https://www.jurnal-umbuton.ac.id/index.php/Pencerah
https://doi.org/10.35326/pencerah.v10i2.5317

Open Access

SANG PENCERAH
Jurnal Ilmiah Universitas Muhammadiyah Buton

E-ISSN: 2655-2906, P-ISSN: 2460-5697 Volume 10, No 2, Tahun 2024

Tren Riset Twin Digital Smart Campus

Jaja Jamaludin[1*], Luthpi Saepuloh[2]

[1]Fakultas Ilmu Pendidikan, Universitas Bosowa, Indonesia
[2]Fakultas Ilmu Pendidikan, Universitas Muhammadiyah Sukabumi,Indonesia
[*]Korespondensi: jaja.jamaludin@universitasbosowa.ac.id

Info Artikel

Diterima 20 April 2024

Disetujui 16 Mei 2024

Dipublikasikan 30 Mei 2024

Keywords: Penataan Ruang; Kenyamanan Thermal; Climate Sensitive Urban Design

© 2024 The Author(s): This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution ShareAlike (CC BY-SA 4.0)

Abstrak

Universitas telah mengalami perkembangan pesat dengan penerapan teknologi informasi dan komunikasi (TIK). Salah satu inovasi terkini dalam konteks ini adalah Twin Digital Smart Campus (TDSC). TDSC melibatkan integrasi teknologi digital seperti Internet of Things (IoT), big data, dan kecerdasan buatan (AI) untuk menciptakan lingkungan pembelajaran yang dinamis dan interaktif. Penelitian menggunakan metoda campuran kuantitatif dan kualitatif menggunakan software VOS Viewer. Penelitian ini melibatkan pengumpulan data lebih dari 990 paper, 46.823 citasi dan author/paper 3,8 dan cite/paper 46,92 bersumbaer dari google schoolar. Hasil analisis menyoroti kontribusi TDSC dalam meningkatkan efisiensi operasional, meningkatkan pengalaman mahasiswa, dan memfasilitasi adaptasi terhadap perubahan lingkungan pembelajaran yang dinamis. Terdapat sejumlah tren riset diantaranya, DeepClass-Rooms, kerangka kerja twin digital untuk pemantauan kehadiran dan konten kursus untuk sektor publik smart campus. Tren riset lain mengkaji efesiensi energi data listrik smart meter untuk mengembangkan tolok ukur energi bangunan harian dan menyelidiki bagaimana metrik tersebut dapat mengarah pada manajemen energi hampir waktu nyata. Ini berkaitan dengan tema riset pemodelan Smart Grid, pada desain dan pengembangan Digital Twin. Teknologi berbasis IoT jaringan sensor nirkabel di bidang pemantauan lingkungan dan deteksi suasana hati untuk memberikan wawasan tentang kenyamanan juga menjadi tren fokus riset.

Abstract

Universities have experienced rapid development with the application of information and communication technology (ICT). One of the latest innovations in this context is the Twin Digital Smart Campus (TDSC). TDSC involves the integration of digital technologies such as the Internet of Things (IoT), big data, and artificial intelligence (AI) to create a dynamic and interactive learning environment. The research uses mixed quantitative and qualitative methods using VOS Viewer software. This research involved collecting data from more than 990 papers, 46,823 citations and author/paper 3.8 and cite/paper 46.92 sourced from Google Schoolar. The analysis results highlight TDSC's contribution in increasing operational efficiency, enhancing the student experience, and facilitating adaptation to dynamic changes in the learning environment. There are a number of research trends including DeepClass-Rooms, a digital twin framework for monitoring attendance and course content for public sector smart campuses. Another research trend examines the energy efficiency of smart meter electricity data to develop daily building energy benchmarks and investigate how such metrics can lead to near real-time energy

management. This relates to the research theme of Smart Grid modeling, on the design and development of Digital Twins. IoT-based technology of wireless sensor networks in the field of environmental monitoring and mood detection to provide insight into comfort is also a research focus trend.

1. Pendahuluan

Era digital saat ini, perguruan tinggi menghadapi tuntutan untuk beradaptasi dengan perkembangan teknologi. Konsep smart campus telah diperkenalkan sebagai upaya untuk menghadirkan lingkungan pembelajaran yang inovatif dan terkoneksi secara digital. Salah satu bentuk implementasi dari smart campus adalah Twin Digital Smart Campus (TDSC). TDSC melibatkan integrasi teknologi digital seperti Internet of Things (IoT), big data, dan kecerdasan buatan (AI) untuk menciptakan lingkungan pembelajaran yang dinamis dan interaktif.

Tren kajian twin digital yang diperkenalkan lebih dari satu dekade, sebagai alat inovatif yang mencakup segalanya, dengan manfaat yang dirasakan termasuk pemantauan real-time, simulasi dan peramalan. Namun, kerangka teoritis dan implementasi praktis digital twins (DT) masih jauh dari visi tersebut. Kemajuan dalam pembelajaran mesin, Internet of Things dan data besar telah memberikan kontribusi besar terhadap peningkatan DT terkaitke properti pemantauan dan peramalan waktu nyata. Kami meninjau pekerjaan yang relevan dan mengidentifikasi bahwa alasan utama penundaan ini adalah kurangnya referensi DT universal kerangka kerja, ketergantungan domain, masalah keamanan data bersama, ketergantungan digital twin pada teknologi lain, dankurangnya metrik kinerja DT. Pekerjaan ini lebih lanjut menilai aplikasi twin digital di berbagai domain dan saat ini keadaan pembelajaran mesin dan data besar dalam konteks DT. Ini menjawab pertanyaan yang relevan, dan mengidentifikasi novel pertanyaan penelitian, berkontribusi pada pemahaman yang lebih baik tentang DT, dan memajukan teori dan praktik twin digital (Sharma et al., 2022).

Permasalahan krusial yang dihadapi oleh lembaga pendidikan tinggi dalam menghadapi era digitalisasi yang berkembang pesat. Meskipun teknologi informasi telah membawa kemajuan signifikan dalam pengelolaan kampus dan proses pembelajaran, namun masih terdapat kesenjangan yang perlu diatasi untuk memaksimalkan potensi teknologi dalam mendukung tujuan pendidikan tinggi. Industri 4.0 mendorong pengenalan teknologi perintis bahkan di industri konstruksi. Seiring dengan perkembangan teknologi tinggi, seperti augmented reality, virtual reality, dan cloud computing, perkembangan digital twin semakin berkembang. Kontribusi ini bertujuan untuk menyajikan potensi digital twin di bidang konstruksi, menyarankan kerangka kerja yang menguraikan berbagai kemungkinan aplikasi dalam konstruksi, dengan mengacu pada bangunan sekolah. Pertama, ini merangkum ikhtisar aplikasi kembar digital saat ini dalam konstruksi bangunan. Kemudian terlihat bahwa langkah-langkah signifikan telah diambil di luar model digital, meskipun penerapan konsep kembar digital dalam arti penuh masih jauh. Penelitian bergerak ke arah ini dan evolusi keadaan seni saat ini, dikombinasikan dengan pengalaman yang diperoleh di sektor industri, akan segera membawa revolusi baru dalam ind ustri konstruksi. (Pears et al., 2019)

Salah satu konsep yang muncul sebagai solusi potensial adalah Twin Digital Smart Campus (TDSC), yang mengintegrasikan teknologi sensor, komputasi awan, dan kecerdasan buatan untuk menciptakan lingkungan kampus yang cerdas dan adaptif. Namun, penelitian tentang tren riset TDSC masih terbatas, sehingga diperlukan penelitian lebih lanjut untuk memahami potensi penuh dan tantangan yang terkait dengan implementasi TDSC di institusi pendidikan tinggi. Banyak metode berbeda yang dipilih untuk meningkatkan standar pendidikan melalui pemantauan ruang kelas.Negara maju menggunakan ruang kelas Cerdas untuk meningkatkan efisiensi fakultas berdasarkan akumulasi hasil pembelajaran danminat. Papan kelas pintar, alat bantu audio-visual, dan multimedia terkait langsung dengan lingkungan kelas Cerdas.

Bersamaan dengan fasilitas ini, diperlukan lebih banyak upaya untuk memantau dan menganalisis hasil siswa, kinerja guru, catatan kehadiran, dan pengiriman konten di ruang kelas dalam kampus. Seseorang dapat mencapai lebih banyak peningkatan dalamhasil pengajaran dan pembelajaran yang berkualitas dengan mengembangkan kembar digital di ruang kelas dalam kampus. Pada artikel ini, kami mengusulkan DeepClass-Rooms, kerangka kerja kembar digital untuk pemantauan kehadiran dan konten kursus untuk sektor publiksekolah di Punjab, Pakistan. DeepClassRooms hemat biaya dan membutuhkan pembaca RFID dan komputasi tingkat tinggiperangkat di lapisan Kabut untuk pemantauan kehadiran dan pencocokan konten, menggunakan jaringan saraf konvolusi untuk di kampusdan kelas online (Razzaq et al., 2022)

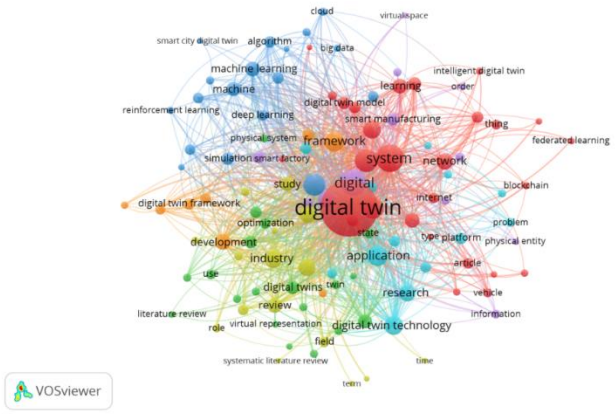
2. Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan dalam studi ini mengadopsi pendekatan campuran yang menggabungkan analisis kualitatif dan kuantitatif. Langkah pertama melibatkan tinjauan literatur komprehensif untuk mengidentifikasi tren terkini dalam pengembangan Twin Digital Smart Campus (TDSC) dan menganalisis implementasi praktis di beberapa lembaga pendidikan tinggi. Penelitian ini menggunakan metode analisis bibliometrik untuk mengumpulkan data tentang penelitian yang telah dilakukan sehubungan dengan TDSC. Data dikumpulkan dari berbagai sumber seperti jurnal internasional, konferensi, dan repositori terkait. Setelah itu, data dianalisis menggunakan VOS Viewer, sebuah perangkat lunak yang digunakan untuk memvisualisasikan dan menganalisis jaringan kolaborasi dalam penelitian (Hasan et al., 2023).

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Hasil

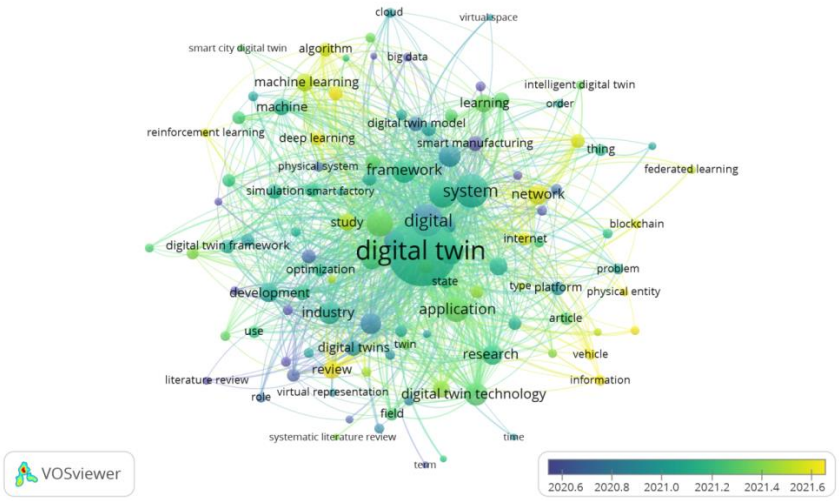
Analisis bibliometrik menggunakan VOS Viewer menghasilkan pemetaan kolaborasi penelitian yang telah dilakukan dalam konteks TDSC. Pemetaan ini mencakup identifikasi penulis yang paling produktif, institusi yang paling berkontribusi, serta jaringan kolaborasi antara penulis dan institusi. Selain itu, analisis bibliometrik juga memberikan wawasan tentang tren penelitian, subjek penelitian yang paling populer, dan kontribusi penelitian dari berbagai negara. (Hasan et al., 2023)



Gambar 1 *Network Visualization*

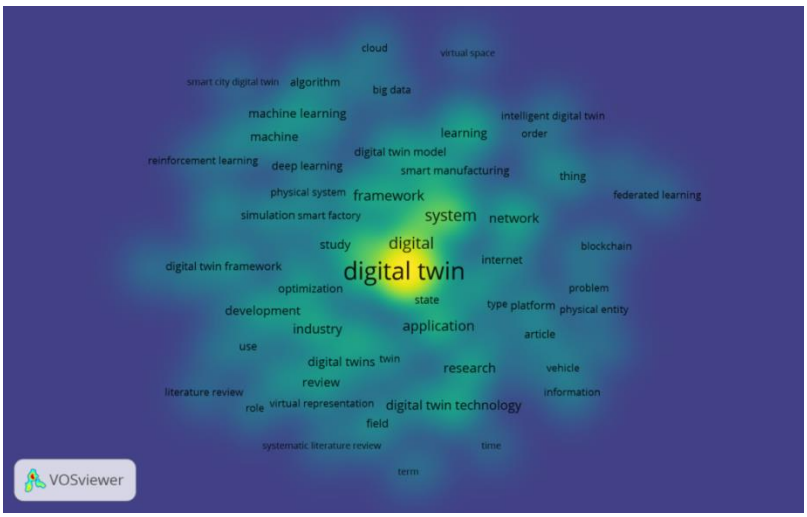
Network Visualization merupakan metode visualisasi data yang digunakan dalam analisis bibliometrik dengan menggunakan perangkat lunak seperti VOS Viewer. Ini memungkinkan para peneliti untuk menggambarkan dan menganalisis hubungan antara berbagai elemen dalam literatur ilmiah, seperti penulis, kata kunci, topik, atau jurnal. Dalam hasil analisis bibliometrik dengan VOS Viewer, Network Visualization memberikan representasi grafis dari interaksi dan keterkaitan antara elemen-elemen tersebut. Grafik jaringan (network) dibangun berdasarkan hubungan dan keterkaitan yang ada dalam data bibliometrik, seperti kolaborasi antarpenulis, kemunculan kata kunci bersama, atau kesamaan topik dalam literatur.

Network Visualization dalam elemen-elemen tersebut direpresentasikan sebagai simpul (node) dalam grafik, sementara hubungan antara mereka direpresentasikan sebagai tautan atau garis (edge) yang menghubungkan simpul-simpul tersebut. Properti visual seperti ukuran, warna, atau bentuk simpul dapat digunakan untuk memberikan informasi tambahan tentang elemen-elemen tersebut, seperti tingkat kepentingan atau peran mereka dalam jaringan. Melalui Network Visualization, para peneliti dapat mengidentifikasi pola, kelompok, atau subkomunitas dalam data bibliometrik yang mungkin sulit dilihat dalam analisis numerik atau tabel. Mereka dapat melihat seberapa kuat atau lemah hubungan antara elemen-elemen, mengidentifikasi simpul-simpul sentral yang memiliki banyak koneksi, atau mengidentifikasi kelompok-kelompok yang saling terkait dalam jaringan. Selain itu, Network Visualization juga dapat membantu dalam memahami struktur dan dinamika perkembangan dalam bidang penelitian tertentu. Peneliti dapat melacak tren kolaborasi antarpenulis dari waktu ke waktu, melihat bagaimana konsep atau topik berkembang dan terhubung satu sama lain, atau mengidentifikasi hubungan antara jurnal atau lembaga penelitian. Dalam keseluruhan, Network Visualization dalam hasil analisis bibliometrik dengan VOS Viewer menyediakan alat yang kuat untuk menganalisis, memvisualisasikan, dan memahami relasi dan interaksi dalam data bibliometrik, memberikan wawasan yang lebih mendalam tentang lanskap penelitian dan kecenderungan yang ada.



Gambar 2 *Overlay Visualization*

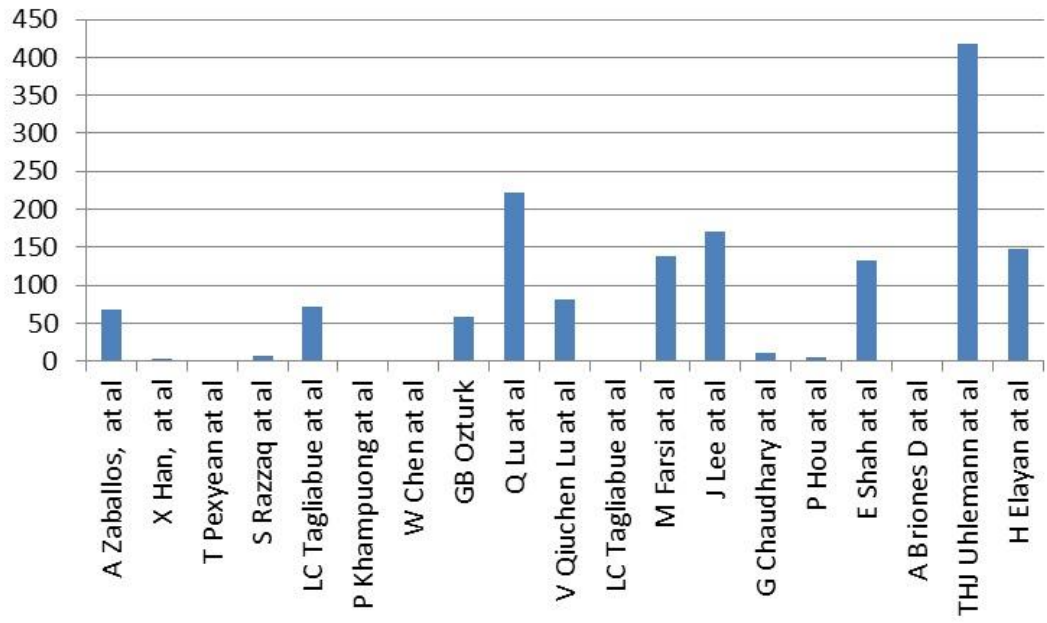
Overlay Visualization merupakan metode visualisasi yang digunakan untuk menampilkan informasi tambahan tentang elemen-elemen dalam jaringan bibliometrik. Metode ini memungkinkan peneliti untuk melihat hubungan antara elemen utama dan atribut tambahan yang dapat memberikan konteks lebih lanjut tentang data. Overlay Visualization memanfaatkan properti visual seperti warna, ukuran, atau bentuk untuk mempresentasikan atribut tambahan pada simpul-simpul atau tautan dalam grafik jaringan. Ini memungkinkan peneliti untuk mengidentifikasi pola atau keterkaitan berdasarkan atribut tertentu, serta memperoleh pemahaman yang lebih mendalam tentang data bibliometrik yang sedang dianalisis.



Gambar 3 *Density Visualization*

Density Visualization merupakan metode visualisasi yang digunakan untuk menunjukkan tingkat kepadatan atau intensitas koneksi antara elemen dalam jaringan bibliometrik. Metode ini memberikan gambaran visual tentang seberapa dekat atau terkonsentrasi elemen-elemen tersebut dalam jaringan. Density Visualization biasanya digunakan dalam konteks grafik jaringan atau peta panas

(heatmap). Dalam grafik jaringan, kepadatan visual dapat ditampilkan melalui ketebalan atau kecerahan tautan antara simpul-simpul, sedangkan dalam peta panas, elemen-elemen tertentu atau wilayah tertentu dalam jaringan diberi warna yang berbeda berdasarkan tingkat kepadatan mereka.



Gambar 4. Grafik Data citasi 20 penulis teratas

Hasil analisis bibliometrik menunjukkan bahwa penelitian tentang TDSC telah mengalami peningkatan yang signifikan dalam beberapa tahun terakhir. Penelitian ini dilakukan oleh penulis dari berbagai institusi di berbagai negara. Subjek penelitian yang paling populer meliputi penerapan teknologi IoT dalam lingkungan pembelajaran, penggunaan big data untuk analisis data akademik, dan pengembangan sistem kecerdasan buatan untuk mendukung pembelajaran personalisasi. Hasil ini menggambarkan perkembangan dan minat yang tinggi dalam bidang TDSC di kalangan peneliti di seluruh dunia

3.2 Pembahasan

Fokus riset ini mengkaji tiga generasi pendidikan jarak jauh pedagogi. Tidak seperti klasifikasi sebelumnya pendidikan jarak jauh berdasarkan teknologi yang digunakan, analisis ini berfokus pada pedagogi yang mendefinisikan pengalaman belajar yang dikemas dalam desain pembelajaran. Tiga generasi kognitif-behaviourist, konstruktivis sosial, dan connectivist pedagogi diperiksa, menggunakan model inkuiri komunitas yang sudah dikenal dengan fokus pada sosial, kognitif, dan kehadiran pengajaran. Meskipun tipologi pedagogi ini juga bisa bermanfaatditerapkan pada pendidikan berbasis kampus, kebutuhan dan praktik keterbukaan dankejelasan dalam konten dan proses pendidikan jarak jauh membuat pekerjaankhususnya relevan bagi perancang, guru, dan pengembang pendidikan jarak jauh.Artikel tersebut menyimpulkan bahwa pendidikan jarak jauh berkualitas tinggi mengeksploitasi ketiganya generasi yang ditentukan oleh isi pembelajaran, konteks, dan pembelajaran harapan (Anderson & Dron, 2011).

Model Substitusi, Augmentasi, Modifikasi, dan Redefinisi (SAMR) adalah pendekatan berbasis taksonomi empat tingkat untuk memilih, menggunakan, dan mengevaluasi teknologi dalam pengaturan K-12 (Puentedura 2006). Meskipun popularitasnya semakin meningkat di kalangan praktisi, model SAMR saat ini tidak terwakili dalam literatur yang masih ada. Untuk memfokuskan pembicaraan yang sedang berlangsung mengenai pemahaman dan implementasi teknologi pendidik K-12, kami memberikan tinjauan kritis terhadap model SAMR menggunakan teori dan penelitian sebelumnya. Kami fokus pada ketiadaan konteks, struktur hierarkisnya, dan penekanan pada produk daripada proses dan diakhiri dengan saran untuk memandu upaya integrasi teknologi pendidik dan peneliti (Sabic-El-Rayess, A. & Popov, 2013).

Banyak universitas bercita-cita menjadikan kampusnya smart. Namun, banyak proyek kampus cerdas didorong oleh teknologi. Konsekuensinya, solusi kampus cerdas mungkin tidak memenuhi kebutuhan masyarakat kampus atau sesuai dengan keinginan mereka. Akibatnya, beberapa solusi mungkin tidak mencapai penerimaan dan kepuasan yang tinggi di antara orang-orang sasaran. Makalah ini menyoroti pentingnya konsep kampus cerdas yang berpusat pada manusia melalui penerapannya di kampus St Lucia Universitas Queensland, yang sudah menjadi kampus cerdas, untuk mengidentifikasi kebutuhan komunitas kampus yang tersisa. Identifikasi kebutuhan perbaikan peta kampus menjadi interaktif dan lebih berguna untuk menemukan tempat secara efektif di atasnya, memberikan visualisasi tingkat keramaian di perpustakaan kampus dan deteksi stres untuk menguranginya. (Duan et al., 2023)

Sejumlah besar upaya dan antusiasme yang masuk ke pengembangan dan implementasi lingkungan belajar yang dimediasi teknologi seringkali gagal menciptakan efektifitas pengaturan untuk belajar. Terlalu sering peluang dan keuntungan dari penggunaan teknologi diproses pembelajaran kurang dimanfaatkan. Makalah ini mengeksplorasi cara-cara yang kontemporer prinsip pedagogis dapat menginformasikan dan memandu desain pembelajaran yang dimediasi teknologilingkungan. Makalah ini berpendapat perlunya merencanakan pengaturan pembelajaran berdasarkan makna dan kegiatan dan tugas yang relevan yang didukung dengan cara yang disengaja dan proaktif oleh tutor. (Shrestha et al., 2021). Kajian lain menyajikan dan menjelaskan kerangka kerja yang mendukung proses desain yang terdiri dari tiga strategi kritis: pemilihan tugas pembelajaran; pemilihan penunjang pembelajaran; Dan pemilihan penunjang pembelajaran sebagai strategi pengembangan setting pembelajaran online yang mempromosikan konstruksi pengetahuan. (Oliver & Herrington, 2003)

Perguruan tinggi kejuruan menghadirkan hambatan bagi pengembangan organisasi dan pengetahuan yang dapat memenuhi kebutuhan tersebut kebutuhan kampus pintar. Pada saat yang sama, kampus pintar mempromosikan kelestarian lingkungan dan merangsang meluasnya penggunaan teknologi informasi dan komunikasi baru. Pendidikan Vokasi telah dikembangkan. Ini adalah perguruan tinggi tempat teknologi, peralatan, dan aplikasi menciptakan yang baru pengalaman atau layanan dan memfasilitasi mereka. Smart Campus SMK dikonseptualisasikan sebagai ujian dasar untuk kampus pintar lainnya, dan telah didorong oleh kebutuhan untuk meneliti pendekatan kehidupan yang cerdas dan berkelanjutan, perguruan tinggi, pendidikan kejuruan, pendidikan tinggi dan kegiatan lain yang tidak pernah ditangani secara tuntas. Ini penelitian

mengusulkan konsep Smart Campus Sekolah Vokasi untuk mensimulasikan pembuatan data dengan berbasis IOT jaringan sensor nirkabel di bidang pemantauan lingkungan dan deteksi suasana hati untuk memberikan wawasan tentang kenyamanan tingkat, selain mengeksplorasi kemampuan universitas untuk berpartisipasi dalam proyek keberlanjutan. Hasil awal menyoroti pentingnya pemantauan ruang kerja. (Khampuong et al., 2023)

Teknologi twin digital adalah cara yang signifikan untuk mencapai manufaktur cerdas, dan menyediakan yang baruparadigma untuk diagnosis kesalahan. Metode diagnosis kesalahan berbasis data tradisional sebagian besar mengasumsikan bahwa pelatihan data dan data uji mengikuti distribusi yang sama dan dapat memperoleh data yang cukup untuk melatih yang andal model diagnosis, yang tidak realistis dalam proses produksi yang berubah dinamis. (Mohammadi et al., 2021). Dalam makalah ini kami sajikan metode diagnosis kesalahan berbantuan digital-kembar dua fase menggunakan deep transfer learning (DFDD), yang menyadari diagnosis kesalahan baik dalam fase pengembangan maupun pemeliharaan. Pada awalnya, potensi masalah yang ada tidak dipertimbangkan pada waktu desain dapat ditemukan melalui menjalankan model ultra-high-fidelity di depan ruang virtual, sementara model diagnosis berbasis jaringan saraf dalam (DNN) akan dilatih sepenuhnya. Yang kedua fase, model diagnosis yang dilatih sebelumnya dapat bermigrasi dari ruang virtual ke ruang fisik menggunakan pembelajaran transfer mendalam untuk pemantauan waktu nyata dan pemeliharaan prediktif. Hal ini memastikan akurasi dari diagnosis serta menghindari pemborosan waktu dan pengetahuan. Studi kasus tentang diagnosis kesalahan menggunakan DFDD di lini produksi sisi bodi mobil disajikan. Hasilnya menunjukkan keunggulan dan kelayakan yang kami usulkan metode. (Xu et al., 2019)

Di tengah pandemi COVID-19, tindakan pencegahan dan pengendalian menjadi hal yang biasa, mendorong pengembangan kampus dari digital menjadi cerdas, akhirnya berkembang menjadi bijak. Teknologi mutakhir saat ini termasuk data besar, Internet of Things, komputasi awan, dan kecerdasan buatan mendorong inovasi kampus, tetapi masih ada masalah pemandangan yang tidak intuitif, informasi pemantauan yang tertinggal, pemrosesan yang tidak tepat waktu, dan biaya operasi dan pemeliharaan yang tinggi.(Yan et al., 2022). Penggunaan teknologi digital twin untuk membangun fisik secara digital adegan kampus, sepenuhnya mewakilinya secara digital, secara akurat memetakan kampus fisik ke kampus virtual dengan penginderaan waktu nyata, dan kendalikan dari jarak jauh untuk mencapai kontrol terbalik dari virtual kembar kampus ke kampus fisik. (Antonijevic et al., 2022). Penelitian ini dipandu oleh model teoritis yang diusulkan oleh teknologi kembar digital, menggunakan fotografi kemiringan UAV dan pemodelan 3D untuk membangunnya secara kolaboratif suasana kampus virtual. Pada tahap desain, saluran interaktif dari sistem dikembangkan berbasis pada Unity3D untuk mewujudkan pemantauan real-time, pengambilan keputusan, dan pencegahan data spasial ganda. Skema desain siklus hidup sistem optimasi spiral terbentuk. Modul dari smart sistem kampus dievaluasi menggunakan skala kegunaan sistem berdasarkan pengalaman siswa. Itu hasil percobaan menunjukkan bahwa sistem kampus virtual-real dapat meningkatkan manajemen sekolah dan pengajaran, memberikan implikasi penting untuk mempromosikan pengembangan dan penerapan sistem cerdas kampus. (Han et al., 2022)

Bereksperimen dengan teknologi ini di wilayah geografis yang begitu luas tidak layak. Konsekuensinya, kampus pintar(SCs), yaitu universitas tempat perangkat dan aplikasi teknologi menciptakan pengalaman baru atau layanan dan memfasilitasi efisiensi operasional, memungkinkan eksperimen dalam skala yang lebih kecil, konsepnya SCs sebagai testbed untuk smart city mendapatkan momentum dalam komunitas riset (Wang et al., 2019). Namun demikian, sementara universitas mengakui peran akademik dari pendekatan yang cerdas dan berkelanjutan untuk yang lebih tinggi pendidikan, kehidupan kampus dan kegiatan kemahasiswaan lainnya tetap menjadi misteri yang belum pernah adadipecahkan secara universal. Makalah ini mengusulkan konsep SC untuk menyelidiki integrasi bangunan alat pemodelan informasi dengan jaringan sensor nirkabel berbasis Internet of Things (IoT) di lapangan pemantauan lingkungan dan deteksi emosi untuk memberikan wawasan tentang tingkat kenyamanan. (Zaballos et al., 2020)

Kampus pintar merupakan trend perkembangan dari luas teknologi. Pengembangan dan promosi Internet of Things, peralatan pembelajaran bergerak, jaringan nirkabel peralatan, dan perangkat lunak pintar telah sangat meningkatkan tingkat aplikasi kampus pintar. Konstruksi dari ekosistem pendidikan adalah tujuan, untuk mengeksplorasi aplikasi bidang kecerdasan buatan di kampus pintar, dan untuk mengusulkan strategi pengembangan dari kampus cerdas ke pembangunan kampus "pintar". (Liang, 2020)*

Baru-baru ini, berbagai sensor berbasis dalam ruangan yang dulunya terpisah dari dunia digital, sekarang sekarang terjalin dengannya. Visualisasi data dapat membantu dalam pemahaman jumlah besar informasi. Membangun model berbasis server saat ini, penelitian ini bermaksud untuk menampilkan secara nyatadata lingkungan yang diperoleh oleh agen IoT di lingkungan interior. Sensor terpasang ke Mikrokontroler Arduino digunakan untuk mengumpulkan data lingkungan untuk kampus pintar lingkungan, termasuk suhu udara, intensitas cahaya, dan kelembaban. Ini diusulkan framework menggunakan server sistem dan menyimpan pembacaan sensor, yang kemudian ditampilkan servernya kemampuan tampilan grafis guna meningkatkan kondisi keselamatan dan kenyamanan interior. Itu penyimpanan data real-time seperti itu dengan cara standar dan terorganisir bahkan masih diperiksa meskipun integrasi data sensor dengan model berbasis server kapasitas penyimpanan telah dipelajari akademisi (Sungheetha, 2022). Bangunan cerdas mendukung kebutuhan penghuninya dengan analitik data. Saat ini, bangunan berevolusi dari keberadaan produk untuk menjadi penyedia layanan yang efektif bagi pengguna akhir: dengan demikian, topik hunian menjadi sangat penting. Makalah ini berfokus pada membangun operasi, menunjukkan bagaimana keuntungan dalam mendukung kebutuhan pengguna dapat diperoleh melalui implementasi.

Sistem Manajemen Gedung menjadi lingkungan Pemodelan Informasi Bangunan (BIM), yang terhubung secara real-timeinformasi yang dikumpulkan oleh sensor ke database BIM. Koneksi dan integrasi informasi antara BIM dan BMStelah ditetapkan berdasarkan format data netral Industry Foundation Classes (IFC); apalagi, antarmuka web dan aplikasitelah diuji untuk meningkatkan informasi yang akan divisualisasikan oleh pengguna akhir yang berbeda (Ma et al., 2020) Penelitian yang sedang berlangsung memiliki dua ruang lingkup: 1)untuk menunjukkan bagaimana bangunan harus berkembang, mengelola pengetahuan

yang berasal dari sensor untuk mengantisipasi kebutuhan pengguna,dan 2) untuk menganalisis apakah dan bagaimana sentralitas pengguna harus mengubah proses pembangunan. Alur kerja yang diusulkan telah diuji di Brescia Smart Campus Demonstrator, sebuah gedung yang dilengkapi dengan 94 sensor siap pakai. (Massafra et al., 2022)

Riset lain mempresentasikan penggunaan Digital Twin. Internet of Things dan Teknologi Kecerdasan untuk Secara Cerdas mengembangkan Potensi Manajemen Energi Kampus Dengan menggunakan Digital Twin untuk mengelola konsumsi energi, memungkinkan terciptanya pekerjaan dan kehidupan di kampus, baik secara pribadi. Guru dan siswa, termasuk penyandang disabilitas, memiliki kualitas hidup yang lebih baik. Tinggal di kampus lebih nyaman Kumpulkan data konsumsi energi, organisasi untuk mengelola sistem manajemen daya, kurangi konsumsi energi, sederhanakan manajemen di semua departemen, dan kurangi biaya kampus. Dapat memantau konsumsi energi dan penggunaan peralatan pendidikan di kampus secara transparan, terutama manajemen biaya dan pengeluaran, dan konsumsi energi berkelanjutan, serta manajemen. Mengontrol data pemakaian, hasil konsumsi energi, dan alokasi anggaran terkait institusi pendidikan dapat menciptakan kehandalan dalam mengelola informasi energi listrik dan hasil asesmen kompetensi energi, serta dapat direkam dan dikontrol di Digital Twin yang seolah-olah dengan pusat kendali . IoT dan *Cloud Computing* juga terintegrasi dengan sistem AI yang tertanam dalam peralatan canggih untuk digunakan dalam manajemen lingkungan dan manajemen energi cerdas. Serta menciptakan model dan manajemen energi baru yang dapat mengatasi keadaan darurat di masa depan dengan mengendalikan energi virtual di dalam organisasi dari luar kapan saja, di mana saja. (Hutachok et al., 2021)

Teknologi informasi memainkan peran penting dan menuju ke semua prospek pendidikan dan manajemen seperti ide pendidikan, metode, model, pedagogi dan konsep teknologi. Makalah ini memperkenalkan kegunaan dan fungsi kerja sistem kampus cerdas. Dengan mempertimbangkan kesulitan dan permasalahan yang dihadapi lembaga dan manajemen pendidikan. Makalah ini memperkenalkan metode baru kampus pintar yang berfokus pada Internet of Things. Tulisan ini akan menjelaskan ide smart campus melalui pemanfaatan internet of technology (IoT), melalui smart campus. Infrastruktur perguruan tinggi jelas terhubung melalui penyedia layanan eksternal atau pihak ketiga secara online. Oleh karena itu pendekatan pengajaran mungkin telah dilakukan secara real time. Pekerjaan ini telah dilakukan di sekolah pintar, ruang kelas pintar, dan parkir mobil pintar. Yang pada akhirnya akan mengembangkan praktik belajar mengajar dengan cara yang lebih santai, efektif dan efisien bagi staf dan siswa. (Song et al., 2019)

Penelitian lintas budaya dan lintas organisasi interdisipliner menawarkan peluang besar untuk terobosan inovatif di bidang kota pintar, namun juga menghadirkan rintangan pengembangan organisasi dan pengetahuan. Smart city harus menjadi kota besar yang mampu menopang kebutuhan warganya sekaligus mengedepankan kelestarian lingkungan. Kota pintar memicu meluasnya penggunaan teknologi informasi dan komunikasi baru (TIK); namun, bereksperimen dengan teknologi ini di wilayah geografis yang begitu luas tidaklah mungkin. (Botín-Sanabria et al., 2022). Akibatnya, kampus cerdas (SC), yang merupakan universitas tempat perangkat dan aplikasi teknologi menciptakan pengalaman atau layanan baru dan memfasilitasi efisiensi operasional,

memungkinkan eksperimen dalam skala yang lebih kecil, konsep SC sebagai testbed untuk kota pintar mendapatkan momentum dalam penelitian. masyarakat. Namun demikian, sementara universitas mengakui peran akademik dari pendekatan yang cerdas dan berkelanjutan untuk pendidikan tinggi, kehidupan kampus dan aktivitas mahasiswa lainnya tetap menjadi misteri, yang tidak pernah terpecahkan secara universal. Makalah ini mengusulkan konsep SC untuk menyelidiki integrasi alat pemodelan informasi bangunan dengan jaringan sensor nirkabel berbasis Internet of Things (IoT) di bidang pemantauan lingkungan dan deteksi emosi untuk memberikan wawasan tentang tingkat kenyamanan (Zaballos et al., 2020). Selain itu, ini mengeksplorasi kemampuan universitas untuk berkontribusi pada proyek keberlanjutan lokal dengan berbagi pengetahuan dan pengalaman di tim multidisiplin. Hasil awal menyoroti pentingnya pemantauan ruang kerja karena produktivitas terbukti dipengaruhi langsung oleh parameter lingkungan. Infrastruktur pemantauan kenyamanan juga dapat digunakan kembali untuk memantau parameter fisik dari tempat pendidikan untuk meningkatkan efisiensi energi. (Khampuong et al., 2023)

Akuisisi data dan pengembangan berbagai opsi dalam sistem produksi dan perencanaan pabrik membutuhkan hingga 2/3dari total sumber daya waktu yang dibutuhkan. Digitalisasi sistem produksi menawarkan kemungkinan akuisisi data otomatis.Namun demikian, pendekatan mengenai sistem akuisisi data yang sepenuhnya otomatis tidak tersebar luas di kalangan UKM (kecil dan usaha menengah). Di satu sisi, hal ini disebabkan oleh database yang heterogen, di sisi lain oleh kurangnya datasistem pemrosesan. (Uhlemann et al., 2017)

UKM tentang masalah Industri 4.0. Dalam rangka transfer ilmu tentang manfaat digitalisasi, perkembangan mendemonstrasikan platform sangat penting. Makalah ini memperkenalkan konsep berbasis pabrik pembelajaran untuk menunjukkan potensi dankeuntungan dari akuisisi data real time dan pemrosesan data berbasis simulasi berikutnya. Sebab, sudah ada learning factory akan ditingkatkan mengenai kedua, teknologi akuisisi data multi-modal serta pengoptimalan independen lokal lingkungan. Demikian persyaratan UKM tentang digitalisasi yang fleksibel, mudah digunakan, terukur dan berorientasi layanan aplikasi terpenuhi. Pendekatan tersebut merupakan bagian dari konsep realisasi Cyber Physical Production. (Ma et al., 2020)

Menurut undang-undang otoritas Eropa baru-baru ini, pengurangan emisi CO2 adalah salah satu target utama, untuk mencapai netralitas iklim. Namun, di bawah kerangka Industri 4.0, beberapa teknologi dan teknik digital telah diperkenalkan. Lagi khususnya, teknik simulasi lanjutan, seperti Digital Twins juga diintegrasikan dalam sistem manufaktur modern untuk pemantauan sebagai optimalisasi proses produksi. Oleh karena itu, mengingat distribusi dan konsumsi energi sangat fluktuatif, maka ada kebutuhan yang muncul untuk memperkirakan permintaan energi, serta untuk mendistribusikan energi dengan cara terbaik, sehingga proses manufaktur dapat dilakukan tidak terganggu (Zheng et al., 2022). Konsekuensinya, kontribusi penelitian ini difokuskan pertama pada pemodelan Smart Grid, kemudian pada desain dan pengembangan Digital Twin dari Smart Grid yang dimodelkan, dan untuk pengembangan model/algoritma pengoptimalan yang sesuai untuk listrik distribusi energi. Kerangka distribusi energi yang diusulkan dapat direalisasikan sebagai platform, di mana pelanggan energi dapat melakukannya mendaftarkan perusahaan mereka ke Smart Grid dan

menggunakan layanan pengoptimalan untuk mengoptimalkan profil energi mereka. Dengan demikian, kerangka ini bisa dianggap sebagai Product-Service System (PSS), yang ditawarkan oleh pemasok energi. Penerapan kerangka kerja simulasi divalidasi dalam Kampus Universitas (Mourtzis et al., 2021).

Sebagai bagian dari Inisiatif Kampus Cerdas California Polytechnic State University (Cal Poly), atim fakultas multidisiplin dari perguruan tinggi teknik dan arsitektur, sedang mengembangkan adigital twin Cal Poly Campus yang dapat mewakili dan mengoptimalkan kehidupan kampus sehari-hari dan kegiatan. Dalam makalah ini, kami telah membahas manfaat, tantangan, dan peluang Cal Poly digital twin, dan memberikan rekomendasi untuk penerapan Digital Twin di pendidikan yang lebih tinggi. Kembar digital adalah model digital, simulasi, dan representasi fisik obyek (Mohammadi et al., 2021). Penerapan teknologi ini berkembang dari disiplin lingkungan binaan seperti konstruksi, dan perencanaan, hingga manufaktur dan perawatan kesehatan. Konsep yang mendasari digital kembar sebagai "model perangkat lunak dinamis dari benda atau sistem fisik" yang kurang dieksplorasi peluang dalam berbagai disiplin ilmu. Tim peneliti menguji model digital twin dengan menggabungkan teknologi RFID dan BIM untuk mengintegrasikan berbagai jenis data real-time,dari data lingkungan hingga pergerakan siswa, untuk membuat alat yang berguna untuk pengambilan keputusan berdasarkan data membuat lintas unit kampus. Makalah ini juga membahas manfaat dari keterlibatan siswa dalam proses pengembangan kampus digital twin melalui kerjasama dengan perusahaan sepertiAutodesk dan Amazon Web Service (AWS). Hasil proyek percontohan dan diskusi yang disajikan dapat digunakan untuk aplikasi yang lebih besar di kampus dan komunitas lain, sambil menangani berbagai masalah privasi, keamanan, dan etika. (Bdiwi et al., 2019)

Digital twin (DT) semakin populer karena dampaknya yang signifikan dalam menjembatani kesenjangan antara fisik dandunia maya. Seperti yang dilaporkan oleh *Grand View Research, Inc*., pasar global DT diperkirakan akan mencapai $26,07 miliar pada tahun 2025.dengan Tingkat Pertumbuhan Tahunan Gabungan sebesar 38,2% Meningkatnya adopsi sistem cyber-physical (CPS), Internet of Things, besaranalitik data, dan komputasi awan di sektor manufaktur telah membuka jalan untuk implementasi biaya rendah dan sistematis DT, dengan dampak yang menjanjikan pada (a) desain dan pengembangan produk, (b) pemantauan kesehatan mesin dan peralatan, dan (c)dukungan produk dan layanan. Implementasi DT yang sukses akan meningkatkan transparansi, kerjasama, fleksibilitas, ketahanan,kecepatan produksi, skalabilitas, dan efisiensi produksi. Realisasi manufaktur pintar membutuhkan kolaboratif daninteraksi otonom antara penginderaan, jaringan, dan sumber daya komputasi di seluruh aset manufaktur di mana datadikumpulkan dari sistem fisik digunakan untuk ekstraksi wawasan yang dapat ditindaklanjuti dan penyediaan layanan prediktif. Di dalam studi, arsitektur referensi berdasarkan pembelajaran mendalam, DT, dan 5C-CPS diusulkan untuk memfasilitasi transformasi menujumanufaktur cerdas dan Industri 4.0. (Lee et al., 2020)

Mikrogrid kampus pintar dipertimbangkan dalam makalah ini, dengan tujuan menyoroti penerapannya dalam kerangka transisi energi berkelanjutan. Khususnya kampus Universitas Hellenic Mediterranean University (HMU) di Heraklion, Kreta, Yunani, dipilih sebagai studi kasusuntuk menyoroti keunggulan beberapa mikrogrid kampus. Kreta mewakili pulau yang menarikkasus sistem tenaga, karena kapasitas

sumber energi terbarukan yang tinggi dan pariwisata musim panas yang besarindustri. Ada juga kepadatan universitas dan kampus penelitian yang tinggi, menjadikannya kampuskonsep microgrid solusi yang menjanjikan untuk transisi energi dan dekarbonisasi pulau. (Komninos & Tsigkas, 2022)

Dalam hal ini, arah kebijakan yang dapat memfasilitasi pengembangan microgrid kampus pintarjuga diberikan, untuk memotivasi daerah dengan karakteristik serupa. Untuk studi kasus yang dilakukan, theHMU microgrid diasumsikan terdiri dari sistem PV, turbin angin, sistem penyimpanan energi baterai dan pengisi daya E. (Tsado et al., 2022). Analisis mengeksplorasi kelayakan keuangan dan dampak lingkungan tersebut investasi melalui ukuran optimal dari sistem yang sedang diselidiki, sementara sensitivitasanalisis mengenai biaya sistem baterai juga dilakukan. Selain keuntungan finansial dariinvestasi, terbukti bahwa jaringan utama mengalami pengurangan beban yang signifikan, denganmicrogrid bertindak sebagai penghasil RES selama berjam-jam, sehingga meningkatkan kecukupan sistem. Lebih-lebih lagi,terlihat bahwa lokasi HMU membuat investasi lebih berkelanjutan dibandingkan dengan yang lainlokasi di Eropa utara, seperti Stockholm dan London. Metodologi dan turunannyahasilnya diharapkan dapat memotivasi investasi tersebut, terutama di daerah dengan kapasitas RES tinggi dan a kepadatan universitas dan kampus penelitian yang tinggi (Paspatis et al., 2022).

Kampus Cerdas dapat diintegrasikan dengan smart kecil kota di mana pengalaman belajar dan kondisi kehidupan beradaditingkatkan oleh lingkungan cerdas dan konsep IoT. Dalam makalah ini,kami mempersembahkan (R)evo Campus berdasarkan solusi Smart Campus kamidialihkan platform protokol Interoperable Rumah pintar, mikro pengontrol ESP32, sensor berbiaya rendah. Arsitektur ini menggunakan atpada saat yang sama prinsip-prinsip IoT, teknologi lingkungan cerdas,dan konsep kota pintar untuk mengembangkan penggunaan yang efektif darisumber daya, dan untuk meningkatkan kualitas hidup di dalam keseluruhan Universitas. Dalam solusi yang diusulkan, protokol Wi-Fi digunakanuntuk komunikasi di dalam ruangan sedangkan komunikasi di luar ruangandipastikan oleh protokol LoRaWAN. (Debauche et al., 2020)

Pendidikan cerdas adalah arah baru dari informatisasi pendidikan,itu juga merupakan persyaratan baru reformasi dan pengembangan pendidikan Tiongkok serta modernisasi pendidikan. Perkembangansmart education perlu membangun smart campus. Dan pembangunan smart campus perlu membangun pembangunan yang progresifide, dan menggunakan teknologi canggih untuk berlatih dan mengeksplorasi. Didasar untuk menguraikan latar belakang dan konotasi perkembangankampus pintar, artikel mengambil Universitas Sichuan sebagaicontoh untuk secara sistematis memperkenalkan ide-ide dan eksplorasi spesifik dan praktek pembangunan kampus pintar. Artinya,mengambil "membangun ekosistem kampus cerdas" sebagai konstruksikonsep, mengambil persepsi cerdas, integrasi cerdas, analisis cerdas, dan layanan cerdas sebagai jalur konstruksi. Pengalaman daripembangunan kampus pintar di Universitas Sichuan memiliki arti referensi yang baik untuk pembangunan kampus pintar di Cina (Chen, 2020).

Pekerjaan ini memvalidasi dan menunjukkan potensi metodologi berdasarkan sistem pemantauan berkelanjutan dengan pengukuran waktu nyata, sebagai dukungan utama untuk membuat keputusan tentang sistem energi bangunan

berdasarkan data kuantitatif. Untuk pekerjaan ini, metodologi pemantauan berbasis loop terus menerus dirancang dan diimplementasikan untuk meningkatkan kinerja sistem *Heating Ventilation and Air Conditioning* (HVAC) dengan meningkatkan efisiensi energi bangunan universitas dan kualitas hidup orang yang menggunakannya. Hasil dari studi kasus, yang digunakan untuk mendemonstrasikan metodologi yang diusulkan, dapat diekstrapolasi ke seluruh universitas untuk mengubahnya menjadi kampus yang cerdas. Studi kasus juga menunjukkan bahwa pengukuran suhu secara terus menerus memungkinkan untuk menghindari pemanasan yang berlebihan, mengurangi konsumsi energi yang tidak perlu. Selain itu, studi kasus menunjukkan pentingnya pemantauan konsentrasi CO2 di ruangan yang tingkat huniannya berfluktuasi, karena hal ini memungkinkan kontrol sistem HVAC berdasarkan tingkat CO2 sesaat (dan dapat diprediksi segera setelahnya). Pengukuran yang diusulkan ini dapat menghemat antara 40% dan 70% konsumsi energi HVAC. Hasil positif yang diperoleh dalam penelitian ini menunjukkan bahwa penerapan ekosistem pintar Internet of Things (IoT) berkontribusi untuk mempromosikan keputusan berbasis data di gedung perguruan tinggi publik di antara pembuat keputusan, politisi, dan pemangku kepentingan lainnya (Clausen et al., 2021).

Manajemen kampus tradisional menghadapi masalah seperti biaya tinggi, perawatan sulit, efisiensi rendah, pemborosan energi dan sebagainya. Pembangunan kampus pintar adalah tren perkembangan perguruan tinggi dan universitas yang tak terhindarkan. Berdasarkan penelitian IOT cerdas, makalah ini lebih lanjut mengintegrasikan citra akurat kembar digital dan teknologi pemodelan informasi evolusi dinamis untuk membangun manajemen kampus yang cerdas dan mengontrol platform cloud, sehingga dapat mengurangi biaya, mengurangi konsumsi energi, meningkatkan pemanfaatan aset dan peralatan, dan membuat hidup dan belajar nyaman dan nyaman bagi guru dan siswa (Huang et al., 2022).

4. Kesimpulan

Hasil analisis menyoroti kontribusi TDSC dalam meningkatkan efisiensi operasional, meningkatkan pengalaman mahasiswa, dan memfasilitasi adaptasi terhadap perubahan lingkungan pembelajaran yang dinamis. Temuan ini memberikan wawasan yang berharga bagi pengembangan dan penerapan strategi TDSC yang lebih efektif dalam mendukung transformasi pendidikan tinggi ke arah yang lebih adaptif dan responsif secara digital. Analisis bibliometrik menggunakan VOS Viewer ini telah memberikan wawasan yang berharga tentang penelitian yang telah dilakukan dalam konteks TDSC. Penelitian ini menunjukkan bahwa TDSC adalah topik yang menarik dan berkembang dalam pendidikan tinggi. Hasil analisis ini dapat digunakan sebagai panduan bagi peneliti dan praktisi dalam mengidentifikasi tren penelitian, kolaborasi yang potensial, serta memberikan pemahaman yang lebih baik tentang perkembangan TDSC secara keseluruhan.

Daftar Pustaka

Anderson, T., & Dron, J. (2011). Three generations of distance education pedagogy. *International Review of Research in Open and Distance Learning*, *12*(3), 80–97. https://doi.org/10.19173/irrodl.v12i3.890

Antonijevic, P., Iqbal, M., Ubakanma, G., & ... (2022). The Metaverse evolution: Toward Future Digital Twin Campuses. *2022 Human …*. https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/10090250/

Bdiwi, R., de Runz, C., Faiz, S., & Cherif, A. A. (2019). Smart learning environment: Teacher's role in assessing classroom attention. In *Research in Learning Technology* (Vol. 27). Association for Learning Technology. https://doi.org/10.25304/rlt.v27.2072

Botín-Sanabria, D. M., Mihaita, A. S., Peimbert-García, R. E., & ... (2022). Digital twin technology challenges and applications: A comprehensive review. *Remote Sensing*. https://www.mdpi.com/2072-4292/14/6/1335

Chen, X. (2020). Exploration and practice of the construction of smart campus——Taking Sichuan university as an example. *ACM International Conference Proceeding Series*, 36–41. https://doi.org/10.1145/3429630.3429647

Clausen, A., Arendt, K., Johansen, A., Sangogboye, F. C., & ... (2021). A digital twin framework for improving energy efficiency and occupant comfort in public and commercial buildings. In *Energy …*. Springer. https://doi.org/10.1186/s42162-021-00153-9

Debauche, O., Abdelouahid, R. A., Mahmoudi, S., Moussaoui, Y., Marzak, A., & Manneback, P. (2020). RevoCampus: A Distributed Open Source and Low-cost Smart Campus. *3rd International Conference on Advanced Communication Technologies and Networking, CommNet 2020*. https://doi.org/10.1109/CommNet49926.2020.9199640

Duan, H., Gao, S., Yang, X., & Li, Y. (2023). The development of a digital twin concept system. In *Digital Twin*. digitaltwin1.org. https://digitaltwin1.org/articles/2-10

Grundström, M., & Ferrari, S. (n.d.). DESIGNING SUSTAINABLE AVIATION SOLUTIONS WITH DIGITAL TWIN APPROACH. In *icas.org*. https://www.icas.org/ICAS_ARCHIVE/ICAS2022/data/papers/ICAS2022_0967_paper.pdf

Han, X., Yu, H., You, W., Huang, C., Tan, B., Zhou, X., & Xiong, N. N. (2022). *Intelligent Campus System Design Based on Digital Twin*. 1–20.

Hasan, M., Abedin, M. Z., Amin, M. Bin, Nekmahmud, M., & Oláh, J. (2023). Sustainable biofuel economy: A mapping through bibliometric research. *Journal of Environmental Management*, *336*. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.117644

Huang, S., Wang, G., Lei, D., & Yan, Y. (2022). Toward digital validation for rapid product development based on digital twin: a framework. In *The International Journal of Advanced …*. Springer. https://doi.org/10.1007/s00170-021-08475-4

Hutachok, N., Koonyosying, P., Pankasemsuk, T., Angkasith, P., Chumpun, C., Fucharoen, S., & Srichairatanakool, S. (2021). Chemical analysis, toxicity study, and free-radical scavenging and iron-binding assays involving coffee (Coffea arabica) extracts. *Molecules*, *26*(14). https://doi.org/10.3390/molecules26144169

Jiang, J., Zang, S., Li, D., Wang, K., Tian, S., Yu, A., & Zhang, Z. (2018). Determination of antioxidant capacity of thiol-containing compounds by electron spin resonance spectroscopy based on Cu2+ ion reduction. *Talanta*, *184*, 23–28. https://doi.org/10.1016/j.talanta.2018.02.098

Khampuong, P., Chairungruang, S., Rodcharoen, P., Leelittham, C., Eak-ieamvudtanakul, P., Kumpuang, C., & Chompoowong, P. (2023). Smart Campus Vocational College with Digital Twin for Sustainable Comfort Monitoring. *International Journal of Educational Communications and Technology*, *3*(1), 10–22. https://ph01.tci-thaijo.org/index.php/IJECT/article/view/248609

Komninos, A., & Tsigkas, G. (2022). Prototyping a Digital Twin System for Environmental Education. *Proceedings of the 26th Pan-Hellenic …*. https://doi.org/10.1145/3575879.3576018

Lee, J., Azamfar, M., Singh, J., & Siahpour, S. (2020). Integration of digital twin and deep learning in cyber-physical systems: Towards smart manufacturing. *IET Collaborative Intelligent Manufacturing*, *2*(1), 34–36. https://doi.org/10.1049/iet-cim.2020.0009

Liang, W. (2020). *Analysis of the Application of Artificial Intelligence*. 882–885.

Ma, J., Chen, H., Zhang, Y., Guo, H., Ren, Y., Mo, R., & ... (2020). A digital twin-driven production management system for production workshop. *The International Journal …*. https://doi.org/10.1007/s00170-020-05977-5

Massafra, A., Predari, G., & Gulli, R. (2022). Towards Digital Twin Driven Cultural Heritage Management: A Hbim-Based Workflow For Energy Improvement Of Modern …. In *ISPRS Annals of Photogrammetry …*. researchgate.net. https://www.researchgate.net/profile/Angelo-Massafra/publication/358504358_Towards_digital_twin_driven_cultural_heritage_management_a_hbim-based_workflow_for_energy_improvement_of_modern_buildings/links/62052b8bcf7c2349ca075eec/towards-digital-twin-driven

Mohammadi, A. M., Hajrasouliha, A., Cleary, J. P., & Woo, J. H. (2021). The Smart Campus as a Testing Ground for Smart Cities. *ASEE Annual Conference and Exposition, Conference Proceedings*.

Mourtzis, D., Angelopoulos, J., Panopoulos, N., & ... (2021). A smart IoT platform for oncology patient diagnosis based on ai: towards the human digital twin. *Procedia CIRP*. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212827121011823

Oliver, R., & Herrington, J. (2003). Exploring Technology-Mediated Learning from a Pedagogical Perspective. *Interactive Learning Environments*, *11*(2), 111–126. https://doi.org/10.1076/ilee.11.2.111.14136

Paspatis, A., Fiorentzis, K., Katsigiannis, Y., & Karapidakis, E. (2022). Smart Campus Microgrids towards a Sustainable Energy Transition—The Case Study of the Hellenic Mediterranean University in Crete. *Mathematics*, *10*(7). https://doi.org/10.3390/math10071065

Pears, A., Barendsen, E., Dagienė, V., Dolgopolovas, V., & Jasutė, E. (2019). Holistic STEAM Education Through Computational Thinking: A Perspective on Training Future Teachers. *Lecture Notes in Computer Science (Including Subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, *11913 LNCS*. https://doi.org/10.1007/978-3-030-33759-9_4

Razzaq, S., Shah, B., Iqbal, F., Ilyas, M., Maqbool, F., & Rocha, A. (2022). DeepClassRooms: a deep learning based digital twin framework for on-campus class rooms. *Neural Computing and Applications*, *35*(11), 8017–8026. https://doi.org/10.1007/s00521-021-06754-5

Sabic-El-Rayess, A. & Popov, N. (2013). Education in one world: Perspectives from different nations. In *Bulgarian Comparative Education Society*.

Sharma, A., Kosasih, E., Zhang, J., Brintrup, A., & Calinescu, A. (2022). Digital Twins: State of the art theory and practice, challenges, and open research questions. *Journal of Industrial Information Integration*, *30*(August). https://doi.org/10.1016/j.jii.2022.100383

Shrestha, Y. R., Krishna, V., & von Krogh, G. (2021). Augmenting organizational decision-making with deep learning algorithms: Principles, promises, and challenges. *Journal of Business Research*, *123*. https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2020.09.068

Song, E. Y., Burns, M., Pandey, A., & ... (2019). IEEE 1451 smart sensor digital twin federation for IoT/CPS research. *2019 IEEE Sensors …*. https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8706111/

Sungheetha, A. (2022). Assimilation of IoT sensors for Data Visualization in a Smart Campus Environment. *Journal of Ubiquitous Computing and Communication Technologies*, *3*(4), 241–252. https://doi.org/10.36548/jucct.2021.4.001

Tsado, Y., Jogunola, O., Olatunji, F. O., & ... (2022). A Digital Twin Integrated Cyber-physical Systems for Community Energy Trading. *… Technologies for Smart …*. https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9961012/

Uhlemann, T. H. J., Schock, C., Lehmann, C., Freiberger, S., & Steinhilper, R. (2017). The Digital Twin: Demonstrating the Potential of Real Time Data Acquisition in Production Systems. *Procedia Manufacturing*, *9*, 113–120. https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.04.043

Wang, L., Xiao, R., & Mo, J. (2019). Quantitative detection method of semiquinone free radicals on particulate matters using electron spin resonance spectroscopy. *Sustainable Cities and Society*, *49*, 101614. https://doi.org/10.1016/J.SCS.2019.101614

WANG, X., WANG, L., YU, Y., AO, Z., & SUN, L. (2022). Survey on Characteristics, Architecture and Applications of Digital Twin Power Grid. 电子与信息学报. https://doi.org/10.11999/JEIT220629

Wu, J., Huang, Z., Hang, P., Huang, C., & ... (2021). Digital twin-enabled reinforcement learning for end-to-end autonomous driving. *… Conference on Digital …*. https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9540179/

Xu, Y., Sun, Y., Liu, X., & Zheng, Y. (2019). A Digital-Twin-Assisted Fault Diagnosis Using Deep Transfer Learning. *IEEE Access*, *7*, 19990–19999. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2890566

Yan, J., Lu, Q., Fang, Z., Li, N., Chen, L., & ... (2022). From building to city level dynamic digital Twin: a review from data management perspective. *IOP Conference Series …*. https://doi.org/10.1088/1755-1315/1101/9/092033

Zaballos, A., Briones, A., Massa, A., Centelles, P., & Caballero, V. (2020). A smart campus' digital twin for sustainable comfort monitoring. *Sustainability (Switzerland)*, *12*(21), 1–33. https://doi.org/10.3390/su12219196

Zheng, T., Liu, M., Puthal, D., Yi, P., Wu, Y., & He, X. (2022). Smart Grid: Cyber Attacks, Critical Defense Approaches, and Digital Twin. *ArXiv Preprint ArXiv …*. https://arxiv.org/abs/2205.11783