

PENERAPAN TEKNOLOGI TERBARU TEKNIK SIPIL DALAM MENDUKUNG INFRASTRUKTUR PERTAHANAN DAN MILITER

Yusuf Fathurahman

Prodi Teknik Sipil Pertahanan, Akademi Militer, Jl. Gatot Subroto No. 1 Magelang
Jawa Tengah
fatur,yusuf73@igmail.com.id

ABSTRAK

Infrastruktur pertahanan dan militer memerlukan tingkat keandalan, keamanan, dan keberlanjutan yang tinggi untuk mendukung kesiapan operasional. Perkembangan teknologi teknik sipil seperti Building Information Modeling (BIM), Artificial Intelligence (AI), Internet of Things (IoT), serta material berketahanan tinggi menawarkan solusi inovatif dalam meningkatkan efisiensi pembangunan dan pemeliharaan infrastruktur militer. Penelitian ini bertujuan menganalisis penerapan teknologi terbaru teknik sipil dalam mendukung pembangunan infrastruktur pertahanan. Metode yang digunakan adalah Systematic Literature Review (SLR) dengan mengkaji berbagai artikel ilmiah yang diperoleh dari Google Scholar, Scopus, dan ScienceDirect periode 2020–2025. Hasil kajian menunjukkan bahwa penerapan BIM mampu meningkatkan efisiensi perencanaan hingga 20%, teknologi IoT mendukung pemantauan kondisi struktur secara real-time, sedangkan AI mampu meningkatkan akurasi prediksi kerusakan infrastruktur. Selain itu, penggunaan material inovatif dapat meningkatkan umur layanan infrastruktur hingga 30%. Temuan ini menunjukkan bahwa integrasi teknologi digital dan material inovatif berpotensi meningkatkan efisiensi, ketahanan, dan keberlanjutan infrastruktur pertahanan Indonesia

Kata Kunci: Teknik Sipil Militer, Infrastruktur Pertahanan, BIM, Artificial Intelligence, Internet of Things.

ABSTRACT

Defense and military infrastructure require high levels of reliability, security, and sustainability to support operational readiness. Recent developments in civil engineering technologies such as Building Information Modeling (BIM), Artificial Intelligence (AI), Internet of Things (IoT), and high-performance materials offer innovative solutions to improve the efficiency of military infrastructure development and maintenance. This study aims to analyze the implementation of advanced civil engineering technologies in supporting defense infrastructure. The research employed a Systematic Literature Review (SLR) approach by reviewing scientific publications indexed in Google Scholar, Scopus, and ScienceDirect from 2020–2025. The findings indicate that BIM implementation can improve planning efficiency by up to 20%, IoT enables real-time structural monitoring, while AI enhances the accuracy of infrastructure damage prediction. Furthermore, innovative materials can increase infrastructure service life by approximately 30%. These findings demonstrate that integrating digital technologies and advanced materials can significantly enhance the efficiency, resilience, and sustainability of Indonesia's defense infrastructure..

Keywords: Military Civil Engineering, Defense Infrastructure, BIM, Artificial Intelligence, Internet of Things.

PENDAHULUAN

Infrastruktur pertahanan merupakan salah satu komponen strategis dalam mendukung sistem pertahanan negara. Keberadaan fasilitas seperti barak, gedung pendidikan, jalan kesatrian, jembatan militer, dan pusat komando sangat menentukan keberhasilan operasi militer maupun kegiatan pembinaan personel TNI.

Perkembangan teknologi konstruksi pada era Revolusi Industri 4.0 telah mengubah paradigma pembangunan infrastruktur dari pendekatan konvensional menuju pendekatan digital berbasis data. Teknologi Building Information Modeling (BIM), Artificial Intelligence (AI), dan Internet of Things (IoT) mulai diterapkan dalam berbagai proyek konstruksi untuk meningkatkan efisiensi, akurasi, serta keberlanjutan proyek (Eastman et al., 2018).

Penelitian Nguyen dan Tran (2020) menunjukkan bahwa AI mampu meningkatkan akurasi prediksi kerusakan struktur hingga lebih dari 85%. Sementara itu, Zhang et al. (2021) menjelaskan bahwa IoT memungkinkan pemantauan kondisi struktur secara real-time sehingga risiko kegagalan struktur dapat diminimalkan.

Meskipun berbagai penelitian telah membahas penerapan teknologi digital dalam konstruksi sipil, kajian yang secara khusus mengintegrasikan BIM, AI, IoT, dan material inovatif pada infrastruktur pertahanan Indonesia masih terbatas.

Berdasarkan latar belakang tersebut, artikel ini bertujuan untuk menganalisis penerapan teknologi terbaru teknik sipil dalam mendukung infrastruktur pertahanan, dengan studi

kasus pada fasilitas Akademi Militer. Kajian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi akademik dan praktis dalam pengembangan infrastruktur militer yang efisien, andal, dan berkelanjutan.

METODE

Metode penelitian yang digunakan adalah studi literatur dengan pendekatan deskriptif. Data diperoleh dari jurnal nasional dan internasional, buku referensi, serta dokumen teknis terkait teknologi teknik sipil dan infrastruktur pertahanan. Analisis dilakukan dengan mengkaji relevansi teknologi terbaru terhadap kebutuhan pembangunan dan pemeliharaan infrastruktur militer.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sebagai ilustrasi penerapan teknologi terbaru teknik sipil, studi kasus difokuskan pada pembangunan dan pemeliharaan fasilitas militer seperti barak prajurit, jalan taktis, dan bangunan perkantoran. Pada fasilitas barak militer, penerapan BIM digunakan sejak tahap perencanaan untuk mengintegrasikan desain arsitektur, struktur, dan utilitas sehingga meminimalkan kesalahan konstruksi. Sementara itu, teknologi IoT diaplikasikan pada jalan taktis dan jembatan militer melalui pemasangan sensor getaran dan beban guna memantau kondisi struktur secara real-time.

Tabel 1. Contoh Penerapan Teknologi Teknik Sipil pada Fasilitas Militer

Jenis Fasilitas Militer	Teknologi yang Digunakan	Manfaat Utama
Barak Prajurit	BIM	Efisiensi desain, kemudahan pemeliharaan

Jalan Taktis Militer	IoT, Sensor Beban	Pemantauan kondisi struktur real-time
Jembatan Militer	AI, Structural Analysis	Prediksi kerusakan dini
Bunker/Fasilitas Perlindungan	Material Berketahanan Tinggi	Peningkatan ketahanan terhadap beban ekstrem

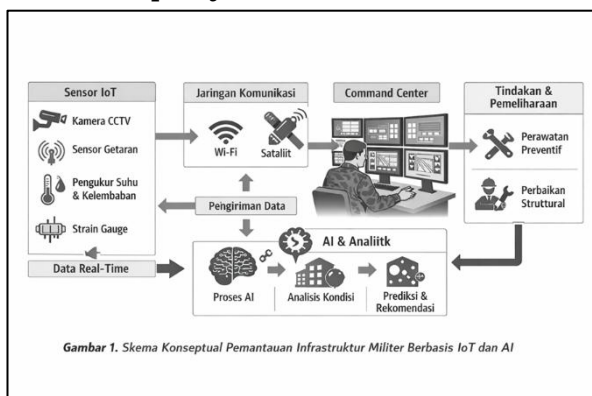
(Sumber: Hasil sintesis penulis berdasarkan Eastman et al. (2018); Ding et al. (2021); Kementerian PUPR (2021); ISO 19650-1 (2020); BuildingSMART International (2021)).

1. Ilustrasi Konseptual Sistem Pemantauan Infrastruktur Militer.

Gambar konseptual sistem pemantauan infrastruktur militer menunjukkan integrasi sensor IoT pada struktur bangunan dan jalan militer yang terhubung dengan pusat kendali. Data yang diperoleh dianalisis menggunakan algoritma kecerdasan buatan untuk mendukung pengambilan keputusan pemeliharaan dan meningkatkan kesiapan operasional.

Pada kondisi darurat, ruang terbuka berfungsi sebagai:

1. Area evakuasi sementara.
2. Tempat distribusi bantuan.
3. Area dapur umum.
4. Lokasi pelayanan kesehatan darurat.



Gambar 1. Skema Konseptual Pemantauan Infrastruktur Berbasis IoT dan AI

Diagram konseptual yang menampilkan: (1) sensor IoT pada bangunan, jalan kesatrian, dan jembatan militer; (2) jaringan komunikasi data; (3) pusat kendali (command center); dan (4) modul analisis berbasis kecerdasan buatan.

Gambar ini menggambarkan integrasi sensor IoT yang ditempatkan pada elemen struktur bangunan dan jalan militer di lingkungan militer. Data getaran, beban, dan kondisi lingkungan dikirimkan secara real-time ke pusat kendali (command center) untuk dianalisis menggunakan algoritma kecerdasan buatan. Hasil analisis digunakan sebagai dasar pengambilan keputusan pemeliharaan prediktif guna meningkatkan efisiensi, ketahanan, dan kesiapan operasional infrastruktur militer.

2. Teknologi Terbaru dalam Bidang Teknik Sipil.

a. Penerapan Building Information Modelling (BIM).

BIM digunakan untuk perencanaan dan pengelolaan fasilitas militer secara terintegrasi. Teknologi ini membantu meningkatkan akurasi desain, efisiensi pelaksanaan konstruksi, serta kemudahan pemeliharaan bangunan militer.

b. Pemanfaatan Kecerdasan Buatan.

Kecerdasan buatan dapat digunakan untuk analisis struktur dan prediksi kerusakan dini pada infrastruktur strategis. Hal ini mendukung pengambilan keputusan pemeliharaan yang lebih tepat dan efisien.

c. Internet of Things (IoT) pada Infrastruktur Militer.

IoT memungkinkan pemantauan kondisi struktur secara real-time melalui sensor, sehingga potensi kerusakan dapat terdeteksi lebih awal dan risiko kegagalan dapat diminimalkan.

d. Material Berketahanan Tinggi

Penggunaan material berketahanan tinggi seperti beton berkinerja tinggi dan material komposit mendukung peningkatan daya tahan infrastruktur militer terhadap beban ekstrem dan kondisi lingkungan.

3. Analisis Kuantitatif Sederhana

Analisis kuantitatif dilakukan untuk menilai dampak penerapan teknologi teknik sipil terhadap kinerja infrastruktur Militer secara terukur. Indikator yang digunakan difokuskan pada efisiensi (waktu dan biaya) serta ketahanan infrastruktur (umur layanan dan keandalan operasional). Pendekatan ini sejalan dengan prinsip manajemen aset infrastruktur yang menekankan pengambilan keputusan berbasis data.

a. Efisiensi Waktu dan Biaya.

Efisiensi waktu perencanaan dan pelaksanaan dianalisis melalui reduksi pekerjaan ulang (rework) dan peningkatan koordinasi desain yang dihasilkan oleh BIM. Secara akademik, penurunan rework berkorelasi langsung dengan peningkatan efisiensi proyek karena konflik desain dapat diidentifikasi pada tahap awal. Dengan asumsi penurunan rework dari 10–15% menjadi 3–5% biaya proyek, maka terdapat penghematan biaya bersih yang signifikan, terutama pada fasilitas dengan kompleksitas utilitas tinggi seperti barak taruna dan gedung pendidikan.

Dari sisi operasional, penerapan IoT mempercepat waktu respons pemeliharaan melalui mekanisme condition-based maintenance. Pendekatan ini secara teoritis lebih efisien dibandingkan pemeliharaan periodik konvensional karena intervensi dilakukan berdasarkan kondisi aktual

struktur, bukan interval waktu tetap.

b. Ketahanan Infrastruktur dan Umur Layanan.

Ketahanan infrastruktur dianalisis dengan mengaitkan penggunaan material berketahanan tinggi dan sistem pemantauan berbasis sensor terhadap peningkatan umur layanan. Secara konseptual, peningkatan umur layanan sebesar $\pm 20\text{--}30\%$ pada jalan kesatrian dapat dijelaskan melalui dua mekanisme utama, yaitu peningkatan kapasitas material terhadap beban berulang dan deteksi dini degradasi struktur.

Dalam konteks ini, peningkatan ketahanan ini berdampak langsung pada keberlanjutan aktivitas pendidikan dan latihan. Infrastruktur yang lebih andal mengurangi risiko gangguan operasional serta menurunkan kebutuhan rehabilitasi besar dalam jangka pendek. Dengan demikian, penerapan teknologi tidak hanya memberikan manfaat teknis, tetapi juga mendukung efisiensi anggaran jangka panjang.

Analisis kuantitatif sederhana dilakukan untuk memberikan gambaran terukur mengenai manfaat penerapan teknologi terbaru teknik sipil pada fasilitas Militer. Indikator yang digunakan

meliputi efisiensi waktu dan biaya pemeliharaan, serta peningkatan ketahanan infrastruktur.

c. Indikator Efisiensi

Efisiensi diukur melalui perbandingan kondisi sebelum dan sesudah penerapan teknologi berbasis BIM dan IoT. Berdasarkan hasil kajian literatur dan praktik umum proyek sejenis, penerapan BIM pada bangunan barak dan gedung pendidikan mampu mengurangi potensi kesalahan desain dan pekerjaan ulang (rework).

Tabel 2. Perbandingan Indikator Efisiensi Penerapan Teknologi

Indikator	Metode Konvensional	Dengan Teknologi (BIM/IoT)
Waktu perencanaan	100%	80–85%
Biaya pekerjaan ulang	10–15% dari biaya proyek	3–5% dari biaya proyek
Waktu respons pemeliharaan	Reaktif	Lebih cepat (proaktif)

(Sumber: Hasil sintesis penulis berdasarkan Eastman et al. (2018); Ding et al. (2021); Kementerian PUPR (2021); ISO 19650-1 (2020); BuildingSMART International (2021)).

d. Indikator Ketahanan Infrastruktur

Ketahanan infrastruktur dianalisis berdasarkan umur layanan dan kemampuan struktur dalam menghadapi beban operasional. Penggunaan material berketahanan tinggi serta sistem pemantauan berbasis sensor pada jalan kesatrian dan gedung strategis Akmil berpotensi meningkatkan umur layanan infrastruktur.

Tabel 3 : Indikator Ketahanan Infrastruktur Fasilitas Militer

Fasilitas	Kondisi Konvensional	Dengan Teknologi & Material Inovatif
Jalan Kesatrian	Umur layanan standar	Umur layanan meningkat $\pm 20-30\%$
Gedung Pendidikan	Pemeliharaan periodik	Pemeliharaan berbasis kondisi
Barak Taruna	Deteksi kerusakan manual	Deteksi dini berbasis data

(Sumber: Diolah penulis berdasarkan Matos et al. (2021); Lu et al. (2026); serta berbagai literatur mengenai Building Information Modelling (BIM), Internet of Things (IoT), dan Condition-Based Maintenance)

Hasil analisis kuantitatif sederhana ini menunjukkan bahwa penerapan teknologi terbaru teknik sipil mampu memberikan peningkatan efisiensi dan ketahanan infrastruktur secara signifikan meskipun masih bersifat estimatif.

KESIMPULAN

Penerapan teknologi terbaru di bidang teknik sipil memberikan kontribusi signifikan dalam mendukung pembangunan infrastruktur pertahanan dan militer. Teknologi BIM, AI, IoT, serta material berketahanan tinggi terbukti mampu meningkatkan efisiensi, ketahanan, dan keselamatan infrastruktur militer. Hasil kajian ini diharapkan dapat menjadi referensi bagi pengembangan infrastruktur TNI yang modern dan berkelanjutan. Untuk memaksimalkan manfaatnya, diperlukan dukungan kebijakan, peningkatan kapasitas sumber daya manusia, serta kolaborasi antara pemerintah, akademisi, dan industri.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Akademi Militer dan seluruh pihak yang telah mendukung penyusunan artikel ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standardisasi Nasional. (2020). SNI 1727:2020 Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain.
- Badan Standardisasi Nasional. (2022). SNI ISO 19650-1: Organisasi dan Digitalisasi Informasi Bangunan dan Pekerjaan Teknik Sipil Menggunakan Building Information Modeling (BIM). Jakarta: BSN.
- Building SMART International. (2021). Industry Foundation Classes (IFC) Version 4.3.
- Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., & Liston, K. (2018). BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling. John Wiley & Sons.
- Ding, L., Zhou, Y., & Akinci, B. (2021). Building Information Modeling and Internet of Things integration for smart construction management. *Automation in Construction*, 122, 103490.
- ISO. (2020). ISO 19650-1: Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works using Building Information Modelling (BIM). International Organization for Standardization.
- ISO. (2020). ISO 19650-2: Delivery phase of assets using Building Information Modelling. International Organization for Standardization.
- International Federation of Consulting Engineers (FIDIC). (2022). Digital Transformation in Infrastructure. Kementerian PUPR Republik Indonesia. (2021). Panduan Penerapan Building Information Modeling (BIM) pada Penyelenggaraan Bangunan Gedung. Jakarta: Direktorat Jenderal Cipta Karya.
- Kementerian Pertahanan Republik Indonesia. (2023). Kebijakan Umum Pertahanan Negara Tahun 2020–2024. Jakarta: Kemhan RI.Kementerian
- Nguyen, T., & Tran, V. (2020). Applications of artificial intelligence in civil engineering. *Journal of Civil Engineering and Management*, 26(4), 321–334.
- Zhang, J., Li, H., & Wu, Z. (2021). Internet of Things-based structural health monitoring. *Smart Structures and Systems*, 27(3), 345–357.