*human-centric*) dan legalitas. Hambatan modal awal dan resistensi budaya hanya bisa dikikis melalui komitmen anggaran jangka panjang untuk infrastruktur TI, layanan bantuan (*helpdesk*), dan jaminan hukum dalam kontrak. Penguatan ini akan mengubah keraguan industri menjadi peluang untuk menciptakan sistem konstruksi yang transparan, minim pemborosan material, dan tangguh.

Secara garis besar, penataan kembali aspek psikologis pengguna di tingkat mikro yang didukung secara linear oleh penguatan regulasi di tingkat makro akan menjadi determinan utama dalam keberlanjutan digitalisasi ini. Dengan komitmen sinergis tersebut, adopsi teknologi tidak akan lagi dipandang sekadar sebagai beban investasi operasional, melainkan sebuah instrumen strategis yang esensial demi mewujudkan industri konstruksi nasional yang efisien, adaptif, dan berdaya saing global di masa depan

Daftar Pustaka

- Andani, E. M., & Windari, A. C. (2025). *Evaluasi Penerapan Kinerja Bangunan Gedung Hijau Melalui Audit Konstruksi pada Proyek Perumahan Nasional di Purwakarta*. 13(2), 253–266.
- Arman, U. D., Sari, A., & Leilany, L. (2023). *The Constraint Factors for Implementation of Green Construction Concept in Building Development Project in West Sumatra Province*. 10(3), 890–898.
- Christophorus, J., Linggo, X., Studi, P., Teknik, S., Tarumanagara, U., Studi, P., Teknik, S., & Tarumanagara, U. (2023). *IDENTIFIKASI TANTANGAN DALAM PENERAPAN GREEN*

- BUILDING DI JAKARTA*. 6(4), 907–912.
- Henong, S. B., & Naikofi, M. R. (2021). Analisis Faktor Penyebab Construction Waste dan Pengelolaannya Serta Dampaknya Terhadap Biaya. *Deformasi*, 6, 60–69.
- Iman, S., Jubaedah, E., Sobandi, B., Penataan, D., & Kota, R. (2021). *Strategi Implementasi Kebijakan Bangunan Gedung Hijau di Kota Bandung*. 2, 61–70.
- Lay, D. P., Alrasyid, H., & Nurhidayah. (2026). Readiness for the Implementation of Building Information Modeling (BIM) in Controlling Construction Costs for Public Works Projects During a Crisis in Timor-Leste. *Academia Open*, 11(1), 1–12. <https://doi.org/10.21070/acopen.11.2026.14086>
- Lin, Y., Khongsomchit, L., Kaewunruen, S., & Plummer, P. (2025). *Challenges and barriers in BIM adoption and implementation in railways*. November, 1–20. <https://doi.org/10.3389/fbuil.2025.1714009>
- Mahardika, D., & Windari, A. C. (2025). *Penerapan Building Information Modelling (BIM) dalam Peningkatan Efisiensi dan Keberlanjutan pada Proyek High-Rise Building di Indonesia*. 5, 2455–2462.
- Mieslenna, C. F., & Wibowo, A. (2019). *MENGEKSPLORASI PENERAPAN BUILDING INFORMATION MODELING (BIM) PADA INDUSTRI KONSTRUKSI INDONESIA DARI PERSPEKTIF PENGGUNA*. 44–58.
- Olatunji, I. (2022). *IoT in bridge and highway structural health monitoring*. February.
- Rengkuan, F. H., Kairupan, & Bulu, L. (2025). *IMPLEMENTASI SISTEM INFORMASI MANAJEMEN BANGUNAN GEDUNG (SIMBG) PADA DINAS PEKERJAAN UMUM DAN PENATAAN RUANG KABUPATEN MINAHASA UTARA*. Indonesian Institute For Corporate Learning And Studies (IICLS), 6, 604–611.
- Riyadi, I. C., Husin, N. A., & Rahardjo, B. (2026). *Assessment of Site Development Compliance with GBC Indonesia GreenShip Criteria in a Technology Office Complex*. 8(2), 1–14.
- Riyadi, S., Muhammad, F., Taqwa, L., Brillianto, A. G., & Simanjuntak, M. R. A. (2024). *Analisis Implementasi Teknologi Building Information Modelling (BIM) pada Tahap Perencanaan Bangunan Gedung Istana Kepresidenan Ibu Kota Nusantara (Studi Kasus PT Yodya Karya, Persero)*. 8(2), 279–288.
- Rogers, E. M. (2003). *Diffusion of Innovation*, 5th Edition. Free Press.
- Salsabila, S., & Apdeni, R. (2025). *IMPLEMENTASI BUILDING INFORMATION MODELING (BIM) DALAM PERHITUNGAN VOLUME BESI TULANGAN DAN BAR BENDING SCHEDULE (STUDI KASUS: PEMBANGUNAN RUMAH SAKIT X)*. 6, 449–455.
- Sekarsari, J. (2019). *FAKTOR YANG MEMENGARUHI PENERAPAN BUILDING INFORMATION*. 2(4), 241–248.
- Utomo, F. R., & Rohman, M. A. (2019). *The Barrier and Driver Factors of Building Information Modelling (BIM) Adoption in Indonesia: A Preliminary Survey*. 5.