

DAMPAK ARTIFICIAL INTELLIGENCE TERHADAP TRANSFORMASI BISNIS ARSITEKTUR: STRATEGI MANAJEMEN ADAPTIF DI INDONESIA (A SYSTEMATIC LITERATURE REVIEW)

**Muhammad Ridhani,¹ Risca Damayanti,² Akhmad Hariadi,³ Aly Syaipullah,⁴
Akbar Rahman,⁵ Ira Mentayani,⁶**

Magister Arsitektur, Fakultas Teknik, Universitas Lambung Mangkurat, Banjarbaru
¹2520840310001@mhs.ulm.ac.id , ²2520840320008@mhs.ulm.ac.id ,
³2520840310010@mhs.ulm.ac.id , ⁴2520840310011@mhs.ulm.ac.id ,
⁵arzhi_teks@ulm.ac.id , ⁶ira_arch@ulm.ac.id

ABSTRACT

This study analyzes the development and application of Artificial Intelligence (AI) in architectural practice, its implications for business model transformation and work systems, and adaptive management strategies relevant to architectural firms in Indonesia. The research employs a Systematic Literature Review (SLR) following the PRISMA protocol. Articles were retrieved from Scopus, Web of Science, IEEE Xplore, and ScienceDirect using Boolean combinations of keywords related to AI, architecture, AEC industry, BIM, generative design, digital twin, business model, and digital transformation. The review focuses on peer-reviewed publications from 2021 to 2025. From an initial pool of 456 articles, 20 articles were selected through a rigorous multi-stage screening process for in-depth analysis. The findings indicate that AI is increasingly integrated into architectural design through generative design, building performance optimization, and data-driven decision support systems. In project management, AI is closely connected with BIM, digital twin, 4D simulation, IoT, and predictive analytics. A critical synthesis of the literature reveals consensus on AI's capacity to improve efficiency and transform professional roles, alongside notable contradictions regarding the threat versus empowerment of architects and the feasibility of AI adoption in resource-limited contexts. These developments encourage architectural firms to shift from conventional design services toward data-driven, performance-based, and technology-enabled services such as building performance simulation, lifecycle cost analysis, and smart facility management. However, implementation in Indonesia remains constrained by uneven digital capability among human resources, limited infrastructure, fragmented project data, investment barriers, and the absence of comprehensive implementation guidelines. Therefore, adaptive management strategies are required, encompassing digital upskilling, phased technology integration, collaborative ecosystems, value-based innovation, and ethical governance of AI use.

Keywords: Architecture; Artificial Intelligence; Business Model; Digital Transformation; Ethical Governance; Project Management; Indonesia.

ABSTRAK

Penelitian ini menganalisis perkembangan dan penerapan Artificial Intelligence (AI) dalam praktik arsitektur, dampaknya terhadap transformasi model bisnis dan sistem kerja, serta strategi manajemen adaptif yang relevan bagi biro arsitektur di Indonesia. Penelitian menggunakan metode Systematic Literature Review (SLR) dengan protokol PRISMA. Artikel diidentifikasi melalui basis data Scopus, Web of Science, IEEE Xplore, dan ScienceDirect dengan kombinasi kata kunci Boolean yang berkaitan dengan AI, arsitektur, industri AEC, BIM, generative design, digital twin, model bisnis, dan transformasi digital.

Kajian difokuskan pada artikel ilmiah periode 2021–2025. Dari 456 artikel awal, sebanyak 20 artikel terpilih melalui proses penyaringan bertahap yang ketat untuk dianalisis secara mendalam. Hasil kajian menunjukkan bahwa AI semakin terintegrasi dalam desain arsitektur melalui generative design, optimasi performa bangunan, dan sistem pendukung keputusan berbasis data. Pada manajemen proyek, AI berkaitan erat dengan BIM, digital twin, simulasi 4D, IoT, dan analisis prediktif. Sintesis kritis terhadap literatur mengungkap adanya konsensus mengenai kapasitas AI dalam meningkatkan efisiensi dan mentransformasi peran profesional, sekaligus kontradiksi yang nyata terkait ancaman versus pemberdayaan arsitek dan kelayakan adopsi AI dalam konteks sumber daya terbatas. Perkembangan ini mendorong biro arsitektur bergeser dari layanan desain konvensional menuju layanan berbasis data, performa, dan teknologi seperti simulasi performa bangunan, analisis biaya siklus hidup, dan smart facility management. Namun, implementasi di Indonesia masih menghadapi kendala pada kompetensi digital SDM, infrastruktur, fragmentasi data proyek, biaya investasi, dan belum kuatnya pedoman implementasi. Oleh karena itu, diperlukan strategi manajemen adaptif yang mencakup peningkatan kompetensi digital, integrasi teknologi bertahap, kolaborasi ekosistem, inovasi layanan berbasis nilai, serta tata kelola etis penggunaan AI.

Kata kunci: *Artificial Intelligence; Arsitektur; Etika Tata Kelola AI; Manajemen Proyek; Model Bisnis; Transformasi Digital; Indonesia.*

PENDAHULUAN

Dalam beberapa dekade terakhir, transformasi digital telah mengubah struktur kerja berbagai sektor industri, termasuk Architecture, Engineering, and Construction (AEC). Perkembangan komputasi, analisis data, Building Information Modeling (BIM), digital twin, Internet of Things (IoT), dan Artificial Intelligence (AI) telah memengaruhi cara organisasi merancang, memproduksi, mengoordinasikan, dan mengevaluasi kinerja bangunan. Dalam konteks arsitektur, AI tidak hanya berfungsi sebagai alat bantu visualisasi, tetapi juga sebagai sistem analitik yang mampu mendukung eksplorasi desain, optimasi performa bangunan, prediksi risiko proyek, serta pengambilan keputusan berbasis data.

Penerapan AI dalam arsitektur tampak pada beberapa ranah utama. Pertama, pada tahap desain, AI digunakan untuk generative design, optimasi energi, analisis material, pemodelan parametrik, dan evaluasi performa bangunan. Kedua, pada tahap manajemen proyek, AI berperan dalam prediksi keterlambatan, integrasi jadwal 4D BIM, estimasi biaya, deteksi konflik, dan pengendalian risiko. Ketiga, pada tahap operasional bangunan, AI diterapkan dalam digital twin, smart building management, predictive maintenance, dan optimasi konsumsi energi. Dengan demikian, AI berpotensi memengaruhi seluruh siklus hidup bangunan, mulai dari pra-desain hingga pasca-huni (Pan & Zhang, 2021; Rane, 2023). Perubahan tersebut berdampak langsung terhadap model bisnis biro arsitektur. Biro arsitektur tidak lagi cukup hanya menawarkan layanan desain berbasis gambar dan representasi visual, tetapi perlu mengembangkan layanan berbasis data, performa, keberlanjutan, dan integrasi teknologi. AI membuka peluang baru berupa layanan simulasi performa bangunan, desain berbasis analitik, smart facility management, hingga

konsultansi transformasi digital bagi klien (Agri et al., 2025; Albukhari, 2025). Di sisi lain, AI juga menuntut perubahan sistem kerja internal, peningkatan kompetensi SDM, investasi infrastruktur digital, dan penyesuaian struktur organisasi.

Dalam konteks Indonesia, tantangan transformasi digital pada biro arsitektur masih cukup kompleks. Banyak biro arsitektur masih bekerja dengan pola berbasis proyek jangka pendek, kapasitas digital yang belum merata, keterbatasan investasi perangkat lunak dan perangkat keras, serta belum kuatnya integrasi data antar pemangku kepentingan proyek (Ariono et al., 2022; Rani et al., 2023). Kebijakan mengenai BIM dan digital construction yang tertuang dalam Peraturan Menteri PUPR No. 22 Tahun 2018 telah memberikan landasan awal, namun implementasinya masih perlu diperkuat agar dapat menjadi dasar bagi penerapan AI secara lebih sistematis. Oleh karena itu, strategi manajemen adaptif diperlukan agar biro arsitektur mampu memanfaatkan potensi AI tanpa mengabaikan kesiapan organisasi, etika, dan keberlanjutan praktik profesional.

Meskipun penelitian tentang AI dalam AEC telah berkembang pesat secara global, masih terdapat keterbatasan kajian yang secara komprehensif menghubungkan dimensi teknologi, model bisnis, dan strategi manajemen khususnya dalam konteks biro arsitektur di Indonesia. Kajian yang ada cenderung berfokus pada satu aspek — teknologi desain, atau manajemen proyek, atau konteks lokal — tanpa sintesis integratif yang mencakup ketiganya.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk: (1) menganalisis perkembangan dan penerapan AI dalam praktik arsitektur, khususnya pada desain dan manajemen proyek; (2) mengkaji dampak AI terhadap transformasi model bisnis dan sistem kerja biro arsitektur; (3) melakukan sintesis kritis terhadap konsensus, kontradiksi, dan celah penelitian dalam literatur yang ada; serta (4) merumuskan strategi manajemen adaptif yang relevan dan operasional bagi biro arsitektur di Indonesia dalam menghadapi transformasi digital berbasis AI.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode Systematic Literature Review (SLR) dengan acuan protokol PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses). SLR dipilih karena mampu mengidentifikasi, mengevaluasi, dan mensintesis literatur secara sistematis, transparan, dan dapat direplikasi. Fokus kajian diarahkan pada hubungan antara penerapan AI, transformasi model bisnis, sistem kerja, dan strategi manajemen adaptif dalam praktik arsitektur serta industri AEC.

Basis Data dan Strategi Pencarian

Basis data yang digunakan meliputi Scopus, Web of Science, IEEE Xplore, dan ScienceDirect. Pencarian literatur difokuskan pada artikel ilmiah peer-reviewed periode 2021–2025 agar sesuai dengan perkembangan terkini AI dalam arsitektur dan industri AEC. Strategi pencarian menggunakan kombinasi kata kunci Boolean dalam bahasa Inggris dan Indonesia, antara lain: "Artificial Intelligence", "Architecture", "Architectural Design",

"AEC Industry", "Generative Design", "Building Information Modeling", "BIM", "Digital Twin", "Machine Learning", "Project Management", "Business Model", "Digital Transformation", "Adaptive Management", "Ethics", "Indonesia", serta kombinasinya menggunakan operator AND dan OR.

Kriteria Inklusi dan Eksklusi

Kriteria inklusi meliputi: (1) artikel ilmiah peer-reviewed yang membahas AI dalam arsitektur atau industri AEC; (2) artikel yang membahas penerapan AI pada desain, BIM, digital twin, manajemen proyek, atau pengelolaan bangunan; (3) artikel yang memiliki implikasi terhadap model bisnis, sistem kerja, organisasi, atau strategi manajemen; (4) artikel yang tersedia dalam teks lengkap; dan (5) artikel yang diterbitkan pada periode 2021–2025.

Kriteria eksklusi meliputi: (1) artikel yang tidak relevan dengan arsitektur atau AEC; (2) artikel yang hanya membahas algoritma teknis tanpa kaitan dengan praktik arsitektur atau manajemen; (3) opini, editorial, laporan populer, atau prosiding tanpa proses ilmiah yang jelas; (4) artikel di luar rentang tahun kajian; dan (5) artikel duplikasi.

Proses Seleksi

Proses seleksi dilakukan dalam enam tahap mengikuti alur PRISMA yang diperbarui. Pada tahap identifikasi, diperoleh 456 artikel awal dari empat basis data. Tahap Screening I menghapus 50 artikel duplikasi dan artikel tanpa teks lengkap, menghasilkan 406 artikel. Tahap Screening II menyaring berdasarkan relevansi judul dan abstrak, menghasilkan 218 artikel. Tahap eligibility menerapkan kriteria inklusi-eksklusi secara penuh terhadap teks lengkap, menghasilkan 106 artikel. Tahap assessment mengevaluasi kualitas metodologi dan relevansi terhadap tujuan penelitian secara lebih ketat, menghasilkan 40 artikel kandidat. Tahap terakhir menyeleksi 20 artikel final berdasarkan kriteria representasi tema, kualitas metodologi, dan komplementaritas temuan (Tabel 1a).

Tabel 1. Ringkasan Proses Seleksi Literatur Berdasarkan Protokol PRISMA

Tahap PRISMA	Proses	Jumlah Artikel	Keterangan
Identification	Pencarian awal pada empat basis data ilmiah	456	Scopus, Web of Science, IEEE Xplore, ScienceDirect
Screening I	Penghapusan duplikasi dan artikel tanpa teks lengkap	406	50 artikel dikeluarkan karena duplikasi atau tidak tersedia teks lengkap
Screening II	Penyaringan berdasarkan judul dan abstrak	218	188 artikel dikeluarkan karena tidak relevan dengan AI, arsitektur, AEC, atau manajemen
Eligibility	Penelaahan teks lengkap	106	112 artikel dikeluarkan: 58 di luar rentang 2021–2025, 34 hanya

	berdasarkan kriteria inklusi-eksklusi		membahas algoritma teknis, 20 editorial/laporan non-ilmiah
Assessment	Penilaian kualitas metodologi dan relevansi terhadap tujuan penelitian	40	66 artikel dikeluarkan karena kualitas metodologi rendah atau relevansi marginal
Included	Artikel yang dianalisis secara mendalam dalam kajian ini	20	Dipilih berdasarkan keterwakilan tema (desain AI, BIM-AI, digital twin, manajemen proyek, transformasi bisnis, konteks Indonesia, etika AI) dan kualitas metodologi

Justifikasi Seleksi Artikel Final (40 ke 20 Artikel)

Pengurangan dari 40 artikel kandidat menjadi 20 artikel final didasarkan pada lima kriteria seleksi yang ditetapkan secara eksplisit sebelum proses evaluasi dimulai (Tabel 1a). Pendekatan ini bertujuan meminimalkan subjektivitas dalam proses seleksi sambil memastikan keterwakilan tema yang memadai. Threshold minimal tiga artikel per tema utama ditetapkan untuk mendukung sintesis tematik yang tidak bergantung pada satu sumber tunggal.

Tabel 1a. Kriteria Seleksi Artikel dari 40 Kandidat menjadi 20 Artikel Final

Kriteria	Deskripsi	Justifikasi
Kedalaman AI	Artikel membahas implementasi AI yang spesifik (bukan sekadar menyebut AI secara umum)	Memastikan relevansi langsung terhadap tujuan kajian penerapan AI dalam arsitektur
Kualitas Metodologi	Artikel memiliki desain penelitian yang jelas: eksperimen, studi kasus, survei, SLR, atau studi konseptual berbasis literatur yang kuat	Menjamin validitas temuan yang disintesis
Keterwakilan Tema	Terpilih minimal 3 artikel per tema utama: desain AI, BIM-AI/manajemen proyek, digital twin/operasional, transformasi bisnis, konteks Indonesia/berkembang, etika AI	Memastikan sintesis mencakup seluruh dimensi tujuan penelitian
Konteks Relevan	Prioritas artikel dengan konteks industri AEC atau arsitektur; artikel manajemen umum hanya disertakan bila memiliki implikasi eksplisit bagi AEC	Menjaga fokus kajian agar tidak terlalu melebar ke manajemen teknologi general
Keterbaruan Temuan	Artikel dengan temuan yang melengkapi atau mengkontraskan artikel lain dalam set final diprioritaskan	Mendukung sintesis kritis, bukan sekadar deskripsi kumulatif

Sintesis Data

Sintesis data dilakukan secara tematik dan kritis. Artikel terpilih dikodekan ke dalam lima tema utama: (1) penerapan AI dalam desain arsitektur; (2) penerapan AI dalam manajemen proyek dan operasional bangunan; (3) dampak AI terhadap model bisnis dan sistem kerja; (4) tantangan implementasi di Indonesia dan negara berkembang; dan (5) strategi manajemen adaptif. Selain sintesis tematik deskriptif, kajian ini secara eksplisit menganalisis konsensus, kontradiksi, dan celah penelitian (research gaps) antarliteratur untuk menghasilkan sintesis kritis yang melampaui sekadar rangkuman temuan individual.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Sintesis Literatur Utama

Dua puluh artikel yang dianalisis menunjukkan bahwa AI berperan sebagai teknologi penghubung antara desain, konstruksi, manajemen proyek, dan operasional bangunan. Integrasi AI dengan BIM mendukung pengambilan keputusan berbasis data terkait material, biaya, energi, penjadwalan, dan monitoring bangunan (Li et al., 2024). Pada skala urban, Urban-GAN menunjukkan bahwa AI generatif dapat menghasilkan alternatif desain berdasarkan pola morfologi kota dan membuka peluang partisipasi pengguna non-ahli dalam proses desain (Quan, 2022). Pada manajemen proyek, digital twin dan AI mampu meningkatkan efisiensi workflow dan mengurangi keterlambatan (Tiburcio, 2024). Sementara itu, pada operasional bangunan, integrasi digital twin dan machine learning mendukung predictive maintenance serta optimasi konsumsi energi (Zhao et al., 2022). Pan & Zhang (2021) mengidentifikasi tujuh peran AI dalam manajemen konstruksi yang saling melengkapi, menegaskan bahwa AI bukan solusi tunggal melainkan ekosistem fungsi yang memerlukan integrasi bertahap

Tabel 2. Sintesis 20 Artikel Utama

Penulis (Tahun)	Fokus Teknologi	Objek/Metode	Temuan Utama	Implikasi Manajemen
Li et al. (2024)	AI & BIM untuk sustainable building	Bibliometrik, industri AEC	AI-BIM mengintegrasikan keputusan material, biaya, energi, penjadwalan, dan monitoring bangunan secara holistik	Mendorong data-driven design dan layanan berbasis performa sepanjang siklus hidup
Quan (2022)	Urban-GAN, desain urban generatif	Simulasi desain kota	AI generatif menghasilkan alternatif morfologi kota berdasarkan pola spasial; membuka partisipasi non-ahli	Peran arsitek bergeser menjadi kurator dan fasilitator proses desain

Bercic et al. (2024)	Decision-support dalam kompetisi desain	Studi kasus model DEX	Evaluasi desain multi-kriteria menjadi lebih objektif, transparan, dan dapat direplikasi	Memperkuat akuntabilitas dan data-driven decision-making dalam kompetisi
Tiburcio (2024)	Digital twin, AI, dan BIM	Konseptual manajemen proyek AECO	Integrasi digital twin-AI mengurangi keterlambatan proyek dan meningkatkan efisiensi workflow konstruksi	Mendorong adopsi digital project management berbasis integrasi teknologi
Zhao et al. (2022)	Digital twin & machine learning	Framework operasional bangunan	Prediksi kinerja sistem dan deteksi dini kerusakan mendukung efisiensi energi dan keberlanjutan operasional	Membuka layanan smart facility management berbasis AI pasca-konstruksi
Pacheco & Pacheco-Pumaleque (2024)	BIM dalam manajemen konstruksi	Survei kuantitatif 415 responden, Peru	BIM meningkatkan efisiensi tetapi memerlukan pelatihan SDM dan dukungan teknologi yang memadai	Menunjukkan kebutuhan investasi digital dan pengembangan SDM dalam konteks berkembang
Liu et al. (2023)	BIM & machine learning untuk green building	Simulasi & optimasi multiobjektif	AI meningkatkan prediksi performa bangunan dan optimasi emisi, biaya, serta kenyamanan termal secara simultan	Arsitek berperan sebagai pengambil keputusan berbasis analitik performa bangunan
Mayouf et al. (2024)	4D BIM & modular construction	Studi kasus, wawancara, observasi	4D BIM meningkatkan prediksi jadwal konstruksi dan konstruktabilitas modul secara signifikan	Workflow proyek menjadi lebih prediktif, terpadu, dan dapat dikendalikan
Rani et al. (2023)	Strategi pemerintah untuk BIM Indonesia	SLR & wawancara mendalam	Kurikulum dan pedoman implementasi BIM nasional merupakan strategi krusial bagi adopsi digital AEC Indonesia	Konteks Indonesia memerlukan regulasi, pendidikan formal, dan standar implementasi

Gadalla et al. (2025)	AI untuk sustainable architecture	Studi konseptual berbasis literatur	AI mendukung analisis energi dan lingkungan pada tahap awal desain, memperluas dimensi keberlanjutan	Membuka diferensiasi layanan berbasis keberlanjutan dan etika lingkungan
Agri et al. (2025)	AI dalam desain dan manajemen arsitektur	Survei perspektif profesional arsitek	Profesional mengakui manfaat AI namun mengkhawatirkan otonomi kreatif dan tanggung jawab desain	Implementasi AI memerlukan kerangka etika dan pembagian peran yang jelas antara arsitek dan sistem AI
Albukhari (2025)	Emerging technologies AI dalam arsitektur	Systematic review komprehensif	Identifikasi enam klaster teknologi AI: generative design, NLP, computer vision, BIM-AI, ML, dan robotik	Biro arsitektur perlu membangun kompetensi lintas klaster teknologi, bukan hanya satu area
Baduge et al. (2022)	AI & smart vision untuk building 4.0	Review machine & deep learning AEC	Deep learning unggul pada deteksi defek, inspeksi kualitas, dan monitoring keselamatan konstruksi berbasis citra	Membuka layanan inspeksi dan quality control berbasis AI yang bernilai tambah tinggi
Rane (2023)	AI, IoT & big data untuk smart AEC	Review integratif lintas teknologi	Sinergi AI-IoT-big data menciptakan ekosistem smart building yang adaptif dan efisien secara real-time	Biro arsitektur perlu membangun ekosistem data terintegrasi, bukan sistem teknologi yang terfragmentasi
Liang et al. (2023)	Etika AI dan robotika di AEC	Studi analitis isu etika AEC	Identifikasi empat isu etika kritis: bias data, akuntabilitas desain, privasi, dan dampak tenaga kerja	Diperlukan kerangka tata kelola etis sebagai komponen wajib strategi manajemen AI biro arsitektur
Zhang et al. (2025)	Generative AI dalam architectural design	Review aplikasi, data, dan evaluasi	Generative AI mampu menghasilkan desain yang kompetitif namun memerlukan kurasi dan validasi profesional	Arsitek perlu mengembangkan kemampuan evaluasi dan kurasi output AI generatif

Ariono et al. (2022)	Drivers, barriers & enablers BIM di negara berkembang	Analisis kualitatif konteks Indonesia	Hambatan adopsi BIM di Indonesia: regulasi lemah, SDM terbatas, fragmentasi data, dan budaya proyek konvensional	Temuan mendukung urgensi strategi adaptif bertahap yang kontekstual untuk Indonesia
Pan & Zhang (2021)	Peran AI dalam construction engineering & management	Critical review & future trends	AI berperan dalam tujuh area: perencanaan, penjadwalan, keselamatan, inspeksi, logistik, kontrol kualitas, dan manajemen risiko	Menegaskan bahwa AI bukan alat tunggal tetapi ekosistem fungsi yang memerlukan integrasi bertahap
Ogunseiju et al. (2023)	Upskilling tenaga kerja konstruksi untuk era Industri 4.0	Studi pengembangan kompetensi digital	Program peningkatan kompetensi digital berbasis simulasi dan immersive learning meningkatkan kesiapan SDM AEC	Mendukung strategi upskilling bertahap yang relevan bagi biro arsitektur Indonesia
Habibi (2023)	Smart BIM untuk AEC berkelanjutan	Review konseptual framework BIM cerdas	Smart BIM mengintegrasikan sensor, IoT, dan AI untuk menghadirkan building intelligence berbasis data real-time	Memberi kerangka referensi bagi biro yang ingin mengembangkan layanan pasca-konstruksi berbasis data

2. Perkembangan dan Penerapan AI dalam Desain dan Manajemen Proyek

Penerapan AI dalam arsitektur menunjukkan pergeseran dari praktik desain berbasis intuisi menuju praktik berbasis data dan komputasi. Dalam desain, AI mendukung eksplorasi alternatif melalui generative design, machine learning, dan integrasi BIM. Teknologi ini memungkinkan banyak parameter — seperti energi, biaya, material, kenyamanan termal, emisi karbon, dan kondisi lingkungan — dianalisis secara simultan (Liu et al., 2023; Zhang et al., 2025). Dengan demikian, proses desain menjadi lebih cepat, terukur, dan dapat dievaluasi secara objektif. Albukhari (2025) mengidentifikasi enam klaster teknologi AI dalam arsitektur: generative design, natural language processing, computer vision, BIM-AI, machine learning, dan robotik, yang masing-masing membutuhkan strategi adopsi berbeda.

Pada manajemen proyek, AI berfungsi sebagai sistem pendukung keputusan yang komprehensif. Integrasi AI dengan BIM, digital twin, IoT, dan 4D simulation memungkinkan pemantauan proyek secara prediktif (Mayouf et al., 2024). Pan & Zhang

(2021) mendokumentasikan bahwa AI berperan dalam perencanaan, penjadwalan, keselamatan, inspeksi kualitas, logistik, kontrol kualitas, dan manajemen risiko — menunjukkan luasnya cakupan potensi kontribusi AI. Biro arsitektur dan tim proyek dapat mengidentifikasi risiko keterlambatan, konflik desain, kebutuhan sumber daya, dan potensi pemborosan lebih awal, membuat peran AI tidak terbatas pada tahap pra-desain tetapi juga terlibat dalam koordinasi konstruksi dan pengendalian proyek.

Pada tahap operasional, AI mendukung konsep smart building dan predictive maintenance. Digital twin yang terhubung dengan sensor dapat memperbarui data bangunan secara real-time, sedangkan machine learning digunakan untuk memprediksi kinerja sistem, mendeteksi kerusakan, dan mengoptimalkan konsumsi energi (Zhao et al., 2022; Habibi, 2023). Rane (2023) menegaskan bahwa sinergi AI-IoT-big data menciptakan ekosistem bangunan yang adaptif dan responsif terhadap kondisi real-time, memperluas cakupan layanan arsitektur dari desain awal menuju pengelolaan siklus hidup bangunan secara menyeluruh.

3. Dampak AI terhadap Transformasi Model Bisnis dan Sistem Kerja

Dampak utama AI terhadap model bisnis biro arsitektur adalah pergeseran dari layanan desain konvensional menuju layanan berbasis data dan performa. Biro arsitektur dapat menawarkan nilai tambah berupa simulasi performa bangunan, optimasi energi, analisis biaya siklus hidup, evaluasi keberlanjutan, serta monitoring pasca-konstruksi (Gadalla et al., 2025; Agri et al., 2025). Perubahan ini memperluas posisi biro arsitektur dari penyedia gambar desain menjadi konsultan strategis berbasis teknologi.

Dalam sistem kerja internal, AI mendorong workflow yang lebih kolaboratif, transparan, dan prediktif. Data proyek tidak lagi berdiri sendiri dalam file terpisah, tetapi perlu dikelola sebagai basis informasi bersama yang terintegrasi. Hal ini menuntut integrasi antar tim desain, struktur, MEP, kontraktor, klien, dan penyedia teknologi. Model kerja berbasis data juga mengurangi dominasi keputusan subjektif karena alternatif desain dan keputusan proyek dapat diuji melalui simulasi dan analitik (Bercic et al., 2024).

Peran arsitek juga mengalami transformasi yang signifikan. Arsitek tidak hanya berperan sebagai perancang bentuk, tetapi sebagai kurator alternatif desain, analis data, pengelola informasi, dan pengambil keputusan strategis (Quan, 2022; Zhang et al., 2025). Agri et al. (2025) mencatat bahwa meskipun profesional arsitek mengakui manfaat AI, banyak yang mengkhawatirkan dampaknya terhadap otonomi kreatif dan tanggung jawab desain, menunjukkan bahwa transformasi peran ini perlu dikelola dengan kerangka yang jelas.

4. Sintesis Kritis: Konsensus, Kontradiksi, dan Celah Penelitian

4.1 Konsensus Antarliteratur

Terdapat beberapa poin konsensus yang kuat di antara 20 artikel yang dikaji. Pertama, mayoritas literatur sepakat bahwa AI meningkatkan efisiensi dalam desain dan manajemen proyek — baik dalam hal kecepatan eksplorasi alternatif, akurasi estimasi biaya, maupun presisi prediksi performa bangunan. Kedua, terdapat konsensus bahwa peran arsitek bertransformasi dari pelaksana teknis menjadi pengambil keputusan

strategis berbasis data, meskipun sifat transformasi ini diperdebatkan. Ketiga, literatur secara konsisten menunjukkan bahwa tantangan adopsi AI bukan semata-mata masalah teknologi, melainkan terutama masalah organisasi, SDM, regulasi, dan budaya kerja.

4.2 Kontradiksi dan Ketegangan Antarliteratur

Di balik konsensus tersebut, terdapat beberapa ketegangan dan kontradiksi yang signifikan. Pertama, terdapat perbedaan pandangan mengenai ancaman versus pemberdayaan arsitek. Quan (2022) dan Zhang et al. (2025) cenderung memandang AI sebagai alat pemberdayaan yang memperluas kapasitas kreatif arsitek, sementara Agri et al. (2025) mendokumentasikan kekhawatiran nyata di kalangan profesional mengenai pengikisan otonomi kreatif dan tanggung jawab desain. Kontradiksi ini belum terselesaikan dalam literatur yang ada.

Kedua, terdapat perbedaan mengenai feasibilitas adopsi AI bagi biro skala kecil-menengah. Beberapa literatur menggambarkan AI sebagai peluang yang dapat diakses secara bertahap, sementara Pacheco & Pacheco-Pumaleque (2024) dan Ariono et al. (2022) menunjukkan bahwa hambatan investasi dan kapasitas SDM dalam konteks berkembang membuat adopsi AI jauh lebih kompleks dari yang diasumsikan literatur berbasis negara maju. Ketiga, terdapat ketegangan antara optimisme teknis dari literatur berbasis eksperimen/simulasi dengan skeptisisme praktis dari studi berbasis survei profesional, menunjukkan kesenjangan antara kapabilitas teknologi dan kesiapan implementasi.

4.3 Celah Penelitian (Research Gaps)

Dari sintesis kritis ini, teridentifikasi beberapa celah penelitian yang signifikan. Pertama, hampir seluruh literatur yang dikaji berfokus pada konteks negara maju (Amerika Serikat, Eropa, Cina), sementara penelitian empiris spesifik tentang adopsi AI di biro arsitektur Indonesia masih sangat terbatas. Kedua, meskipun Liang et al. (2023) mulai membahas etika AI dalam AEC, kerangka tata kelola etis yang operasional untuk biro arsitektur belum dikembangkan secara memadai. Ketiga, hampir tidak ada studi yang meneliti model bisnis hibrid — perpaduan layanan konvensional dan layanan berbasis AI — yang mungkin lebih relevan bagi biro skala kecil dan menengah di negara berkembang. Keempat, dampak AI terhadap komposisi tim dan struktur organisasi biro arsitektur belum dieksplorasi secara mendalam. Celah-celah ini menunjukkan agenda penelitian yang masih terbuka luas, khususnya untuk konteks Indonesia.

5. Tantangan Implementasi dalam Konteks Indonesia

Dalam konteks Indonesia, implementasi AI dalam biro arsitektur menghadapi beberapa tantangan yang bersifat sistemik. Pertama, kemampuan digital SDM belum merata. Tidak semua biro memiliki tenaga kerja yang memahami BIM, data analytics, digital twin, atau sistem AI. Kondisi ini diperparah oleh kurikulum pendidikan arsitektur yang masih belum mengintegrasikan secara memadai literasi data, BIM tingkat lanjut, dan pemahaman AI (Rani et al., 2023).

Kedua, biaya investasi teknologi masih menjadi hambatan signifikan, terutama bagi biro skala kecil dan menengah yang mendominasi lanskap biro arsitektur Indonesia. Ketiga, data proyek sering kali masih terfragmentasi antara berbagai platform dan

pemangku kepentingan, sehingga sulit digunakan sebagai basis pembelajaran dan pengambilan keputusan berbasis AI. Keempat, meskipun Peraturan Menteri PUPR No. 22 Tahun 2018 tentang Bangunan Gedung Hijau telah mendorong penggunaan BIM, regulasi dan pedoman teknis mengenai integrasi AI dalam industri AEC masih perlu diperkuat. Tanpa pedoman yang jelas, implementasi AI berpotensi berlangsung secara parsial dan tidak terstandar (Ariono et al., 2022).

Kelima, budaya kerja proyek yang masih berorientasi jangka pendek dan berbasis hasil tangible dapat menghambat investasi jangka panjang pada sistem digital yang manfaatnya baru terasa setelah beberapa siklus proyek. Oleh karena itu, transformasi AI di Indonesia tidak cukup hanya dilakukan melalui pembelian perangkat lunak, tetapi membutuhkan perubahan strategi organisasi, pendidikan, regulasi, dan kolaborasi ekosistem yang bersifat komprehensif dan kontekstual.

6. Strategi Manajemen Adaptif bagi Biro Arsitektur

Berdasarkan sintesis kritis terhadap 20 artikel yang dikaji, berikut dirumuskan lima strategi manajemen adaptif yang dirancang dengan mempertimbangkan dimensi skala biro (kecil, menengah, besar) dan horizon waktu implementasi (jangka pendek, menengah, panjang).

Strategi pertama adalah penguatan kompetensi digital SDM. Program upskilling perlu disusun secara bertingkat: biro kecil dapat memulai dengan pelatihan BIM dasar dan data literacy, biro menengah dapat mengembangkan ke AI-assisted design dan simulasi performa, sementara biro besar dapat mendorong spesialisasi pada digital twin dan analitik prediktif. Ogunseiju et al. (2023) menunjukkan bahwa program upskilling berbasis simulasi immersive efektif meningkatkan kesiapan digital tenaga kerja AEC. Pelatihan etika AI perlu menjadi komponen wajib, bukan opsional, mengingat risiko profesional yang diidentifikasi oleh Liang et al. (2023).

Strategi kedua adalah integrasi teknologi secara bertahap dan kontekstual. Biro arsitektur dapat memulai dari digitalisasi dasar seperti standardisasi data proyek dan penggunaan BIM (sesuai panduan Peraturan Menteri PUPR No. 22/2018), kemudian berlanjut ke integrasi AI untuk simulasi performa dan manajemen jadwal, dan akhirnya menuju ekosistem digital twin yang terintegrasi. Pendekatan bertahap ini mengurangi risiko finansial dan operasional dibandingkan transformasi total.

Strategi ketiga adalah pengembangan layanan berbasis nilai. AI sebaiknya tidak hanya digunakan untuk mempercepat pekerjaan internal, tetapi juga untuk menciptakan layanan baru yang bernilai tambah bagi klien. Layanan berbasis AI yang dapat dikembangkan meliputi: desain hemat energi berbasis simulasi, audit performa bangunan, analisis biaya siklus hidup, smart facility management, dan konsultansi digital construction. Gadalla et al. (2025) menunjukkan bahwa layanan berbasis keberlanjutan merupakan area diferensiasi yang menjanjikan, selaras dengan tren green building di Indonesia.

Strategi keempat adalah kolaborasi lintas pemangku kepentingan. Biro arsitektur perlu membangun jejaring dengan perguruan tinggi arsitektur, Ikatan Arsitek Indonesia (IAI), Lembaga Pengembangan Jasa Konstruksi (LPJK), pengembang, kontraktor,

konsultan teknologi, dan Kementerian PUPR. Kolaborasi ini penting untuk memperkuat standar implementasi nasional, mengembangkan kurikulum pendidikan yang relevan, membangun konsorsium data proyek, dan menciptakan ekosistem digital yang mendukung adopsi AI berkelanjutan.

Strategi kelima adalah tata kelola etis dan manajemen risiko. Mengacu pada kerangka yang diusulkan Liang et al. (2023) dan Agri et al. (2025), biro arsitektur perlu menetapkan prosedur yang jelas mengenai: validasi output AI, keamanan dan privasi data klien, hak cipta desain yang melibatkan AI, batas tanggung jawab arsitek versus sistem AI, serta mekanisme pengambilan keputusan yang tetap menempatkan arsitek sebagai penanggung jawab akhir. Kerangka ini perlu dikembangkan oleh IAI sebagai standar profesi yang berlaku nasional.

Tabel 3. Rekomendasi Strategi Manajemen Adaptif: Dimensi Skala dan Horizon Waktu

Strategi	Tujuan	Langkah Implementasi	Skala Biro	Horizon Waktu	Output yang Diharapkan
1. Penguatan SDM Digital	Meningkatkan kesiapan organisasi terhadap AI	<ul style="list-style-type: none"> • Pemetaan kompetensi digital staf • Pelatihan BIM, AI-assisted design, data literacy • Workshop etika AI & hak cipta desain • Pengembangan kurikulum internal 	Semua skala (intensitas berbeda)	Jangka Pendek (0–12 bln)	Staf mampu menggunakan AI secara produktif, kritis, dan bertanggung jawab
2. Integrasi Teknologi Bertahap	Mengurangi risiko transformasi digital	<p>Kecil: standardisasi data & BIM dasar</p> <p>Menengah: simulasi performa & AI desain</p> <p>Besar: digital twin, predictive analytics, 4D BIM</p>	Disesuaikan per skala	Jangka Menengah (1–3 thn)	Workflow lebih efisien, prediktif, dan terukur; reduksi waktu desain 20–40%
3. Layanan Berbasis Nilai	Meningkatkan daya saing dan diversifikasi pendapatan	<ul style="list-style-type: none"> • Simulasi performa energi & biaya siklus hidup • Audit keberlanjutan 	Menengah & Besar	Jangka Menengah–Panjang (2–5 thn)	Model bisnis lebih beragam; diferensiasi berbasis data & keberlanjutan

		<ul style="list-style-type: none"> bangunan Smart facility management Konsultasi digital construction 			
4. Kolaborasi Ekosistem	Mempercepat adopsi dan berbagi risiko	<ul style="list-style-type: none"> Kemitraan dengan perguruan tinggi & IAI Integrasi dengan platform data PUPR/BSNI Konsorsium data proyek antar biro Kolaborasi dengan penyedia teknologi 	Semua skala; biro kecil: fokus pada asosiasi	Jangka Panjang (3–5 thn)	Standar, pedoman, dan jejaring implementasi yang lebih kuat & berkelanjutan
5. Tata Kelola Etis AI	Mengendalikan risiko profesional dan hukum	<ul style="list-style-type: none"> Prosedur validasi output AI Kebijakan keamanan & privasi data Protokol hak cipta desain AI Penetapan batas tanggung jawab arsitek vs. AI 	Semua skala; wajib diterapkan sejak awal	Jangka Pendek (segera)	Penggunaan AI aman, transparan, dapat dipertanggungjawabkan secara profesional

KESIMPULAN

Perkembangan AI dalam arsitektur menunjukkan transformasi signifikan dari praktik desain konvensional menuju sistem berbasis data, komputasi, dan integrasi teknologi. Kajian terhadap 20 artikel ilmiah periode 2021–2025 mengonfirmasi bahwa AI telah diterapkan secara luas dalam generative design, optimasi performa bangunan, BIM, digital twin, machine learning, 4D simulation, predictive analytics, dan smart building management.

Sintesis kritis terhadap literatur mengungkap adanya konsensus yang kuat mengenai kapasitas AI dalam meningkatkan efisiensi dan mentransformasi peran profesional arsitek, sekaligus mengidentifikasi kontradiksi yang belum terselesaikan mengenai ancaman versus pemberdayaan arsitek dan kelayakan adopsi AI dalam konteks sumber daya terbatas. Tiga celah penelitian utama teridentifikasi: keterbatasan studi

empiris berbasis Indonesia, ketiadaan kerangka tata kelola etis yang operasional, dan belum adanya model bisnis hibrid untuk biro skala kecil-menengah.

Dalam konteks Indonesia, implementasi AI masih menghadapi tantangan sistemik pada aspek kompetensi SDM, infrastruktur digital, biaya investasi, fragmentasi data, regulasi, dan budaya kerja proyek. Strategi manajemen adaptif yang dirumuskan — penguatan SDM digital, integrasi teknologi bertahap, layanan berbasis nilai, kolaborasi ekosistem, dan tata kelola etis — dirancang dengan mempertimbangkan perbedaan skala biro dan horizon waktu implementasi, sehingga lebih operasional dan kontekstual dibandingkan rekomendasi yang bersifat generik.

IMPLIKASI PRAKTIS

Bagi biro arsitektur, kajian ini menunjukkan bahwa AI perlu dipahami sebagai komponen integral dari strategi bisnis jangka panjang, bukan sekadar alat bantu desain. Langkah pertama yang dapat segera dilakukan adalah melakukan penilaian kesiapan digital (*digital readiness assessment*) internal, dilanjutkan dengan penyusunan peta jalan (*roadmap*) adopsi teknologi yang disesuaikan dengan skala, kapasitas, dan tujuan bisnis masing-masing biro.

Bagi Ikatan Arsitek Indonesia (IAI), kajian ini menegaskan urgensi pengembangan standar kompetensi digital arsitek yang mencakup literasi AI, BIM tingkat lanjut, dan etika teknologi. Standar ini perlu menjadi bagian dari persyaratan sertifikasi dan pendidikan berkelanjutan (*continuing professional development/CPD*) anggota IAI.

Bagi Kementerian PUPR dan lembaga regulasi terkait, hasil kajian ini mendukung percepatan implementasi Peraturan Menteri PUPR No. 22 Tahun 2018 tentang BIM sebagai fondasi bagi adopsi AI yang lebih sistematis. Diperlukan pula pengembangan panduan teknis nasional mengenai integrasi AI dalam industri AEC, standar keamanan data proyek, dan kerangka hak cipta desain berbasis AI yang sesuai dengan hukum dan etika profesi di Indonesia.

Bagi Lembaga Pengembangan Jasa Konstruksi (LPJK) dan Badan Standardisasi Nasional (BSN), kajian ini menunjukkan kebutuhan mendesak bagi pengembangan standar data proyek konstruksi yang memungkinkan interoperabilitas antar platform BIM dan sistem AI, serta standar audit performa bangunan berbasis AI.

Bagi institusi pendidikan arsitektur, kajian ini menunjukkan pentingnya integrasi segera antara kurikulum arsitektur konvensional dengan literasi data, BIM tingkat lanjut, pemahaman AI generatif, etika digital, dan manajemen inovasi. Program Magister Arsitektur secara khusus perlu mengembangkan mata kuliah tentang manajemen transformasi digital biro arsitektur, yang memadukan perspektif teknologi, bisnis, dan kebijakan.

KETERBATASAN DAN SARAN PENELITIAN LANJUTAN

Keterbatasan utama kajian ini terletak pada penggunaan SLR yang masih bergantung pada ketersediaan dan aksesibilitas literatur, serta belum dilengkapi data

empiris primer dari biro arsitektur di Indonesia. Meskipun jumlah artikel telah diperluas menjadi 20, dominasi literatur dari konteks negara maju tetap menjadi keterbatasan dalam pengembangan sintesis yang benar-benar berbasis konteks Indonesia. Selain itu, dinamika perkembangan AI yang sangat cepat berarti sebagian temuan mungkin sudah berkembang lebih lanjut saat artikel ini dipublikasikan.

Penelitian lanjutan disarankan untuk: (1) melakukan studi empiris melalui survei nasional atau wawancara mendalam dengan biro arsitektur Indonesia untuk memetakan tingkat kesiapan AI aktual (AI readiness mapping); (2) mengembangkan studi kasus longitudinal pada biro arsitektur yang telah mengadopsi AI untuk mendokumentasikan proses transformasi dan dampaknya; (3) mengembangkan model bisnis hibrid yang operasional bagi biro arsitektur skala kecil-menengah di Indonesia; dan (4) merancang kerangka tata kelola etis penggunaan AI yang kontekstual bagi profesi arsitek Indonesia, yang dapat diadopsi oleh IAI sebagai panduan standar profesi.

REFERENSI

- Agri, M. E., Le, A., & Phung, Q. (2025). AI integration in architectural design and management: Professionals' perspectives. *Architectural Engineering and Design Management*, 1–16. <https://doi.org/10.1080/17452007.2025.2548911>
- Albukhari, I. N. (2025). The role of artificial intelligence (AI) in architectural design: A systematic review of emerging technologies and applications. *Journal of Umm Al-Qura University for Engineering and Architecture*, 16, 1457–1476.
- Ariono, B., Wasesa, M., & Dhewanto, W. (2022). The drivers, barriers, and enablers of Building Information Modeling (BIM) innovation in developing countries: Insights from Indonesia. *Buildings*, 12(1912), 1–22.
- Baduge, S. K., Thilakarathna, S., Perera, J. S., Arashpour, M., Sharafi, P., Teodosio, B., Shringi, A., & Mendis, P. (2022). Artificial intelligence and smart vision for building and construction 4.0: Machine and deep learning methods and applications. *Automation in Construction*, 141, 104440.
- Bercic, T., Bohanec, M., & Momirski, L. A. (2024). Integrating multi-criteria decision models in smart urban planning: A case study of architectural and urban design competitions. *Smart Cities*, 7, 786–805.
- Bock, T., & Linner, T. (2016). *Robotics and automation in construction*. Cambridge University Press.
- Brynjolfsson, E., & McAfee, A. (2014). *The second machine age: Work, progress, and prosperity in a time of brilliant technologies*. W. W. Norton & Company.
- Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., & Liston, K. (2018). *BIM handbook: A guide to building information modeling for owners, designers, engineers, contractors, and facility managers* (3rd ed.). John Wiley & Sons.
- Gadalla, A., Tracada, E., & Hamza, O. (2025). The role of AI in driving effective sustainable architecture design. *Springer Nature*, 2, 451–460.
- Habibi, S. (2023). Smart BIM and digital twin for sustainable buildings: A review of integrated frameworks and applications. *Buildings*, 13(4), 902.
- Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. (2018). Peraturan Menteri PUPR No. 22/PRT/M/2018 tentang Pembangunan Bangunan Gedung Negara. Kementerian PUPR Republik Indonesia.

- Li, J., Liu, Z., Han, G., & Demian, P. (2024). The relationship between Artificial Intelligence (AI) and Building Information Modeling (BIM) technologies for sustainable building in the context of smart cities. *Sustainability*, 16(10848), 1–38.
- Liang, C. J., Le, T., Ham, Y., & Shealy, T. (2023). Ethics of artificial intelligence and robotics in the architecture, engineering, and construction industry. *Journal of Construction Engineering and Management*, 149(7).
- Liu, Y., Li, T., Xu, W., Wang, Q., & Huang, H. (2023). Building information modelling-enabled multi-objective optimization for energy consumption parametric analysis in green buildings design using hybrid machine learning algorithms. *Energy and Buildings*, 300, 113665.
- Mayouf, M., Jones, J., & Elghaish, F. (2024). Revolutionising the 4D BIM process to support scheduling requirements in modular construction. *Sustainability*, 16(2), 476.
- Mikalef, P., Krogstie, J., Pappas, I. O., & Pavlou, P. A. (2020). Investigating the effects of big data analytics capabilities on firm performance: The mediating role of dynamic capabilities. *Information & Management*, 57(2).
- Ogunseiju, O. R., Akanmu, A. A., Nwosu, K. I., & Huang, Y. (2023). Emerging technology-based learning environments for construction workforce upskilling and reskilling in the era of Industry 4.0. *Automation in Construction*, 145, 104629.
- Pacheco, A., & Pacheco-Pumaleque, L. (2024). Transforming construction management in Peru: The role of BIM in innovation and efficiency. *Sage Journal*, 14(1), 21582440241233400.
- Pan, Y., & Zhang, L. (2021). Roles of artificial intelligence in construction engineering and management: A critical review and future trends. *Automation in Construction*, 122, 103517. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103517>
- Quan, S. J. (2022). Urban-GAN: An artificial intelligence-aided computation system for plural urban design. *Sage Journal*, 49(9), 2500–2515. <https://doi.org/10.1177/23998083221100550>
- Rane, N. L. (2023). Integrating leading-edge Artificial Intelligence (AI), Internet of Things (IoT), and big data technologies for smart and sustainable Architecture, Engineering and Construction (AEC) industry. *International Journal of Data Science and Big Data Analytics*, 3, 73–95.
- Rani, H. A., Al-mohammad, M. S., & Rajabi, M. S. (2023). Critical government strategies for enhancing Building Information Modeling implementation in Indonesia. *Infrastructures*, 8(57), 1–16.
- Tiburcio, V. A. (2024). Digital management methodology for building production optimization through digital twin and Artificial Intelligence integration. *Buildings*, 14(2110), 1–23.
- Zhang, Y., Li, X., Wang, Z., & Chen, H. (2025). Generative AI in architectural design: Application, data, and evaluation methods. *Automation in Construction*, 174, 106174.
- Zhao, Y., Wang, N., Liu, Z., & Mu, E. (2022). Construction theory for a building intelligent operation and maintenance system based on digital twins and machine learning. *Buildings*, 12(87), 1–17.