

KAJIAN LITERATUR SISTEMATIS MENGENAI KONSEP TEKNOLOGI INFORMASI DALAM INDUSTRI KONSTRUKSI SERTA MANFAAT PENDEKATAN TI YANG PRAGMATIS

Firmino Fitrino Ximenes

Program Studi Magister Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Atma Jaya Yogyakarta
Jl. Babarsari No.44 Yogyakarta 55281

Email: 245119768@students.uajy.ac.id

(Artikel dikirim: 11 Juli 2025, Direvisi: 15 Juli 2025, Diterima: 27 Oktober 2025)

DOI: <http://dx.doi.org/10.30742/axial.v13i3.4681>

ABSTRAK: Transformasi digital dalam industri konstruksi telah menjadi kebutuhan mendesak dalam menghadapi tantangan efisiensi, kompleksitas proyek, serta tuntutan keberlanjutan. Namun, proses adopsi teknologi informasi (*information technology*) di sektor ini masih menghadapi berbagai kendala, terutama di negara berkembang. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi konsep dan sistem TI yang telah diterapkan di industri konstruksi serta mengevaluasi manfaat dari pendekatan pragmatis dalam pengembangannya. Metode yang digunakan adalah *Systematic Literature Review* (SLR) berbasis kerangka kerja PICo, dengan menganalisis 34 artikel dari database *scopus* (2019–2025). Hasil menunjukkan bahwa *Building Information Modeling* (BIM) merupakan teknologi paling dominan, digunakan dalam 44% artikel, diikuti oleh IoT dan *Construction 4.0* (masing-masing 14%), serta AI dan *computer vision* (12%). Kontribusi utama yang paling banyak ditemukan adalah peningkatan efisiensi dan produktivitas (32,1%), diikuti oleh pengembangan *framework/metodologi baru* (21,4%). Sementara itu, kelemahan paling umum adalah keterbatasan validasi empiris (39,1%). Pendekatan pragmatis terbukti efektif dalam menyesuaikan teknologi dengan kondisi lokal dan meningkatkan keberhasilan implementasi. Studi ini memberikan gambaran tematik dan kuantitatif sebagai dasar strategi adopsi teknologi informasi konstruksi, khususnya di Indonesia.

KATA KUNCI: *BIM, Digitalisasi Konstruksi, Efisiensi Proyek, Industri Konstruksi, Teknologi Informasi.*

1. PENDAHULUAN

Industri konstruksi merupakan salah satu pilar utama pembangunan infrastruktur dan ekonomi suatu negara. Kompleksitas proyek konstruksi yang melibatkan berbagai pihak, sumber daya, serta proses yang dinamis, menjadikan sektor ini sangat rentan terhadap risiko keterlambatan, pembengkakan biaya, dan ketidakefisiuran. Dalam menghadapi tantangan tersebut, pemanfaatan teknologi informasi (TI) menjadi semakin penting untuk mendukung transformasi digital yang lebih adaptif dan terukur. TI telah menunjukkan kemampuan dalam memperbaiki kualitas perencanaan, pelaksanaan, hingga pengendalian proyek secara *real-time* melalui integrasi data lintas sektor, otomatisasi proses, dan visualisasi informasi berbasis digital (Singh et al., 2025).

Seiring dengan berkembangnya berbagai teknologi seperti *Building Information Modeling* (BIM), *Internet of Things* (IoT), dan *Artificial Intelligence* (AI), sektor konstruksi global mulai mengalami pergeseran menuju proses kerja yang lebih *data-driven* dan kolaboratif. Studi-studi terdahulu menunjukkan bahwa penerapan teknologi seperti BIM dapat meningkatkan

efisiensi desain hingga 40%, mengurangi kesalahan manusia sebesar 25%, dan mempercepat penyelesaian proyek hingga 30% (Hu et al., 2021; Turkyilmaz et al., 2024). Tetapi dengan demikian, kenyataan di lapangan menunjukkan bahwa adopsi teknologi ini masih bersifat parsial dan tidak merata, terutama di negara-negara berkembang. Banyak perusahaan konstruksi yang belum memiliki kesiapan infrastruktur digital maupun kemampuan sumber daya manusia yang memadai untuk mendukung transformasi menyeluruh.

Kesenjangan antara potensi teknologi dan realisasi penerapannya mencerminkan adanya hambatan mendasar dalam proses adopsi TI. Permasalahan seperti resistensi terhadap perubahan, kurangnya integrasi antar sistem, serta tingginya biaya awal implementasi menjadi faktor penghambat utama (Bao et al., 2025; Uvarova et al., 2023). Selain itu, banyak pendekatan penerapan TI yang terlalu teoritis atau berbasis sistem kompleks, sehingga sulit diadaptasi oleh perusahaan kecil dan menengah yang memiliki keterbatasan sumber daya. Hal ini menimbulkan kebutuhan akan pendekatan alternatif yang lebih fleksibel dan kontekstual.



KAJIAN LITERATUR SISTEMATIS MENGENAI KONSEP TEKNOLOGI INFORMASI DALAM INDUSTRI KONSTRUKSI SERTA MANFAAT PENDEKATAN TI YANG PRAGMATIS

(Firmino Fitrino Ximenes)

Salah satu pendekatan yang mulai mendapat perhatian adalah *pragmatic approach* sebuah strategi yang menekankan pada penerapan teknologi secara bertahap, sesuai kebutuhan dan kapasitas organisasi, serta berfokus pada hasil nyata di lapangan. Pendekatan ini berbeda dari pendekatan formal yang seringkali idealistik dan kurang responsif terhadap tantangan operasional di sektor konstruksi. Sayangnya, literatur yang membahas secara mendalam manfaat dan strategi penerapan pendekatan pragmatis dalam konteks teknologi informasi di industri konstruksi masih terbatas. Sebagian besar penelitian lebih fokus pada efektivitas teknologi itu sendiri tanpa mempertimbangkan bagaimana teknologi tersebut diadaptasi dalam kondisi organisasi yang beragam (Arayici et al., 2012; Gledson et al., 2024).

Sebagai contoh, beberapa studi yang dilakukan di negara maju seperti Inggris, Norwegia, dan Korea Selatan menggarisbawahi keberhasilan integrasi TI dalam proyek besar. Namun, konteks sosial, ekonomi, dan budaya di negara-negara tersebut sangat berbeda dengan negara berkembang seperti Indonesia, di mana infrastruktur digital belum merata, kebijakan belum mendukung penuh, dan literasi teknologi di kalangan pekerja konstruksi masih rendah (Adekunle et al., 2024; Liu, Z., Osmani, M., Demian, P., & Baldwin, 2024). Oleh karena itu, riset yang memfokuskan pada penerapan teknologi berbasis pendekatan pragmatis dengan mempertimbangkan konteks lokal menjadi sangat penting.

Dalam konteks Indonesia, transformasi digital dalam sektor konstruksi masih berada pada tahap awal. Meskipun beberapa perusahaan besar telah mulai mengadopsi BIM dan perangkat lunak manajemen proyek berbasis cloud, sebagian besar pelaku industri konstruksi, terutama perusahaan menengah ke bawah, masih bergantung pada metode manual dan dokumentasi konvensional. Selain itu, belum ada pedoman teknis nasional yang mengatur secara rinci implementasi teknologi informasi di sektor ini. Hal ini menjadikan kebutuhan akan studi yang membahas bagaimana penerapan TI dapat disesuaikan dengan karakteristik industri lokal menjadi semakin relevan dan mendesak. Penelitian ini hadir untuk mengisi kekosongan tersebut dengan tujuan untuk menjawab dua pertanyaan penelitian, yaitu: (RQ1) konsep dan sistem teknologi informasi yang telah diterapkan dalam industri konstruksi untuk mendukung pelaksanaan proyek, serta (RQ2) manfaat yang diperoleh dari penerapan pendekatan pragmatis dalam pengembangan dan implementasi teknologi informasi di perusahaan konstruksi.

Dengan menggunakan metode *Systematic Literature Review (SLR)* dan kerangka kerja PICo (*Population, Interest, Context*).

Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi ilmiah dan praktis bagi pemangku kepentingan industri konstruksi, termasuk kontraktor, konsultan, pengembang, maupun regulator. Lebih dari itu, temuan dari studi ini dapat membantu mendorong kebijakan yang lebih adaptif terhadap perubahan teknologi serta mengarah pada sistem manajemen proyek yang lebih tangkas, efisien, dan berkelanjutan dengan tetap mempertahankan prinsip-prinsip pragmatis yang sesuai dengan kebutuhan lokal dan keterbatasan yang ada.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan *Systematic Literature Review (SLR)* sebagai metode utama. Pemilihan metode SLR didasarkan pada kebutuhan untuk mengidentifikasi, mengevaluasi, dan mensintesis seluruh bukti penelitian yang relevan dengan cara sistematis, transparan, dan dapat direplikasi. Pendekatan ini cocok diterapkan dalam kajian akademik yang bertujuan untuk menjawab pertanyaan penelitian secara komprehensif melalui analisis berbagai publikasi ilmiah. Staffs (2007) merekomendasikan metode SLR sebagai pendekatan yang efektif untuk mengurangi bias dalam peninjauan pustaka serta meningkatkan kualitas sintesis ilmiah, terutama dalam bidang teknologi dan teknik.

Penelitian dilaksanakan melalui tiga tahapan utama sesuai pedoman SLR: perencanaan kajian, pelaksanaan kajian, dan pelaporan hasil.

2.1 Fase Pertama Perencanaan

Sebelum memulai pencarian data, langkah awal adalah mendefinisikan cakupan tinjauan literatur, dengan menggunakan kerangka kerja PICo. PICo adalah singkatan dari (*Population, phenomenon of Interest, and Context*) Kerangka ini dipakai untuk tinjauan literatur sistematis dengan pendekatan kualitatif. Penjelasan mengenai kerangka PICo dalam konteks penelitian ini dijelaskan pada **Tabel 1**.

Tabel 1 Kerangka PICo

Kriteria	Deskripsi
<i>Population</i>	Perusahaan konstruksi dan pelaku industri konstruksi
<i>Interest</i>	Penggunaan dan pengembangan konsep teknologi informasi
<i>Context</i>	Penerapan pendekatan pragmatis dalam

pengembangan dan implementasi teknologi informasi di sektor konstruksi
--

Sumber: Hasil Olahan

2.2 Fase kedua Melaksanakan Kajian

a. Strategi Pencarian

Strategi pencarian bertujuan untuk menemukan literatur yang relevan guna menjawab pertanyaan penelitian (*Research Questions / RQs*). Terdapat tiga tahapan dalam strategi pencarian ini, yaitu:

- 1) Identifikasi Kata Kunci dan Penentuan *Search String*

Kata kunci ditentukan berdasarkan tujuan penelitian, yaitu terkait penggunaan berbagai konsep teknologi informasi dalam industri konstruksi serta manfaat dari pendekatan pragmatis dalam pengembangan dan implementasinya. Adapun kata kunci yang digunakan dalam pencarian literatur ini meliputi dalam **Tabel 2**.

Tabel 2 Kata Kunci (*Keyword*)

Topik	Kata Kunci
Objek	"construction industry",
Kajian	"construction company",
	"construction project"
Intervensi / Teknologi	"information technology", "IT system", "digital tools", "smart construction", "construction software"
Manfaat / Efisiensi	"pragmatic approach", "pragmatism", "IT benefits", "efficiency", "flexibility", "cost-effectiveness"

Sumber: Hasil Olahan

Kata kunci tersebut dikombinasikan menggunakan operator *Boolean* (AND, OR) untuk membentuk *search string* yang tepat dalam pencarian pada basis data akademik. Kombinasi kata kunci yang digunakan adalah:
 ("construction industry" OR "construction project") AND ("information technology" OR "digital tools" OR "smart construction") AND ("pragmatic approach" OR "efficiency" OR "IT benefits")

2) Sumber Data (*Data Sources*)

Pencarian literatur dilakukan melalui *database* ilmiah yang kredibel, yaitu *scopus*. Rentang waktu publikasi yang digunakan adalah dari tahun 2019 hingga 2025 guna memastikan keterkinian studi yang dianalisis.

3) Proses Pencarian pada Sumber Data (*Search Process in Data Sources*)

Kata kunci dan *search string* diterapkan pada *database* pencarian *scopus*.

b. Kriteria Inklusi dan Eksklusi untuk Seleksi Studi

Literatur yang diperoleh dari hasil pencarian disaring menggunakan kriteria inklusi dan eksklusi. Proses seleksi dilakukan dengan meninjau judul dan abstrak, untuk memastikan relevansi terhadap pertanyaan penelitian (RQ), **Tabel 3**.

Tabel 3 Kriteria Inklusi dan Eksklusi

Kriteria	Inklusi	Eksklusi
Jenis Publikasi	Artikel jurnal ilmiah, prosiding konferensi	Artikel non-ilmiah, opini, blog, editorial
Tahun Terbit	Tahun 2019–2025 (terbit dalam 7 tahun terakhir)	Terbit sebelum tahun 2019
Bahasa	Bahasa Inggris	Bahasa selain Inggris
Topik	Membahas penggunaan teknologi informasi dalam industri konstruksi	Tidak terkait dengan industri konstruksi atau teknologi informasi
Pendekatan	Mengulas atau menyebut pendekatan pragmatis, efisiensi, atau implementasi nyata	Hanya membahas teori TI tanpa aplikasi kontekstual
Relevansi Tujuan	Menjawab pertanyaan tentang konsep IT dan manfaat pendekatan pragmatis	Tidak relevan dengan dua tujuan penelitian utama

Sumber: Hasil Olahan

c. Penilaian *Quality Assessment*

Setelah literatur disaring, penilaian kualitas dilakukan untuk memastikan studi yang dipilih memiliki validitas dan relevansi yang tinggi terhadap fokus penelitian. Penilaian ini dilakukan dengan menjawab lima pertanyaan, masing-masing diberi skor: 1 = Ya, 0.5 = Sebagian, 0 = Tidak.

Pertanyaan penilaian kualitas disusun berdasarkan adaptasi dari CASP (2018), JBI (2020), dan Kitchenham et al. (2009), serta disesuaikan dengan konteks evaluasi informasi teknologi. Pertanyaan Penilaian Kualitas (*Quality Assessment*) dapat dilihat dalam **Tabel 4**.

Tabel 4 Pertanyaan *Quality Assessment*

No.	Pertanyaan <i>Quality Assessment</i>
Q1	Apakah studi secara eksplisit

KAJIAN LITERATUR SISTEMATIS MENGENAI KONSEP TEKNOLOGI INFORMASI DALAM INDUSTRI KONSTRUKSI SERTA MANFAAT PENDEKATAN TI YANG PRAGMATIS
(Firmino Fitrino Ximenes)

	membahas penerapan teknologi informasi dalam industri konstruksi?
Q2	Apakah studi menjelaskan konsep, sistem, atau alat IT tertentu yang digunakan dalam proyek konstruksi?
Q3	Apakah studi menyoroti dampak atau manfaat dari penerapan teknologi informasi dalam praktik nyata?
Q4	Apakah pendekatan pragmatis atau fleksibel dalam penggunaan teknologi dibahas dalam konteks konstruksi?
Q5	Apakah metodologi penelitian dijelaskan dengan jelas dan dapat dipercaya (misal studi kasus, survei, eksperimen)

Skor penilaian ini digunakan sebagai dasar untuk menyaring studi yang akan dianalisis lebih lanjut dalam tahap ekstraksi data.

d. Ekstraksi Data (*Data Extraction*)

Ekstraksi data dilakukan terhadap studi-studi yang lolos seleksi dan penilaian kualitas. Tujuannya adalah mengumpulkan informasi yang relevan dan mendukung dalam menjawab pertanyaan penelitian. Data yang diekstrak meliputi:

- Judul studi
- Nama penulis
- Tahun publikasi
- Jenis sumber (jurnal, prosiding)
- Temuan utama terkait teknologi, fokus studi, Kontribusi utama, serta kelebihan dan kekurangan
- Pertanyaan penelitian (RQ) yang dijawab oleh studi tersebut
- Informasi yang dikumpulkan pada tahap ini selanjutnya dianalisis untuk menghasilkan sintesis temuan sesuai dengan tujuan penelitian.

2.3 Fase Ketiga Laporan Hasil

Fase ini merupakan tahap ketiga dalam proses *Systematic Literature Review* (SLR) yang berfokus pada penyajian temuan dari literatur yang telah dipilih dan diseleksi melalui proses sebelumnya. Tujuan utama pada fase ini adalah untuk mengorganisasi dan menyajikan hasil kajian yang berkaitan langsung dengan pertanyaan penelitian yang telah dirumuskan sebelumnya.

**a. Gambaran umum Studi yang Terpilih
*(Select Studies Overview)***

Bagian ini menjelaskan proses seleksi akhir dari literatur yang digunakan dalam penelitian.

Proses ini mencakup jumlah total literatur yang ditemukan dari berbagai sumber data, jumlah literatur yang disaring berdasarkan kriteria inklusi dan eksklusi, serta jumlah akhir literatur yang dianggap layak untuk dianalisis berdasarkan penilaian kualitas. Penjelasan ini biasanya didukung dengan tabel atau diagram alur seleksi untuk memberikan gambaran sistematis tentang tahapan pemilihan literatur.

b. Pelaporan Hasil RQ1 (*Result Reporting*)

Bagian ini akan menyajikan hasil analisis literatur yang berkaitan dengan pertanyaan penelitian pertama. Penyajian dilakukan secara tematik atau kategorikal sesuai dengan pola atau tren yang ditemukan dari studi yang telah diseleksi. Fokus utama pada bagian ini adalah menjawab RQ1 secara mendalam dan sistematis.

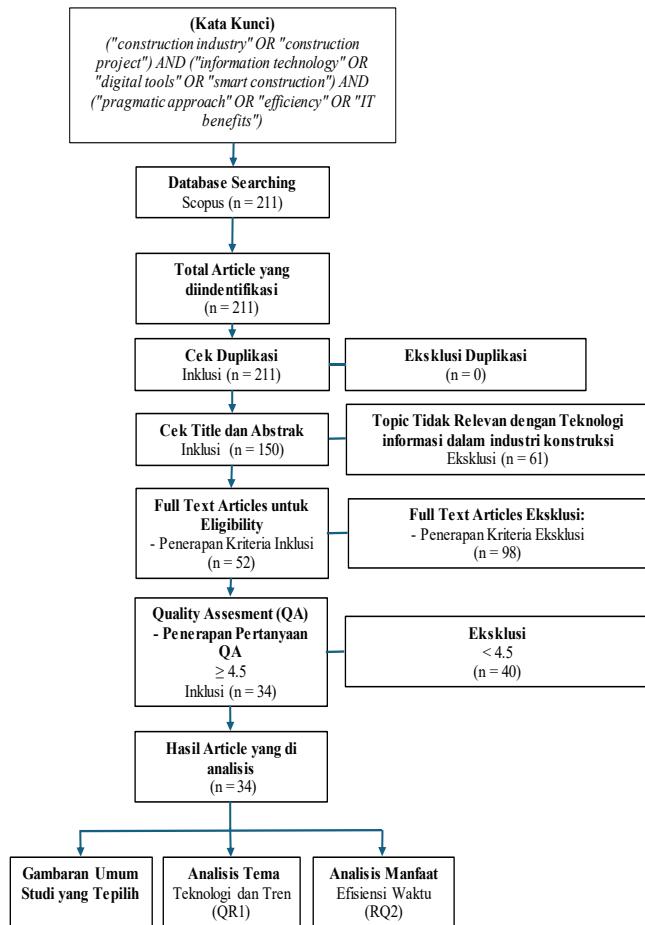
c. Pelaporan Hasil RQ2 (*Result Reporting*)

Bagian ini akan menyajikan hasil analisis literatur yang relevan dengan pertanyaan penelitian kedua. Hasil disusun berdasarkan sintesis informasi dari studi yang relevan dan bertujuan untuk menjelaskan jawaban atas RQ2, baik secara naratif maupun tabel tematik. Informasi yang disampaikan berfokus pada pola, hubungan, atau manfaat utama yang ditemukan dari teknologi dalam konteks penelitian.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Pencarian Data

Alur seleksi sistematis artikel dalam kajian literatur mengenai penerapan teknologi informasi di industri konstruksi. Proses dimulai dengan pencarian artikel menggunakan kata kunci gabungan yang relevan di basis data Scopus, menghasilkan 211 artikel. Seluruh artikel kemudian diperiksa untuk duplikasi, namun tidak ditemukan duplikat. Selanjutnya, dilakukan penyaringan melalui judul dan abstrak, menghasilkan 150 artikel yang memenuhi kriteria awal. Dari jumlah tersebut, hanya 52 artikel yang memenuhi syarat untuk ditinjau secara penuh berdasarkan kriteria inklusi. Tahap berikutnya adalah penilaian kualitas (*Quality Assessment/QA*) dengan menggunakan skor minimal 4,5, yang menghasilkan 34 artikel terpilih untuk dianalisis lebih lanjut. Artikel-artikel ini kemudian dianalisis untuk tiga tujuan utama: memberikan gambaran umum studi yang terpilih, mengidentifikasi tema teknologi dan tren (RQ1), serta mengevaluasi manfaat dalam hal efisiensi waktu (RQ2), seperti ditunjukkan dalam **Gambar 1**.

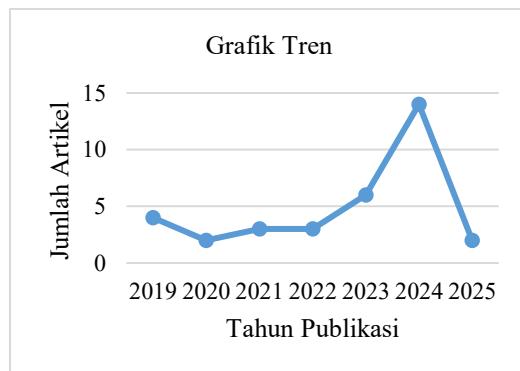
**Gambar 1** Hasil Pencarian data Diagram Prisma

Sumber: Hasil Olahan

3.2 Hasil analisis Untuk RQ1

3.2.1 Distribusi Tahun Publikasi Artikel Terpilih

Distribusi artikel berdasarkan tahun publikasi menunjukkan bahwa topik *IT Concepts in Construction Industry and the Benefits of Pragmatic IT Approaches* mengalami perkembangan yang cukup stabil selama enam tahun terakhir. Jumlah artikel terbanyak ditemukan pada tahun 2024 sebanyak 14 artikel, diikuti oleh tahun 2023 dengan 6 artikel, tahun 2019 dengan 4 artikel, 2021 dan 2022 masing-masing dengan 3 artikel, dan 2020 dan 2025 masing-masing 2 artikel. Ini menunjukkan bahwa ketertarikan terhadap pengembangan teknologi dalam sektor ini memuncak pada periode tersebut, kemungkinan besar seiring dengan peningkatan akses terhadap teknologi cerdas serta meningkatnya kebutuhan efisiensi menejemen komunikasi dalam bisnis industri konstruksi. Untuk lebih jelas terdapat dalam **Gambar 2**.

**Gambar 2** Distribusi Tahun Publikasi Artikel Terpilih

Sumber: Hasil Olahan

3.2.2 Klasifikasi Kategori Teknologi dan Tren Negara

Gambar 3 menunjukkan distribusi penelitian teknologi konstruksi berdasarkan negara dan kategori teknologi yang digunakan. Dari hasil tersebut, terlihat bahwa *China* merupakan negara yang paling dominan dengan total *11 studi*,

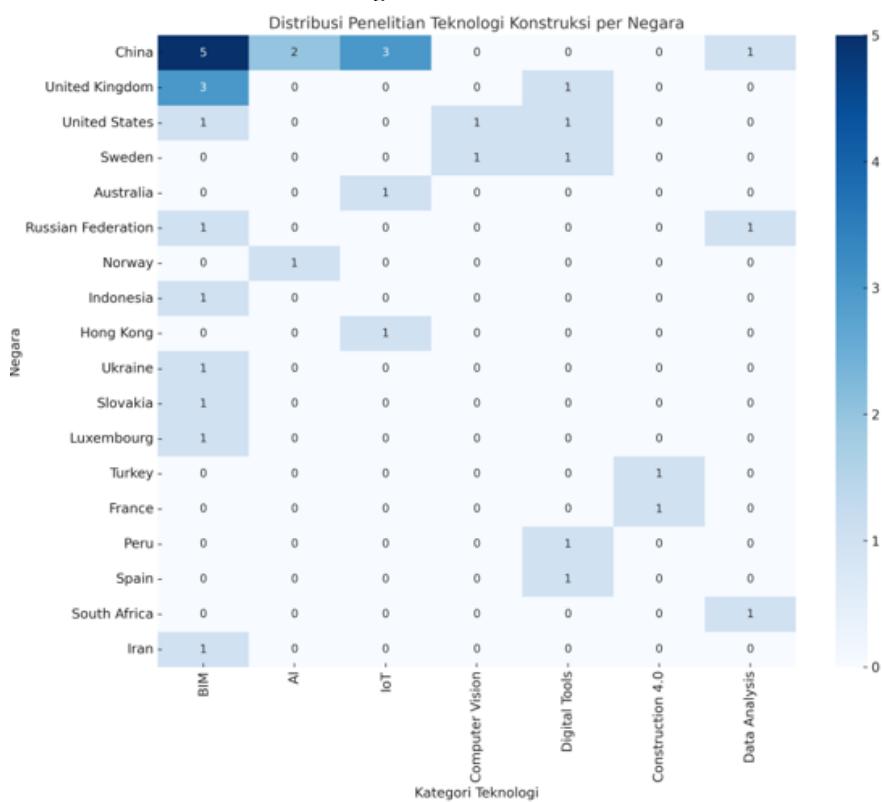
KAJIAN LITERATUR SISTEMATIS MENGENAI KONSEP TEKNOLOGI INFORMASI DALAM INDUSTRI KONSTRUKSI SERTA MANFAAT PENDEKATAN TI YANG PRAGMATIS

(Firmino Fitrino Ximenes)

terutama dalam penggunaan *BIM* (5 studi), *AI* (2 studi), dan *IoT* (3 studi). Disusul oleh *United Kingdom* yang juga cukup aktif, khususnya dalam *BIM* dan *Digital Tools*. Negara-negara lain seperti *United States*, *Sweden*, *Australia*, dan *Hong Kong* menunjukkan ketertarikan terhadap teknologi seperti *Computer Vision*, *IoT*, dan *Digital Tools*, namun dalam jumlah publikasi yang lebih terbatas. Sementara itu, *Indonesia* hanya menyumbang satu penelitian yang berkaitan dengan *BIM*, menandakan masih minimnya keterlibatan negara berkembang dalam publikasi akademik terkait teknologi konstruksi.

Secara keseluruhan, teknologi yang paling banyak diteliti adalah *BIM*, *IoT*, dan *Digital*

Tools, yang mencerminkan fokus global terhadap digitalisasi proses konstruksi. Di sisi lain, kategori seperti *Computer Vision*, *Construction 4.0*, dan *Data Analysis* masih jarang dieksplorasi, menandakan adanya potensi riset lebih lanjut di bidang tersebut. Gambar ini tidak hanya mengungkap ketimpangan geografis dalam distribusi penelitian, tetapi juga memperlihatkan arah perkembangan dan tren teknologi konstruksi masa kini, yang dapat menjadi landasan dalam merancang kebijakan riset atau strategi kolaborasi internasional yang lebih merata.



Gambar 3 Heatmap Kategori teknologi dan Negara

Sumber: Hasil Olahan

3.3 Hasil Analisis Untuk RQ2

3.3.1 Hasil Analisis Tematik

Untuk menjawab pertanyaan penelitian kedua (RQ2), peneliti melakukan analisis tematik terhadap 34 artikel terpilih, dengan mengelompokkannya ke dalam delapan kategori fokus utama. Masing-masing kategori menguraikan fokus studi, kontribusi utama yang ditawarkan oleh setiap artikel, serta kelebihan atau keterbatasan yang masih ditemukan dalam penerapan teknologi informasi (TI) pada sektor

konstruksi. Berikut ini adalah sintesis naratif dari hasil temuan.

a. *Building Information Modeling (BIM) dan Otomatisasi Desain*

Dalam kategori ini, mayoritas studi berfokus pada pengembangan sistem otomasi desain menggunakan teknologi *BIM*. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa kerangka kerja otomatisasi mampu mengurangi waktu desain hingga 40% dan menurunkan kesalahan manusia sebesar 25%, khususnya dalam konteks

perencanaan pelat beton bertulang dan identifikasi benturan desain. Selain itu, algoritma berbasis *machine learning* seperti *BO-XGBoost* digunakan untuk meningkatkan akurasi evaluasi kolaborasi pada konstruksi pracetak, mencapai akurasi prediksi hingga 98%. Kontribusi lain mencakup sistem kalkulasi tulangan berbasis logika *fuzzy* dan integrasi *BIM* dalam desain bangunan hijau yang berpotensi meningkatkan efisiensi energi sebesar 16,7%. Namun, kelemahan utama dari studi-studi ini adalah terbatasnya validasi empiris, baik karena hanya diuji pada satu studi kasus maupun belum dilakukan pengujian dalam skala proyek nyata.

b. Konstruksi Cerdas dan Sistem Otomasi

Studi dalam kategori ini mengeksplorasi integrasi teknologi digital dalam pelaksanaan konstruksi cerdas. Sebuah penelitian menunjukkan bahwa penerapan sistem otomasi berbasis *BIM* dapat meningkatkan efisiensi hingga 65% dan memangkas waktu konstruksi sebesar 30%. Pendekatan modular seperti *Modular Integrated Construction (MiC)* juga dievaluasi dalam bentuk kerangka empat tahap, walaupun tanpa evaluasi kuantitatif terperinci. Penempatan komponen bangunan menggunakan teknologi *laser scanning* menghasilkan arsitektur sistem presisi tinggi, meski belum divalidasi secara lapangan. Kelemahan dominan di kategori ini adalah ketiadaan uji empiris yang komprehensif, serta keterbatasan aplikasi teknologi pada konteks tertentu, seperti Hong Kong dan konstruksi prefabrikasi.

c. Teknologi Pemantauan dan Kontrol Kualitas

Kategori ini mengkaji pemanfaatan TI untuk mendeteksi cacat konstruksi, memantau getaran, serta mengawasi jadwal proyek. Beberapa studi menggabungkan *dataset* hibrida dan teknik *computer vision* yang menghasilkan peningkatan *F1 Score* sebesar 4,4 - 10%, walaupun masih tergolong rendah dalam beberapa kasus. Sistem pemantauan berbasis *Internet of Things (IoT)* dirancang untuk hemat energi dan biaya rendah, tetapi validasinya terbatas pada simulasi laboratorium. Sistem pemantauan aktivitas berbasis kamera *real-time* juga dikembangkan, meskipun cakupan aktivitas masih terbatas. Kelemahan lainnya adalah kurangnya pengujian dalam proyek nyata serta belum adanya pengujian terhadap ancaman *cyber security* untuk sistem *BIM* berbasis kontrol akses kontekstual.

d. Manajemen Proyek dan Kolaborasi Digital

Dalam kategori ini, penelitian berfokus pada integrasi sistem manajemen digital dan kolaborasi lintas pemangku kepentingan. Studi menunjukkan bahwa penggunaan *dashboard* manajemen desain berbasis *web* mampu meningkatkan produktivitas, namun pengujian masih terbatas pada satu organisasi. Beberapa penelitian menggabungkan prinsip *Lean Thinking* dengan *Project Management* melalui model konseptual, serta mengidentifikasi korelasi antara penggunaan *BIM* dan prinsip *Lean Construction*. Selain itu, hambatan kolaborasi dalam rantai pasokan juga dianalisis, namun sebagian besar studi hanya memetakan permasalahan tanpa menyertakan solusi implementatif yang konkret. Mayoritas kontribusi di kategori ini masih bersifat teoretis atau berbasis literatur semata.

e. Teknologi Digital dan Transformasi Industri

Kategori ini berfokus pada dampak teknologi digital terhadap transformasi organisasi konstruksi. Studi-studi yang ada mengevaluasi tingkat kesadaran terhadap teknologi *Construction 4.0* serta mengidentifikasi manfaat penggunaan *digital tools* untuk manajemen informasi dan pengambilan keputusan. Model struktural seperti *Partial Least Squares Structural Equation Modeling (PLS-SEM)* digunakan untuk menguji hubungan antar faktor. Di sisi lain, adopsi *Radio Frequency Identification (RFID)* dianalisis dalam konteks perusahaan Australia, mengidentifikasi tujuh faktor utama yang mempengaruhi implementasi. Meskipun demikian, teknologi spesifik yang dianalisis tidak dijelaskan secara rinci dan sebagian besar data bersifat *self-reported*. Studi ini juga menyoroti kebutuhan akan model bisnis baru di era digital, meskipun pendekatannya masih berbasis studi kasus tunggal tanpa pengukuran efektivitas finansial secara luas.

f. Keberlanjutan dan Ekonomi Sirkular

Studi dalam kategori ini mengeksplorasi peran TI dalam mendukung pembangunan berkelanjutan. *BIM* dikombinasikan dengan prinsip *circular economy* untuk memantau *Key Performance Indicators (KPI)*, serta digunakan dalam platform inventarisasi material dan perencanaan *reuse* dengan integrasi *Life Cycle Assessment (LCA)*. Selain itu, sistem rekomendasi berbasis *Information and Communication Technology (ICT)* dikembangkan untuk mengurangi konsumsi energi, dan kerangka kerja integrasi *BIM* dengan konsep *smart city* juga dikaji dalam kerangka 13 tahun. Meski menunjukkan arah yang menjanjikan, studi-studi ini masih

KAJIAN LITERATUR SISTEMATIS MENGENAI KONSEP TEKNOLOGI INFORMASI DALAM INDUSTRI KONSTRUKSI SERTA MANFAAT PENDEKATAN TI YANG PRAGMATIS

(Firmino Fitrino Ximenes)

terkendala oleh kurangnya validasi pada berbagai jenis proyek dan keterbatasan data kuantitatif, sehingga aplikasinya belum dapat digeneralisasi secara luas.

g. Teknologi Spasial dan Infrastruktur

Pada kategori ini, fokus utama adalah efisiensi infrastruktur melalui pemanfaatan teknologi spasial. Studi menunjukkan bahwa metodologi standardisasi gambar rencana utilitas bawah tanah mampu mencapai tingkat keberhasilan hingga 100%, serta metode identifikasi objek otomatis berbasis *IBPCS* menunjukkan efisiensi dan akurasi tinggi dibandingkan metode sebelumnya. Penelitian lain membahas pelacakan material dalam rantai pasokan dengan menyajikan empat proporsi empiris untuk meningkatkan efisiensi operasional. Meski menjanjikan, sebagian besar kontribusi masih bersifat eksperimental dengan ruang lingkup sempit dan belum melibatkan validasi secara luas dalam proyek nyata.

h. Adopsi dan Implementasi Teknologi

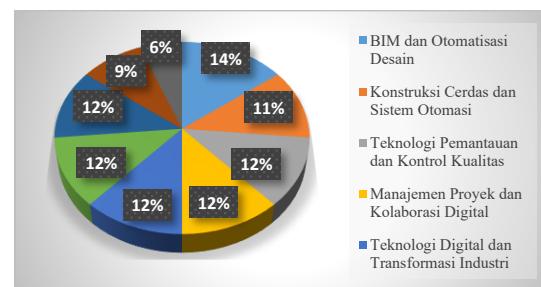
Kategori terakhir mencakup faktor-faktor yang mempengaruhi keberhasilan implementasi teknologi seperti *BIM*, *Artificial Intelligence (AI)*, dan sistem informasi digital. Studi membandingkan praktik adopsi *BIM* di Eropa Timur dan Indonesia, mengidentifikasi ekspektasi kinerja, pengaruh sosial, dan persepsi upaya sebagai faktor signifikan. Penelitian juga membahas kesenjangan antara manfaat potensial dan manfaat aktual dari teknologi *AI* dalam sektor konstruksi, serta bagaimana kepercayaan pengguna menjadi faktor penting dalam penerimaan teknologi baru. Kendati telah mengembangkan kerangka implementasi berbasis budaya organisasi dan manajemen pengetahuan, sebagian besar studi di kategori ini masih berbasis pada jumlah sampel kecil dan studi kasus tunggal, sehingga temuan belum dapat digeneralisasi secara menyeluruh.

3.4 Hasil analisis Estistik

3.4.1 Hasil Distribusi Fokus Studi

Gambar 4 menunjukkan distribusi kategori fokus penelitian dari 34 studi yang dianalisis. *BIM* dan Otomatisasi Desain mendominasi dengan 5 studi (14%), diikuti oleh enam kategori yang masing-masing memiliki 4 studi (12%): Konstruksi Cerdas, Pemantauan Kualitas, Manajemen Proyek Digital, Transformasi Digital, Keberlanjutan, dan Adopsi Teknologi. Teknologi Spasial memiliki proporsi terkecil dengan 3 studi (9%), sementara kategori Lainnya mencakup 2 studi (6%). Distribusi ini menunjukkan bahwa penelitian teknologi

konstruksi cenderung terfokus pada otomatisasi *BIM*, namun dengan sebaran yang relatif merata *across multiple domains*.

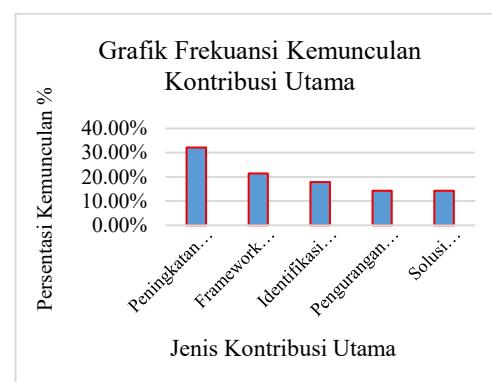


Gambar 4 Hasil Distribusi Fokus Studi

Sumber: Hasil Olahan

3.4.2 Hasil Analisis Frekuensi Kemunculan Kontribusi Utama

Dari hasil analisis yang dilakukan mengkategorikan kontribusi utama studi menjadi lima jenis. Peningkatan Efisiensi dan Produktivitas mendominasi dengan 18 kemunculan (32.1%), mencakup metrik seperti pengurangan waktu desain 40% dan peningkatan efisiensi konstruksi 65%. *Framework* dan Metodologi Baru menempati posisi kedua dengan 12 kemunculan (21.4%). Identifikasi dan Kuantifikasi Faktor berkontribusi 10 kemunculan (17.9%), sementara Pengurangan Kesalahan dan Solusi Teknologi Terintegrasi masing-masing menyumbang 8 kemunculan (14.3%). Data ini menunjukkan bahwa mayoritas penelitian berfokus pada aspek operasional dan efisiensi. Untuk lebih jelas dapat dilihat dalam grafik frekuensi kemunculan kontribusi utama di **Gambar 5**.



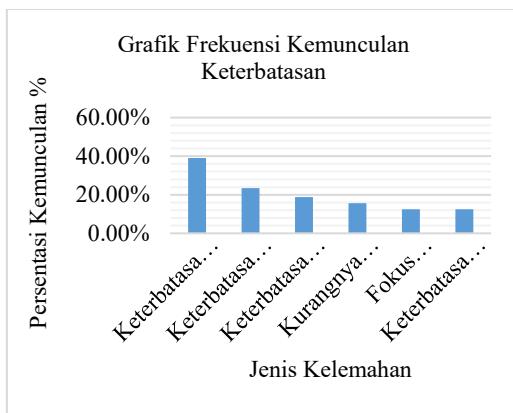
Gambar 5 Hasil Frekuensi kemunculan Kontribusi Utama

(Sumber: Hasil Olahan)

3.4.3 Hasil Analisis Frekuensi Kemunculan Keterbatasan

Hasil analisis frekuensi kemunculan mengidentifikasi enam kategori kelemahan

utama dalam 64 total kemunculan. Keterbatasan Validasi dan Cakupan Studi merupakan kelemahan terbesar dengan 25 kemunculan (39.1%), termasuk validasi terbatas pada satu studi kasus dan belum divalidasi pada proyek nyata. Keterbatasan Metodologi dan Data menyumbang 15 kemunculan (23.4%), diikuti Keterbatasan Implementasi Praktis dengan 12 kemunculan (18.8%). Kurangnya Analisis Komprehensif, Fokus Geografis Terbatas, dan Keterbatasan Teknis masing-masing berkisar 8-10 kemunculan. Pola ini mengindikasikan bahwa mayoritas penelitian masih dalam tahap konseptual dengan validasi empiris yang terbatas. Untuk lebih jelas dapat dilihat dalam grafik frekuensi kemunculan keterbatasan di **Gambar 6**.



Gambar 6 Hasil Frekuensi kemunculan Kelemahan/Keterbatasan
Sumber: Hasil Olahan

Setelah mengetahui distribusi fokus studi, frekuensi kontribusi utama, dan frekuensi Kelemahan/keterbatasan, berikutnya adalah interpretasi hasil analisis dalam metrik kinerja dan ringkasan statistik keseluruhan, dapat dilihat dalam **Tabel 5**.

Tabel 5 Metrik Kinerja Kuantitatif dari Kontribusi Utama

Metrik Kinerja	Nilai	Konteks Studi
Pengurangan Waktu Desain	40%	Otomatisasi desain pelat RC
Peningkatan Efisiensi Konstruksi	65%	Sistem otomasi konstruksi cerdas
Pengurangan Periode Konstruksi	30%	Sistem otomasi dengan BIM
Akurasi Prediksi Sistem Evaluasi	98%	Model BO-XGBoost

Tingkat Keberhasilan Standardisasi	100%	Format gambar utilitas bawah tanah
Pengurangan Kesalahan Manusia	25%	Otomatisasi desain BIM
Penghematan Energi	17%	BIM untuk bangunan hijau
Peningkatan F1 Score	4.4% - 10%	Dataset hibrida deteksi cacat

Sumber: Hasil Olahan

Tabel 5 menyajikan overview komprehensif dari analisis keseluruhan. Total 34 studi dianalisis dari 8 kategori fokus utama, meskipun dokumentasi yang tersedia hanya mencakup 32 studi yang teridentifikasi dalam Tabel 8-15. BIM dan Otomatisasi Desain merupakan area dengan penelitian terbanyak (14.7%). Analisis kontribusi vs kelemahan menunjukkan rasio 56:64, mengindikasikan bahwa lebih banyak kelemahan teridentifikasi dibanding kontribusi. Rata-rata 4.25 studi per kategori menunjukkan distribusi yang relatif seimbang. Kelemahan validasi terbatas (39.1%) dan kontribusi peningkatan efisiensi (32.1%) menjadi pola dominan dalam landscape penelitian teknologi konstruksi.

Tabel 6 Ringkasan Statistik Keseluruhan

Aspek Analisis	Nilai	Keterangan
Total Studi Dianalisis	34	Dari 8 kategori fokus utama
Kategori Fokus Terbanyak	BIM dan Otomatisasi (5)	14.7% dari total
Kontribusi Paling Dominan	Peningkatan Efisiensi (18)	32.1% dari total kontribusi
Kelemahan Paling Sering	Validasi Terbatas (25)	39.1% dari total kelemahan
Rata-rata Studi per Kategori	4.25	Distribusi relatif merata
Rasio Kontribusi: Kelemahan	56:64	Lebih banyak kelemahan teridentifikasi

Sumber: Hasil Olahan

3.5 Sintesis Temuan dan Implikasi

Berdasarkan hasil analisis terhadap 34 artikel ilmiah, ditemukan bahwa *Building Information Modeling (BIM)* merupakan teknologi yang paling dominan digunakan di industri konstruksi, dengan kontribusi utama berupa peningkatan efisiensi dan produktivitas proyek. Negara

KAJIAN LITERATUR SISTEMATIS MENGENAI KONSEP TEKNOLOGI INFORMASI DALAM INDUSTRI KONSTRUKSI SERTA MANFAAT PENDEKATAN TI YANG PRAGMATIS

(Firmino Fitrino Ximenes)

seperti *China*, *United Kingdom*, dan *United States* menjadi pusat utama perkembangan riset ini, sedangkan negara berkembang seperti *Indonesia* masih tertinggal dalam hal kontribusi akademik dan adopsi teknologi. Secara umum, studi-studi yang dianalisis menekankan bahwa teknologi digital seperti *IoT*, *AI*, dan *Digital Tools* memberikan manfaat signifikan terutama dalam otomatisasi, monitoring, dan pengambilan keputusan berbasis data. Namun, kelemahan utama yang berulang adalah validasi yang terbatas serta kurangnya penerapan nyata di lapangan, membuat sebagian besar temuan masih berada pada level konseptual.

Implikasi dari temuan ini menunjukkan pentingnya pendekatan *pragmatis* dalam mendorong digitalisasi sektor konstruksi, khususnya di negara-negara dengan sumber daya

terbatas. Pendekatan ini memungkinkan organisasi untuk mengadopsi teknologi secara bertahap, sesuai dengan kapasitas dan kebutuhan lokal. Dengan menekankan pada manfaat langsung dan efisiensi operasional, pendekatan pragmatis dapat mempercepat transformasi digital tanpa membebani organisasi dengan sistem yang kompleks atau tidak relevan secara kontekstual. Pemerintah dan pemangku kebijakan di Indonesia disarankan untuk merancang strategi adopsi teknologi yang berlandaskan pada hasil-hasil empiris serta fleksibel terhadap kondisi nyata di lapangan, guna mendorong inovasi yang lebih inklusif dan berkelanjutan dalam industri konstruksi nasional. Untuk lebih jelas di sajikan dalam **Tabel 7**.

Tabel 7 Sintesis Temuan dan Implikasi Penelitian

Aspek Analisis	Hasil Utama	Implikasi Praktis
Teknologi Dominan	<i>Building Information Modeling (BIM)</i> (44% studi)	BIM perlu dijadikan prioritas dalam strategi digitalisasi proyek di Indonesia.
Negara Dominan dalam Riset	<i>China</i> (11 studi), <i>UK</i> , <i>USA</i> , <i>Australia</i>	Kolaborasi internasional dapat difokuskan ke negara-negara ini untuk transfer pengetahuan.
Kontribusi Paling Umum	Peningkatan efisiensi produktivitas (32.1%)	dan Fokus pada solusi yang memberikan dampak langsung pada efisiensi proyek perlu diperluas.
Kelemahan Paling Umum	Validasi terbatas dan studi berbasis kasus tunggal (39.1%)	Perlu lebih banyak studi empiris di proyek nyata untuk memperkuat bukti manfaat teknologi.
Kategori Fokus Terbanyak	Otomatisasi Desain & BIM, Manajemen Digital, Konstruksi Cerdas	Dukungan kebijakan diperlukan untuk mempercepat adopsi kategori ini di sektor swasta dan publik.
Metrik Paling Signifikan	Efisiensi waktu desain (40%), efisiensi konstruksi (65%), akurasi 98%	Penerapan teknologi berbasis hasil metrik ini berpotensi menghasilkan ROI tinggi dalam proyek nyata.
Pendekatan Efektif	Pendekatan pragmatis terbukti menyesuaikan teknologi dengan konteks lokal	Adaptasi bertahap dan kontekstual disarankan dalam roadmap digitalisasi konstruksi Indonesia.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

4.1 Kesimpulan

Penelitian ini menyimpulkan bahwa adopsi teknologi informasi di sektor konstruksi telah berkembang pesat dalam lima tahun terakhir. Dari 34 studi yang dianalisis, *Building Information Modeling (BIM)* menjadi teknologi dominan, tercatat dalam 44% artikel, menunjukkan posisinya sebagai fondasi transformasi digital konstruksi. Teknologi lain seperti *IoT*, *Construction 4.0*, *AI*, dan *computer vision* turut mendukung proses digitalisasi meskipun proporsinya lebih kecil (sekitar 12–14%). Temuan utama dalam studi ini

mengungkap bahwa 32,1% kontribusi penelitian berkaitan dengan peningkatan efisiensi, termasuk pengurangan waktu desain hingga 40% dan peningkatan efisiensi konstruksi hingga 65%. Selain itu, *framework* baru menyumbang 21,4% dari kontribusi tematik. Namun demikian, sebanyak 39,1% dari seluruh kelemahan yang teridentifikasi berkaitan dengan keterbatasan validasi—baik karena hanya dilakukan pada satu studi kasus atau belum diuji dalam skala besar. Pendekatan pragmatis dalam implementasi teknologi terbukti mampu mengatasi sebagian besar hambatan ini dengan memprioritaskan fleksibilitas, efektivitas nyata, dan penyesuaian

terhadap sumber daya yang tersedia di perusahaan konstruksi.

4.2 Saran

Melihat fakta bahwa mayoritas studi yang berkualitas tinggi masih terbatas pada skala simulasi atau kasus tunggal, sangat penting untuk mendorong penelitian lanjutan yang bersifat longitudinal dan berbasis proyek nyata. Pemerintah dan asosiasi konstruksi di Indonesia disarankan untuk menyusun pedoman adopsi TI berbasis pendekatan pragmatis, mengingat teknologi seperti BIM dan IoT terbukti efektif namun membutuhkan penyesuaian terhadap kondisi lokal. Selain itu, pelatihan teknis untuk meningkatkan literasi digital di kalangan pekerja konstruksi harus menjadi prioritas utama. Berdasarkan temuan bahwa 32,1% studi menunjukkan efisiensi signifikan dan bahwa pendekatan pragmatis secara nyata mengatasi keterbatasan implementasi pada 39,1% kasus, maka strategi ini sangat direkomendasikan untuk digunakan dalam kebijakan transformasi digital sektor konstruksi Indonesia. Kolaborasi lintas sektor antara akademisi, pemerintah, dan industri menjadi krusial untuk menciptakan ekosistem konstruksi cerdas yang adaptif dan berkelanjutan.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Adekunle, P., Aigbavboa, C., Akinradewo, O., Ikuabe, M., & Otasowie, K. (2024). Towards the Uptake of Digital Technologies for Construction Information Management: A Partial Least Squares Structural Equation Modelling Approach. *Buildings*, 14(3). <https://doi.org/10.3390/buildings1403082>
- Arayici, Y., Coates, P., Koskela, L., Kagioglou, M., Usher, C., & O'Reilly, K. (2012). *BIM adoption and implementation for architectural practices*. *Structural Survey*, 30(3), 222–235.
- Bao, D., Chen, Y., Wan, S., Lian, J., Lei, Y., & Chen, K. (2025). Experimental Study on Evaluation of Organization Collaboration in Prefabricated Building Construction. *Buildings*, 15(4). <https://doi.org/10.3390/buildings1504061>
- Gledson, B., Rogage, K., Thompson, A., & Ponton, H. (2024). Reporting on the Development of a Web-Based Prototype Dashboard for Construction Design Managers, Achieved through Design Science Research Methodology (DSRM). *Buildings*, 14(2). <https://doi.org/10.3390/buildings1402033>
- Hu, Y., Castro-Lacouture, D., Eastman, C. M., & Navathe, S. B. (2021). Component Change List Prediction for BIM-Based Clash Resolution from a Graph Perspective. *Journal of Construction Engineering and Management*, 147(8). [https://doi.org/10.1061/\(asce\)co.1943-7862.0002092](https://doi.org/10.1061/(asce)co.1943-7862.0002092)
- Liu, Z., Osmani, M., Demian, P., & Baldwin, A. (2024). A BIM-aided construction waste minimisation framework for developing countries. *Waste Management*, 156, 78–92.
- Liu, Z., Liu, Y., & Osmani, M. (2024). Integration of Smart Cities and Building Information Modeling (BIM) for a Sustainability Oriented Business Model to Address Sustainable Development Goals. *Buildings*, 14(5). <https://doi.org/10.3390/buildings1405145>
- Singh, T., Mahmoodian, M., & Wang, S. (2025). Advancing Smart Construction Through BIM-Enabled Automation in Reinforced Concrete Slab Design. *Buildings*, 15(3). <https://doi.org/10.3390/buildings1503034>
- Staffs, K. (2007). Guidelines for performing systematic literature reviews in software engineering. In *Technical report, Ver. 2.3 EBSE Technical Report*. EBSE (Issue January 2007). Technical report, ver. 2.3 ebse technical report. ebse.
- Turkyilmaz, A. H., Polat, G., & Gurkan, A. (2024). Application of Construction 4.0 Technologies: Empirical Findings From the Turkish Construction Industry. *Journal of Information Technology in Construction*, 29, 179–197. <https://doi.org/10.36680/j.itcon.2024.009>
- Uvarova, S. S., Orlov, A. K., & Kankhva, V. S. (2023). Ensuring Efficient Implementation of Lean Construction Projects Using Building Information Modeling. *Buildings*, 13(3). <https://doi.org/10.3390/buildings1303077>
- Artamonova, I., Adamtsevich, L., Kharisov, I., & Morgunov, N. (2023). Increasing the Construction Production Efficiency Based on the Use of Cyber-Physical Systems and Technologies. *Journal of Law and Sustainable Development*, 11(2). <https://doi.org/10.55908/sdgs.v11i2.280>
- Behúnová, A., Mandičák, T., Behún, M., & Mésároš, P. (2023). The Building Information Modelling Through

KAJIAN LITERATUR SISTEMATIS MENGENAI KONSEP TEKNOLOGI INFORMASI DALAM INDUSTRI KONSTRUKSI SERTA MANFAAT PENDEKATAN TI YANG PRAGMATIS
(Firmino Fitrino Ximenes)

- Information Technology and Impacts on Selected Circular Economy Performance Indicators of Construction Projects. Mobile Networks and Applications, 29(2), 506–515. <https://doi.org/10.1007/s11036-023-02268-7>*
- Bhokare, S., Goyal, L., Ren, R., & Zhang, J. (2022). *Smart Construction Scheduling Monitoring Using Yolov3-Based Activity Detection and Classification. Journal of Information Technology in Construction, 27,* 240–252. <https://doi.org/10.36680/j.itcon.2022.012>
- Choi, S. M., Cha, H. S., & Jiang, S. (2024). *Hybrid Data Augmentation for Enhanced Crack Detection in Building Construction. Buildings, 14(7).* <https://doi.org/10.3390/buildings1407192>
- Deng, Y., Rao, Z., & Cai, L. (2021). *Comprehensive Evaluation of BIM Calculation Quantity in Domestic Construction Engineering Based on Fuzzy Comprehensive Evaluation. Computational Intelligence and Neuroscience, 2021.* <https://doi.org/10.1155/2021/3292376>
- Dharmapalan, V., & O'Brien, W. J. (2019). *Benefits and challenges of automated materials technology in industrial construction projects. Proceedings of the Institution of Civil Engineers: Smart Infrastructure and Construction, 171(4), 144–157.* <https://doi.org/10.1680/jsmic.19.00009>
- Esenarro, D., Porras, E., Ventura, H., Figueroa, J., Raymundo, V., & Castañeda, L. (2024). *Use of Digital Tools (Wikihouse System) in Multi-Local Social Housing. Sustainability (Switzerland), 16(8).* <https://doi.org/10.3390/su16083231>
- Guerriero, A., Busio, F., Saidani, M., Boje, C., & Mack, N. (2024). *Combining Building Information Model and Life Cycle Assessment for Defining Circular Economy Strategies. Sustainability (Switzerland), 16(11).* <https://doi.org/10.3390/su16114561>
- Lee, J., Kim, Y., & Moon, I. Y. (2024). *Standardization of CAD Drawing Formats and GeoJSON-Based Processing for 3D Spatial Data Extraction of Underground Utilities. Buildings, 14(12).* <https://doi.org/10.3390/buildings1412398>
- Loo, B. P. Y., & Wong, R. W. M. (2023). *Towards a Conceptual Framework of Using Technology to Support Smart Construction: The Case of Modular Integrated Construction (MiC). Buildings, 13(2).* <https://doi.org/10.3390/buildings1302037>
- Mabad, T., Ali, O., Ally, M., Wamba, S. F., & Chan, K. C. (2021). *Making Investment Decisions on RFID Technology: An Evaluation of Key Adoption Factors in Construction Firms. IEEE Access, 9, 36937–36954.* <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3063301>
- Mei, T., Qin, Y., Li, P., & Deng, Y. (2023). *Influence Mechanism of Construction Supply Chain Information Collaboration Based on Structural Equation Model. Sustainability (Switzerland), 15(3).* <https://doi.org/10.3390/su15032155>
- Meng, Q., & Zhu, S. (2020). *Developing iot sensing system for construction-induced vibration monitoring and impact assessment. Sensors (Switzerland), 20(21), 1–24.* <https://doi.org/10.3390/s20216120>
- Mysak, I., & Mysak, P. (2024). *BIM technologies adoption and implementation challenges in Eastern European countries analysis. Architectural Studies, 10(2), 124–135.* <https://doi.org/10.56318/as/2.2024.124>

5