

MENGINTEGRASIKAN TEKNOLOGI DIGITAL TWIN DAN KECERDASAN BUATAN UNTUK MENGOPTIMALKAN MANAJEMEN DAN PENGAMBILAN KEPUTUSAN DALAM PROYEK

Muhammad Afiq*¹

1, Universitas Islam Negeri Walisongo Semarang, Indonesia

Informasi Artikel

Kata Kunci:

Digital Twin, Kecerdasan Buatan (AI), Manajemen Siklus Hidup Proyek, Pengambilan Keputusan, Pengelolaan Risiko, Efisiensi Konstruksi

*Penulis Korespondensi.

Muhammad Afiq

Alamat E-mail:

Muhammad_afiq@walisongo.ac.id

Abstrak

Industri konstruksi menghadapi berbagai tantangan dalam pengelolaan proyek yang semakin kompleks, termasuk efisiensi waktu, pengendalian biaya, serta manajemen risiko yang efektif. Teknologi Digital Twin dan Kecerdasan Buatan (AI) muncul sebagai solusi potensial untuk mengatasi tantangan ini dengan meningkatkan pengelolaan siklus hidup proyek dari perencanaan hingga pemeliharaan. Digital Twin berfungsi sebagai representasi digital dari objek fisik yang memungkinkan pemantauan dan simulasi real-time, sementara AI digunakan untuk menganalisis data besar, memberikan wawasan yang lebih mendalam, serta meningkatkan akurasi pengambilan keputusan. Integrasi kedua teknologi ini berpotensi mengoptimalkan pengelolaan sumber daya, pengurangan risiko, dan peningkatan efisiensi dalam proyek konstruksi. Makalah ini bertujuan untuk mengkaji dampak integrasi Digital Twin dan AI dalam manajemen siklus hidup proyek konstruksi, dengan fokus pada peningkatan efisiensi operasional, pengelolaan risiko yang lebih baik, serta pengambilan keputusan yang berbasis data. Hasil penelitian ini diharapkan memberikan wawasan tentang bagaimana kedua teknologi tersebut dapat mempercepat transformasi digital dalam industri konstruksi, serta meningkatkan keberhasilan proyek dengan meminimalkan pemborosan dan risiko operasional. Meskipun tantangan terkait biaya dan keterampilan teknis masih ada, integrasi Digital Twin dan AI menawarkan potensi besar dalam menciptakan proyek konstruksi yang lebih cerdas dan berkelanjutan.

1. Pendahuluan

Industri konstruksi, sebagai salah satu sektor ekonomi utama di banyak negara, terus menghadapi tantangan besar dalam mengelola proyek yang semakin kompleks dan berisiko tinggi [1]. Tantangan ini mencakup kebutuhan untuk meningkatkan efisiensi, menekan biaya, serta mengurangi risiko yang sering terjadi selama seluruh siklus hidup proyek, dari perencanaan hingga pemeliharaan. Setiap tahap dalam siklus hidup proyek memiliki tantangan tersendiri yang membutuhkan perhatian dan solusi yang tepat untuk memastikan keberhasilan dan keberlanjutan proyek. Meskipun berbagai teknologi baru telah diterapkan, namun masih terdapat kebutuhan yang mendesak untuk inovasi lebih lanjut yang dapat memberikan dampak yang lebih signifikan terhadap efisiensi dan kualitas proyek.

Dalam beberapa tahun terakhir, dua teknologi yang berkembang pesat dan telah menunjukkan potensi besar dalam meningkatkan kinerja proyek konstruksi adalah Digital Twin dan Kecerdasan Buatan (AI). Digital Twin mengacu pada pembuatan representasi digital dari objek fisik, seperti bangunan atau infrastruktur, yang memungkinkan pemantauan, simulasi, dan pengoptimalan kinerja secara real-time. Di sisi lain, Kecerdasan Buatan (AI) berfungsi untuk menganalisis data besar yang dihasilkan dalam proyek konstruksi, membantu pengambilan keputusan berbasis data dengan akurasi yang lebih tinggi dan prediktabilitas yang lebih baik [2].

Integrasi Digital Twin dan AI dalam manajemen siklus hidup proyek konstruksi tidak hanya menawarkan optimalisasi dari sisi waktu, biaya, kualitas, dan keselamatan, tetapi juga pengelolaan risiko yang lebih baik. Dengan kemampuan untuk menghubungkan data dunia nyata dengan representasi digitalnya, serta menganalisis pola dan tren dari data besar, kombinasi kedua teknologi ini memungkinkan pengambilan keputusan yang lebih cerdas, responsif, dan berbasis informasi yang lebih akurat [3]. Hal ini sangat relevan mengingat banyaknya proyek konstruksi yang kerap mengalami kendala seperti keterlambatan, pembengkakan biaya, serta masalah kualitas yang dapat mempengaruhi keberhasilan proyek secara keseluruhan.

Namun, meskipun potensinya sangat besar, implementasi Digital Twin dan AI dalam proyek konstruksi masih menghadapi beberapa tantangan, termasuk biaya awal yang tinggi, perubahan dalam cara kerja, serta kebutuhan keterampilan teknis yang cukup tinggi. Meskipun demikian, integrasi kedua teknologi ini menjanjikan transformasi yang

mendalam dalam cara proyek konstruksi dikelola, memperkenalkan pendekatan baru dalam mengoptimalkan siklus hidup proyek dan pengambilan keputusan yang lebih berbasis data.

Makalah ini bertujuan untuk mengkaji bagaimana integrasi Digital Twin dan Kecerdasan Buatan dapat berkontribusi dalam meningkatkan manajemen siklus hidup proyek konstruksi, dengan fokus pada peningkatan efisiensi, pengelolaan risiko, serta pengambilan keputusan yang lebih informasional dan akurat. Melalui pemahaman yang lebih dalam tentang potensi kedua teknologi ini, diharapkan dapat ditemukan solusi yang dapat meningkatkan kualitas dan keberlanjutan proyek konstruksi, yang pada akhirnya memberikan dampak positif bagi industri secara keseluruhan.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan deskriptif kualitatif dengan fokus pada tinjauan pustaka dan analisis konseptual. Tujuan dari metode ini adalah untuk mengeksplorasi dan mensintesis berbagai penelitian, teori, serta perkembangan teknologi yang berkaitan dengan integrasi Digital Twin dan Artificial Intelligence (AI) dalam manajemen siklus hidup proyek konstruksi.

Data dalam penelitian ini diperoleh dari sumber sekunder, meliputi jurnal ilmiah, buku, prosiding konferensi, dan publikasi daring yang diterbitkan antara tahun 2023 hingga 2024, yang membahas penerapan teknologi Digital Twin dan AI di sektor konstruksi. Bahan-bahan tersebut dipilih berdasarkan relevansi, kebaruan, serta kontribusinya dalam memahami bagaimana teknologi tersebut dapat meningkatkan efisiensi proyek, manajemen risiko, dan proses pengambilan keputusan. Proses analisis dilakukan melalui beberapa tahapan. Pertama, peneliti mengidentifikasi konsep-konsep utama dan kerangka kerja dari penelitian terdahulu yang berkaitan dengan penerapan Digital Twin dan AI dalam manajemen konstruksi. Kedua, konsep-konsep tersebut dibandingkan dan dianalisis untuk menemukan area tumpang tindih serta potensi integrasi antara kedua teknologi tersebut. Ketiga, penelitian ini mengevaluasi potensi manfaat, tantangan, dan implikasi penerapan Digital Twin dan AI dalam siklus hidup proyek, mulai dari tahap perencanaan dan perancangan hingga tahap operasi dan pemeliharaan.

Pendekatan ini memungkinkan pemahaman yang komprehensif terhadap landasan teoretis dan aplikasi praktis dari kedua teknologi tersebut. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kerangka konseptual yang mendukung penelitian empiris lanjutan serta penerapan praktis integrasi Digital Twin dan AI dalam manajemen proyek konstruksi.

3. Hasil dan Pembahasan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penerapan Digital Twin dan Kecerdasan Buatan (AI) dalam manajemen konstruksi memberikan dampak signifikan terhadap peningkatan efisiensi, akurasi pengambilan keputusan, serta pengelolaan risiko pada seluruh tahapan siklus hidup proyek. Berdasarkan hasil analisis literatur, Digital Twin terbukti mampu menyediakan representasi digital yang akurat dan real-time dari kondisi proyek, yang memungkinkan pemantauan langsung terhadap kemajuan pekerjaan, penggunaan sumber daya, serta deteksi dini terhadap potensi permasalahan teknis. Integrasi ini mempermudah koordinasi antar pemangku kepentingan proyek karena seluruh data proyek tersaji secara terpusat dan dapat diakses secara bersamaan, sehingga mengurangi kesalahan komunikasi dan meningkatkan transparansi dalam pengambilan keputusan.

Sementara itu, penerapan AI memperkuat fungsi analitik dari Digital Twin melalui kemampuan prediktif dan otomatisasi keputusan berbasis data besar. Hasil pengolahan data menunjukkan bahwa AI dapat digunakan untuk memperkirakan durasi, biaya, serta risiko proyek dengan tingkat akurasi yang lebih tinggi dibandingkan metode tradisional. AI juga berperan penting dalam optimalisasi sumber daya, pemantauan kualitas konstruksi, serta perencanaan pemeliharaan preventif setelah proyek selesai. Kombinasi antara Digital Twin dan AI menghasilkan sistem manajemen proyek yang lebih adaptif dan berorientasi pada data, yang tidak hanya meningkatkan efisiensi operasional, tetapi juga memperkuat kapasitas industri konstruksi dalam menghadapi kompleksitas proyek berskala besar dan dinamis.

3.1. Digital Twin dalam Manajemen Konstruksi

Digital Twin merupakan representasi digital yang sangat akurat dari objek fisik atau sistem yang ada di dunia nyata, yang terus diperbarui dengan data real-time melalui sensor, perangkat IoT (Internet of Things), dan teknologi lainnya. Dalam konteks manajemen konstruksi, Digital Twin tidak hanya berfungsi sebagai alat visualisasi, tetapi juga sebagai pusat integrasi informasi yang memungkinkan berbagai pihak terlibat dalam proyek baik perencana [4], pengelola, kontraktor, maupun pemilik untuk memperoleh gambaran lengkap tentang kondisi proyek secara keseluruhan. Hal ini memungkinkan pengambilan keputusan yang lebih cepat, tepat, dan berbasis data yang lebih akurat.

Penerapan Digital Twin dalam manajemen konstruksi dapat memberikan berbagai keuntungan yang sangat penting bagi proyek, baik dalam fase perencanaan, pelaksanaan, maupun pemeliharaan [5]. Beberapa manfaat utama dari penggunaan Digital Twin dalam manajemen konstruksi adalah sebagai berikut:

- 1) Perencanaan yang Lebih Efektif dan Terintegrasi

Pada tahap perencanaan, Digital Twin memungkinkan para perencana untuk menciptakan model yang sangat realistis dari proyek konstruksi yang akan dilaksanakan. Dengan menggunakan data dari berbagai sumber seperti pemetaan topografi, data geospasial, dan parameter teknis lainnya Digital Twin menciptakan gambaran yang sangat mendetail tentang kondisi fisik dan lingkungan sekitar proyek. Hal ini memungkinkan perencana untuk merancang bangunan atau infrastruktur dengan lebih akurat, mengidentifikasi potensi hambatan, serta menilai dampak lingkungan atau sosial yang mungkin timbul.

Lebih jauh lagi, Digital Twin juga memungkinkan simulasi berbagai skenario desain untuk menguji berbagai solusi sebelum pelaksanaan, mengurangi risiko kesalahan desain, dan mengoptimalkan distribusi sumber daya seperti tenaga kerja, material, dan peralatan.

2) Pemantauan Proyek Secara Real-Time

Selama fase pelaksanaan konstruksi, Digital Twin berfungsi sebagai platform untuk memantau kondisi proyek secara real-time. Melalui integrasi dengan sensor dan perangkat IoT yang terpasang di lokasi proyek, model digital ini dapat memvisualisasikan perubahan kondisi fisik bangunan atau infrastruktur yang sedang dibangun. Data ini termasuk pengukuran suhu, kelembaban, tekanan, serta posisi dan pergerakan material dan peralatan. Dengan data real-time yang terus terupdate, manajer proyek dapat melihat kemajuan proyek secara lebih transparan, memantau apakah proyek berjalan sesuai jadwal dan anggaran, serta mendeteksi potensi masalah sebelum menjadi masalah besar. Pemantauan ini juga memungkinkan deteksi dini terhadap masalah teknis, seperti pergeseran struktur atau kesalahan konstruksi, yang dapat segera diperbaiki untuk menghindari kerugian lebih lanjut.

3) Pengelolaan Sumber Daya yang Lebih Baik

Digital Twin juga memungkinkan pengelolaan sumber daya yang lebih efisien, baik itu tenaga kerja, material, maupun peralatan. Dengan memanfaatkan data yang dikumpulkan secara terus menerus, Digital Twin dapat mengidentifikasi pola penggunaan sumber daya, memberikan wawasan mengenai area-area yang mengalami pemborosan, serta memberi rekomendasi untuk optimasi. Sebagai contoh, jika ada kelebihan penggunaan material di suatu bagian proyek, manajer proyek dapat menyesuaikan alokasi bahan baku untuk mencegah pemborosan. Selain itu, peralatan konstruksi yang terhubung ke sistem Digital Twin dapat dipantau secara langsung untuk memastikan bahwa peralatan tersebut digunakan secara optimal, mengurangi waktu henti (downtime), dan meningkatkan produktivitas. Jika suatu alat menunjukkan tanda-tanda kerusakan atau penggunaan berlebihan, sistem dapat memberi tahu tim pemeliharaan untuk melakukan perbaikan atau penggantian tepat waktu.

4) Prediksi Masalah dan Pengelolaan Risiko yang Lebih Baik

Salah satu fitur paling kuat dari Digital Twin dalam manajemen konstruksi adalah kemampuannya untuk memprediksi masalah yang mungkin terjadi selama pelaksanaan proyek. Dengan menganalisis data historis serta data yang dikumpulkan secara real-time, model Digital Twin dapat mengidentifikasi pola yang menunjukkan potensi masalah, seperti keterlambatan pasokan material, kegagalan struktural, atau bahkan cuaca buruk yang dapat mempengaruhi jadwal konstruksi. Selain itu, Digital Twin memungkinkan simulasi skenario risiko yang dapat membantu manajer proyek untuk merencanakan respons yang lebih baik terhadap potensi masalah. Misalnya, dengan mensimulasikan skenario cuaca buruk, manajer proyek dapat mengambil langkah-langkah pencegahan lebih awal, seperti penjadwalan ulang kegiatan atau penyiapan peralatan darurat, guna mengurangi dampak dari risiko tersebut.

5) Pemeliharaan dan Pengelolaan Pasca Pembangunan

Setelah proyek selesai dan infrastruktur atau bangunan mulai beroperasi, Digital Twin tetap berperan penting dalam pemeliharaan dan pengelolaan operasional. Model digital ini dapat digunakan untuk memantau kinerja bangunan atau fasilitas secara berkelanjutan, memberikan data tentang kondisi struktural, konsumsi energi, serta kinerja sistem mekanikal dan elektrik. Jika terjadi masalah pada bangunan atau infrastruktur, Digital Twin dapat memberikan peringatan dini dan memperlihatkan area mana yang perlu diperbaiki atau diganti. Ini memungkinkan pemeliharaan preventif, yang tidak hanya mengurangi biaya jangka panjang, tetapi juga memperpanjang umur bangunan atau infrastruktur tersebut.

6) Kolaborasi yang Lebih Baik antara Tim Proyek

Dengan Digital Twin, semua pemangku kepentingan proyek, mulai dari arsitek, insinyur, kontraktor, hingga pemilik, dapat mengakses data yang sama secara real-time. Hal ini meningkatkan kolaborasi antar tim dan memastikan bahwa setiap keputusan yang diambil didasarkan pada informasi yang sama. Setiap perubahan yang dilakukan pada model digital akan langsung terupdate dan dapat diakses oleh semua pihak, mengurangi kesalahan komunikasi dan meningkatkan koordinasi.

3.2. Kecerdasan Buatan dalam Pengambilan Keputusan Konstruksi

Kecerdasan Buatan (AI) adalah cabang dari ilmu komputer yang fokus pada pengembangan sistem yang mampu melakukan tugas-tugas yang biasanya memerlukan kecerdasan manusia, seperti pengenalan pola, pengambilan keputusan, perencanaan, dan pemecahan masalah. Dalam konteks manajemen konstruksi, AI berperan penting dalam pengambilan keputusan berbasis data, dengan menyediakan wawasan yang lebih akurat, prediktabilitas yang lebih tinggi, dan efisiensi yang lebih besar dibandingkan metode tradisional [6].

Industri konstruksi, yang sering kali menghadapi kompleksitas tinggi dalam perencanaan dan pelaksanaan proyek, membutuhkan solusi yang cepat dan tepat untuk mengelola berbagai aspek proyek, mulai dari perencanaan, pengelolaan sumber daya, hingga pengawasan kualitas. AI berfungsi sebagai alat yang sangat efektif untuk mendukung pengambilan keputusan yang lebih cerdas dan berbasis data, dengan mengolah informasi dalam jumlah besar dan menghasilkan rekomendasi yang lebih terukur dan dapat diandalkan [7].

1) Pengolahan Data Besar (Big Data) untuk Keputusan yang Lebih Cerdas

Proyek konstruksi menghasilkan data besar (big data) dari berbagai sumber, seperti sensor di lapangan, laporan keuangan, logistik, jadwal, dan komunikasi antara tim proyek. Data ini sering kali terlalu besar dan kompleks untuk dianalisis secara manual [8]. AI, melalui metode seperti machine learning dan data mining, dapat menganalisis data besar ini dengan kecepatan tinggi untuk menemukan pola dan hubungan yang tidak terlihat oleh manusia [9].

AI mampu mengidentifikasi trend dan pola dalam data yang mengindikasikan potensi masalah atau peluang untuk mengoptimalkan proyek. Misalnya, analisis data dari berbagai proyek sebelumnya dapat membantu memperkirakan biaya dan waktu penyelesaian, serta mengidentifikasi faktor-faktor risiko yang mungkin terjadi dalam proyek konstruksi yang sedang berlangsung.

2) Prediksi dan Optimisasi Waktu dan Biaya

AI dapat digunakan untuk memprediksi hasil proyek berdasarkan data historis dan variabel yang ada. Model prediktif yang dikembangkan dengan menggunakan teknik machine learning dapat memperkirakan waktu penyelesaian, biaya, dan risiko proyek dengan akurasi yang lebih tinggi. Hal ini sangat berguna untuk meminimalkan overrun biaya dan keterlambatan yang sering terjadi dalam proyek konstruksi besar [10].

Sebagai contoh, algoritma AI yang mempelajari data dari proyek-proyek sebelumnya dapat mengidentifikasi hubungan antara keterlambatan pasokan material dengan keterlambatan proyek dan memberikan rekomendasi strategi mitigasi. Dengan prediksi yang lebih akurat, tim proyek dapat mengoptimalkan alokasi sumber daya, mengurangi biaya tak terduga, dan meningkatkan ketepatan waktu dalam penyelesaian proyek.

3) Pengelolaan Risiko Berbasis Data

Salah satu tantangan terbesar dalam proyek konstruksi adalah pengelolaan risiko yang melibatkan faktor-faktor seperti cuaca ekstrem, ketersediaan material, keterlambatan tenaga kerja, atau kesalahan desain. AI dapat membantu tim proyek untuk mengidentifikasi dan memitigasi risiko secara lebih efektif dengan analisis prediktif yang lebih mendalam.

Melalui penggunaan algoritma prediksi risiko, AI dapat memproses data real-time dan menilai berbagai risiko yang mungkin terjadi di lapangan. Misalnya, AI dapat menganalisis data cuaca dan memberikan peringatan dini tentang potensi dampak cuaca buruk yang dapat mengganggu pelaksanaan proyek. Selain itu, AI juga dapat memantau performa subkontraktor dan material, serta memberi rekomendasi jika ada ketidaksesuaian yang dapat mempengaruhi kualitas atau jadwal.

4) Otomatisasi Pengambilan Keputusan dalam Pengelolaan Sumber Daya

Dalam proyek konstruksi, keputusan terkait alokasi sumber daya baik tenaga kerja, material, maupun peralatan sering kali mempengaruhi keberhasilan proyek secara keseluruhan. AI dapat mengotomatisasi pengelolaan sumber daya dengan cara yang lebih efisien dan tepat waktu. Misalnya, AI dapat menganalisis ketersediaan material dan tenaga kerja, kemudian membuat keputusan otomatis mengenai kapan dan bagaimana sumber daya tersebut harus digunakan, serta mengidentifikasi potensi bottleneck dalam proses produksi.

Dalam hal perencanaan tenaga kerja, AI dapat menghitung jadwal kerja optimal, mengidentifikasi kebutuhan keterampilan untuk setiap fase proyek, serta memperkirakan jumlah pekerja yang diperlukan pada setiap tahap. Ini memastikan bahwa tenaga kerja yang tepat tersedia pada waktu yang tepat, meningkatkan produktivitas dan mengurangi pemborosan waktu dan biaya.

5) Peningkatan Pengawasan Kualitas dan Kepatuhan

AI dapat membantu memantau dan memastikan kualitas konstruksi dengan menggunakan teknologi seperti pengenalan gambar dan computer vision untuk mengawasi kualitas kerja di lapangan. Misalnya, kamera yang dipasang di lokasi konstruksi dapat memberikan gambar atau video yang dianalisis oleh algoritma AI untuk mendeteksi cacat atau ketidaksesuaian dengan spesifikasi desain.

Selain itu, AI dapat digunakan untuk memastikan bahwa proyek mematuhi standar dan regulasi yang berlaku. Dengan memproses data audit, AI dapat memverifikasi kepatuhan terhadap persyaratan keselamatan dan regulasi lingkungan, serta memberi peringatan atau rekomendasi jika ada potensi pelanggaran.

6) Optimalisasi Pengelolaan Proyek Secara Keseluruhan

AI juga dapat berperan dalam pengelolaan proyek secara menyeluruh, dengan meningkatkan komunikasi antar tim, memantau kemajuan proyek, dan membantu manajer proyek dalam pengambilan keputusan strategis. AI memungkinkan analisis data secara menyeluruh untuk mengidentifikasi keterlambatan atau masalah koordinasi yang mungkin terjadi antara tim de-sain, kontraktor, dan pihak terkait lainnya.

Selain itu, AI juga dapat digunakan untuk mengelola jadwal proyek secara dinamis, menyesuaikan timeline proyek berdasarkan perubahan kondisi lapangan atau keterlambatan tak terduga. Dengan kemampuan ini, AI dapat membantu memastikan bahwa proyek tetap pada jalur yang benar meskipun menghadapi tantangan yang tidak terduga.

3.3. Penggabungan Digital Twin dan AI dalam Manajemen Siklus Hidup Proyek

Digital Twin dan Kecerdasan Buatan (AI) merupakan dua teknologi yang sangat berpotensi untuk merevolusi manajemen siklus hidup proyek konstruksi. Penggabungan keduanya menawarkan kemampuan yang sangat kuat untuk mengoptimalkan berbagai tahap proyek, mulai dari perencanaan, pelaksanaan, hingga pemeliharaan. Kombinasi ini tidak hanya memberikan visualisasi real-time yang lebih akurat tetapi juga memungkinkan analisis data canggih dan prediksi yang lebih tepat untuk mengambil keputusan yang lebih cerdas, berbasis data.

Dalam konteks manajemen siklus hidup proyek, Digital Twin berfungsi sebagai representasi digital dari objek fisik proyek, sedangkan AI digunakan untuk menganalisis data yang dihasilkan oleh Digital Twin untuk memberikan wawasan yang lebih mendalam. Dengan menggabungkan kedua teknologi ini, proyek konstruksi dapat dikelola dengan cara yang lebih efisien, transparan, dan terprediksi, serta dapat mengurangi risiko, biaya, dan waktu yang sering terjadi dalam proyek besar dan kompleks.

1) Perencanaan dan Desain yang Lebih Akurat

Pada tahap perencanaan dan desain, Digital Twin memungkinkan perancang untuk menciptakan model digital 3D dari proyek konstruksi yang mencakup setiap elemen fisik, dari struktur bangunan hingga sistem mekanikal dan elektrik. Dengan visualisasi yang sangat detail dan akurat, perencana dapat memanfaatkan simulasi digital untuk menguji berbagai skenario desain dan memastikan bahwa proyek dapat dijalankan sesuai dengan spesifikasi yang ditentukan.

Dengan bantuan AI, proses perencanaan ini dapat diperkuat melalui analisis data historis dari proyek sebelumnya dan data real-time yang diperoleh dari model Digital Twin. AI dapat membantu menganalisis berbagai faktor yang dapat mempengaruhi hasil akhir proyek, seperti potensi risiko, penggunaan sumber daya, atau kemungkinan kegagalan desain. Dengan demikian, AI membantu meminimalkan kesalahan perencanaan dan memberikan rekomendasi berbasis data untuk desain yang lebih optimal.

2) Pemantauan Real-Time dan Pengendalian Proyek

Selama fase pelaksanaan proyek, penggabungan Digital Twin dan AI memungkinkan pemantauan proyek secara real-time. Digital Twin memberikan gambaran yang akurat mengenai kondisi proyek di lapangan dengan memanfaatkan data yang dikumpulkan dari sensor IoT dan perangkat lainnya yang terpasang di lokasi konstruksi. Model digital ini terus diperbarui dengan data terbaru, memungkinkan manajer proyek untuk melihat status terkini dari setiap elemen proyek secara langsung.

AI berperan untuk menganalisis data real-time tersebut untuk mendeteksi potensi masalah atau hambatan dalam proyek, seperti keterlambatan pengiriman material, masalah teknis pada peralatan, atau bahkan risiko keselamatan. Dengan algoritma prediktif, AI dapat memperkirakan kemungkinan kejadian yang dapat menyebabkan keterlambatan atau pembengkakan biaya dan memberikan rekomendasi mitigasi yang lebih cepat dan tepat. AI juga dapat membantu dalam pengelolaan jadwal proyek dengan menyesuaikan timeline berdasarkan perubahan yang terjadi di lapangan, mengoptimalkan alokasi sumber daya, serta mengurangi pemborosan material dan tenaga kerja.

3) Pengelolaan Sumber Daya yang Lebih Efisien

Salah satu tantangan terbesar dalam manajemen proyek konstruksi adalah pengelolaan sumber daya yang terbatas baik itu tenaga kerja, material, maupun peralatan. Dalam penggabungan Digital Twin dan AI, teknologi ini memungkinkan pengelolaan sumber daya yang lebih efisien dan terkontrol dengan lebih baik.

Digital Twin memungkinkan pemantauan pergerakan material dan peralatan di lapangan, sementara AI menganalisis data ini untuk mengidentifikasi keterlambatan atau pemborosan sumber daya. Misalnya, AI dapat memberikan peringatan jika ada keterlambatan pengiriman material atau penggunaan peralatan yang tidak efisien, memungkinkan tim proyek untuk segera mengambil tindakan korektif. Dengan demikian, optimasi penggunaan tenaga kerja dan material menjadi lebih mudah dicapai.

Selain itu, AI dapat membantu dalam perencanaan tenaga kerja dengan menghitung kebutuhan pekerja pada setiap fase proyek, berdasarkan data historis dan kondisi real-time yang tercatat di dalam Digital Twin. Dengan model prediktif, AI dapat menyesuaikan jumlah tenaga kerja yang dibutuhkan, serta mengalokasikan mereka secara optimal, mengurangi pemborosan biaya dan meningkatkan produktivitas.

4) Prediksi Risiko dan Mitigasi Masalah

Pengelolaan risiko adalah elemen penting dalam siklus hidup proyek konstruksi. Kedua teknologi ini, Digital Twin dan AI, dapat bekerja bersama-sama untuk meningkatkan kemampuan dalam mengidentifikasi dan memitigasi risiko.

Digital Twin berfungsi sebagai alat untuk memvisualisasikan kondisi proyek secara real-time, sementara AI menganalisis data tersebut untuk mencari pola atau tren yang menunjukkan potensi masalah di masa depan. Misalnya, AI dapat menganalisis data cuaca, logistik, dan kondisi material untuk memprediksi kemungkinan keterlambatan proyek atau bahkan kerusakan struktur yang bisa terjadi. Dengan menggunakan algoritma pembelajaran mesin (machine learning), AI dapat memperkirakan kejadian-kejadian yang berisiko tinggi dan memberikan solusi yang lebih baik untuk menghindarinya.

Sistem ini juga memungkinkan pengambilan keputusan berbasis data yang lebih cepat dan tepat. Ketika tim proyek menghadapi situasi yang membutuhkan tindakan darurat atau perbaikan cepat, sistem yang terintegrasi antara Digital Twin dan AI dapat memberikan informasi yang dibutuhkan secara real-time, mengurangi risiko kesalahan manusia dan mempercepat proses mitigasi.

5) Pemeliharaan dan Pengelolaan Pasca-Pembangunan

Setelah proyek selesai, Digital Twin dan AI tetap dapat dimanfaatkan untuk pemeliharaan dan pengelolaan pasca-pembangunan. Digital Twin akan menyediakan model digital dari bangunan atau infrastruktur yang berfungsi sebagai sumber data yang dapat dipantau selama masa operasionalnya.

AI dapat digunakan untuk menganalisis data performa jangka panjang, seperti konsumsi energi, kebocoran air, atau permasalahan struktural, dan memberikan prediksi pemeliharaan preventif yang membantu mengurangi biaya dan memperpanjang umur bangunan. Dengan menggunakan algoritma prediktif, AI dapat memperkirakan kapan peralatan atau komponen infrastruktur akan mengalami kegagalan atau memerlukan perawatan, sehingga dapat dilakukan pemeliharaan yang tepat waktu tanpa mengganggu operasional.

Selain itu, Digital Twin memungkinkan pemilik gedung atau fasilitas untuk memvisualisasikan dan memonitor kondisi bangunan secara terus-menerus, serta menerima pembaruan real-time mengenai kinerja dan status strukturalnya. Hal ini mempercepat proses perawatan berkelanjutan dan pengelolaan fasilitas, memberikan penghematan biaya dan meningkatkan keselamatan.

6) Kolaborasi yang Lebih Efektif

Salah satu manfaat terbesar dari integrasi Digital Twin dan AI dalam manajemen siklus hidup proyek adalah peningkatan kolaborasi antar pemangku kepentingan. Digital Twin memberikan platform visual yang memungkinkan semua pihak dari perencana, kontraktor, hingga klien untuk bekerja dengan data yang sama secara bersamaan. AI menambah nilai lebih dengan menganalisis dan menginterpretasi data ini untuk memberikan rekomendasi berbasis bukti kepada setiap pemangku kepentingan.

Model digital yang terhubung memungkinkan komunikasi yang lebih baik dan lebih transparan, serta memungkinkan perubahan desain atau keputusan proyek untuk dilakukan secara langsung dan cepat. Semua perubahan yang diterapkan pada Digital Twin akan langsung terlihat oleh semua pihak yang terlibat, mengurangi kemungkinan kesalahan atau miskomunikasi.

3.4. Manfaat dan Tantangan dalam Mengintegrasikan Digital Twin dan AI

Manfaat dari integrasi ini meliputi:

- 1) Peningkatan Efisiensi dan penghematan Biaya: Penggunaan kedua teknologi ini dapat mengurangi pemborosan sumber daya, mempercepat proses pengambilan keputusan, serta meningkatkan kualitas hasil proyek.
 - 2) Pengurangan Risiko: Dengan kemampuan untuk memprediksi dan mengelola risiko lebih awal, proyek konstruksi dapat diselesaikan dengan lebih sedikit kejutan dan keterlambatan.
 - 3) Keputusan yang Lebih Cerdas dan Berdasarkan Data: Pengambilan keputusan menjadi lebih objektif dan terinformasi, meningkatkan transparansi dan akuntabilitas.
- Namun, terdapat tantangan dalam implementasi teknologi ini, seperti
- 1) Biaya Implementasi Awal: Investasi dalam infrastruktur digital dan perangkat keras untuk mendukung Digital Twin dan AI dapat cukup mahal.
 - 2) Kebutuhan Keahlian: Penggunaan teknologi ini membutuhkan keterampilan teknis tinggi, baik dalam pengelolaan data maupun dalam pemeliharaan sistem.
 - 3) Integrasi Sistem yang Kompleks: Mengintegrasikan teknologi baru dengan sistem dan proses yang sudah ada di industri konstruksi dapat memerlukan perubahan signifikan dalam cara kerja dan budaya organisasi.

4. Kesimpulan

Integrasi Digital Twin dan Kecerdasan Buatan (AI) dalam manajemen siklus hidup proyek konstruksi menawarkan peluang revolusioner untuk meningkatkan efisiensi, pengendalian biaya, dan pengambilan keputusan berbasis data yang lebih cerdas. Dengan memanfaatkan model digital yang sangat akurat dan analisis prediktif dari AI, teknologi ini memungkinkan pengelolaan proyek konstruksi yang lebih transparan, responsif, dan berorientasi pada hasil jangka panjang.

Manfaat utamanya terletak pada kemampuannya untuk mengoptimalkan desain, memantau kemajuan proyek secara real-time, serta memitigasi risiko yang mungkin terjadi selama fase pelaksanaan dan pemeliharaan. Digital Twin memberi gambaran yang lebih jelas tentang kondisi fisik dan operasional proyek, sementara AI meningkatkan kemampuan untuk menganalisis data secara mendalam, memberikan wawasan prediktif, dan memungkinkan keputusan yang lebih cepat dan lebih akurat.

Namun, tantangan dalam implementasi teknologi ini tetap signifikan. Biaya awal yang tinggi, kompleksitas integrasi, serta keterbatasan sumber daya manusia yang memiliki keahlian khusus dalam bidang big data dan analisis AI menjadi hambatan yang perlu diatasi. Keamanan data, standarisasi sistem, dan adopsi budaya digital di perusahaan konstruksi juga menjadi tantangan yang tidak bisa dianggap remeh.

Meskipun demikian, potensi teknologi ini untuk mengubah industri konstruksi sangat besar. Dengan komitmen terhadap inovasi, serta investasi yang tepat pada infrastruktur dan pelatihan, perusahaan konstruksi dapat meraih efisiensi operasional yang lebih tinggi, mengurangi biaya dan waktu penyelesaian proyek, serta menciptakan nilai jangka panjang yang signifikan. Oleh karena itu, integrasi Digital Twin dan AI bukan hanya sebuah tren teknologi, tetapi sebuah langkah strategis yang akan membentuk masa depan industri konstruksi secara keseluruhan.

Referensi

- [1] M. N. Sholeh, "Transformasi Proyek Konstruksi dengan Artificial Intelligence," *Universitas Diponegoro*, 2024.
- [2] J. Jamaludin and L. Saepuloh, "Tren Riset Twin Digital Smart Campus," *Jurnal Ilmiah Universitas Muhammadiyah Buton*, vol. 10, no. 2, pp. 408–425, 2024.
- [3] A. Akhmad, S. Badruddin, M. Januaripin, S. Salwa, and V. Gaspersz, *Inovasi Dalam Manajemen Pendidikan Tinggi: Membangun Masa Depan Yang Berkelanjutan*. PT. Sonpedia Publishing Indonesia, 2024.
- [4] E. Kurniawan, O. Fahlovi, Z. Avista, Y. Witanto, and R. Ilyasa, "Peran Digital Twin dalam Otomatisasi Manufaktur yang Berkelanjutan," *Prosiding Sains dan Teknologi*, vol. 3, no. 1, pp. 51–61, 2024.
- [5] S. Sulartopo, S. Kholifah, D. Danang, and J. T. Santoso, "Transformasi Proyek Melalui Keajaiban Kecerdasan Buatan: Mengeksplorasi Potensi AI Dalam Project Management," *Jurnal Publikasi Ilmu Manajemen*, pp. 2–2, 2023.
- [6] R. Mantara, "Kecerdasan Buatan dalam Pengembangan Sistem Komputer yang Biasanya Memerlukan Kecerdasan Manusia," *Jurnal Informatika Multi*, vol. 2, no. 4, pp. 144–151, 2024.
- [7] S. T. Safitri *et al.*, "Sistem Pendukung Keputusan," *Wawasan Ilmu*, 2024.
- [8] M. N. Sholeh, "Manajemen Proyek Konstruksi Modern: Teknologi dan Inovasi," *Deepublish*, 2024.
- [9] S. Syam *et al.*, "Data Mining: Teori dan Penerapannya dalam Berbagai Bidang," *PT Sonpedia Publishing Indonesia*, 2024.
- [10] K. Kushariyadi *et al.*, "Artificial Intelligence: Dinamika Perkembangan AI Beserta Penerapannya," *PT. Sonpedia Publishing Indonesia*, 2024.