

Transformasi Digital dalam Manajemen Sarana dan Prasarana Pendidikan: Tinjauan Literatur Integratif Tentang Teknologi, Tata Kelola, dan Mutu

Amir Mahmud, Feri Riski Dinata

Institut Agama Islam Al Hikmah Lampung, Indonesia

Email: amirmahmudmpdi@gmail.com, feririskidinata@stit-albikmahwkl.ac.id

Abstrak

Transformasi digital menggeser manajemen sarana dan prasarana pendidikan dari pencatatan administratif menuju pengelolaan aset yang berbasis data, terintegrasi, prediktif, dan berorientasi pada mutu layanan. Penelitian ini bertujuan mensintesis perkembangan teknologi, fungsi manajemen, nilai yang dihasilkan, faktor keberhasilan, serta kesenjangan riset pada digital facilities and infrastructure management dalam konteks pendidikan. Penelitian menggunakan tinjauan literatur integratif terhadap 40 artikel ilmiah peer-reviewed yang dapat ditelusuri melalui DOI atau laman jurnal, dengan prioritas publikasi 2018–2026 dan beberapa studi relevan yang lebih awal. Artikel ditelusuri melalui Google Scholar, DOAJ, metadata penerbit, dan laman jurnal pada ScienceDirect, Emerald, Springer, IEEE, MDPI, serta portal jurnal Indonesia. Seleksi mempertimbangkan relevansi terhadap fasilitas pendidikan, asset/facility management, BIM, Internet of Things (IoT), digital twin, smart campus, sistem informasi inventaris, monitoring, pemeliharaan, dan tata kelola data. Sintesis tematik menghasilkan enam kluster: (1) digitalisasi inventaris dan data aset; (2) integrasi sistem informasi; (3) BIM–IoT–digital twin untuk monitoring dan pemeliharaan; (4) data-driven planning dan optimalisasi ruang; (5) smart campus dan keberlanjutan; serta (6) kesiapan organisasi, interoperabilitas, keamanan, dan kompetensi SDM. Temuan menunjukkan bahwa nilai digitalisasi tidak ditentukan oleh jumlah aplikasi, tetapi oleh kemampuan lembaga mengintegrasikan data, proses, manusia, dan keputusan sepanjang siklus hidup aset. Studi ini menawarkan Digital Educational Facilities Management Maturity Framework yang bergerak dari digitized records menuju integrated, predictive, dan quality-oriented facilities management. Kajian menegaskan perlunya agenda penelitian yang lebih kuat pada sekolah dasar-menengah, interoperabilitas data, evaluasi manfaat, keamanan data, dan keterkaitan langsung antara manajemen fasilitas digital dan mutu layanan pembelajaran.

Kata kunci: *Digital Twin, Manajemen Sarana dan Prasarana, Sistem Informasi Aset, Smart Campus, Transformasi Digital, Tinjauan Literatur Integratif*

PENDAHULUAN

Sarana dan prasarana pendidikan merupakan aset strategis yang membentuk kapasitas lembaga dalam menyediakan lingkungan belajar yang aman, fungsional, efisien, dan berkelanjutan. Pada pola konvensional, siklus manajemen fasilitas mencakup perencanaan, pengadaan, inventarisasi, pemanfaatan, pemeliharaan, penghapusan, dan evaluasi. Persoalan muncul ketika siklus tersebut ditopang oleh data yang terfragmentasi, pembaruan manual, dan informasi kondisi aset yang terlambat. Literatur manajemen fasilitas pendidikan di Indonesia masih menunjukkan pentingnya fungsi perencanaan, inventarisasi, dan pemeliharaan bagi efektivitas layanan (Yahya et al., 2023; Sesmira et al., 2024), sementara studi terbaru menegaskan kebutuhan beralih menuju digital inventory dan tata kelola aset yang lebih akuntabel (Karina et al., 2025; Rohman, 2026).

Transformasi digital menawarkan perubahan yang lebih mendasar daripada sekadar mengganti formulir kertas dengan aplikasi. Kajian awal mengenai digitisation in facilities management menunjukkan bahwa Building Information Modelling (BIM), Internet of Things (IoT), Geographic Information System (GIS), RFID, sensor, dan reality-capture technologies memperluas kemampuan pengelola untuk memperoleh dan menggunakan data aset (Wong et al., 2018). Kajian berikutnya memperlihatkan bahwa BIM dapat mendukung operation and maintenance, tetapi manfaatnya bergantung pada kualitas informasi, interoperabilitas, dan integrasi dengan sistem facility management (Gao & Pishdad-Bozorgi, 2019; Matarneh et al., 2019). Dengan demikian, transformasi digital merupakan transformasi arsitektur informasi sekaligus proses kerja.

Perkembangan 2020-an memperluas paradigma tersebut menuju smart facilities. Integrasi BIM dan IoT memungkinkan data sensor terhubung dengan model aset untuk mendukung monitoring kondisi, space management, energy management, emergency management, maintenance, dan quality management (Mannino et al., 2021; Dahanayake & Sumanarathna, 2022). Digital twin kemudian menambahkan lapisan representasi dinamis yang menghubungkan kondisi fisik dengan model digital, sehingga memungkinkan anomaly detection, status tracking, predictive maintenance, dan keputusan responsif berbasis data real-time (Lu et al., 2020; Zhao et al., 2022; Wang et al., 2022; Hakimi et al., 2024).

Dalam pendidikan tinggi, transformasi fasilitas berkembang melalui konsep smart campus. Kampus dipahami sebagai ekosistem yang menggabungkan infrastruktur fisik, jaringan, data, manajemen energi, mobilitas, layanan pengguna, dan proses institusional (Fortes et al., 2019; Min-Allah & Alrashed, 2020; Chagnon-Lessard et al., 2021). Smart campus bukan hanya proyek teknologi; keberhasilannya membutuhkan strategi transisi, governance, procurement, interoperability, dan indikator kinerja (Alrashed, 2020; Awuzie et al., 2021; Omotayo et al., 2021). Penelitian empiris pada bangunan akademik juga menunjukkan bahwa data okupansi dari IoT dapat digunakan untuk mengukur efisiensi pemanfaatan ruang dan mendukung keputusan fasilitas (Azizi et al., 2020).

Kajian smart campus terbaru menunjukkan peningkatan penggunaan AI, big data, distributed computing, digital twin, dan sistem informasi terintegrasi. Polin et al. (2023) memetakan smart campus sebagai konfigurasi society, economy, environment, dan governance; Al Akbar et al. (2023) menyoroti arsitektur dan teknologi pendukung; Singgih et al. (2025) memperluas analisis ke operations research dan big data; sedangkan López-Goyez et al. (2026) menunjukkan bahwa IoT, AI, big data, dan digital twin mendorong monitoring real-time dan institutional decision-making. Temuan tersebut memperkuat posisi fasilitas sebagai platform operasional bagi transformasi institusi pendidikan.

Pada sisi facility management, perkembangan teknologi juga menimbulkan tantangan. Literatur BIM-FM secara konsisten mencatat masalah interoperability, completeness, information exchange, data ownership, dan organizational adoption (Asare et al., 2021; Pinti et al., 2022; Lovell et al., 2024). Review terhadap disruptive technologies memperlihatkan bahwa nilai maksimal baru muncul ketika cloud, BIM, IoT, dan digital twin diintegrasikan dalam platform yang dapat mendukung operasi dan pemeliharaan (Marocco & Garofolo,

2021; Hosamo, 2022). Hubungan BIM dan digital twin juga masih memerlukan definisi yang jelas serta standar data yang konsisten (Radzi et al., 2023).

Kualitas data menjadi isu fundamental karena facility management membutuhkan data aset yang akurat, lengkap, mudah dipahami, konsisten, kompatibel, aman, dan selalu diperbarui. Framework as-built BIM menunjukkan bahwa data quality, interoperability, dan security merupakan prasyarat bagi digital twin yang dapat diandalkan (Radzi et al., 2024). Review terbaru tentang digital twin pada smart building juga menempatkan real-time data integration, uncertainty, dan visualization sebagai tantangan utama (Ghansah, 2025). Pada level yang lebih luas, survey smart campus dan digital facilities management menegaskan bahwa leadership, training, stakeholder engagement, infrastructure readiness, data quality, dan change management menentukan keberhasilan transformasi (Haggag et al., 2025; Shaarani et al., 2026).

Dalam konteks sekolah Indonesia, riset digitalisasi sarana-prasarana masih didominasi pengembangan sistem inventaris dan studi kasus aplikasi. Sistem monitoring berbasis web membantu mengurangi risiko kehilangan data dan mempercepat penelusuran kondisi aset (Feriyanto & Puspitasari, 2024). Diarvis-BMD digunakan untuk mendukung pengelolaan data fasilitas dan infrastruktur (Karina et al., 2025), sedangkan sistem aset terintegrasi di SMK menunjukkan potensi real-time access dan percepatan pelaporan (Rohman, 2026). Studi terbaru pada SMP juga menegaskan bahwa web-based inventory system meningkatkan akurasi, transparansi, dan kemudahan monitoring (Sumantri et al., 2026). Namun, bukti tersebut masih terfragmentasi pada level aplikasi dan belum banyak dihubungkan dengan keseluruhan siklus pengambilan keputusan fasilitas.

Research gap penelitian ini terletak pada tiga hal. Pertama, literatur pendidikan cenderung memisahkan kajian 'manajemen sarana prasarana' dari literatur 'digital facilities management', sehingga kemajuan BIM, IoT, digital twin, dan smart campus belum banyak diterjemahkan ke kerangka manajemen pendidikan. Kedua, studi sekolah lebih banyak berhenti pada digital inventory, sementara literatur internasional telah bergerak menuju predictive and data-driven FM. Ketiga, kajian yang menghubungkan maturity of digitalization dengan kualitas tata kelola, efisiensi, transparansi, sustainability, dan educational service quality masih terbatas. Review terbaru tentang fasilitas sekolah di Indonesia dan digitalisasi sarana-prasarana mengonfirmasi kebutuhan kerangka yang lebih integratif (Rawis et al., 2025; Athallah et al., 2026; Abror et al., 2026).

Berdasarkan gap tersebut, penelitian ini bertujuan: (1) memetakan perkembangan teknologi digital dalam manajemen sarana dan prasarana pendidikan; (2) mensintesis hubungan teknologi dengan fungsi manajemen aset; (3) mengidentifikasi nilai, tantangan, dan faktor keberhasilan implementasi; (4) membandingkan kecenderungan smart campus dengan digitalisasi fasilitas sekolah; serta (5) merumuskan kerangka kematangan digital yang relevan bagi institusi pendidikan. Kebaruan penelitian terletak pada integrasi literatur educational infrastructure management dan digital facilities management ke dalam Digital Educational Facilities Management Maturity Framework.

METODE

Penelitian menggunakan tinjauan literatur integratif, yaitu pendekatan yang memungkinkan penggabungan bukti dari review, studi empiris, pengembangan sistem, bibliometric study, dan conceptual framework untuk menjelaskan perkembangan suatu bidang yang bersifat lintas disiplin. Pendekatan ini dipilih karena korpus penelitian berada pada persilangan manajemen pendidikan, facilities management, asset information systems, smart campus, BIM, IoT, dan digital twin. Prinsip transparansi pencarian, seleksi, ekstraksi, dan sintesis mengikuti panduan umum penelitian literature review (Snyder, 2019).

Penelusuran dilakukan melalui Google Scholar, DOAJ, metadata penerbit, dan laman jurnal yang tersedia pada ScienceDirect, Emerald, Springer, IEEE, MDPI, serta portal jurnal Indonesia. Kata kunci digunakan dalam bahasa Inggris dan Indonesia, antara lain: “digital facilities management”, “educational facilities management”, “educational infrastructure management”, “digital asset management”, “school inventory information system”, “BIM facility management”, “IoT facility management”, “digital twin facility management”, “smart campus infrastructure”, “data-driven facility management”, “manajemen sarana dan prasarana berbasis teknologi”, dan “sistem informasi inventaris sekolah”.

Literatur diprioritaskan pada publikasi 2018–2026 untuk menangkap transformasi terbaru, dengan beberapa studi lebih awal dipertahankan apabila menjadi dasar penting bagi digital FM atau sistem fasilitas pendidikan. Kriteria inklusi meliputi: (1) artikel peer-reviewed; (2) memiliki DOI atau laman jurnal yang dapat ditelusuri; (3) berfokus pada asset/facility management, educational facilities, smart campus, BIM–FM, IoT, digital twin, digital inventory, space management, monitoring, atau maintenance; dan (4) menghasilkan temuan yang relevan terhadap pengelolaan fasilitas pendidikan. Artikel yang hanya membahas teknologi pembelajaran tanpa keterkaitan dengan fasilitas, opini non-peer-reviewed, metadata tidak dapat ditelusuri, dan duplikasi dikeluarkan.

Korpus akhir terdiri atas 40 artikel substantif peer-reviewed. Setiap artikel diekstraksi berdasarkan tahun, konteks, teknologi, fungsi manajemen yang didukung, nilai yang dilaporkan, hambatan, dan implikasi organisasi. Analisis dilakukan melalui thematic synthesis dengan dua tahap. Tahap pertama mengelompokkan teknologi dan fungsi; tahap kedua mengidentifikasi pola lintas studi mengenai value creation, readiness, interoperability, governance, dan maturity. Karena penelitian ini merupakan integrative review dan bukan meta-analysis, tidak dilakukan penghitungan effect size maupun penggabungan statistik.

Naskah sumber awal memuat visualisasi VOSviewer, tetapi tidak menyertakan dataset bibliografis, query final, file ekspor, parameter minimum occurrence, maupun prosedur reproduksi yang memadai. Untuk mencegah klaim bibliometrik yang tidak dapat diverifikasi, visualisasi tersebut tidak digunakan dalam versi revisi. Sebagai pengganti, hasil disajikan melalui sintesis tematik, matriks teknologi–fungsi–nilai, dan kerangka kematangan konseptual yang seluruhnya diturunkan dari artikel yang tercantum dalam daftar pustaka.

Tabel 1. Protokol Tinjauan Literatur Integratif

Komponen	Keputusan metodologis
Fokus	Transformasi digital pada manajemen sarana-prasarana/asset/facility management di institusi pendidikan.
Rentang utama	2018–2026; studi lebih awal dipertahankan bila menjadi rujukan dasar yang langsung relevan.
Sumber penelusuran	Google Scholar, DOAJ, metadata penerbit, ScienceDirect, Emerald, Springer, IEEE, MDPI, dan portal jurnal Indonesia.
Kriteria inklusi	Peer-reviewed; DOI/landing page dapat ditelusuri; relevan dengan fasilitas, aset, BIM-FM, IoT, digital twin, smart campus, monitoring, maintenance, atau inventory system.
Korpus substantif	40 artikel ilmiah.
Ekstraksi	Konteks, teknologi, fungsi manajemen, manfaat, tantangan, faktor keberhasilan, dan implikasi.
Sintesis	Thematic synthesis dan narrative integration; tanpa meta-analysis.

HASIL

Evolusi dari digital records menuju smart and predictive facilities management

Korpus menunjukkan evolusi dalam empat fase konseptual. Fase pertama menekankan digitalisasi data dan inventaris. Fase kedua mengintegrasikan data ke management information system dan BIM-FM. Fase ketiga menghubungkan BIM dengan IoT, sensor, occupancy data, dan digital twin untuk monitoring real-time. Fase keempat bergerak menuju predictive, autonomous, dan quality-oriented FM dengan analitik, AI, digital twin, dan continuous improvement. Pola ini terlihat konsisten dari review digitisation awal (Wong et al., 2018), BIM-enabled O&M (Gao & Pishdad-Bozorgi, 2019), BIM–IoT integration (Mannino et al., 2021), digital twin (Hakimi et al., 2024; Ghansah, 2025), hingga review digital FM terbaru (Zhang et al., 2026; Shaarani et al., 2026).

Klaster 1: digitalisasi inventaris dan data aset

Digital inventory merupakan pintu masuk paling umum pada sekolah. Sistem berbasis web memperbaiki pencatatan jumlah, lokasi, kondisi, status penggunaan, histori peminjaman, dan pelaporan aset. Studi di SMK N 1 Gadingrejo, SMK Pancasila 1 Kutoarjo, dan SMPN 292 Jakarta Barat menunjukkan bahwa sistem terkomputerisasi mengurangi ketergantungan pada pencatatan manual dan meningkatkan kemudahan penelusuran data (Feriyanto & Puspitasari, 2024; Rohman, 2026; Sumantri et al., 2026). Studi manajemen inventaris pendidikan juga menegaskan bahwa akurasi inventaris merupakan dasar efektivitas pengelolaan sekolah (Abror et al., 2026). Nilai utama pada tahap ini adalah single source of record, tetapi keterbatasannya ialah data masih bersifat deskriptif dan belum selalu digunakan untuk prediksi atau optimasi keputusan.

Klaster 2: integrasi sistem informasi dan interoperabilitas

Pada tahap berikutnya, literatur menekankan kebutuhan integrasi antara data aset, work orders, maintenance records, dan model bangunan. BIM-FM menawarkan visualisasi dan

struktur informasi yang lebih kaya, tetapi interoperability tetap menjadi hambatan utama (Matarneh et al., 2019; Asare et al., 2021; Pinti et al., 2022). Review BIM-FM terbaru menegaskan bahwa pengembangan sistem digital harus dimulai dari informasi yang dibutuhkan pengguna FM, bukan dari model 3D semata (Lovell et al., 2024). Framework as-built BIM juga menegaskan pentingnya accuracy, completeness, consistency, accessibility, compatibility, dan security (Radzi et al., 2024).

Klaster 3: BIM–IoT–digital twin untuk monitoring dan pemeliharaan

Integrasi sensor dengan model digital mengubah maintenance dari reactive menjadi condition-based dan berpotensi predictive. IoT-BIM dapat menghubungkan informasi aset dengan kondisi aktual untuk energy, operation and maintenance, space, emergency, dan quality management (Dahanayake & Sumanarathna, 2022). Digital twin memperluas kemampuan tersebut melalui continuous data acquisition dan analitik untuk mendeteksi anomali serta memantau kondisi fasilitas (Lu et al., 2020; Wang et al., 2022). Zhao et al. (2022) menunjukkan bahwa digital twin mendukung planning and control yang lebih responsif, sedangkan Hosamo (2022) dan Hakimi et al. (2024) memetakan arah riset menuju predictive maintenance, semantic interoperability, AI, dan autonomous control. Ghansah (2025) menambahkan bahwa data integration, complexity, uncertainty, dan visualization tetap menjadi bottleneck.

Klaster 4: data-driven planning, space management, dan keputusan investasi

Nilai digitalisasi meningkat ketika data digunakan untuk keputusan, bukan hanya dokumentasi. Azizi et al. (2020) menunjukkan bahwa data okupansi dan booking pada bangunan akademik dapat mengukur space-use efficiency dan mengarahkan intervensi manajemen. Smart campus literature juga menempatkan performance indicators, infrastructure procurement, dan continuous improvement sebagai bagian dari keputusan strategis (Alrashed, 2020; Omotayo et al., 2021). Dalam konteks sekolah, manajemen perencanaan sarana masih sangat dipengaruhi anggaran dan kebutuhan aktual (Sesmira et al., 2024); digital data membuka peluang agar prioritas pengadaan dan pemeliharaan lebih evidence-based.

Klaster 5: smart campus, keberlanjutan, dan layanan terintegrasi

Smart campus memperluas fasilitas management ke ekosistem layanan dan sustainability. Fortes et al. (2019) menunjukkan kampus sebagai living laboratory dengan arsitektur IoT; Min-Allah dan Alrashed (2020) menghubungkan smart infrastructure dengan services, decision-making, dan sustainability; Chagnon-Lessard et al. (2021) memetakan smart building, environment, mobility, living, people, governance, dan data. Polin et al. (2023) menegaskan kebutuhan kerangka yang mengintegrasikan environment dan governance, sedangkan Al Akbar et al. (2023), Singgih et al. (2025), dan López-Goyez et al. (2026) menunjukkan pergeseran arsitektur smart campus menuju edge/distributed computing, big data, AI, dan digital twin.

Klaster 6: kesiapan organisasi, kompetensi, keamanan, dan tata kelola

Transformasi digital bukan persoalan teknologi semata. Systems-thinking study Awuzie et al. (2021) menunjukkan bahwa smart campus transition dipengaruhi faktor yang saling bergantung. Literature review Marocco dan Garofolo (2021) menekankan integrasi teknologi

dengan proses FM; Haggag et al. (2025) menyoroti tantangan privacy, security, dan optimal utilization; dan Shaarani et al. (2026) menemukan bahwa leadership support, training, stakeholder engagement, infrastructure readiness, data quality, dan change management merupakan critical success factors. Review fasilitas sekolah Indonesia juga menunjukkan bahwa ketersediaan, pengelolaan, pendanaan, dan sustainability tetap menjadi isu sistemik (Athallah et al., 2026).

Tabel 2. Matriks Teknologi, Fungsi Manajemen, Nilai, dan Risiko

Teknologi/pendekatan	Fungsi utama	Nilai manajerial	Risiko/keterbatasan
Web-based inventory / asset IS	Inventarisasi, pelacakan, pelaporan	Akurasi data, transparansi, kecepatan pencarian	Data silo; kualitas input; ketergantungan pembaruan manual
BIM-FM	Asset information, space, O&M, visualization	Single digital representation, traceability, richer asset context	Interoperabilitas, model tidak mutakhir, kebutuhan skill
IoT / sensors	Occupancy, condition, energy, environment	Real-time monitoring, evidence-based decisions	Konektivitas, sensor reliability, privacy
Digital twin	Monitoring, anomaly detection, predictive maintenance	Dynamic asset state, simulation, proactive response	Data integration, model complexity, cybersecurity, cost
AI / analytics	Prediction, prioritization, anomaly classification	Predictive decisions dan optimasi	Bias, explainability, data quality, governance
Smart campus platform	Integrated campus services and infrastructure	Cross-domain efficiency, sustainability, strategic visibility	Fragmented systems, governance, stakeholder adoption

PEMBAHASAN

Hasil sintesis memperlihatkan bahwa digital transformation in facilities management harus dibedakan dari digitization. Digitization mengubah media pencatatan menjadi digital, sedangkan transformation mengubah bagaimana data digunakan untuk merencanakan, mengendalikan, memelihara, dan mengevaluasi aset. Wong et al. (2018) menunjukkan evolusi berbagai teknologi digital dalam FM, sedangkan Marocco dan Garofolo (2021) menegaskan perlunya integrasi teknologi disruptif dengan proses operasi. Pada konteks pendidikan, perbedaan ini penting: aplikasi inventaris adalah fondasi, tetapi bukan tujuan akhir.

Temuan BIM-FM menunjukkan bahwa nilai informasi meningkat ketika struktur data selaras dengan kebutuhan keputusan. Gao dan Pishdad-Bozorgi (2019) serta Matarneh et al.

(2019) menunjukkan bahwa BIM dapat mendukung O&M, namun lemahnya informasi as-built dan interoperability mengurangi manfaatnya. Mannino et al. (2021) mengarahkan solusi pada integrasi BIM dan IoT, sementara Pinti et al. (2022) menunjukkan tantangan implementasi di organisasi publik. Bagi pendidikan, implikasinya adalah bahwa pengembangan sistem sarana-prasarana sebaiknya dimulai dengan information requirements: data apa yang dibutuhkan untuk keputusan pengadaan, ruang, pemeliharaan, keselamatan, dan penghapusan.

Digital twin membawa konsep asset lifecycle management ke tingkat yang lebih dinamis. Lu et al. (2020) memperlihatkan anomaly detection berbasis twin; Zhao et al. (2022) menempatkannya sebagai alat responsive planning and control; Wang et al. (2022) menghubungkan digital twin dengan sensor metadata; Hakimi et al. (2024) menunjukkan tren intelligent monitoring dan autonomous control. Review Ghansah (2025) memperjelas bahwa manfaat tersebut tidak akan tercapai tanpa real-time integration dan reference model yang konsisten. Dengan demikian, roadmap pendidikan perlu realistis: sekolah tidak harus langsung membangun digital twin, tetapi dapat membangun data architecture yang memungkinkan peningkatan kematangan secara bertahap.

Smart campus literature memberikan pelajaran tentang pentingnya integrasi domain. Smart campus bukan satu aplikasi, tetapi governed ecosystem yang menghubungkan building, data, network, energy, mobility, people, learning, dan institutional services (Chagnon-Lessard et al., 2021; Polin et al., 2023). Omotayo et al. (2021) menunjukkan bahwa aspek procurement dan infrastructure planning sama pentingnya dengan teknologi. Awuzie et al. (2021) menunjukkan bahwa transisi perlu memahami hubungan kausal antara faktor internal dan eksternal. Oleh sebab itu, manajemen fasilitas pendidikan berbasis digital harus diposisikan dalam kerangka governance, bukan hanya ICT procurement.

Temuan khusus pendidikan di Indonesia memperlihatkan adanya 'maturity gap'. Studi Feriyanto dan Puspitasari (2024), Karina et al. (2025), Rohman (2026), dan Sumantri et al. (2026) berfokus pada pendataan, monitoring, dan pelaporan. Studi Rawis et al. (2025) mulai menghubungkan digitalisasi dengan smart asset management dan TQM, sedangkan Athallah et al. (2026) menunjukkan bahwa tantangan fasilitas sekolah masih mencakup availability, management, and sustainability. Abror et al. (2026) menegaskan fungsi inventaris bagi efektivitas sekolah. Ini menunjukkan bahwa agenda terdekat bukan adopsi teknologi tercanggih, tetapi memperkuat data foundation, workflow integration, dan decision use.

Kesenjangan antara data dan keputusan merupakan isu sentral. Azizi et al. (2020) menunjukkan contoh kuat bagaimana IoT occupancy data dapat diterjemahkan menjadi indikator ruang dan intervensi manajemen. Alrashed (2020) juga menekankan perlunya KPI smart campus. Tanpa indikator, digitalisasi berisiko hanya menghasilkan lebih banyak data tanpa peningkatan mutu keputusan. Oleh karena itu, setiap sistem fasilitas pendidikan perlu memetakan data ke decision rights: siapa yang menggunakan data, untuk keputusan apa, seberapa sering, dan bagaimana tindak lanjutnya dievaluasi.

Tata kelola data mencakup accuracy, completeness, timeliness, interoperability, privacy, dan security. Radzi et al. (2024) memperlihatkan bahwa data quality, interoperability, dan security adalah atribut inti model as-built. Haggag et al. (2025) dan López-Goyez et al. (2026)

menunjukkan bahwa integrasi sistem smart campus masih menghadapi privacy, governance, dan cultural challenges. Pada institusi pendidikan, isu ini diperkuat oleh sensitivitas data pengguna, jadwal, lokasi, akses ruang, dan kemungkinan integrasi dengan student/staff systems. Karena itu, cybersecurity dan data minimization harus menjadi bagian dari desain, bukan tambahan setelah sistem berjalan.

Faktor manusia menentukan transformasi. Shaarani et al. (2026) menemukan bahwa leadership support, training, dan stakeholder engagement memiliki peran sangat kuat pada keberhasilan digital FM. Temuan ini konsisten dengan tantangan organisasi yang dibahas Asare et al. (2021) serta transitional challenges smart campus. Dengan demikian, capacity building untuk kepala sekolah, tenaga administrasi, teknisi, dan pengelola aset perlu disejajarkan dengan investasi software dan hardware.

Dari sudut pandang mutu, digital FM seharusnya menghasilkan service outcomes, bukan sekadar administrative outputs. Kinerja perlu diukur melalui availability fasilitas, response time pemeliharaan, downtime, utilization, compliance, safety, energy use, cost, transparency, dan user satisfaction. Zhang et al. (2026) menunjukkan pada konteks fasilitas kesehatan bahwa digital technologies dapat mengarah pada resilience, cost efficiency, dan safety apabila roadmap teknis-organisasional jelas. Prinsip serupa relevan untuk pendidikan: digitalisasi bernilai ketika ruang belajar lebih siap, gangguan fasilitas berkurang, keputusan pengadaan lebih tepat, dan sumber daya dapat dialihkan ke prioritas pembelajaran.

Berdasarkan sintesis, penelitian ini mengusulkan Digital Educational Facilities Management Maturity Framework dengan empat tingkat. Level 1, digitized records: data aset tersedia secara elektronik tetapi masih terpisah. Level 2, integrated management: inventory, maintenance, procurement, and reporting terhubung dengan workflow. Level 3, data-driven and connected: sensor/IoT, BIM, occupancy, dashboard, dan analytics mendukung keputusan. Level 4, predictive and quality-oriented: digital twin/AI, predictive maintenance, scenario planning, performance KPI, dan continuous improvement terintegrasi ke governance mutu. Kerangka ini tidak mengharuskan semua institusi mencapai teknologi yang sama, tetapi menyediakan arah peningkatan kematangan berdasarkan kebutuhan, sumber daya, dan risiko.

Tabel 3. Digital Educational Facilities Management Maturity Framework

Level	Karakteristik	Kapabilitas utama	Prioritas pengembangan
1. Digitized records	Inventaris digital, spreadsheet/database, pelaporan elektronik	Data aset tersedia dan dapat dicari	Standar kode aset, data cleaning, ownership, backup
2. Integrated management	Inventory–procurement–maintenance–reporting terhubung	Workflow, work order, audit trail, dashboard	Interoperability, SOP, role-based access, user training

Level	Karakteristik	Kapabilitas utama	Prioritas pengembangan
3. Data-driven & connected	IoT/sensor, BIM, occupancy/condition data, analytics	Monitoring real-time dan decision support	Data governance, API, cyber-security, KPI
4. Predictive & quality-oriented	Digital twin/AI, predictive maintenance, scenario simulation	Proactive asset management dan continuous improvement	Model validation, ethics, ROI evaluation, organizational change

Implikasi Praktis

Bagi sekolah dan madrasah, prioritas awal adalah membangun master data aset yang bersih, standar kode aset, penanggung jawab data, dan jadwal pembaruan. Tanpa data foundation yang konsisten, aplikasi baru hanya memindahkan fragmentasi dari kertas ke sistem digital.

Bagi pengelola fasilitas, sistem perlu dikembangkan berdasarkan siklus kerja nyata: kebutuhan, pengadaan, penerimaan, inventarisasi, penggunaan, inspeksi, maintenance, evaluasi, dan penghapusan. Setiap tahap perlu memiliki data minimum, otorisasi, dan jejak audit agar digitalisasi menghasilkan akuntabilitas.

Bagi institusi dengan kapasitas lebih tinggi, IoT, occupancy analytics, BIM, dan digital twin dapat diterapkan secara selektif pada aset kritis atau area bernilai tinggi, misalnya laboratorium, ruang server, HVAC, energi, keselamatan, atau fasilitas dengan biaya pemeliharaan besar. Pilot harus disertai KPI dan evaluasi manfaat.

Bagi pembuat kebijakan, standardisasi data sarana-prasarana dan interoperabilitas antar-sistem perlu diprioritaskan. Arsitektur nasional/daerah sebaiknya memungkinkan pertukaran data tanpa memaksa satu vendor, dengan memperhatikan keamanan, privasi, keberlanjutan biaya, dan kapasitas satuan pendidikan.

Keterbatasan Penelitian

Kajian ini memiliki tiga keterbatasan. Pertama, literatur digital FM internasional banyak berasal dari bangunan komersial, kampus, dan fasilitas kompleks sehingga transferabilitas ke sekolah harus diuji secara empiris. Kedua, studi pendidikan Indonesia masih didominasi desain sistem dan studi kasus sehingga bukti mengenai return on investment, quality outcomes, dan sustainability digital systems masih terbatas. Ketiga, integrative review tidak melakukan meta-analysis sehingga tidak menghasilkan estimasi efek kuantitatif.

Agenda penelitian berikutnya perlu menguji maturity framework pada berbagai jenjang pendidikan; mengembangkan core data model sarana-prasarana pendidikan; membandingkan manual, integrated, dan sensor-enabled management; mengukur pengaruh terhadap downtime, biaya, utilisasi, keselamatan, dan kepuasan pengguna; serta mengevaluasi cyber-security, privacy, vendor lock-in, dan digital inequality. Penelitian juga perlu menghubungkan data fasilitas dengan learning environment quality tanpa melakukan reduksi bahwa teknologi secara otomatis menghasilkan mutu pendidikan.

KESIMPULAN

Transformasi digital mengubah manajemen sarana dan prasarana pendidikan dari fungsi administratif menuju tata kelola aset yang lebih data-driven, integrated, adaptive, dan berorientasi pada mutu. Sintesis 40 artikel menunjukkan enam domain perkembangan: digital inventory; integrated information systems; BIM–IoT–digital twin; data-driven planning dan space management; smart campus dan sustainability; serta organizational readiness dan data governance.

Temuan utama penelitian ialah bahwa manfaat digitalisasi tidak terletak pada jumlah aplikasi atau kecanggihan teknologi, tetapi pada keterhubungan antara data, proses, manusia, dan keputusan sepanjang siklus hidup aset. Digital inventory merupakan fondasi; interoperability dan workflow integration membentuk tahap berikutnya; sensor, BIM, dan analytics memungkinkan monitoring; sedangkan digital twin dan AI membuka peluang predictive facilities management. Semua tahap tetap membutuhkan leadership, kompetensi, keamanan data, standardisasi, dan evaluasi manfaat.

Digital Educational Facilities Management Maturity Framework yang diusulkan memberikan arah bertahap dari digitized records menuju predictive and quality-oriented facilities management. Bagi sekolah dan madrasah, agenda paling realistis ialah memperkuat master data, sistem terintegrasi, SOP, dan pemanfaatan informasi untuk keputusan. Bagi institusi yang lebih matang, teknologi sensor dan digital twin dapat dikembangkan secara selektif. Dengan pendekatan tersebut, transformasi digital dapat menjadi instrumen penguatan efisiensi, transparansi, keberlanjutan, dan kesiapan fasilitas untuk mendukung layanan pendidikan.

DAFTAR PUSTAKA

- Abror, A. N., Santosa, S., Auf, M. A., & Huda, S. (2026). Inventory management of educational facilities for enhancing school management effectiveness. *JDMP (Jurnal Dinamika Manajemen Pendidikan)*, 10(2), 140–147. <https://doi.org/10.26740/jdmp.v10n2.p140-147>
- Al Akbar, H., Faturrahman, M. R., & Sidharta, S. (2023). Guidance in designing a smart campus: A systematic literature review. *Procedia Computer Science*, 227, 83–91. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2023.10.505>
- Alrashed, S. (2020). Key performance indicators for smart campus and microgrid. *Sustainable Cities and Society*, 60, 102264. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102264>
- Asare, K. A. B., Liu, R., & Anumba, C. J. (2021). Building information modeling to support facilities management of large capital projects: A critical review. *Facilities*, 40(3/4), 176–197. <https://doi.org/10.1108/F-11-2020-0124>
- Athallah, M. N., Samiha, Y. T., Karolin, A., Harto, K., & Hasanah, A. (2026). School facility and management in Indonesia: A systematic literature review of availability, challenges and sustainability. *Jurnal Konseling Pendidikan Islam*, 7(3). <https://doi.org/10.32806/jkpi.v7i3.1870>

- Awuzie, B., Ngowi, A. B., Omotayo, T., Obi, L., & Akotia, J. (2021). Facilitating successful smart campus transitions: A systems thinking-SWOT analysis approach. *Applied Sciences*, 11(5), 2044. <https://doi.org/10.3390/app11052044>
- Azizi, S., Nair, G., Rabiee, R., & Olofsson, T. (2020). Application of Internet of Things in academic buildings for space use efficiency using occupancy and booking data. *Building and Environment*, 186, 107355. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.107355>
- Chagnon-Lessard, N., Gosselin, L., Barnabé, S., Bello-Ochende, T., Fendt, S., Goers, S., da Silva, L. C. P., Schweiger, B., Simmons, R., Vandersickel, A., & Zhang, P. (2021). Smart campuses: Extensive review of the last decade of research and current challenges. *IEEE Access*, 9, 124200–124234. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3109516>
- Dahanayake, K. C., & Sumanarathna, N. (2022). IoT-BIM-based digital transformation in facilities management: A conceptual model. *Journal of Facilities Management*, 20(3), 437–451. <https://doi.org/10.1108/JFM-10-2020-0076>
- Feriyanto, D., & Puspitasari, T. (2024). Perancangan sistem informasi monitoring dan pengelolaan inventaris sarana prasarana sekolah SMK N 1 Gadingrejo. *JELTec (Journal of Learning Technology)*, 2(2). <https://doi.org/10.56327/jeltec.v2i2.91>
- Fortes, S., Santoyo-Ramón, J. A., Palacios, D., Baena, E., Mora-García, R., Medina, M., Mora, P., & Barco, R. (2019). The campus as a smart city: University of Málaga environmental, learning, and research approaches. *Sensors*, 19(6), 1349. <https://doi.org/10.3390/s19061349>
- Gao, X., & Pishdad-Bozorgi, P. (2019). BIM-enabled facilities operation and maintenance: A review. *Advanced Engineering Informatics*, 39, 227–247. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2019.01.005>
- Ghansah, F. A. (2025). Digital twins for smart building at the facility management stage: A systematic review of enablers, applications and challenges. *Smart and Sustainable Built Environment*, 14(4), 1194–1229. <https://doi.org/10.1108/SASBE-10-2023-0298>
- Haggag, M., Oulefki, A., Amira, A., Kurugollu, F., Mushtaha, E. S., Soudan, B., Hamad, K., & Foufou, S. (2025). Integrating advanced technologies for sustainable smart campus development: A comprehensive survey of recent studies. *Advanced Engineering Informatics*, 66, 103412. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2025.103412>
- Hakimi, O., Liu, H., & Abudayyeh, O. (2024). Digital twin-enabled smart facility management: A bibliometric review. *Frontiers of Engineering Management*, 11(1), 32–49. <https://doi.org/10.1007/s42524-023-0254-4>
- Hosamo, H. H. (2022). A review of the digital twin technology in the AEC-FM industry. *Advances in Civil Engineering*, 2022, 2185170. <https://doi.org/10.1155/2022/2185170>
- Karina, K., Asifa, S. N., & Suryadi, S. (2025). Effectiveness of Diarvis-BMD in managing educational infrastructure data. *Tarbawi: Jurnal Keilmuan Manajemen Pendidikan*, 11(1). <https://doi.org/10.32678/tarbawi.v11i01.11180>

- López-Goyez, J. P., González-Briones, A., & Guaytarilla, J. (2026). Smart campus in higher education: A systematic review of intelligent technologies, information systems, and sustainable digital ecosystems. *Applied Sciences*, 16(14), 7277. <https://doi.org/10.3390/app16147277>
- Lovell, L. J., Davies, R. J., & Hunt, D. V. L. (2024). Building information modelling facility management (BIM-FM). *Applied Sciences*, 14(10), 3977. <https://doi.org/10.3390/app14103977>
- Lu, Q., Xie, X., Parlikad, A. K., & Schooling, J. M. (2020). Digital twin-enabled anomaly detection for built asset monitoring in operation and maintenance. *Automation in Construction*, 118, 103277. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103277>
- Mannino, A., Dejaco, M. C., & Re Cecconi, F. (2021). Building Information Modelling and Internet of Things integration for facility management—Literature review and future needs. *Applied Sciences*, 11(7), 3062. <https://doi.org/10.3390/app11073062>
- Marocco, M., & Garofolo, I. (2021). Integrating disruptive technologies with facilities management: A literature review and future research directions. *Automation in Construction*, 131, 103917. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103917>
- Matarneh, S. T., Danso-Amoako, M., Al-Bizri, S., Gaterell, M., & Matarneh, R. (2019). Building information modeling for facilities management: A literature review and future research directions. *Journal of Building Engineering*, 24, 100755. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2019.100755>
- Min-Allah, N., & Alrashed, S. (2020). Smart campus—A sketch. *Sustainable Cities and Society*, 59, 102231. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102231>
- Omotayo, T., Moghayed, A., Awuzie, B., & Ajayi, S. (2021). Infrastructure elements for smart campuses: A bibliometric analysis. *Sustainability*, 13(14), 7960. <https://doi.org/10.3390/su13147960>
- Pinti, L., Codinhoto, R., & Bonelli, S. (2022). A review of Building Information Modelling (BIM) for facility management (FM): Implementation in public organisations. *Applied Sciences*, 12(3), 1540. <https://doi.org/10.3390/app12031540>
- Polin, K., Yigitcanlar, T., Limb, M., & Washington, T. (2023). The making of smart campus: A review and conceptual framework. *Buildings*, 13(4), 891. <https://doi.org/10.3390/buildings13040891>
- Radzi, A. R., Azmi, N. F., Kamaruzzaman, S. N., Rahman, R. A., & Papadonikolaki, E. (2023). Relationship between digital twin and building information modeling: A systematic review and future directions. *Construction Innovation*, 24(3), 811–829. <https://doi.org/10.1108/CI-07-2022-0183>
- Radzi, A. R., Azmi, N. F., Kamaruzzaman, S. N., & Rahman, R. A. (2024). A framework of attributes for as-built BIM models: A systematic review. *Journal of Information Technology in Construction*, 29, 612–634. <https://doi.org/10.36680/j.itcon.2024.028>

- Rawis, J. A. M., Sumual, S. D. M., Akay, F., Berhandus, C., & Razak, F. A. (2025). Transformasi manajemen sarana dan prasarana pendidikan: Tinjauan teoritis dan pendekatan strategis di era digital. *Jurnal Manajemen Pendidikan*, 10(4). <https://doi.org/10.34125/jmp.v10i4.1213>
- Rohman, W. N. (2026). Transformasi digital manajemen aset pendidikan: Implementasi sistem informasi sarana dan prasarana terintegrasi pada SMK Pancasila 1 Kutoarjo. *Jurnal Ekonomi dan Teknik Informatika*, 14(1). <https://doi.org/10.37601/jneti.v14i1.396>
- Sesmira, M., Marsena, M., Asmendri, A., & Sary, M. (2024). Management of educational facilities and infrastructure planning at SDN 6 Padang Sibusuk. *Idaarah: Jurnal Manajemen Pendidikan*, 8(2), 275–284. <https://doi.org/10.24252/idaarah.v8i2.52098>
- Shaarani, A. S. M., Abdullah @ Mohd Asmoni, M. N., & Baskaran, S. (2026). Critical success factors in digital facilities management implementation: A systematic literature review. *International Journal of Built Environment and Sustainability*, 13(2), 225–236. <https://doi.org/10.11113/ijbes.v13.n2.1669>
- Singgih, I. K., Prabowo, A. R., Soegiharto, S., Singgih, M. L., & Dharma, F. P. (2025). Smart campus applications: A literature review on transportation research and big data. *International Journal of Technology*, 16(3), 796–824. <https://doi.org/10.14716/ijtech.v16i3.6803>
- Sumantri, A., Harsanti, N., Putri, A., Azizah, G. N., & Arbiansyah, M. F. (2026). Sistem informasi inventarisasi sarana dan prasarana sekolah berbasis website pada SMPN 292 Jakarta Barat. *Jurnal Ilmiah Sains Teknologi dan Informasi*, 4(3). <https://doi.org/10.59024/jiti.v4i3.2244>
- Wang, T., Gan, V. J. L., Hu, D., & Liu, H. (2022). Digital twin-enabled built environment sensing and monitoring through semantic enrichment of BIM with SensorML. *Automation in Construction*, 144, 104625. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2022.104625>
- Wong, J. K. W., Ge, J., & He, S. X. (2018). Digitisation in facilities management: A literature review and future research directions. *Automation in Construction*, 92, 312–326. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.04.006>
- Yahya, D. P., Rahman, K. A., & Mulyadi, M. (2023). Management of educational facilities and infrastructure: Literature review on educational management. *Indonesian Journal of Educational Development (IJED)*, 4(3), 380–387. <https://doi.org/10.59672/ijed.v4i3.3221>
- Zhang, X., Zhang, Y., Peng, Y., Au-Yong, C. P., & Awang, N. A. A. (2026). Transforming healthcare facility management with digital technologies: A systematic review and future roadmap. *Advanced Engineering Informatics*, 69, 104404. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2026.104404>
- Zhao, J., Feng, H., Chen, Q., & Garcia de Soto, B. (2022). Developing a conceptual framework for the application of digital twin technologies to revamp building operation and maintenance processes. *Journal of Building Engineering*, 49, 104028. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2022.104028>
- Snyder, H. (2019). Literature review as a research methodology: An overview and guidelines. *Journal of Business Research*, 104, 333–339. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2019.07.039>