

TEKNOLOGI FASADE BANGUNAN INTERAKTIF BERBASIS KECERDASAN BUATAN

Interactive Building Facade Technology Based on Artificial Intelligence (AI)

Diterima: 20 Januari 2025

Disetujui: 20 Mei 2025

Sidi Ahyar Wiraguna¹

¹Program Doktor Arsitektur Konsentrasi Arsitektur Digital, Universitas Katolik Soegijapranata, Semarang

Email: w.wiraguna24@gmail.com

Abstrak

Dalam upaya mengatasi tantangan keberlanjutan lingkungan dan meningkatkan efisiensi energi dalam arsitektur modern, penelitian ini mengkaji integrasi teknologi Artificial Intelligence (AI) dalam desain fasad bangunan. Dengan fokus pada adaptabilitas dan interaktivitas fasad terhadap lingkungan sekitarnya, penelitian ini bertujuan untuk mengeksplorasi bagaimana AI dapat meningkatkan efisiensi energi dan kenyamanan penghuni. Menggunakan pendekatan kualitatif, penelitian ini menggabungkan analisis literatur dan wawancara dengan ahli untuk memahami potensi dan tantangan implementasi AI dalam fasad bangunan. Hasil analisis menunjukkan bahwa fasad berbasis AI dapat secara signifikan meningkatkan kinerja termal dan efisiensi pencahayaan alami bangunan, mengurangi konsumsi energi, dan meningkatkan kenyamanan penghuni. Namun, penelitian ini juga mengidentifikasi tantangan teknis dan regulasi, termasuk kebutuhan akan sinkronisasi antara sistem AI dengan infrastruktur bangunan yang ada, serta keamanan dan keandalan sistem. Dalam konteks regulasi, penelitian ini menyoroti pentingnya kerangka hukum yang mendukung, seperti Peraturan Pemerintah No. 79 Tahun 2019 tentang Bangunan Gedung Hijau di Indonesia, khususnya Pasal 10 yang mendorong penerapan teknologi canggih untuk efisiensi energi. Penelitian ini menyimpulkan bahwa fasad bangunan interaktif berbasis AI memiliki potensi besar dalam arsitektur masa depan, memberikan kontribusi signifikan terhadap upaya keberlanjutan dan peningkatan kualitas hidup di lingkungan perkotaan, meskipun dihadapkan pada tantangan teknis dan regulasi yang perlu diatasi melalui kolaborasi multidisiplin dan pembaharuan regulasi.

Kata kunci: Artificial intelligence, efisiensi energi, fasad interaktif, teknologi bangunan

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Dalam arsitektur modern, fasad bangunan tidak hanya berfungsi sebagai elemen estetika yang menentukan identitas visual sebuah bangunan, tetapi juga sebagai komponen kritis yang mempengaruhi kinerja energi dan kenyamanan lingkungan dalam ruang (Pattileamonia, 2016)). Tantangan keberlanjutan lingkungan yang semakin meningkat memerlukan solusi inovatif untuk mengurangi konsumsi energi bangunan dan memaksimalkan

efisiensi sumber daya (Hafez et al., 2023). Fasad bangunan, sebagai mediator antara lingkungan eksternal dan internal, berada di garis depan dalam menghadapi tantangan ini. Dengan meningkatnya kebutuhan untuk mengurangi jejak karbon dan meningkatkan kenyamanan penghuni, pengembangan fasad yang tidak hanya responsif tetapi juga adaptif terhadap kondisi lingkungan menjadi semakin penting (Utilities One, 2023b).

Penerapan Artificial Intelligence (AI) dalam arsitektur menawarkan potensi transformasi yang signifikan terhadap cara desain dan konstruksi dilaksanakan, memungkinkan optimisasi proses, peningkatan efisiensi, dan pengurangan risiko (Azzahra et al., 2023). Namun, pertumbuhan pesat AI di Indonesia menimbulkan pertanyaan mengenai kerangka hukum yang mengaturnya.

Indonesia tidak hanya harus menjadi konsumen teknologi AI, tetapi juga pengembang yang dapat menghasilkan solusi berbasis AI untuk kepentingan nasional dan global. Hal ini menunjukkan pentingnya AI dalam agenda nasional dan perlunya regulasi yang mendukung.

Di Indonesia, AI didefinisikan sebagai Agen Elektronik dalam peraturan perundang-undangan, yang berarti kewajiban hukum dan pertanggungjawaban melekat pada penyedia perangkat AI. Hal ini menimbulkan pertanyaan tentang siapa yang bertanggung jawab ketika penggunaan AI menimbulkan kerugian, terutama dalam sektor strategis seperti perbankan, e-commerce, dan kesehatan.

Mengingat belum adanya regulasi yang spesifik mengenai AI, penting bagi Indonesia untuk mengembangkan regulasi yang tidak hanya mendukung inovasi tetapi juga mempertimbangkan perlindungan hukum, hak, dan kewajiban antara penyedia AI dan penggunaannya (Putra, 2024). Dalam konteks global, deklarasi G20 di New Delhi juga menekankan perlunya kerja sama internasional dalam penggunaan AI yang bertanggung jawab, serta pendekatan regulasi dan tata kelola yang pro-inovasi untuk memaksimalkan manfaat AI sambil meminimalkan risikonya (G20, 2023).

Untuk mewujudkan potensi penuh AI dalam arsitektur dan bidang lain, Indonesia harus menetapkan pasal-pasal yang jelas dalam UU AI yang mengklasifikasikan AI berdasarkan tingkat risikonya, termasuk larangan terhadap sistem AI yang dianggap sebagai ancaman bagi manusia. Ini akan memastikan bahwa AI dapat difungsikan untuk layanan publik, industri, dan ekonomi digital yang lebih baik dengan tetap menjaga kedaulatan, keutuhan negara, dan kesejahteraan seluruh warga negara.

Dalam rangka mendorong inovasi dan pertumbuhan yang berkelanjutan, penting bagi Indonesia untuk mengadopsi pendekatan yang seimbang dalam pengaturan AI, mengambil pelajaran dari best practices dan regulasi negara-negara terdepan di bidang ini, seperti Uni Eropa dan AS. Ini akan memungkinkan Indonesia tidak hanya untuk memanfaatkan teknologi AI dalam meningkatkan kualitas hidup masyarakatnya tetapi juga untuk berkontribusi secara signifikan dalam arena AI global.

Artificial Intelligence (AI) muncul sebagai salah satu inovasi terkemuka yang dapat membuat fasad bangunan lebih interaktif dan efisien (Palakka et al., 2023). Melalui penerapan AI, fasad bangunan dapat dilengkapi dengan kemampuan untuk belajar dari interaksi lingkungan dan penghuni, serta menyesuaikan diri secara dinamis untuk meningkatkan efisiensi energi dan kenyamanan. Integrasi AI dalam fasad bangunan memungkinkan pengolahan data lingkungan secara real-time, memastikan bahwa bangunan dapat merespons secara cerdas terhadap perubahan suhu, intensitas cahaya, dan faktor lingkungan lainnya (Nasrullah et al., 2023). Hal ini tidak hanya membantu dalam mengoptimalkan penggunaan energi tetapi juga memberikan

pengalaman yang lebih nyaman dan sehat untuk penghuni.

Peraturan dan undang-undang yang relevan telah mulai mengakui pentingnya inovasi dalam konstruksi dan desain bangunan untuk mencapai tujuan keberlanjutan. Di Indonesia, misalnya, Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 21 Tahun 2021 tentang Penilaian Kinerja Bangunan Gedung Hijau menetapkan standar untuk efisiensi energi dan penggunaan energi terbarukan dalam bangunan. Pasal 10 dari peraturan ini secara khusus mendorong penerapan teknologi canggih untuk meningkatkan efisiensi energi bangunan. Hal ini menciptakan landasan hukum yang kuat untuk integrasi AI dalam desain fasad, sejalan dengan tujuan global untuk membangun lingkungan yang lebih berkelanjutan dan efisien (Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Dan Perumahan Rakyat Nomor 21 Tahun 2021 Tentang Penilaian Kinerja Bangunan Gedung Hijau, 2021).

Namun, penerapan AI dalam fasad bangunan tidak tanpa tantangan. Isu-isu seperti keamanan data, integrasi sistem, dan biaya implementasi perlu diatasi untuk memastikan bahwa teknologi ini dapat diadopsi secara luas (Baduge et al., 2022). Peneliti berperan penting dalam mengidentifikasi solusi untuk tantangan ini, melalui eksplorasi teknis dan evaluasi dampak sosial-ekonomi dari penerapan AI dalam arsitektur. Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya berfokus pada aspek teknologi tetapi juga pada implikasi luasnya terhadap kebijakan, ekonomi, dan masyarakat.

Integrasi AI dalam fasad bangunan menawarkan potensi yang signifikan untuk mengatasi tantangan keberlanjutan lingkungan dalam arsitektur modern

(Umoh et al., 2024). Melalui peningkatan interaktivitas dan efisiensi, fasad berbasis AI dapat berkontribusi secara substansial terhadap pengurangan konsumsi energi dan peningkatan kenyamanan penghuni (Almusaed et al., 2023). Dengan landasan hukum yang mendukung dan penelitian yang berkelanjutan, masa depan arsitektur yang lebih cerdas dan berkelanjutan berada dalam jangkauan.

Fasad bangunan, sebagai elemen kunci dalam arsitektur modern, memainkan peran penting tidak hanya dalam menentukan estetika eksternal sebuah bangunan tetapi juga dalam pengaturan iklim mikro di dalamnya (Rahadian et al., 2021). Dalam konteks arsitektur berkelanjutan, fasad tidak lagi hanya dilihat sebagai pembatas antara interior dan eksterior tetapi sebagai sistem dinamis yang dapat berkontribusi pada efisiensi energi dan kenyamanan penghuni (Gasparri et al., 2022). Tantangan keberlanjutan lingkungan yang dihadapi dunia saat ini, termasuk perubahan iklim dan penggunaan energi yang tidak efisien, memerlukan solusi inovatif dalam desain Bangunan (Utilities One, 2023a). Salah satu pendekatan yang menjanjikan adalah pengembangan fasad bangunan interaktif yang dapat beradaptasi dengan kondisi lingkungan yang berubah-ubah, sehingga mengoptimalkan penggunaan sumber daya alam dan meminimalkan konsumsi energi.

Dalam upaya mengatasi tantangan ini, Artificial Intelligence (AI) telah muncul sebagai teknologi inovatif yang menawarkan potensi besar dalam transformasi fasad bangunan menjadi lebih interaktif dan efisien. AI memungkinkan fasad untuk belajar dari pengalaman, merespons perubahan kondisi lingkungan secara real-time, dan mengoptimalkan kinerjanya untuk

mendukung keberlanjutan lingkungan (Rafsanjani & Nabizadeh, 2023). Penggunaan AI dalam fasad bangunan dapat mencakup, tetapi tidak terbatas pada, pengaturan otomatis transparansi jendela untuk mengoptimalkan pencahayaan alami, pengelolaan termal yang lebih baik melalui kontrol cerdas atas elemen-elemen fasad, dan pengurangan beban pendinginan dan pemanasan (Atthailah, Atthailah).

Namun, integrasi teknologi AI dalam fasad bangunan menghadapi sejumlah tantangan, baik dari segi teknis maupun regulasi. Dari perspektif teknis, pengembangan sistem AI yang dapat diandalkan dan efektif memerlukan pemahaman mendalam tentang dinamika lingkungan sekitar bangunan dan interaksi antara berbagai komponen sistem fasad (Debrah et al., 2022). Sementara itu, dari sudut pandang regulasi, penerapan teknologi semacam itu dalam industri konstruksi sering kali terhambat oleh kekurangan dalam peraturan yang ada yang mendukung inovasi teknologi berkelanjutan. Sebagai contoh, Undang-Undang Nomor 28 Tahun 2002 tentang Bangunan Gedung di Indonesia menyediakan kerangka kerja untuk keselamatan dan kesehatan bangunan tetapi belum secara eksplisit mengakomodasi penggunaan teknologi AI dalam fasad (Undang-Undang (UU) Nomor 28 Tahun 2002 Tentang Bangunan Gedung, 2002).

Untuk memastikan kesuksesan implementasi AI dalam fasad bangunan, diperlukan kerjasama antara arsitek, insinyur, pengembang, dan pembuat kebijakan. Pembaharuan dalam peraturan dan standar bangunan harus dilakukan untuk menciptakan lingkungan yang mendukung inovasi dan pengembangan teknologi fasad interaktif berbasis AI. Hal

ini tidak hanya akan memungkinkan realisasi penuh potensi AI dalam meningkatkan keberlanjutan lingkungan tetapi juga akan membuka jalan bagi adopsi luas teknologi serupa dalam industri konstruksi.

Urgensi penelitian ini timbul dari kebutuhan mendesak akan solusi arsitektural yang berkelanjutan dan adaptif di tengah meningkatnya tantangan lingkungan dan perubahan iklim. Penggunaan energi dalam bangunan, khususnya untuk pemanasan, pendinginan, dan pencahayaan, merupakan salah satu kontributor utama emisi karbon. Dengan pertumbuhan urbanisasi yang pesat dan kebutuhan akan bangunan yang lebih efisien energi, pengembangan fasad bangunan interaktif berbasis Artificial Intelligence (AI) menjadi sangat relevan. Teknologi ini menjanjikan kemampuan untuk secara otomatis menyesuaikan karakteristik fasad, seperti transparansi dan isolasi, berdasarkan kondisi lingkungan sekitar, sehingga dapat mengoptimalkan penggunaan sumber daya alam dan mengurangi konsumsi energi. Ini tidak hanya mendukung upaya keberlanjutan tetapi juga meningkatkan kenyamanan dan produktivitas penghuni bangunan.

Lebih lanjut, penerapan AI dalam fasad bangunan membuka peluang untuk inovasi dalam desain arsitektur yang responsif. Namun, eksplorasi penuh dari potensi ini masih terhambat oleh keterbatasan dalam pengetahuan teknis dan regulasi yang mendukung. Penelitian yang fokus pada integrasi AI dalam arsitektur fasad bangunan dapat menyediakan wawasan penting untuk mengatasi hambatan ini, mendorong pengembangan solusi yang tidak hanya efisien dari segi energi tetapi juga adaptif terhadap kebutuhan penghuni dan kondisi lingkungan. Oleh karena itu,

penelitian ini tidak hanya relevan secara akademis tetapi juga sangat penting untuk praktek arsitektur dan pembangunan berkelanjutan di masa depan.

METODE

Penelitian ini mengadopsi pendekatan kualitatif untuk memahami secara mendalam integrasi teknologi Artificial Intelligence (AI) dalam fasad bangunan interaktif (Bungin, 2011). Pendekatan ini dipilih karena kemampuannya untuk menangkap kompleksitas penggunaan AI dalam konteks arsitektur, memungkinkan peneliti untuk mengeksplorasi pengalaman, persepsi, dan tantangan yang dihadapi oleh arsitek dan insinyur. Pendekatan kualitatif memfasilitasi analisis mendalam tentang bagaimana AI dapat mengoptimalkan efisiensi energi dan kenyamanan termal bangunan, serta tantangan implementasinya. Melalui pendekatan ini, penelitian berupaya menghasilkan pemahaman yang kaya dan berlapis mengenai potensi dan hambatan dalam penerapan teknologi fasad interaktif berbasis AI.

Data untuk penelitian ini dikumpulkan melalui dua metode utama: studi pustaka dan wawancara dengan ahli. Studi pustaka melibatkan penelusuran dan analisis literatur yang tersedia, termasuk jurnal-jurnal bereputasi, buku, dan artikel terkait, untuk membangun dasar teoretis yang kuat mengenai penggunaan AI dalam fasad bangunan. Hal ini bertujuan untuk mengidentifikasi temuan penelitian sebelumnya, konsep-konsep kunci, serta gap pengetahuan yang ada. Selain itu, wawancara mendalam dilakukan dengan ahli di bidang arsitektur, desain berkelanjutan, dan teknologi AI untuk mendapatkan wawasan praktis dan profesional. Wawancara ini dirancang untuk mengumpulkan perspektif ahli mengenai potensi, tantangan, dan strategi

implementasi teknologi fasad interaktif berbasis AI dalam proyek arsitektural nyata.

Analisis data dilakukan melalui teknik analisis konten, di mana data dari studi pustaka dan wawancara dikategorikan, dianalisis, dan diinterpretasikan untuk mengidentifikasi tema-tema utama, pola, dan insight. Proses ini melibatkan pengkodean data secara sistematis untuk mengekstrak informasi penting terkait dengan penggunaan AI dalam fasad bangunan, efisiensi energi, kenyamanan termal, serta hambatan teknis dan regulasi. Analisis ini membantu dalam membangun argumentasi yang kuat dan menyediakan bukti untuk mendukung kesimpulan penelitian. Melalui metodologi ini, penelitian ini memastikan bahwa temuan dan rekomendasi yang dihasilkan berdasarkan pada data dan informasi yang valid dan terkini, sesuai dengan standar yang direkomendasikan oleh jurnal internasional Scopus, memastikan relevansi dan kontribusi penelitian terhadap bidang arsitektur dan teknologi bangunan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

AI dapat diintegrasikan dalam desain fasad bangunan untuk meningkatkan efisiensi energi dan kenyamanan termal secara dinamis berdasarkan kondisi lingkungan

Integrasi Artificial Intelligence (AI) dalam desain fasad bangunan menawarkan potensi revolusioner untuk meningkatkan efisiensi energi dan kenyamanan termal (Nasrullah et al., 2023). Melalui kemampuan AI untuk memproses dan menganalisis data lingkungan secara real-time, fasad bangunan dapat diadaptasi untuk merespons dinamis terhadap kondisi eksternal, mengoptimalkan penggunaan energi sambil mempertahankan kondisi

interior yang ideal. Penggunaan sensor cerdas dan sistem kontrol yang didukung AI memungkinkan fasad untuk secara otomatis menyesuaikan properti isolasi dan transparansi, mengurangi kebutuhan untuk pemanasan atau pendinginan buatan dan memaksimalkan pencahayaan alami (Heidari Matin & Eydgahi, 2022). Pengaturan suhu menjadi kunci dalam meningkatkan kenyamanan termal (Azizah, 2014). Dengan AI, fasad dapat

memprediksi perubahan suhu eksternal berdasarkan data historis dan kondisi cuaca saat ini, mengaktifkan mekanisme penyesuaian untuk mengisolasi atau membuka akses ke udara luar (Alkhatib et al., 2021). Pendekatan ini tidak hanya mengurangi konsumsi energi tetapi juga memastikan bahwa suhu interior selalu berada pada tingkat yang nyaman bagi penghuninya.



Gambar 1. Skema Cara Kerja Sistem Kontrol Sensor pada Sketsa Facade Bangunan Gedung
Sumber: <https://www.ashb.com/wp-content/uploads/2020/04/IS-2018-189.pdf>

Peningkatan pencahayaan alami melalui penggunaan AI juga berkontribusi signifikan terhadap efisiensi energi. Sistem AI dapat mengontrol opasitas fasad, memungkinkan cahaya alami yang maksimal ketika dibutuhkan dan mengurangi kebutuhan akan pencahayaan buatan. Hal ini tidak hanya menghemat energi tetapi juga meningkatkan kualitas lingkungan interior dengan memanfaatkan manfaat kesehatan dan kesejahteraan dari pencahayaan alami.

Selanjutnya, AI memungkinkan fasad untuk 'belajar' dari interaksi sebelumnya, meningkatkan efisiensinya dalam merespons kondisi lingkungan. Sistem AI yang berkelanjutan mengumpulkan data, menganalisis pola, dan membuat prediksi

yang lebih akurat tentang bagaimana dan kapan harus mengadaptasi fasad untuk kondisi optimal. Kemampuan adaptasi ini memastikan bahwa bangunan tidak hanya responsif tetapi juga proaktif dalam pengelolaan energi dan kenyamanan termal. Namun, implementasi teknologi ini memerlukan konsiderasi mendalam terhadap regulasi dan standar yang ada. Di Indonesia, regulasi terkait bangunan hijau dan efisiensi energi diatur dalam Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan

Rakyat Nomor 2/PRT/M/2015 tentang Pedoman Bangunan Gedung Hijau. Regulasi ini mendorong penggunaan teknologi untuk meningkatkan efisiensi energi namun belum secara spesifik menyebutkan penggunaan AI dalam fasad

Bangunan (Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Dan Perumahan Rakyat Nomor 02/PRT/M/2015 Tahun 2015 Tentang Bangunan Gedung Hijau, 2015).

Analisis hasil menunjukkan bahwa integrasi AI dalam desain fasad dapat memainkan peran kritis dalam mencapai tujuan efisiensi energi dan keberlanjutan. Dengan meningkatnya kebutuhan akan solusi bangunan yang berkelanjutan, teknologi seperti AI tidak hanya menawarkan kemungkinan untuk penghematan energi yang signifikan tetapi juga membuka jalan baru untuk inovasi dalam desain arsitektural.

Pengembangan lebih lanjut dan penelitian pada aplikasi AI dalam fasad bangunan interaktif akan sangat bergantung pada evolusi peraturan dan standar bangunan, serta kolaborasi antara pengembang, desainer, dan regulator. Kemampuan untuk mengintegrasikan solusi inovatif seperti AI dalam arsitektur fasad menandai era baru dalam desain bangunan, di mana teknologi dan keberlanjutan berjalan beriringan untuk menciptakan lingkungan yang lebih efisien, nyaman, dan harmonis dengan alam.

Tantangan teknis dan regulasi yang dihadapi dalam pengembangan dan implementasi fasad bangunan interaktif berbasis AI

Pengembangan dan implementasi fasad bangunan interaktif berbasis Artificial

Intelligence (AI) menghadapi berbagai tantangan teknis dan regulasi. Tantangan teknis utama meliputi kompleksitas integrasi sistem AI dengan infrastruktur bangunan yang sudah ada. Desain fasad interaktif yang efektif memerlukan sensor, aktuator, dan sistem kontrol yang dapat berkomunikasi secara seamless. Pemrograman AI yang dapat menginterpretasikan data dari sensor lingkungan dan mengambil keputusan cerdas untuk mengatur fasad secara dinamis membutuhkan algoritma yang canggih dan pembelajaran mesin yang terus menerus. Hal ini menuntut keahlian khusus dalam bidang AI, arsitektur, dan teknik bangunan, yang belum secara luas tersedia di industri konstruksi.

Selain itu, tantangan teknis juga termasuk kebutuhan untuk memastikan keandalan dan keamanan sistem AI. Fasad bangunan yang interaktif harus dapat beroperasi tanpa henti dalam berbagai kondisi lingkungan, memerlukan sistem yang tahan terhadap gangguan dan mampu mengidentifikasi serta merespons ancaman keamanan siber (Telenor Group, 2020). Keamanan data menjadi perhatian penting, mengingat sistem fasad berbasis AI mengumpulkan dan memproses data sensitif terkait kondisi lingkungan dan penggunaan bangunan.



Gambar 2. Skema Cara Kerja Sistem Kontrol Sensor pada Facade Bangunan Gedung.
Sumber: Dari Penulis

Dari segi regulasi, salah satu tantangan utama adalah kurangnya standar khusus yang berlaku untuk teknologi AI dalam konstruksi dan arsitektur. Regulasi yang ada, seperti Undang-Undang Nomor 28 Tahun 2002 tentang Bangunan Gedung di Indonesia, menyediakan kerangka kerja umum untuk keselamatan dan kesehatan bangunan tetapi belum mencakup ketentuan khusus terkait penggunaan AI. Hal ini menciptakan ketidakpastian hukum bagi pengembang dan arsitek yang ingin menerapkan solusi inovatif ini dalam proyek mereka. Selanjutnya, kepatuhan terhadap regulasi keberlanjutan dan efisiensi energi sering kali menjadi tantangan. Meskipun fasad interaktif berbasis AI berpotensi meningkatkan efisiensi energi, kepatuhan terhadap standar dan regulasi yang berlaku, seperti yang diatur dalam Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan

Perumahan Rakyat Nomor 2/PRT/M/2015 tentang Pedoman Bangunan Gedung Hijau, memerlukan validasi dan sertifikasi yang dapat menjadi proses yang panjang dan rumit.

Koordinasi antara berbagai pemangku kepentingan, termasuk pengembang, arsitek, insinyur, dan otoritas regulasi, merupakan tantangan lain dalam implementasi fasad interaktif berbasis AI. Pembangunan konsensus dan pemahaman bersama tentang manfaat, risiko, dan kebutuhan teknis dari fasad AI memerlukan dialog dan kerjasama yang efektif antara semua pihak yang terlibat. Adanya gap pengetahuan dan kesadaran tentang teknologi AI dalam konteks arsitektur dan konstruksi juga menjadi hambatan. Edukasi dan pelatihan bagi profesional di industri ini tentang potensi dan penerapan AI

dalam desain fasad diperlukan untuk mengatasi tantangan ini.

Akhirnya, biaya pengembangan dan implementasi fasad bangunan interaktif berbasis AI dapat menjadi penghalang signifikan. Investasi awal yang tinggi untuk teknologi, perangkat keras, dan keahlian khusus dapat menghambat adopsi luas teknologi ini, terutama dalam proyek dengan anggaran terbatas. Mengatasi tantangan-tantangan ini memerlukan upaya kolaboratif dari berbagai pemangku kepentingan dalam industri konstruksi dan arsitektur, serta dukungan dari kebijakan dan regulasi yang mendorong inovasi dan keberlanjutan dalam desain bangunan.

Desain fasad berbasis AI dapat mempengaruhi keberlanjutan lingkungan dan kenyamanan penghuni dalam jangka panjang?

Desain fasad berbasis Artificial Intelligence (AI) memiliki potensi signifikan dalam mendukung keberlanjutan lingkungan dan meningkatkan kenyamanan penghuni dalam jangka panjang. Integrasi AI dalam fasad bangunan memungkinkan adaptasi dinamis terhadap kondisi lingkungan yang berubah-ubah, sehingga mengoptimalkan penggunaan energi dan memaksimalkan kenyamanan termal dan pencahayaan alami dalam ruang (Heidari Matin & Eydgahi, 2022). Dengan demikian, fasad interaktif berbasis AI dapat berkontribusi pada pengurangan jejak karbon bangunan dan peningkatan kualitas hidup penghuni.

Pertama, AI memungkinkan fasad untuk menyesuaikan transparansi dan isolasi

berdasarkan kondisi cuaca dan pencahayaan, secara otomatis mengurangi kebutuhan akan pencahayaan dan pemanasan atau pendinginan buatan (Napier, 2015). Hal ini tidak hanya mengurangi konsumsi energi tetapi juga memanfaatkan pencahayaan alami, yang terbukti meningkatkan kesejahteraan penghuni. Penggunaan energi yang lebih efisien ini selaras dengan tujuan keberlanjutan lingkungan, sebagaimana diatur dalam Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 2/PRT/M/2015 tentang Pedoman Bangunan Gedung Hijau, khususnya pada Pasal 10 yang mendorong penerapan teknologi canggih untuk meningkatkan efisiensi energi bangunan.

Kedua, adaptasi AI dalam fasad membantu dalam mengelola kualitas udara dalam ruang. Dengan mengatur bukaan ventilasi berdasarkan kualitas udara eksternal dan internal, fasad AI berkontribusi pada penciptaan lingkungan dalam ruang yang lebih sehat, mengurangi risiko masalah kesehatan yang berkaitan dengan polusi udara dan meningkatkan kenyamanan penghuni.

Ketiga, fasad berbasis AI mendukung konsep bangunan hijau melalui optimalisasi penggunaan sumber daya alam, seperti cahaya dan udara, mengurangi kebutuhan akan sumber energi buatan yang sering tidak ramah lingkungan. Ini tidak hanya menurunkan biaya operasional bangunan tetapi juga mendukung inisiatif keberlanjutan global, seperti yang tercantum dalam agenda keberlanjutan Perserikatan Bangsa-Bangsa.

Keempat, dengan kemampuan AI untuk 'belajar' dan meningkatkan kinerjanya seiring waktu, fasad berbasis AI menjadi semakin efisien dalam merespons kebutuhan penghuni dan kondisi lingkungan. Hal ini menciptakan lingkungan yang adaptif dan responsif, yang secara proaktif memenuhi kebutuhan penghuni tanpa pengawasan manual yang berkelanjutan.

Kelima, integrasi AI dalam fasad mendukung ketahanan bangunan terhadap perubahan iklim dengan menyesuaikan diri dengan kondisi ekstrem, seperti panas berlebih atau dingin yang ekstrem, secara efisien (Hong et al., 2023). Ini meningkatkan ketahanan bangunan terhadap dampak perubahan iklim, menjadikannya investasi jangka panjang yang berkelanjutan.

Keenam, penggunaan AI dalam fasad mengurangi ketergantungan pada sistem HVAC (Heating, Ventilation, and Air Conditioning) yang berat, yang sering menjadi konsumen energi terbesar dalam Bangunan (Yang et al., 2016). Dengan mengoptimalkan keseimbangan antara isolasi termal dan ventilasi alami, fasad AI secara signifikan dapat mengurangi beban pada sistem HVAC, mengurangi konsumsi energi dan emisi karbon.

Ketujuh, teknologi AI memungkinkan integrasi fasad dengan sistem bangunan cerdas lainnya, menciptakan sinergi yang meningkatkan efisiensi keseluruhan bangunan. Hal ini menciptakan ekosistem bangunan cerdas yang tidak hanya berkelanjutan tetapi juga intuitif terhadap kebutuhan penghuninya.

Kedelapan, walaupun potensi besar fasad berbasis AI, tantangan dalam implementasinya, seperti keamanan siber, privasi data, dan biaya awal, harus diatasi melalui kerangka regulasi yang mendukung. Dalam konteks Indonesia, belum ada undang-undang spesifik yang mengatur penggunaan AI dalam fasad bangunan. Namun, pengembangan regulasi yang spesifik untuk AI dalam konteks arsitektur dan konstruksi akan memperkuat landasan hukum untuk inovasi ini, memastikan bahwa penggunaannya dilakukan secara bertanggung jawab dan efektif.

Secara keseluruhan, desain fasad berbasis AI memiliki potensi untuk secara signifikan mempengaruhi keberlanjutan lingkungan dan kenyamanan penghuni dalam jangka panjang. Namun, pencapaian potensi ini memerlukan kolaborasi antara pengembang, desainer, pembuat kebijakan, dan ahli teknologi, disertai dengan pengembangan kerangka regulasi yang mendukung inovasi ini.

Tantangan dan Keterbatasan

Dalam analisis hasil penelitian terkait integrasi teknologi Artificial Intelligence (AI) dalam fasad bangunan, teridentifikasi beberapa tantangan utama dalam implementasi serta keterbatasan dari penelitian yang telah dilakukan. Penelitian ini berupaya menguraikan tantangan tersebut dengan rinci dan menyajikan konteks regulasi yang relevan.

Pertama, tantangan teknis menjadi salah satu hambatan utama dalam implementasi fasad interaktif berbasis AI. Kompleksitas integrasi antara sistem AI dengan infrastruktur bangunan yang sudah ada membutuhkan sinkronisasi

antara sensor, aktuator, dan sistem kontrol yang canggih. Pengembangan algoritma AI yang dapat secara efektif menginterpretasikan data lingkungan dan mengambil keputusan adaptif untuk pengaturan fasad memerlukan keahlian multidisiplin yang belum secara luas tersedia dalam industri konstruksi. Hal ini menuntut investasi dalam pelatihan dan pengembangan sumber daya manusia yang mumpuni di bidang AI dan teknologi bangunan.

Kedua, keandalan dan keamanan sistem menjadi tantangan yang tidak kalah kritis. Fasad berbasis AI harus dapat beroperasi secara konsisten dalam berbagai kondisi lingkungan tanpa terganggu. Ini menuntut pengembangan sistem yang tahan terhadap gangguan fisik dan ancaman keamanan siber. Dalam konteks regulasi, Peraturan Menteri Komunikasi dan Informatika No. 20 Tahun 2016 tentang Perlindungan Data Pribadi dalam Sistem Elektronik menyediakan kerangka kerja untuk keamanan data, namun penerapannya pada fasad bangunan berbasis AI membutuhkan penyesuaian dan penguatan lebih lanjut.

Ketiga, tantangan regulasi mencakup kurangnya standar spesifik yang berlaku untuk penggunaan AI dalam konstruksi dan arsitektur. Regulasi eksisting seperti Undang-Undang Nomor 28 Tahun 2002 tentang Bangunan Gedung menyediakan dasar hukum untuk keselamatan dan kesehatan bangunan tetapi belum secara eksplisit mengatur tentang integrasi teknologi AI dalam fasad. Hal ini menciptakan ketidakpastian hukum yang dapat

menghambat inovasi dan adopsi teknologi baru dalam desain bangunan.

Keempat, tantangan dalam memenuhi standar keberlanjutan dan efisiensi energi juga signifikan. Meskipun fasad interaktif berbasis AI memiliki potensi untuk meningkatkan efisiensi energi, memastikan kepatuhan terhadap standar yang ada seperti yang diatur dalam Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 2/PRT/M/2015 tentang Pedoman Bangunan Gedung Hijau membutuhkan proses validasi dan sertifikasi yang kompleks.

Kelima, koordinasi antar pemangku kepentingan merupakan tantangan yang memerlukan penanganan khusus. Pembangunan konsensus mengenai manfaat, risiko, dan kebutuhan teknis fasad AI membutuhkan dialog efektif antara pengembang, arsitek, insinyur, dan regulator. Proses ini sering kali terkendala oleh perbedaan perspektif dan kepentingan antar berbagai pihak.

Keenam, keterbatasan penelitian ini terletak pada fokusnya yang terbatas pada aspek teknis dan regulasi dari implementasi AI dalam fasad bangunan. Penelitian lebih lanjut diperlukan untuk menggali aspek sosial-ekonomi, termasuk penerimaan publik terhadap fasad interaktif berbasis AI dan dampaknya terhadap pasar tenaga kerja dalam industri konstruksi.

Ketujuh, biaya pengembangan dan implementasi teknologi fasad berbasis AI menjadi penghalang signifikan, terutama untuk proyek dengan anggaran terbatas. Investasi awal yang tinggi dalam teknologi, perangkat keras,

dan keahlian khusus membatasi adopsi luas teknologi ini.

Kedelapan, penelitian ini juga terbatas dalam hal cakupan geografis dan jenis bangunan yang diteliti. Penelitian lebih lanjut diperlukan untuk mengeksplorasi potensi dan tantangan implementasi fasad berbasis AI dalam berbagai konteks iklim dan tipe bangunan yang berbeda.

Keseluruhan tantangan dan keterbatasan ini menandai pentingnya upaya kolaboratif dalam penelitian dan pengembangan teknologi fasad interaktif berbasis AI, serta perlunya inisiatif regulasi yang mendukung inovasi dan keberlanjutan dalam desain arsitektural.

KESIMPULAN

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis potensi integrasi Artificial Intelligence (AI) dalam fasad bangunan, dengan fokus pada kemampuan adaptasi dan interaktivitasnya terhadap lingkungan sekitar serta implikasinya terhadap efisiensi energi dan kenyamanan penghuni. Berdasarkan analisis yang dilakukan, dapat disimpulkan bahwa desain fasad berbasis AI menawarkan kemungkinan signifikan untuk meningkatkan efisiensi energi dan kenyamanan termal dalam bangunan, sejalan dengan tujuan penelitian yang telah ditetapkan.

Fasad interaktif berbasis AI dapat secara dinamis menyesuaikan diri dengan kondisi lingkungan, seperti perubahan suhu dan intensitas cahaya, untuk mengoptimalkan penggunaan sumber daya alam dan mengurangi konsumsi energi. Hal ini tidak hanya mendukung keberlanjutan lingkungan dengan

mengurangi jejak karbon bangunan tetapi juga meningkatkan kenyamanan penghuni melalui pengelolaan termal dan pencahayaan alami yang lebih baik. Dengan demikian, integrasi AI dalam fasad bangunan menyediakan solusi arsitektural yang responsif dan adaptif, yang memungkinkan bangunan untuk berinteraksi secara cerdas dengan lingkungannya.

Mengingat temuan penelitian, disarankan agar pengembangan lebih lanjut dalam teknologi fasad berbasis AI diintegrasikan dengan pendekatan multidisiplin yang melibatkan arsitek, insinyur, dan ahli teknologi informasi. Hal ini akan memungkinkan penciptaan solusi yang tidak hanya teknis canggih tetapi juga praktis dan ekonomis untuk diimplementasikan. Selain itu, pengembangan kerangka regulasi yang mendukung inovasi ini sangat diperlukan untuk memastikan implementasi yang aman dan efektif dari fasad interaktif berbasis AI dalam arsitektur masa depan. Penelitian ini membuka jalan bagi inovasi lebih lanjut dalam desain arsitektural yang bertujuan untuk mencapai bangunan yang lebih berkelanjutan dan cerdas.

DAFTAR PUSTAKA

- Alkhatib, H., Lemarchand, P., Norton, B., & O'Sullivan, D. T. J. (2021). *Deployment and control of adaptive building facades for energy generation, thermal insulation, ventilation and daylighting: A review. Applied Thermal Engineering, Volume. 185.*
- Almusaed, A., Yitmen, I., & Almssad, A. (2023). Enhancing Smart Home Design with AI Models: A Case Study of Living Spaces Implementation Review. *Energies, Volume. 16, No. 6, P. 2636.*
- Azizah, R. (2014). Kajian Kenyamanan Termal Pada Rumah Tinggal Dengan Model

- Innercourt. *Jurnal Arsitektur NALARs*, Volume. 13, Nomor. 2, Hal. 73–88.
- Azzahra, H., Anhar, P. N., & Ramadhan, R. R. A. (2023). *Peran Artificial Intelligence (Ai) Dalam Profesi Arsitek Di Masa Depan*. TVETRC. Diakses Pada 8 Maret 2024, <https://pui-tvetrc.upi.edu/2023/02/13/elementor-3403/>
- 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*, Volume. 141, P. 104440.
- Bungin, B. (2011). *Metodologi Penelitian Kualitatif: Aktualisasi metodologis ke arah ragam varian kontemporer*, Jakarta: Rajawali Pers.
- Debrah, C., Chan, A. P. C., & Darko, A. (2022). *Artificial Intelligence In Green Building*. *Automation in Construction*, Volume. 137, P. 104192.
- G20. (2023). G20 New Delhi Leaders' Declaration. *G20*.
- Gasparri, E., Brambilla, A., Lobaccaro, G., Goia, F., Andaloro, A., & Sangiorgio, A. (2022). *Façade innovation: between 'product' and 'process.'* In E. Gasparri, A. Brambilla, G. Lobaccaro, F. Goia, A. Andaloro, & A. Sangiorgio (Eds.), *Rethinking Building Skins* (pp. 1–13). Woodhead Publishing.
- Hafez, F. S., Sa'di, B., Safa-Gamal, M., Taufiq-Yap, Y. H., Alrifaey, M., Seyedmahmoudian, M., Stojcevski, A., Horan, B., & Mekhilef, S. (2023). *Energy Efficiency in Sustainable Buildings: A Systematic Review with Taxonomy, Challenges, Motivations, Methodological Aspects, Recommendations, and Pathways for Future Research*. *Energy Strategy Reviews*, Volume. 45.
- Heidari Matin, N., & Eydgahi, A. (2022). *Technologies Used In Responsive Facade Systems: A Comparative Study*. *Intelligent Buildings International*, Volume. 14, No. 1, P. 54–73.
- Hong, T., Malik, J., Krelling, A., O'Brien, W., Sun, K., Lamberts, R., & Wei, M. (2023). *Ten Questions Concerning Thermal Resilience Of Buildings And Occupants For Climate Adaptation*. *Building and Environment*, Volume. 244.
- Napier, J. (2015). *Climate Based Façade Design for Business Buildings with Examples from Central London*. *Buildings*, Volume. 5, No. 1, P. 16–38.
- Nasrullah, A., Giffari, M. F., Taufik Hidayat S, Achmad, F. S. R., & Muhlis, M. F. M. (2023). Efektivitas Kecerdasan Buatan VerasAI sebagai Referensi Desain Fasad Mahasiswa Arsitektur. *SEMINAR NASIONAL DIES NATALIS*, Volume. 62, Nomor. 1, Hal. 318–327.
- Palakka, Muh. Risqy Mutawakkil, Muhammad Arbaim Asridal, Muhammad Taufiq Urinta, & Muhammad Fildam Anugrah. (2023). Peran Kecerdasan Buatan dalam Efisiensi Desain Bangunan. *SEMINAR NASIONAL DIES NATALIS*, Volume. 62, Nomor. 1, Hal. 152–157.
- Pattileamonia, R. A. V. (2016). *Landasan Konseptual Perencanaan Dan Perancangan Pusat Kebudayaan Maluku Di Yogyakarta*. Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Dan Perumahan Rakyat Nomor 02/PRT/M/2015 Tahun 2015 Tentang Bangunan Gedung Hijau.
- Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Dan Perumahan Rakyat Nomor 21 Tahun 2021 Tentang Penilaian Kinerja Bangunan Gedung Hijau.

Putra, M. I. D. (2024). *Regulasi AI di Indonesia belum cukup, perlu aturan yang lebih spesifik*. *The Conversation*. Diakses Pada 8 Maret 2024, <https://theconversation.com/regulasi-ai-di-indonesia-belum-cukup-perlu-aturan-yang-lebih-spesifik-219827>

Rafsanjani, H. N., & Nabizadeh, A. H. (2023). *Towards Human-Centered Artificial Intelligence (AI) In Architecture, Engineering, And Construction (AEC) Industry*. *Computers in Human Behavior Reports*, Volume. 11, P. 100319.

Rahadian, E. Y., Dwiastuti, W., Maretia, N. A., & Fitriani, B. (2021). Pengaruh Secondary Skin Fasade Bangunan Terhadap Kualitas Pencahayaan Alami Ruang Kerja. *Jurnal Arsitektur TERRACOTTA*, Volume. 2, Nomor. 2.

Telenor Group. (2020). *Security Architecture Design Phase: The concept of a threat intelligence driven defendable architecture*. Telenor Group. Diakses Pada 8 Maret 2024, <https://www.telenor.com/innovation/technology/cyber-security/security-architecture-design-phase-the-concept-of-a-threat-intelligence-driven-defendable-architecture/>

Umoh, A. A., Nwasike, C. N., Tula, O. A., Adekoya, O. O., & Gidiagba, J. O. (2024). A

Review Of Smart Green Building Technologies: Investigating The Integration And Impact Of Ai And Iot In Sustainable Building Designs. *Computer Science & IT Research Journal*, Volume. 5, No. 1, P. 141–165.

Undang-Undang (UU) Nomor 28 Tahun 2002 Tentang Bangunan Gedung.

Utilities One. (2023a). *The Impacts of Climate Change on Architectural Energy Planning*. Utilities One. Diakses Pada 8 Maret 2024, <https://utilitiesone.com/the-impacts-of-climate-change-on-architectural-energy-planning>

Utilities One. (2023b). *Dynamic Facades Adapting Building Skins for Energy Optimization*. Utilities One. Diakses Pada 8 Maret 2024, <https://utilitiesone.com/dynamic-facades-adapting-building-skins-for-energy-optimization>

Yang, Z., Ghahramani, A., & Becerik-Gerber, B. (2016). *Building Occupancy Diversity And HVAC (Heating, Ventilation, And Air Conditioning) System Energy Efficiency*. *Energy*, Volume. 109, P. 641–649.