



ARTIFICIAL INTELLIGENCE DALAM ARSITEKTUR: SEJARAH, PERKEMBANGAN, DAN PROSPEK MASA DEPAN

Artificial Intelligence in Architecture: History, Evolution, and Future Prospects

Stephanus Wirawan Dharmatanna

Program Studi Arsitektur, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Kristen Petra (stephanus.dharmatanna@petra.ac.id)

ABSTRAK

Artificial Intelligence (AI) telah membawa transformasi yang signifikan dalam bidang arsitektur, mulai dari digitalisasi proses perancangan hingga penerapan teknologi *machine learning* dan *deep learning* dalam berbagai aspek desain, konstruksi, serta pengelolaan bangunan. Perkembangan teknologi ini tidak hanya mengubah cara arsitek bekerja, tetapi juga membuka peluang baru dalam menciptakan lingkungan binaan yang lebih efisien, adaptif, dan berkelanjutan. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji evolusi perkembangan AI dalam bidang arsitektur, mengevaluasi implementasinya dalam praktik arsitektur kontemporer, serta mengidentifikasi berbagai tantangan dan prospek pengembangannya pada masa mendatang. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah studi literatur dengan pendekatan deskriptif-kualitatif melalui analisis dan sintesis berbagai sumber akademik, publikasi ilmiah, serta studi kasus yang relevan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa AI telah mengalami perkembangan dari teknologi pendukung gambar berbasis *Computer-Aided Design (CAD)* menjadi sistem cerdas yang mampu mendukung optimasi desain, pengambilan keputusan, manajemen bangunan cerdas, serta konservasi bangunan bersejarah. Berbagai studi kasus menunjukkan bahwa penerapan AI berkontribusi dalam meningkatkan efisiensi proses desain, optimasi struktur, pengelolaan energi bangunan, serta dokumentasi dan rekonstruksi warisan arsitektur. Meskipun menawarkan berbagai peluang untuk mewujudkan arsitektur yang lebih inovatif dan berkelanjutan, implementasi AI masih menghadapi sejumlah tantangan yang berkaitan dengan kualitas data, aspek etika, interpretasi kreativitas, serta kesiapan industri dalam mengadopsi teknologi tersebut. Temuan penelitian ini menunjukkan bahwa AI memiliki potensi besar untuk menjadi mitra strategis bagi arsitek dalam mendukung proses perancangan dan pengelolaan lingkungan binaan yang lebih inovatif, responsif, dan berorientasi pada kebutuhan masa depan.

Kata-kata kunci: *Artificial Intelligence, Arsitektur, Generative Design, Smart Buildings, BIM.*

ABSTRACT

Artificial Intelligence (AI) has brought significant transformations to the field of architecture, ranging from the digitalization of design processes to the application of machine learning and deep learning technologies in various aspects of design, construction, and building management. These technological advancements have not only changed the way architects work but have also created new opportunities for developing more efficient, adaptive, and sustainable built environments. This study aims to examine the evolution of AI in architecture, evaluate its implementation in contemporary architectural practice, and identify the challenges and future prospects of its development. The research employs a literature review using a descriptive qualitative approach through the analysis and synthesis of various academic sources, scientific publications, and relevant case studies. The findings indicate that AI has evolved from Computer-Aided Design (CAD)-based drafting support into intelligent systems capable of facilitating design optimization, decision-making, smart building management, and the conservation of historic buildings. Various case studies demonstrate that AI contributes to improving design efficiency, structural optimization, building energy management, as well as the documentation and reconstruction of architectural heritage. Although AI offers considerable opportunities for realizing more innovative and sustainable architecture, its implementation still faces several challenges related to data quality, ethical concerns, the interpretation of creativity, and the readiness of the industry to adopt such technologies. The findings suggest that AI has substantial potential to become a strategic partner for architects in supporting the design process and the management of built environments that are more innovative, responsive, and oriented toward future needs.

Keywords: *Artificial Intelligence, Architecture, Generative Design, Smart Building, BIM.*

Article History

Diterima (Received)	: 22-05-2025
Diperbaiki (Revised)	: 17-05-2026
Diterima (Accepted)	: 22-06-2026



1. PENDAHULUAN

Arsitektur telah mengalami transformasi besar dengan kemajuan teknologi digital, terutama dengan kehadiran *Artificial Intelligence* (AI). Awalnya, desain arsitektur dilakukan secara manual melalui sketsa tangan dan maket fisik, namun sejak era 1960-an, teknologi (Melendez, 2019) dan mulai merambah ke dunia arsitektur dengan munculnya *Computer-Aided Design* (CAD) yang memungkinkan arsitek menggambar dan memodifikasi desain secara digital (Bourbonnais, 2024). Seiring berkembangnya teknologi, AI mulai diperkenalkan dalam arsitektur melalui sistem berbasis aturan atau yang lebih dikenal *rule-based systems* (Ko et al., 2023) yang digunakan untuk membantu pengambilan keputusan dalam perancangan tata letak ruang dan zonasi (Rahbar et al., 2022). Namun, kemajuan signifikan terjadi pada era 1990-an hingga 2010-an dengan hadirnya desain parametrik dan algoritma generatif, seperti penggunaan *Rhino+Grasshopper* dan *Autodesk Generative Design* (Bailey, 2024), dimana perkembangan ini memungkinkan arsitek mengeksplorasi bentuk kompleks dan adaptif yang sulit dicapai dengan metode konvensional.

Pada dekade 2010-an hingga saat ini, *Machine Learning* dan *Deep Learning* semakin berperan dalam arsitektur (Taye, 2023). AI digunakan tidak hanya untuk desain generatif, tetapi juga dalam *Building Information Modeling* (BIM) (Dharmatanna & Wijaya, 2025b), analisis performa bangunan, dan bahkan dalam konservasi arsitektur bersejarah, seperti rekonstruksi digital Notre-Dame setelah kebakaran (Guibaud et al., 2024). Selain itu, AI telah diterapkan dalam perencanaan kota berbasis data, di mana *big data analytics* dan *computer vision* membantu memahami pola pertumbuhan kota dan dampak lingkungan dari pembangunan (He & Chen, 2024).

Saat ini, AI terus berkembang dengan konsep desain adaptif dan arsitektur responsif (Rane et al., 2023b), yang memungkinkan bangunan menyesuaikan diri terhadap kondisi lingkungan serta kebutuhan pengguna secara dinamis. Sebagai contoh *smart buildings* yang memanfaatkan AI untuk mengatur pencahayaan (Panchalingam & Chan, 2021), ventilasi (Hasan et al., 2024), dan suhu berdasarkan data *real-time* (Farzaneh et al., 2021). Selain itu, AI juga digunakan dalam pemindaian 3D untuk dokumentasi dan pelestarian bangunan bersejarah (Cotella, 2023).

Meskipun AI menawarkan berbagai peluang dalam bidang arsitektur, terdapat sejumlah tantangan dalam implementasinya, seperti keterbatasan AI dalam menginterpretasikan aspek estetika dan

keaktivitas manusia, serta resistensi industri terhadap adopsi teknologi berbasis AI. Selain itu, integrasi AI dalam praktik arsitektur juga menimbulkan pertanyaan terkait peran arsitek, etika desain, dan kesiapan teknologi dalam mendukung proses perancangan secara komprehensif. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengkaji evolusi penerapan AI dalam arsitektur, mengevaluasi implementasinya dalam praktik desain kontemporer, serta mengidentifikasi tantangan dan prospek pengembangannya di masa depan. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan pemahaman konseptual mengenai transformasi AI dalam arsitektur sekaligus menjadi referensi dalam pengembangan desain yang lebih inovatif, efisien, dan berkelanjutan.

2. STUDI LITERATUR

Artificial Intelligence (AI) dalam arsitektur mengacu pada penerapan teknologi komputasi cerdas yang mampu menganalisis, mengoptimalkan, dan menghasilkan desain arsitektur secara otomatis atau semi-otomatis (BuHamdan et al., 2021). AI memungkinkan komputer untuk mempelajari pola, membuat keputusan desain, serta meningkatkan efisiensi proses perancangan dan konstruksi.

2.1 Definisi dan Konsep AI dalam Arsitektur

AI dalam arsitektur memiliki beberapa karakteristik utama yang menjadikannya alat yang sangat berharga dalam proses desain dan perencanaan bangunan. Automasi desain memungkinkan AI untuk menghasilkan berbagai alternatif desain berdasarkan aturan atau algoritma tertentu (Rane et al., 2023a), sehingga mempercepat proses perancangan dan mengurangi beban kerja arsitek. Selain itu, analisis data dan prediksi menjadi aspek penting dalam penerapan AI (Baduge et al., 2022), di mana sistem cerdas dapat mengevaluasi performa bangunan melalui simulasi termal, pencahayaan, hingga optimasi struktur untuk memastikan efisiensi dan keberlanjutan desain. Lebih lanjut, AI juga berkontribusi dalam menciptakan arsitektur yang interaktif dan responsif (Lee et al., 2021), memungkinkan bangunan untuk beradaptasi dengan kebutuhan pengguna serta kondisi lingkungan secara *real-time* dan menganalisa bangunan secara *real-time* dengan menggunakan *Autodesk Forma* (Dharmatanna & Wijaya, 2025b). Dengan kombinasi karakteristik ini, AI tidak hanya meningkatkan efisiensi dalam proses arsitektur (Wu et al., 2022) tetapi juga membuka peluang untuk desain yang lebih inovatif dan berkelanjutan (Yigitcanlar & Cugurullo, 2020).



2.2 Pengertian AI dan relevansinya dalam bidang arsitektur.

Relevansi AI dalam arsitektur semakin meningkat dengan berkembangnya kebutuhan akan efisiensi, keberlanjutan, dan inovasi dalam desain bangunan. Beberapa manfaat utama AI dalam arsitektur: Pertama, AI sebagai Automasi Proses Desain (Parekh, 2024) dimana AI dapat membantu menghasilkan desain awal berdasarkan parameter tertentu, mengurangi waktu yang dibutuhkan dalam perancangan. Kedua, AI digunakan sebagai optimasi performa bangunan (Pan et al., 2023) yang dapat menganalisis aspek pencahayaan, sirkulasi udara, efisiensi energi, dan ketahanan struktur. Ketiga AI dimanfaatkan untuk Simulasi dan Prediksi (Debrah et al., 2022), dimana AI mampu memprediksi dampak lingkungan terhadap bangunan, seperti perubahan iklim atau pola penggunaan energi. Ke empat, AI bermanfaat untuk Rekonstruksi Bangunan Bersejarah (Angjeliu et al., 2020), AI membantu dalam digitalisasi dan pemodelan ulang bangunan yang telah rusak atau hilang. Dalam perkembangannya, AI semakin terintegrasi dengan teknologi seperti BIM (Dharmatanna & Wijaya, 2025b), desain parametrik, dan analisis *big data* untuk menciptakan solusi yang lebih cerdas dan adaptif (Bell, 2023).

2.3 Perbedaan antara AI berbasis *rule-based*, *machine learning*, dan *deep learning* dalam desain arsitektur.

AI dalam arsitektur berkembang melalui berbagai pendekatan, yang dapat dikategorikan menjadi tiga jenis utama yakni berbasis *rule-based*, *machine learning*, dan *deep learning* dalam desain arsitektur (Kierner et al., 2023). *Rule-based* AI bekerja berdasarkan aturan *if-then* yang telah ditentukan sebelumnya, seperti dalam sistem pakar untuk zonasi ruang. Pendekatan ini mudah dipahami tetapi kurang fleksibel karena tidak dapat menyesuaikan diri dengan kondisi baru. *Machine learning* (ML) memungkinkan AI belajar dari data tanpa pemrograman eksplisit. Misalnya, ML dapat menganalisis efisiensi energi bangunan dan memprediksi kebutuhan ruang kota berdasarkan pola pertumbuhan penduduk. Metode ini lebih fleksibel, tetapi memerlukan data besar dan sulit dijelaskan secara logis.

Deep learning menggunakan jaringan saraf tiruan untuk memahami pola yang lebih kompleks, seperti dalam *generative design* dan analisis citra arsitektur (Khan et al., 2020). Contohnya, GANs dapat menciptakan variasi desain bangunan, sementara *computer vision* mengidentifikasi elemen arsitektur

dari foto atau model 3D. Pendekatan ini menghasilkan desain inovatif, tetapi membutuhkan daya komputasi tinggi dan sulit ditafsirkan.

3. METODELOGI PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif dengan metode studi literatur untuk menganalisis evolusi dan prospek penerapan AI dalam arsitektur (Özerol & Arslan Selçuk, 2023). Metode ini dipilih karena memungkinkan eksplorasi mendalam terhadap perkembangan teknologi AI dalam arsitektur berdasarkan sumber-sumber akademik dan studi kasus yang relevan.

3.1 Jenis Penelitian

Penelitian ini bersifat eksploratif-deskriptif, yang bertujuan untuk memahami evolusi AI dalam arsitektur dari perspektif historis hingga tren masa depan. Data dikumpulkan dari sumber akademik yang kredibel dan dianalisis untuk mengidentifikasi pola perkembangan teknologi AI dalam bidang arsitektur.

3.2 Sumber Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari literatur akademik berupa Jurnal ilmiah, buku, dan prosiding konferensi yang membahas AI dalam arsitektur. Literatur diperoleh melalui database seperti Google Scholar, Scopus, dan ScienceDirect termasuk teori desain generatif, BIM berbasis AI, dan *smart buildings* dan perencanaan kota berbasis AI. Selain itu, penelitian ini juga menggunakan beberapa studi kasus proyek arsitektur yang telah menerapkan AI, seperti desain parametrik, rekonstruksi digital bangunan bersejarah, dan penerapan *machine learning* dalam optimasi performa bangunan.

3.3 Teknik Analisis Data

Penelitian ini menggunakan analisis deskriptif-kualitatif untuk mengidentifikasi perkembangan, implementasi, serta prospek penerapan AI dalam arsitektur. Proses analisis dilakukan melalui sintesis literatur dan studi kasus yang diperoleh dari berbagai sumber akademik. Tahap awal dilakukan dengan mengidentifikasi dan mengklasifikasikan literatur berdasarkan periode perkembangan AI, jenis teknologi yang digunakan, serta bidang implementasinya dalam arsitektur, seperti desain generatif, *Building Information Modeling* (BIM), *smart buildings*, dan konservasi bangunan bersejarah. Selanjutnya, dilakukan analisis terhadap pola dan tren penerapan AI dalam praktik arsitektur untuk memahami pengaruh teknologi tersebut terhadap proses desain, efisiensi bangunan, keberlanjutan,



dan transformasi digital dalam arsitektur. Tahap akhir dilakukan melalui interpretasi dan sintesis hasil analisis guna menyusun pemahaman yang lebih komprehensif mengenai evolusi AI dalam arsitektur, tantangan implementasi, serta peluang pengembangannya di masa depan.

3.4 Metode Penarikan Kesimpulan

Kesimpulan dalam penelitian ini ditarik melalui pendekatan deduktif dan induktif berdasarkan hasil analisis literatur dan studi kasus yang telah dikaji. Pendekatan deduktif dilakukan dengan membandingkan temuan-temuan dari berbagai studi terkait penerapan AI dalam arsitektur dengan konsep dan teori yang telah dibahas pada kajian pustaka. Proses ini bertujuan untuk mengidentifikasi kesesuaian antara perkembangan teknologi AI dengan teori desain, keberlanjutan, serta transformasi digital dalam arsitektur.

Sementara itu, pendekatan induktif dilakukan dengan mengidentifikasi pola, kecenderungan, dan hubungan antar temuan dari berbagai literatur dan studi kasus. Literatur kemudian diklasifikasikan berdasarkan periode perkembangan teknologi AI, jenis implementasi, serta dampaknya terhadap praktik arsitektur. Dari hasil analisis tersebut, disusun sintesis mengenai perkembangan AI dalam arsitektur, tantangan implementasi, serta prospek penerapannya di masa depan.

4. HASIL PENELITIAN

4.1 Hasil Komparasi Literatur

Untuk memperoleh gambaran yang lebih ang lebih komprehensif mengenai perkembangan AI dalam arsitektur, dilakukan komparasi terhadap beberapa tema utama yang banyak dibahas dalam literatur, meliputi CAD dan early AI, generative design, BIM berbasis AI, serta rekonstruksi bangunan bersejarah. Hasil komparasi yang mencakup kontribusi, tantangan, dan prospek masing-masing pendekatan disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Sintesis Literatur Penerapan AI dalam Arsitektur

Kasus	Kontribusi	Tantangan	Prospek	Referensi
CAD & Early AI	Dasar perkembangan AI dalam desain	Terbatas pada rule-based	Fondasi untuk CAD-parametrik	(Gerber et al., 2022)

Generative design	Optimasi eksplorasi desain	Kurang estetika manusiawi	AI sebagai co-creator	(Rane et al., 2023a)
BIM + AI	Integrasi simulasi & analisis	Keterbatasan data	BIM cerdas berbasis AI	(Dharmanan, 2025)
Heritage reconstruction	Notre-Dame digital twin	Data scanning besar & mahal	AI untuk konservasi warisan	(Mouaddib et al., 2024)

Sumber : Sintesis Penulis

Berdasarkan Tabel 1, perkembangan AI dalam arsitektur menunjukkan pergeseran dari teknologi yang berfungsi sebagai alat bantu desain menuju sistem yang mampu mendukung analisis, optimasi, dan pengambilan keputusan secara lebih cerdas. Meskipun setiap pendekatan memiliki tantangan yang berbeda, seluruh temuan menunjukkan bahwa AI memiliki potensi besar untuk meningkatkan efisiensi proses desain, pengelolaan bangunan, dan konservasi warisan arsitektur di masa depan.

4.2 Perkembangan AI dalam Arsitektur

Pada tahap awal (1960-an – 1980-an), AI dalam arsitektur masih terbatas pada komputerisasi desain. Penggunaan *Computer-Aided Design* (CAD) mulai berkembang, memungkinkan arsitek menggambar dan memodifikasi desain secara digital. Salah satu inovasi penting adalah Sketchpad (1963), yang memperkenalkan konsep desain berbasis komputer (Gerber et al., 2022). Selain itu, sistem berbasis aturan (*rule-based systems*) mulai digunakan untuk membantu pengambilan keputusan, seperti dalam perencanaan tata letak ruang (Fox & Bell, 2024). Meskipun masih sederhana, perkembangan ini menjadi dasar bagi otomatisasi desain yang lebih kompleks di masa depan.

4.3 Desain Parametrik (1990-an – 2010-an): Rhino+Grasshopper, generative design, dan optimasi desain berbasis AI.

Pada periode 1990-an – 2010-an, AI dalam arsitektur berkembang melalui desain parametrik dan generative design. Perangkat lunak seperti *Rhino+Grasshopper* memungkinkan arsitek



menciptakan bentuk kompleks dengan algoritma berbasis parameter (Gaha, 2023). *Generative design*, yang didukung oleh AI, mulai digunakan untuk mengeksplorasi berbagai alternatif desain secara otomatis berdasarkan kriteria tertentu, seperti efisiensi struktur dan pencahayaan alami (Rane et al., 2023a). Selain itu, AI mulai diterapkan dalam optimasi desain, membantu arsitek menganalisis performa bangunan dalam hal keberlanjutan, ventilasi, dan konsumsi energi, sehingga menghasilkan solusi yang lebih efisien dan inovatif.

4.4 Machine Learning & Deep Learning (2010-an – Sekarang): BIM cerdas, urban analytics, dan konservasi bangunan bersejarah dengan AI.

Sejak 2010-an hingga sekarang, AI dalam arsitektur semakin berkembang dengan penerapan machine learning dan deep learning (Bernstein, 2025). BIM cerdas atau *AI-driven BIM* ini memungkinkan otomatisasi analisis desain, efisiensi konstruksi, dan prediksi perawatan bangunan (Dharmatanna, 2025). Urban analytics menggunakan AI untuk menganalisis data kota, memprediksi pertumbuhan urban, serta meningkatkan perencanaan infrastruktur (Laohaviraphap & Waroonkun, 2024). Dalam konservasi bangunan bersejarah, AI dan *computer vision* membantu rekonstruksi digital, seperti pemindaian 3D dan analisis pola arsitektur, untuk mendokumentasikan serta melestarikan warisan budaya secara lebih akurat dan efisien (Mazzetto, 2024).

4.5 Implementasi AI dalam Arsitektur

Implementasi AI dalam arsitektur terus berkembang melalui berbagai pendekatan, mulai dari *generative design*, optimasi struktur, *smart buildings*, hingga bangunan adaptif. Penerapan tersebut menunjukkan bahwa AI tidak hanya berfungsi sebagai alat simulasi digital, tetapi juga sebagai sistem berbasis data yang mampu mendukung pengambilan keputusan dan optimasi desain secara otomatis. Untuk memahami perbedaan karakteristik antara AI dan perangkat lunak konvensional dalam arsitektur, Tabel 2 menunjukkan perbandingan fungsi, cara kerja, dan penerapan kedua teknologi tersebut dalam proses desain dan pengelolaan bangunan.

Tabel 2. Perbedaan karakteristik AI dan *Software Konvensional* dalam Arsitektur

Aspek	<i>Software Konvensional</i>	AI dalam Arsitektur
Cara Kerja	Berdasarkan input manual dan simulasi statis	Menggunakan data, machine learning, dan analisis prediktif
Adaptasi	Tidak adaptif	Adaptif terhadap data dan kondisi <i>real-time</i>
Fungsi Utama	Simulasi dan dokumentasi	Optimasi dan pengambilan keputusan
Contoh	BIM, <i>software</i> simulasi termal	Generative design, <i>smart building</i> AI
Output	Analisis berdasarkan parameter tetap	Rekomendasi dan penyesuaian otomatis

Sumber: (Dharmatanna et al., 2026; Dharmatanna & Wijaya, 2026, 2024; Ekanayaka Gunasinghalge et al., 2025; Li et al., 2023)

4.6 Generative Design dan AI dalam optimasi struktur.

Generative design merupakan salah satu penerapan AI yang signifikan dalam arsitektur karena memungkinkan eksplorasi berbagai alternatif desain berdasarkan parameter struktural tertentu, seperti efisiensi material, distribusi beban, stabilitas struktur, dan bentuk geometris bangunan (Albukhari, 2025). Dalam optimasi struktur, AI berperan dalam meningkatkan kekuatan dan efisiensi bangunan melalui simulasi digital dan analisis berbagai kemungkinan konfigurasi struktur secara otomatis (Emad et al., 2025; Sun et al., 2025). Pendekatan ini memungkinkan proses perancangan yang lebih efisien serta menghasilkan struktur bangunan yang lebih adaptif dan optimal dibandingkan metode konvensional.



Gambar 1. MX3D Bridge

Sumber: <https://www.arup.com/projects/mx3d-bridge/>

Studi kasus seperti MX3D Bridge di Amsterdam yang dapat dilihat pada Gambar 1 menunjukkan bagaimana AI dan teknologi *3D printing* digunakan untuk menghasilkan bentuk struktur yang lebih efisien secara geometris dan material (Han et al., 2022). Berbeda dengan BIM yang berfokus pada pengelolaan informasi dan dokumentasi bangunan (Wijaya & Dharmatanna, 2024), AI dalam *generative design* berperan dalam menghasilkan serta mengevaluasi berbagai alternatif desain secara otomatis berdasarkan parameter struktural tertentu (Li et al., 2023). Dalam kasus ini, AI digunakan untuk menganalisis distribusi beban, bentuk struktur, dan penggunaan material sehingga menghasilkan desain jembatan yang tetap kuat secara struktural dengan penggunaan material yang lebih efisien. Pendekatan tersebut memungkinkan proses desain menjadi lebih cepat, adaptif, dan mendukung prinsip keberlanjutan melalui pengurangan penggunaan material konstruksi. Dengan demikian, AI membuka peluang bagi pengembangan arsitektur yang lebih inovatif, efisien, dan responsif terhadap kebutuhan desain kontemporer.

4.7 AI dalam *smart buildings* dan bangunan adaptif.

Penerapan AI dalam *smart buildings* memungkinkan bangunan menyesuaikan diri dengan kondisi lingkungan dan kebutuhan penghuninya secara otomatis melalui sistem berbasis data dan *machine learning*. Teknologi ini mencakup sistem manajemen energi berbasis AI yang mampu mempelajari pola penggunaan energi, pencahayaan cerdas yang menyesuaikan intensitas berdasarkan aktivitas dan waktu penggunaan ruang, serta sistem *Heating, Ventilation, and Air Conditioning* (HVAC) yang merespons perubahan suhu dan kualitas udara secara *real-time* untuk meningkatkan efisiensi energi.

Berbeda dengan perangkat lunak simulasi konvensional yang umumnya hanya menghitung performa termal atau radiasi panas berdasarkan parameter input tertentu, AI pada *smart buildings* mampu melakukan analisis prediktif dan penyesuaian otomatis berdasarkan data sensor dan pola penggunaan bangunan secara berkelanjutan ((Dharmatanna et al., 2026; Ekanayaka Gunasinghalge et al., 2025). Dengan demikian, AI tidak hanya berfungsi sebagai alat simulasi, tetapi juga sebagai sistem adaptif yang dapat mendukung pengambilan keputusan secara dinamis.

Pada bangunan adaptif, AI digunakan untuk menciptakan arsitektur yang responsif terhadap perubahan lingkungan dan kebutuhan fungsional. Contohnya adalah fasad bangunan yang dapat berubah bentuk untuk mengatur pencahayaan alami atau ventilasi berdasarkan kondisi cuaca. Implementasi ini tidak hanya meningkatkan kenyamanan penghuni tetapi juga mendukung keberlanjutan dengan mengurangi konsumsi energi (Ali et al., 2024).

4.8 AI dalam perencanaan kota berbasis data.

AI dalam perencanaan kota berbasis data memungkinkan pengambilan keputusan yang lebih akurat dan efisien dengan menganalisis berbagai aspek perkotaan secara *real-time*. Teknologi ini dapat mengolah data dari sensor IoT, citra satelit, dan rekaman lalu lintas untuk mengidentifikasi pola kepadatan penduduk, mobilitas, serta efisiensi penggunaan lahan (Ang et al., 2022). Salah satu implementasi nyata adalah Sidewalk Toronto, sebuah proyek smart city yang menggunakan AI untuk merancang kawasan perkotaan berbasis data, termasuk pengaturan transportasi otonom dan efisiensi energi (Artyushina, 2020). *Singapore Smart Nation* juga memanfaatkan AI untuk mengelola lalu lintas, mengoptimalkan transportasi publik, dan meningkatkan keamanan kota dengan analisis data dari sistem pengawasan pintar (Ferro-Escobar et al., 2022). Selain itu, *Songdo International Business District* di Korea Selatan menerapkan AI untuk mengontrol konsumsi energi dan sistem pengelolaan limbah secara otomatis, menciptakan kota yang lebih berkelanjutan (Huh et al., 2024). Dengan integrasi AI, perencanaan kota tidak hanya menjadi lebih responsif terhadap perubahan, tetapi juga mendukung pengembangan lingkungan urban yang lebih cerdas, efisien, dan berkelanjutan (Dharmatanna & Redyantanu, 2025).



4.9 Tantangan dan Prospek AI dalam Arsitektur Hambatan teknis dan adopsi AI dalam industri arsitektur.

Hambatan teknis dan adopsi AI dalam industri arsitektur masih menjadi tantangan utama dalam penerapannya secara luas. Salah satu kendala terbesar adalah kurangnya pemahaman dan keterampilan dalam penggunaan AI di kalangan arsitek dan profesional industri konstruksi (Abioye et al., 2021). Banyak perangkat lunak berbasis AI yang memerlukan keahlian dalam pemrograman atau pemahaman tentang pembelajaran mesin (*machine learning*), yang belum menjadi kompetensi umum dalam bidang arsitektur. Keterbatasan data yang berkualitas juga menjadi hambatan dalam pengembangan AI untuk arsitektur (Regona et al., 2022). AI sangat bergantung pada data yang akurat dan beragam untuk menghasilkan solusi yang optimal, namun dalam banyak kasus, data bangunan dan perencanaan kota masih tersebar, tidak terstruktur, atau bahkan tidak tersedia dalam format digital.

Pada aspek teknis, kesesuaian perangkat lunak dan integrasi dengan alur kerja desain konvensional juga menjadi tantangan (Buonamici et al., 2020). Banyak biro arsitektur masih mengandalkan metode konvensional seperti perancangan berbantuan komputer (CAD) dan pemodelan informasi bangunan (BIM), sementara AI membutuhkan platform yang lebih canggih agar dapat diintegrasikan dengan lancar. Selain itu, investasi dalam teknologi AI, termasuk perangkat keras yang mumpuni dan perangkat lunak berlisensi, masih tergolong mahal bagi banyak perusahaan kecil dan menengah.

Di sisi regulasi, ketidakjelasan standar dan etika dalam penerapan AI juga menjadi hambatan (Ahmad et al., 2022). Isu terkait hak cipta desain yang dihasilkan oleh AI, serta tanggung jawab hukum apabila terjadi kesalahan dalam rancangan yang dibuat dengan bantuan AI, masih menjadi perdebatan di banyak negara. Meskipun demikian, prospek AI dalam arsitektur tetap menjanjikan. Dengan kemajuan teknologi dan semakin banyaknya biro arsitektur yang mulai mengadopsi AI, di masa depan AI dapat membantu menciptakan rancangan yang lebih inovatif, efisien, dan berkelanjutan. Pendidikan dan pelatihan yang lebih luas mengenai AI, serta peningkatan keserasian perangkat lunak, akan menjadi kunci dalam mempercepat adopsi AI di industri arsitektur.

4.10 Potensi AI dalam keberlanjutan dan efisiensi desain.

AI memiliki potensi besar dalam mendukung keberlanjutan dan efisiensi desain arsitektur melalui optimalisasi penggunaan material, energi, dan sumber daya. Adanya teknologi seperti simulasi berbasis AI, arsitek dapat merancang bangunan yang lebih hemat energi, meminimalkan limbah konstruksi, serta meningkatkan efisiensi termal dan pencahayaan alami (Dharmatanna & Wijaya, 2025a). Selain itu, AI dapat membantu dalam pemilihan material ramah lingkungan serta strategi desain pasif yang lebih adaptif terhadap kondisi iklim setempat. Di sisi operasional, AI memungkinkan sistem bangunan pintar yang secara otomatis menyesuaikan pencahayaan, ventilasi, dan suhu berdasarkan pola aktivitas pengguna, sehingga mengurangi konsumsi energi secara signifikan. Implementasi AI dalam konsep *smart cities* juga berkontribusi pada keberlanjutan dengan mengoptimalkan tata kota, transportasi, dan distribusi sumber daya. Dengan pemanfaatan AI yang semakin berkembang, arsitektur berkelanjutan dapat lebih mudah diterapkan, menciptakan lingkungan binaan yang efisien dan lebih ramah terhadap ekosistem.

4.11 AI dan kemungkinan menggantikan arsitek?

AI tidak akan sepenuhnya menggantikan arsitek, tetapi akan menjadi alat yang mempercepat dan meningkatkan proses desain serta pengambilan keputusan (Dharmatanna et al., 2025). Meskipun AI mampu menghasilkan berbagai alternatif desain, melakukan simulasi, serta mengoptimalkan efisiensi bangunan, peran arsitek tetap krusial dalam menginterpretasikan kebutuhan pengguna, mengembangkan konsep kreatif, dan memahami aspek budaya serta sosial dalam desain (Dharmatanna & Wijaya, 2026).

Sebagai kolaborator, AI membantu arsitek dalam analisis data, otomatisasi tugas repetitif, dan eksplorasi solusi inovatif. Namun, kreativitas, intuisi, dan pemahaman kontekstual yang dimiliki arsitek tidak dapat sepenuhnya direplikasi oleh AI. Oleh karena itu, masa depan arsitektur bukan tentang penggantian peran manusia oleh teknologi, melainkan integrasi AI sebagai alat bantu yang memperluas kemungkinan dalam desain dan perencanaan (Redyantanu & Dharmatanna, 2025).

4.12 Implementasi AI dalam Arsitektur Kontemporer.

Implementasi AI dalam arsitektur kontemporer dapat dikelompokkan ke dalam beberapa bidang utama, yaitu generative design, smart buildings, serta



konservasi dan dokumentasi bangunan bersejarah. Ketiga bidang tersebut menunjukkan bagaimana AI tidak hanya digunakan untuk mendukung proses perancangan, tetapi juga untuk meningkatkan efisiensi operasional bangunan dan pelestarian warisan budaya. Beberapa studi kasus berikut digunakan untuk menggambarkan penerapan AI pada masing-masing bidang tersebut.

AI dalam *generative design*: contoh *Autodesk Generative Design*. *Autodesk Generative Design* adalah salah satu implementasi AI dalam arsitektur yang memungkinkan arsitek dan insinyur mengeksplorasi berbagai alternatif desain berdasarkan parameter tertentu, seperti material, biaya, efisiensi energi, dan kekuatan struktur. Dalam pendekatan ini, AI digunakan untuk menghasilkan dan mengevaluasi berbagai alternatif desain berdasarkan parameter tertentu, seperti efisiensi material, distribusi beban, kebutuhan ruang, biaya konstruksi, dan performa struktur. Proses tersebut memungkinkan optimasi desain dilakukan secara lebih cepat dan sistematis dibandingkan pendekatan perancangan konvensional yang umumnya bergantung pada eksplorasi manual oleh perancang.

Berbeda dengan metode desain konvensional, AI dalam *generative design* dapat secara otomatis menghasilkan dan mengevaluasi ratusan hingga ribuan opsi desain, membantu menemukan solusi yang paling optimal. Sebagai contoh, *Autodesk Generative Design* telah digunakan dalam proyek desain struktur ringan dan efisien, seperti kursi pesawat Airbus dan rangka mobil General Motors. Dalam konteks arsitektur, teknologi ini membantu mengoptimalkan bentuk bangunan berdasarkan analisis struktural dan lingkungan. Dengan pendekatan berbasis data dan algoritma AI, *generative design* memungkinkan arsitek menciptakan solusi inovatif yang lebih efisien, berkelanjutan, dan sesuai dengan kebutuhan proyek (Saad et al., 2024).

AI dalam *smart buildings* yaitu dimana studi kasus bangunan dengan sistem otomatisasi berbasis AI. Beberapa contoh bangunan yang menerapkan AI dalam *smart buildings* dan bangunan adaptif menunjukkan bagaimana teknologi ini mengoptimalkan efisiensi dan kenyamanan. *The Edge di Amsterdam*, Belanda, dikenal sebagai salah satu kantor paling pintar di dunia yang menggunakan AI untuk mengelola pencahayaan, temperatur, dan konsumsi energi berdasarkan pola aktivitas penghuninya (Apanaviciene et al., 2020). *Al Bahr Towers di Abu Dhabi*, UEA, memiliki fasad adaptif berbasis AI dengan panel mashrabiya yang dapat membuka dan menutup secara otomatis sesuai

intensitas cahaya matahari, sehingga mengurangi panas berlebih di dalam gedung (Takhmasib et al., 2023). Sementara itu, *One Angel Square* di Manchester, Inggris, menggunakan sistem manajemen energi berbasis AI untuk mengatur pencahayaan dan suhu secara otomatis guna meningkatkan efisiensi energi (Shahrabani & Apanaviciene, 2024). Bahkan bangunan bersejarah seperti Casa Batlló di Barcelona, Spanyol, telah mengintegrasikan AI untuk mengoptimalkan pencahayaan serta menghadirkan pengalaman interaktif bagi pengunjung (Öztürkoğlu, 2023).

Implementasi AI dalam *smart buildings* dan bangunan adaptif tidak hanya meningkatkan efisiensi energi tetapi juga menciptakan lingkungan yang lebih responsif, berkelanjutan, dan nyaman bagi penggunanya, menjadikannya solusi penting dalam pengembangan arsitektur masa depan. Berbagai studi kasus tersebut menunjukkan bahwa AI dapat diterapkan pada berbagai skala dan fungsi bangunan, mulai dari pengelolaan energi, pengendalian lingkungan dalam ruang, sistem fasad adaptif, hingga peningkatan pengalaman pengguna melalui pemanfaatan data secara *real-time*. Hal ini menunjukkan bahwa peran AI dalam arsitektur tidak hanya berfokus pada efisiensi operasional, tetapi juga pada peningkatan kualitas lingkungan binaan dan pengalaman penghuni.

AI dalam konservasi dan dokumentasi sejarah, dimana studi kasus rekonstruksi digital *Notre-Dame*. *Artificial Intelligence* (AI) memainkan peran penting dalam upaya konservasi dan dokumentasi sejarah, terutama dalam rekonstruksi bangunan bersejarah yang rusak atau hilang. Salah satu contoh utama adalah proyek rekonstruksi Katedral *Notre-Dame* di Paris, yang mengalami kebakaran hebat pada tahun 2019. Teknologi AI digunakan untuk menganalisis data dari pemindaian laser 3D yang dilakukan sebelum kebakaran, memungkinkan rekonstruksi digital yang sangat akurat (Mouaddib et al., 2024). Proyek ini juga memanfaatkan machine learning untuk mengolah ribuan foto dan model arsitektural guna memahami detail struktur asli (Allal-Chérif, 2022). Dengan bantuan AI, para arsitek dan insinyur dapat menciptakan model digital yang tidak hanya mendokumentasikan kondisi sebelumnya, tetapi juga memandu proses rekonstruksi fisik dengan presisi tinggi. Studi kasus ini menunjukkan bagaimana AI dapat menjadi alat yang berharga dalam melestarikan warisan budaya, memastikan bahwa bangunan bersejarah tetap dapat dinikmati oleh generasi mendatang.



4.13 Tantangan dan Prospek Masa Depan Hambatan teknis dan etika dalam adopsi AI.

AI menunjukkan potensi yang besar dalam mendukung proses perancangan, pengelolaan bangunan, dan konservasi arsitektur, implementasinya masih menghadapi berbagai tantangan. Tantangan tersebut tidak hanya berkaitan dengan aspek teknis, seperti kualitas data, interoperabilitas sistem, dan kebutuhan komputasi yang tinggi, tetapi juga mencakup aspek etika, profesional, dan sosial. Oleh karena itu, pembahasan mengenai tantangan dan prospek masa depan AI menjadi penting untuk memahami arah perkembangan teknologi ini dalam praktik arsitektur yang semakin kompleks.

Prediksi peran AI dalam desain arsitektur dan perencanaan kota. Dalam kasus ini di masa depan, AI diprediksi akan memainkan peran yang semakin signifikan dalam desain arsitektur dan perencanaan kota. Dalam desain arsitektur, AI akan mempercepat proses konseptual dengan menghasilkan berbagai alternatif desain yang dioptimalkan berdasarkan kebutuhan fungsional, estetika, dan keberlanjutan. Teknologi seperti generative design akan memungkinkan eksplorasi bentuk yang lebih inovatif dengan efisiensi material yang lebih baik. Selain itu, AI juga akan meningkatkan simulasi performa bangunan, termasuk efisiensi energi, pencahayaan alami, dan sistem ventilasi, guna menciptakan lingkungan yang lebih sehat dan nyaman.

Dalam perencanaan kota, AI akan membantu mengelola big data untuk merancang tata kota yang lebih efisien dan berkelanjutan. Dengan analisis data *real-time*, AI dapat meningkatkan pengelolaan lalu lintas, distribusi energi, dan perencanaan infrastruktur yang responsif terhadap kebutuhan masyarakat. Sistem berbasis AI juga akan digunakan untuk memprediksi pertumbuhan populasi dan dampaknya terhadap ruang kota, memungkinkan perencanaan yang lebih adaptif terhadap perubahan lingkungan dan sosial. Dengan perkembangan ini, AI akan menjadi alat yang esensial dalam menciptakan kota-kota cerdas yang lebih efisien, berkelanjutan, dan ramah bagi penghuninya.

Dalam perspektif kolaborasi antara AI dan arsitek di masa depan dipercaya akan semakin erat, menciptakan sinergi yang menggabungkan kecerdasan buatan dengan kreativitas manusia. AI akan menjadi alat bantu utama dalam eksplorasi desain, analisis performa bangunan, serta efisiensi material dan energi. Dengan teknologi seperti generative design, AI dapat menghasilkan berbagai alternatif desain yang memenuhi kriteria fungsional dan estetika, sementara arsitek tetap berperan dalam

menginterpretasikan dan menyempurnakan hasilnya agar sesuai dengan visi desain dan nilai-nilai budaya. Selain itu, AI akan mempercepat proses perancangan melalui otomatisasi tugas-tugas teknis seperti pemodelan 3D, analisis lingkungan, dan manajemen proyek berbasis data. Namun, peran arsitek tetap krusial dalam pengambilan keputusan strategis, inovasi, dan pemahaman konteks sosial serta emosional dalam desain. Dengan demikian, masa depan arsitektur bukan tentang AI menggantikan arsitek, tetapi bagaimana AI dan arsitek dapat berkolaborasi untuk menciptakan solusi desain yang lebih efisien, inovatif, dan berkelanjutan.

Secara keseluruhan, perkembangan AI menunjukkan peluang yang besar untuk mentransformasi praktik arsitektur menuju proses yang lebih efisien, adaptif, dan berbasis data. Namun, keberhasilan implementasinya tidak hanya ditentukan oleh kemajuan teknologi, melainkan juga oleh kesiapan sumber daya manusia, regulasi, serta kemampuan industri dalam mengintegrasikan AI secara bertanggung jawab. Dengan pendekatan yang tepat, AI berpotensi menjadi mitra strategis bagi arsitek dalam menghadapi tantangan desain dan pembangunan di masa depan.

5. KESIMPULAN

Penelitian ini mengungkap bagaimana *Artificial Intelligence* (AI) telah berkembang dalam arsitektur, mulai dari sistem berbasis CAD hingga implementasi AI dalam generative design, smart buildings, dan perencanaan kota berbasis data. Studi kasus seperti *Autodesk Generative Design*, *The Edge di Amsterdam*, serta rekonstruksi digital *Notre-Dame* menunjukkan bahwa AI mampu meningkatkan efisiensi desain, mengoptimalkan struktur, serta mendukung prinsip keberlanjutan. Meskipun AI menawarkan inovasi dalam arsitektur, masih terdapat tantangan teknis dan hambatan adopsi yang perlu diatasi, termasuk resistensi industri serta regulasi terkait hak cipta dan etika desain berbasis AI.

Sebagai arah penelitian selanjutnya, penting untuk mengeksplorasi interaksi antara AI dan intuisi manusia dalam proses desain, serta bagaimana AI dapat berperan sebagai mitra kreatif arsitek dalam eksplorasi bentuk dan konsep baru. Selain itu, penelitian lebih lanjut dapat berfokus pada pemanfaatan AI dalam arsitektur berkelanjutan, termasuk optimalisasi material ramah lingkungan dan strategi desain pasif berbasis AI. Implikasi etis dan regulasi terkait penggunaan AI dalam arsitektur juga perlu dikaji, terutama dalam aspek hak cipta desain dan dampaknya terhadap peran arsitek di masa depan. Dengan terus berkembangnya teknologi,



penelitian ini membuka peluang bagi arsitektur yang lebih responsif, adaptif, dan inovatif di era digital.

6. DAFTAR PUSTAKA

- Abioye, S. O., Oyedele, L. O., Akanbi, L., Ajayi, A., Davila Delgado, J. M., Bilal, M., Akinade, O. O., & Ahmed, A. (2021). Artificial intelligence in the construction industry: A review of present status, opportunities and future challenges. *Journal of Building Engineering*, 44, 103299. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2021.103299>
- Ahmad, K., Maabreh, M., Ghaly, M., Khan, K., Qadir, J., & Al-Fuqaha, A. (2022). Developing future human-centered smart cities: Critical analysis of smart city security, Data management, and Ethical challenges. *Computer Science Review*, 43, 100452. <https://doi.org/10.1016/j.cosrev.2021.100452>
- 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(4), 1457–1476. <https://doi.org/10.1007/s43995-025-00186-1>
- Ali, D. M. T. E., Motuzienė, V., & Džiugaitė-Tumėnienė, R. (2024). AI-Driven Innovations in Building Energy Management Systems: A Review of Potential Applications and Energy Savings. *Energies*, 17(17), Article 17. <https://doi.org/10.3390/en17174277>
- Allal-Chérif, O. (2022). Intelligent cathedrals: Using augmented reality, virtual reality, and artificial intelligence to provide an intense cultural, historical, and religious visitor experience. *Technological Forecasting and Social Change*, 178, 121604. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2022.121604>
- Ang, K. L.-M., Seng, J. K. P., Ngharamike, E., & Ijamaru, G. K. (2022). Emerging Technologies for Smart Cities' Transportation: Geo-Information, Data Analytics and Machine Learning Approaches. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 11(2), Article 2. <https://doi.org/10.3390/ijgi11020085>
- Angjeliu, G., Coronelli, D., & Cardani, G. (2020). Development of the simulation model for Digital Twin applications in historical masonry buildings: The integration between numerical and experimental reality. *Computers & Structures*, 238, 106282. <https://doi.org/10.1016/j.compstruc.2020.106282>
- Apanaviciene, R., Urbonas, R., & Fokaides, P. A. (2020). Smart Building Integration into a Smart City: Comparative Study of Real Estate Development. *Sustainability*, 12(22), Article 22. <https://doi.org/10.3390/su12229376>
- Artyushina, A. (2020). Is civic data governance the key to democratic smart cities? The role of the urban data trust in Sidewalk Toronto. *Telematics and Informatics*, 55, 101456. <https://doi.org/10.1016/j.tele.2020.101456>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2022.104440>
- Bailey, E. T. (2024). *Interactive Evolutionary Generative Design in Augmented Reality* [UC Berkeley]. <https://escholarship.org/uc/item/6zm3q6zb>
- Bell, G. (2023). Spatial Computing, Artificial Intelligence, And the Future of Parametric Design. In *Architectonics and Parametric Thinking*. Routledge.
- Bernstein, P. (2025). *Machine Learning: Architecture in the age of Artificial Intelligence*. Routledge.
- Bourbonnais, S. (2024). *Architectural Design Instruments: Conditions of Appearance, Modes of Appropriation and Reconfigurations of Practices*. John Wiley & Sons.
- BuHamdan, S., Alwisy, A., & Bouferguene, A. (2021). Generative systems in the architecture, engineering and construction industry: A systematic review and analysis. *International Journal of Architectural Computing*, 19(3), 226–249. <https://doi.org/10.1177/1478077120934126>
- Buonamici, F., Carfagni, M., Furferi, R., Volpe, Y., & Governi, L. (2020). *Generative Design: An Explorative Study*. <https://doi.org/10.14733/cadaps.2021.144-155>
- Cotella, V. A. (2023). From 3D point clouds to HBIM:



- Application of Artificial Intelligence in Cultural Heritage. *Automation in Construction*, 152, 104936. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2023.104936>
- Debrah, C., Chan, A. P. C., & Darko, A. (2022). Artificial intelligence in green building. *Automation in Construction*, 137, 104192. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2022.104192>
- Dharmatanna, S. W. (2025). Bim Untuk Masa Depan Bangunan Bersejarah: Metode Dokumentasi Dan Permodelan Di Indonesia. *DEARSIP : Journal of Architecture and Civil*, 5(01), Article 01. <https://doi.org/10.52166/dearsip.v5i01.9180>
- Dharmatanna, S. W., & Redyantanu, B. P. (2025). Otak Dan Mata Virtual: Kolaborasi Ai Dalam Proses Perancangan Arsitektur Kota Visioner. In *Towards an AI-Native Campus: UK Petra x Kecerdasan Artifisial*. LPPM Petra. https://repository.petra.ac.id/21723/1/Publikasi1_15012_11809.pdf
- Dharmatanna, S. W., & Wijaya, E. S. (2024). Comparative Study Of Software Preferences And Building Typology In Architectural Design Studio. *Border: Jurnal Arsitektur*, 6(1), Article 1.
- Dharmatanna, S. W., & Wijaya, E. S. (2025a). Kisah Angin dan Matahari: Hasil Simulasi AI di Tangan Mahasiswa. In *Towards an AI-Native Campus: UK Petra x Kecerdasan Artifisial*. LPPM Petra. https://repository.petra.ac.id/21700/2/Publikasi4_22003_11818.pdf
- Dharmatanna, S. W., & Wijaya, E. S. (2025b). The Study of AI integrated Simulation in Building Information Modelling (BIM) Use at Architectural Design Studio. *Journal of Artificial Intelligence in Architecture*, 4(1), Article 1. <https://doi.org/10.24002/jarina.v4i1.9415>
- Dharmatanna, S. W., & Wijaya, E. S. (2026). Navigating the Architectural Education's Digital Transformation in Indonesia: AI, BIM, and Software Preferences in Design Studios. In C. Aigbavboa, B. Awuzie, D. Aghimien, A. E. Oke, & T. Omotayo (Eds.), *Facilitating Inclusivity in Multi-, Inter-, and Transdisciplinary Sustainable Built Environment Research in Emerging Economies* (pp. 1541–1550). Springer Nature Switzerland.
- https://doi.org/10.1007/978-3-032-08992-2_129
- dharmatanna, S. W., Wijaya, E. S., & Pramananda, I. P. B. (2025). Integrating Ai In Architectural Design Thinking: An Opportunity And Challenges Study In Indonesia Architectural Education. *MODUL*, 25(1), 55–63. <https://doi.org/10.14710/mdl.25.1.2025.55-63>
- Dharmatanna, S. W., Wijaya, E. S., & Tjahyana, A. J. T. (2026). Kecerdasan Buatan Untuk Manajemen Energi Dan Manajemen Lingkungan Menuju Kota Pintar. *Jurnal Kolaborasi Unpad*, 6(1), 78–85. <https://doi.org/10.54325/kolaborasi.v6i1.170>
- Ekanayaka Gunasinghalge, L. U. G., Alazab, A., & Talukder, Md. A. (2025). Artificial intelligence for energy optimization in smart buildings: A systematic review and meta-analysis. *Energy Informatics*, 8(1), 135. <https://doi.org/10.1186/s42162-025-00592-8>
- Emad, S., Aboulnaga, M., Wanas, A., & Abouaiana, A. (2025). The Role of Artificial Intelligence in Developing the Tall Buildings of Tomorrow. *Buildings*, 15(5), 749. <https://doi.org/10.3390/buildings15050749>
- Farzaneh, H., Malehmirchegini, L., Bejan, A., Afolabi, T., Mulumba, A., & Daka, P. P. (2021). Artificial Intelligence Evolution in Smart Buildings for Energy Efficiency. *Applied Sciences*, 11(2), Article 2. <https://doi.org/10.3390/app11020763>
- Ferro-Escobar, R., Vacca-González, H., & Gómez-Castillo, H. (2022). Smart and Sustainable Cities in Collaboration with IoT: The Singapore Success Case. In G. Marques, A. González-Briones, & J. M. Molina López (Eds.), *Machine Learning for Smart Environments/Cities: An IoT Approach* (pp. 213–243). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-97516-6_12
- Fox, M., & Bell, B. (2024). *The Evolution of Computation in Architecture*. Taylor & Francis.
- Gaha, I. S. (2023). Parametric Architectural Design for a New City Identity: Materials, Environments and New Applications. *Journal of Contemporary Urban Affairs*, 7(1), Article 1. <https://doi.org/10.25034/ijcua.2023.v7n1-9>
- Gerber, D., Pantazis, E., Bogosian, B., Nahmad, A., & Miltiadis, C. (2022). *Computer-Aided*



- Architectural Design. Design Imperatives: The Future is Now: 19th International Conference, CAAD Futures 2021, Los Angeles, CA, USA, July 16–18, 2021, Selected Papers.* Springer Nature.
- Guibaud, A., Mindeguia, J.-C., Albuérne, A., Parent, T., & Torero, J. (2024). Notre-Dame de Paris as a validation case to improve fire safety modelling in historic buildings. *Journal of Cultural Heritage, Notre-Dame de Paris: A Multidisciplinary Scientific Site*, 65, 145–154. <https://doi.org/10.1016/j.culher.2023.05.008>
- Han, L., Du, W., Xia, Z., Gao, B., & Yang, M. (2022). Generative Design and Integrated 3D Printing Manufacture of Cross Joints. *Materials*, 15(14), Article 14. <https://doi.org/10.3390/ma15144753>
- Hasan, Z., Haque, E., Khan, M. A. M., & Khan, M. S. (2024). Smart Ventilation Systems For Real-Time Pollution Control: A Review Of Ai-Driven Technologies In Air Quality Management. *Frontiers in Applied Engineering and Technology*, 1(01), Article 01. <https://doi.org/10.70937/faet.v1i01.4>
- He, W., & Chen, M. (2024). Advancing Urban Life: A Systematic Review of Emerging Technologies and Artificial Intelligence in Urban Design and Planning. *Buildings*, 14(3), Article 3. <https://doi.org/10.3390/buildings14030835>
- Huh, J., Sonn, J. W., Zhao, Y., & Yang, S. (2024). Who built Songdo, the “world’s first smart city?” questioning technology firms’ ability to lead smart city development. *Eurasian Geography and Economics*, 0(0), 1–18. <https://doi.org/10.1080/15387216.2024.2309879>
- Khan, A., Sohail, A., Zahoora, U., & Qureshi, A. S. (2020). A survey of the recent architectures of deep convolutional neural networks. *Artificial Intelligence Review*, 53(8), 5455–5516. <https://doi.org/10.1007/s10462-020-09825-6>
- Kierner, S., Kucharski, J., & Kierner, Z. (2023). Taxonomy of hybrid architectures involving rule-based reasoning and machine learning in clinical decision systems: A scoping review. *Journal of Biomedical Informatics*, 144, 104428. <https://doi.org/10.1016/j.jbi.2023.104428>
- Ko, J., Ennemoser, B., Yoo, W., Yan, W., & Clayton, M. J. (2023). Architectural spatial layout planning using artificial intelligence. *Automation in Construction*, 154, 105019. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2023.105019>
- Laohaviraphap, N., & Waroonkun, T. (2024). Integrating Artificial Intelligence and the Internet of Things in Cultural Heritage Preservation: A Systematic Review of Risk Management and Environmental Monitoring Strategies. *Buildings*, 14(12), Article 12. <https://doi.org/10.3390/buildings14123979>
- Lee, J. H., Ostwald, M. J., & Kim, M. J. (2021). Characterizing Smart Environments as Interactive and Collective Platforms: A Review of the Key Behaviors of Responsive Architecture. *Sensors*, 21(10), Article 10. <https://doi.org/10.3390/s21103417>
- Li, X., Xie, C., & Sha, Z. (2023). Design representation for performance evaluation of 3D shapes in structure-aware generative design. *Design Science*, 9, e27. <https://doi.org/10.1017/dsj.2023.25>
- Mazzetto, S. (2024). Integrating Emerging Technologies with Digital Twins for Heritage Building Conservation: An Interdisciplinary Approach with Expert Insights and Bibliometric Analysis. *Heritage*, 7(11), Article 11. <https://doi.org/10.3390/heritage7110300>
- Melendez, F. (2019). *Drawing from the Model: Fundamentals of Digital Drawing, 3D Modeling, and Visual Programming in Architectural Design*. John Wiley & Sons.
- Mouaddib, E. M., Pamart, A., Pierrot-Deseilligny, M., & Girardeau-Montaut, D. (2024). 2D/3D data fusion for the comparative analysis of the vaults of Notre-Dame de Paris before and after the fire. *Journal of Cultural Heritage, Notre-Dame de Paris: A Multidisciplinary Scientific Site*, 65, 221–231. <https://doi.org/10.1016/j.culher.2023.06.012>
- Özerol, G., & Arslan Selçuk, S. (2023). Machine learning in the discipline of architecture: A review on the research trends between 2014 and 2020. *International Journal of Architectural Computing*, 21(1), 23–41. <https://doi.org/10.1177/14780771221100102>
- Öztürkoğlu, M. (2023). Predicting Various Architectural Styles Using Computer Vision Methods. *Journal of Architectural Sciences and Applications*, 8(2), Article 2. <https://doi.org/10.30785/mbud.1334044>
- Pan, Y., Zhu, M., Lv, Y., Yang, Y., Liang, Y., Yin, R., Yang, Y., Jia, X., Wang, X., Zeng, F., Huang, S., Hou, D., Xu, L., Yin, R., & Yuan, X.



- (2023). Building energy simulation and its application for building performance optimization: A review of methods, tools, and case studies. *Advances in Applied Energy*, 10, 100135. <https://doi.org/10.1016/j.adapen.2023.100135>
- Panchalingam, R., & Chan, K. C. (2021). A state-of-the-art review on artificial intelligence for Smart Buildings. *Intelligent Buildings International*. (world). <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/017508975.2019.1613219>
- Parekh, R. (2024). Automating the design process for smart building technologies. *World Journal of Advanced Research and Reviews*, 23(02), 1213–1234. <https://doi.org/https://doi.org/10.30574/wjarr.2024.23.2.2461>
- Rahbar, M., Mahdavinejad, M., Markazi, A. H. D., & Bemanian, M. (2022). Architectural layout design through deep learning and agent-based modeling: A hybrid approach. *Journal of Building Engineering*, 47, 103822. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2021.103822>
- Rane, N., Choudhary, S., & Rane, J. (2023a). Integrating ChatGPT, Bard, and Leading-edge Generative Artificial Intelligence in Architectural Design and Engineering: Applications, Framework, and Challenges (SSRN Scholarly Paper No. 4645595). Social Science Research Network. <https://doi.org/10.2139/ssrn.4645595>
- Rane, N., Choudhary, S., & Rane, J. (2023b). Leading-edge Technologies for Architectural Design: A Comprehensive Review (SSRN Scholarly Paper No. 4637891). Social Science Research Network. <https://doi.org/10.2139/ssrn.4637891>
- Redyantanu, B. P., & Dharmatanna, S. W. (2025). Dari Tekstual ke Visual: Memikirkan Kembali Proses Perancangan Arsitektur. In *Towards an AI-Native Campus: UK Petra x Kecerdasan Artifisial*. LPPM Petra. https://repository.petra.ac.id/21725/1/Publikasi1_15012_11806.pdf
- Regona, M., Yigitcanlar, T., Xia, B., & Li, R. Y. M. (2022). Opportunities and Adoption Challenges of AI in the Construction Industry: A PRISMA Review. *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*, 8(1), Article 1. <https://doi.org/10.3390/joitmc8010045>
- Saad, S., Haris, M., Ammad, S., & Rasheed, K. (2024). AI-assisted Building Design. In *AI in Material Science*. CRC Press.
- Shahrabani, M. M. N., & Apanaviciene, R. (2024). An AI-Based Evaluation Framework for Smart Building Integration into Smart City. *Sustainability*, 16(18), Article 18. <https://doi.org/10.3390/su16188032>
- Sun, J., Yang, L., & Alnowibet, K. A. (2025). Optimizing structural resilience of composite smart structures using predictive artificial intelligence and Carrera unified formulation: A new approach to improve the efficiency of smart building construction. *Mechanics of Advanced Materials and Structures*, 33(1), 2436648. <https://doi.org/10.1080/15376494.2024.2436648>
- Takhmasib, M., Lee, H. J., & Yi, H. (2023). Machine-learned kinetic Façade: Construction and artificial intelligence enabled predictive control for visual comfort. *Automation in Construction*, 156, 105093. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2023.105093>
- Taye, M. M. (2023). Understanding of Machine Learning with Deep Learning: Architectures, Workflow, Applications and Future Directions. *Computers*, 12(5), Article 5. <https://doi.org/10.3390/computers12050091>
- Wijaya, E. S., & Dharmatanna, S. W. (2024). COMPREHENSIVE ANALYSIS ON BIM LEARNING IN ARCHITECTURE UNDERGRADUATE STUDENTS IN INDONESIA. *MODUL*, 24(2), 63–70. <https://doi.org/10.14710/mdl.24.2.2024.63-70>
- Wu, C.-J., Raghavendra, R., Gupta, U., Acun, B., Ardalani, N., Maeng, K., Chang, G., Aga, F., Huang, J., Bai, C., Gschwind, M., Gupta, A., Ott, M., Melnikov, A., Candido, S., Brooks, D., Chauhan, G., Lee, B., Lee, H.-H., ... Hazelwood, K. (2022). Sustainable AI: Environmental Implications, Challenges and Opportunities. *Proceedings of Machine Learning and Systems*, 4, 795–813.
- Yigitcanlar, T., & Cugurullo, F. (2020). The Sustainability of Artificial Intelligence: An Urbanistic Viewpoint from the Lens of Smart and Sustainable Cities. *Sustainability*, 12(20), Article 20. <https://doi.org/10.3390/su12208548>