ALIBI – Jurnal Arsitektur dan Lingkungan Binaan
Vol. II, No. 01, Mei 2025
E-ISSN: *in progress*

Digital Twin sebagai Konsep Integrasi Model Digital untuk Pengelolaan dan Efisiensi Energi pada Bangunan

Onie Dian Sanitha[1], Amiany[2], Elis Sri Rahayu[3]

[1] Prodi Arsitektur, Universitas Palangka Raya

Info Artikel

Histori Artikel:
Tanggal Masuk 26/01/2025
Tanggal diterima 14/05/2025
Tanggal diterima 15/05/2025
Tanggal Publikas Mei 2025

Bagian ini diisi oleh Tim Jurnal ALIBI

Corresponding Author:
Nama *Author* :
Onie Dian Sanitha
Amiany
Elis Sri Rahayu

Email:
nonionie@gmail.com

ABSTRAK

Perkembangan teknologi digital telah membawa transformasi signifikan dalam bidang arsitektur, salah satunya melalui konsep Digital Twin. Digital Twin adalah representasi digital dari bangunan fisik yang memungkinkan simulasi dan analisis berbagai aspek kinerja bangunan secara real-time. Artikel ini membahas penerapan Digital Twin dalam arsitektur, khususnya dalam meningkatkan efisiensi energi dan pengelolaan bangunan. Dengan menggunakan model digital yang terintegrasi dengan data sensor dan kecerdasan buatan, sistem ini dapat memantau, menganalisis, dan mengoptimalkan konsumsi energi serta operasional bangunan secara berkelanjutan. Studi kasus dan tinjauan literatur menunjukkan bahwa implementasi Digital Twin mampu mengidentifikasi potensi penghematan energi, meningkatkan kenyamanan pengguna, serta memperpanjang umur bangunan melalui pemeliharaan prediktif. Hasil penelitian ini mengindikasikan bahwa penerapan Digital Twin tidak hanya meningkatkan efisiensi energi, tetapi juga mendukung konsep smart building yang lebih adaptif dan responsif terhadap kebutuhan lingkungan.

Kata Kunci : *Digital Twin,* arsitektur, efisiensi energi, pengelolaan bangunan, smart building.

Abstract

The development of digital technology has brought significant transformation in the field of architecture, one of which is through the concept of Digital Twin. Digital Twin is a digital representation of a physical building that allows simulation and analysis of various aspects of building performance in real-time. This article discusses the application of Digital Twin in architecture, especially in improving energy efficiency and building management. By using a digital model integrated with sensor data and artificial intelligence, this system can monitor, analyze, and optimize energy consumption and building operations sustainably. Case studies and literature reviews show that the implementation of Digital Twin is able to identify potential energy savings, improve user comfort, and extend the life of the building through predictive maintenance. The results of this study indicate that the implementation of Digital Twin not only improves energy efficiency but also supports the concept of smart buildings that are more adaptive and responsive

E-ISSN: in progress

to environmental needs.

Keywords : *Digital Twin, architecture, energy efficiency, building management, smart building.*

PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi digital telah membawa perubahan signifikan dalam berbagai bidang, termasuk arsitektur dan perancangan bangunan. Salah satu inovasi yang semakin mendapat perhatian adalah konsep *Digital Twin*, yaitu representasi digital dari suatu bangunan yang dapat digunakan untuk mensimulasikan, memantau, dan menganalisis berbagai aspek operasionalnya secara real-time. Dengan mengintegrasikan data dari sensor, model *Building Information Modeling* (BIM), serta kecerdasan buatan, *Digital Twin* memungkinkan pengelolaan bangunan yang lebih efisien dan berbasis data.

Dalam konteks arsitektur, *Digital Twin* memiliki peran penting dalam meningkatkan efisiensi energi [1] dan pengelolaan bangunan [2]. Penggunaan model digital yang mampu memprediksi performa energi suatu bangunan memungkinkan arsitek dan pengelola fasilitas untuk mengoptimalkan konsumsi energi , mengurangi jejak karbon, serta meningkatkan kenyamanan pengguna. Selain itu, *Digital Twin* juga dapat digunakan untuk pemeliharaan prediktif, di mana sistem mampu mendeteksi potensi kerusakan atau inefisiensi sebelum terjadi gangguan operasional yang lebih besar.

Meskipun potensinya sangat besar, penerapan *Digital Twin* dalam arsitektur masih menghadapi berbagai tantangan, termasuk kebutuhan akan infrastruktur teknologi yang memadai, integrasi data yang kompleks, serta biaya implementasi yang relatif tinggi. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengeksplorasi bagaimana konsep *Digital Twin* dapat diterapkan secara efektif dalam perancangan arsitektur guna meningkatkan efisiensi energi dan pengelolaan bangunan. Melalui studi literatur dan analisis kasus, penelitian ini akan mengidentifikasi manfaat, tantangan, serta peluang dalam pemanfaatan teknologi *Digital Twin* untuk mewujudkan bangunan yang lebih cerdas dan berkelanjutan.

KAJIAN PUSTAKA

Penelitian tentang *Digital Twin* dalam arsitektur banyak dikembangkan dari konsep *Building Information Modeling* (BIM) dan *Internet of Things* (IoT). Beberapa referensi yang relevan antara lain:

1. Definisi dan Konsep Digital Twin
   a) Grieves [3] pertama kali memperkenalkan konsep *Digital Twin* dalam industri manufaktur, yang kemudian diadaptasi ke berbagai bidang, termasuk arsitektur dan pengelolaan bangunan. Grieves mendefinisikan Digital Twin sebagai representasi digital dari produk fisik yang memungkinkan perbandingan antara desain teknik dan hasil produksi aktual. Tujuannya adalah untuk memahami perbedaan antara apa yang dirancang dan apa yang diproduksi, sehingga memperketat hubungan antara desain dan eksekusi. Konsep ini menekankan pentingnya integrasi data real-time dari proses produksi ke dalam model digital untuk meningkatkan kualitas dan efisiensi manufaktur.
   b) Tao et al. [4] menjelaskan bahwa *Digital Twin* mencakup tiga elemen utama: model fisik (bangunan nyata), model virtual (representasi digital), dan data yang menghubungkan keduanya.

2. Digital Twin dalam Efisiensi Energi
   a) Richard [5] menunjukkan bahwa *Digital Twin* dapat digunakan untuk mensimulasikan konsumsi energi bangunan secara real-time, memungkinkan optimasi sistem HVAC (*Heating, Ventilation, and Air Conditioning*).
   b) Penelitian oleh Yitmen [6] menemukan bahwa integrasi *Digital Twin* dengan sensor IoT dapat mengurangi konsumsi energi hingga 30% melalui analisis pola penggunaan energi dan strategi adaptif dalam operasional bangunan.
3. Digital Twin dalam Pengelolaan Bangunan
   a) Research dari Qi et al. [7] menunjukkan bahwa penggunaan *Digital Twin* memungkinkan pemeliharaan prediktif dengan mendeteksi potensi kerusakan sebelum terjadi, sehingga mengurangi biaya perawatan dan meningkatkan umur bangunan.
   b) Studi dari Opoku et al. [8] menjelaskan bagaimana *Digital Twin* dapat meningkatkan keamanan bangunan dengan sistem pemantauan otomatis berbasis AI untuk mengidentifikasi potensi risiko struktural atau bencana.

CONTOH KASUS PENERAPAN DIGITAL TWIN

a. Marina Bay Sands, Singapura

Singapura telah menjadi salah satu negara yang aktif dalam penerapan *Digital Twin* untuk efisiensi energi dan pengelolaan bangunan. Marina Bay Sands menggunakan model *Digital Twin* yang dikombinasikan dengan sistem IoT untuk:

1) Mengoptimalkan pencahayaan dan penggunaan energi berdasarkan pola hunian.
2) Meningkatkan efisiensi HVAC dengan memantau suhu dan kelembaban secara real-time.
3) Menggunakan AI untuk prediksi pemeliharaan guna menghindari kerusakan sistem yang tidak terduga.

b. The Edge, Amsterdam

Gedung perkantoran ini dianggap sebagai salah satu bangunan paling pintar di dunia karena menggunakan teknologi *Digital Twin* untuk mengelola konsumsi energi dan meningkatkan kenyamanan pengguna [8]. Beberapa fitur utama:

1) Sistem pencahayaan berbasis IoT yang menyesuaikan tingkat cahaya sesuai dengan kebutuhan ruang.
2) Sensor suhu yang mengatur AC dan ventilasi berdasarkan jumlah penghuni dalam ruangan.
3) Sistem analisis prediktif untuk perawatan fasilitas guna mengurangi biaya operasional.

c. Digital Twin London (DigiTwin)

Pemerintah London mengembangkan proyek *DigiTwin* sebagai bagian dari upaya menuju kota cerdas [9]. Proyek ini menciptakan model digital dari infrastruktur kota untuk:

1) Menganalisis konsumsi energi bangunan dan menemukan strategi penghematan energi.
2) Mengoptimalkan aliran lalu lintas dan penggunaan transportasi publik untuk mengurangi emisi karbon.
3) Memfasilitasi perencanaan perkotaan berbasis data untuk pembangunan yang lebih berkelanjutan.

INTEGRASI BIM, IoT, DAN AI DALAM DIGITAL TWIN

Integrasi *Building Information Modeling* (BIM), *Internet of Things* (IoT), dan *Artificial Intelligence* (AI) dalam konsep Digital Twin telah merevolusi pendekatan perancangan dan pengelolaan bangunan, khususnya dalam meningkatkan efisiensi energi dan operasional. BIM berfungsi sebagai fondasi utama dalam pengembangan Digital Twin dengan menyediakan representasi digital yang detail dari elemen-elemen bangunan, termasuk struktur, sistem mekanikal, dan arsitektural. Model ini

memungkinkan visualisasi dan analisis yang mendalam terhadap desain dan fungsi bangunan sebelum tahap konstruksi dimulai. Integrasi BIM ke dalam Digital Twin memungkinkan simulasi yang akurat untuk perencanaan dan pengambilan keputusan yang lebih baik. IoT melengkapi BIM dengan menyediakan data real-time dari berbagai sensor yang dipasang di seluruh bangunan. Sensor-sensor ini mengumpulkan informasi seperti suhu, kelembapan, konsumsi energi, dan kehadiran penghuni, yang kemudian diintegrasikan ke dalam model Digital Twin. Data ini memungkinkan pemantauan kondisi bangunan secara langsung dan mendukung respons adaptif terhadap perubahan lingkungan atau kebutuhan penghuni.

AI memainkan peran penting dalam menganalisis data yang dikumpulkan oleh IoT dan BIM. Melalui algoritma pembelajaran mesin, AI dapat mengidentifikasi pola penggunaan energi, memprediksi kebutuhan pemeliharaan, dan mengoptimalkan sistem bangunan untuk efisiensi maksimal. Misalnya, AI dapat menyesuaikan sistem HVAC secara otomatis berdasarkan prediksi okupansi, sehingga mengurangi konsumsi energi tanpa mengorbankan kenyamanan penghuni. Studi oleh Ni et al. [10] menunjukkan bahwa integrasi teknologi ini dalam Digital Twin dapat meningkatkan efisiensi energi bangunan secara signifikan. Dalam kasus bangunan bersejarah di Swedia, penerapan Digital Twin yang menggabungkan BIM, IoT, dan AI berhasil mengurangi konsumsi energi dan meningkatkan kenyamanan termal penghuni.

Selain itu, platform seperti Microsoft Azure Digital Twins dan Dassault Systèmes' 3DEXPERIENCE telah digunakan untuk mengimplementasikan Digital Twin dalam skala kota, seperti pada proyek Virtual Singapore. Proyek ini menggunakan model 3D yang terintegrasi dengan data real-time untuk simulasi dan perencanaan kota yang lebih efisien dan berkelanjutan [11]. Dengan demikian, integrasi BIM, IoT, dan AI dalam Digital Twin menawarkan pendekatan holistik untuk perancangan dan pengelolaan bangunan yang lebih cerdas, efisien, dan responsif terhadap kebutuhan lingkungan dan penghuni.

KESIMPULAN

Dari berbagai penelitian dan contoh kasus di atas, dapat disimpulkan bahwa penerapan *Digital Twin* dalam arsitektur memiliki dampak signifikan dalam efisiensi energi dan pengelolaan bangunan. Teknologi ini memungkinkan pemantauan dan analisis *real-time* yang dapat meningkatkan efisiensi operasional, mengurangi konsumsi energi, serta meningkatkan kenyamanan dan keamanan penghuni. Namun, tantangan seperti biaya implementasi, infrastruktur teknologi, serta kebutuhan akan standar interoperabilitas masih menjadi kendala dalam adopsi luas teknologi ini. Oleh karena itu, diperlukan penelitian lebih lanjut untuk menemukan solusi implementasi yang lebih terjangkau dan efektif dalam berbagai skala proyek arsitektur.

DAFTAR PUSTAKA

[1] O. D. Sanitha, T. Fransisco, Y. Iashania, and N. Kristianti, “Alternatif Solusi Mengontrol Cahaya Alami pada Desain Bangunan Komersial: Studi Kasus: Toko Busana di Bukit Keminting Palangka Raya,” *ATRIUM J. Arsit.*, vol. 9, no. 2, pp. 115–123, 2023.
[2] L. M. F. Purwanto *et al.*, “Teknologi dalam Arsitektur Digital.” Unika Soegijapranata, 2021.
[3] M. Grieves and J. Vickers, “Digital twin: Mitigating unpredictable, undesirable emergent behavior in complex systems,” *Transdiscipl. Perspect. complex Syst. New Find. approaches*, pp. 85–113, 2017.
[4] F. Tao, B. Xiao, Q. Qi, J. Cheng, and P. Ji, “Digital twin modeling,” *J. Manuf. Syst.*, vol. 64, pp. 372–389, 2022.
[5] A. Richard *et al.*, “Omnilrs: A photorealistic simulator for lunar robotics,” in *2024 IEEE*

International Conference on Robotics and Automation (ICRA), 2024, pp. 16901–16907.

[6] I. Yitmen, A. Almusaed, M. Hussein, and A. Almssad, "AI-Driven Digital Twins for Enhancing Indoor Environmental Quality and Energy Efficiency in Smart Building Systems," *Buildings*, vol. 15, no. 7, p. 1030, 2025.

[7] Q. Qi and F. Tao, "Digital twin and big data towards smart manufacturing and industry 4.0: 360 degree comparison," *Ieee Access*, vol. 6, pp. 3585–3593, 2018.

[8] D.-G. J. Opoku, S. Perera, R. Osei-Kyei, and M. Rashidi, "Digital twin application in the construction industry: A literature review," *J. Build. Eng.*, vol. 40, p. 102726, 2021.

[9] D. for B. and Trade, "National Digital Twin Programme (NDTP)," 2023. https://www.gov.uk/government/collections/the-national-digital-twin-programme-ndtp?utm_source=chatgpt.com (accessed May 11, 2025).

[10] Z. Ni, J. Hupkes, P. Eriksson, G. Leijonhufvud, M. Karlsson, and S. Gong, "Parametric Digital Twins for Preserving Historic Buildings: A Case Study at Löfstad Castle in Östergötland, Sweden," *IEEE Access*, 2025.

[11] S. V. Nath, P. Van Schalkwyk, and D. Isaacs, *Building Industrial Digital Twins: Design, develop, and deploy digital twin solutions for real-world industries using Azure Digital Twins*. Packt Publishing Ltd, 2021.