

BIM UNTUK MASA DEPAN BANGUNAN BERSEJARAH : METODE DOKUMENTASI DAN PERMODELAN DI INDONESIA

Stephanus Wirawan Dharmatanna (stephanus.dharmatanna@petra.ac.id)¹

Universitas Kristen Petra¹

ABSTRACT

Perkembangan kota yang pesat sering kali mengancam kelestarian bangunan bersejarah, terutama yang belum memiliki dokumentasi yang memadai. Tanpa dokumentasi arsitektur yang akurat, informasi tentang bentuk, struktur, dan elemen arsitektural dapat hilang, menghambat upaya konservasi. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis metode dokumentasi dan pemodelan digital yang diterapkan pada bangunan bersejarah di Indonesia serta mengevaluasi kelebihan, keterbatasan, dan prospek teknologi tersebut. Metode penelitian yang digunakan adalah studi literatur dengan mengkaji berbagai sumber akademik terkait Building Information Modeling (BIM), fotogrametri, pemindaian laser (LiDAR), dan teknologi digital lainnya. Analisis dilakukan terhadap efektivitas, tantangan implementasi, serta potensi pengembangan ke depan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode digital seperti BIM dan LiDAR memberikan akurasi tinggi dalam dokumentasi dan pemodelan bangunan bersejarah. Namun, tantangan utama meliputi keterbatasan tenaga ahli, biaya investasi tinggi, serta kurangnya standar regulasi nasional dalam digitalisasi cagar budaya. Kesimpulannya, meskipun teknologi digital berpotensi meningkatkan efektivitas pelestarian bangunan bersejarah, diperlukan strategi holistik yang mencakup regulasi, edukasi, serta dukungan kebijakan pemerintah untuk memastikan keberlanjutan digitalisasi warisan budaya di Indonesia.

Kata Kunci : BIM, Dokumentasi Digital, Bangunan Bersejarah, Konservasi, Teknologi Digital.

The urban sprawl often threatens the preservation of historic buildings, especially those that lack adequate documentation. Without accurate architectural documentation, information about architectural forms, structures and elements can be lost, hampering conservation efforts. This research aims to analyse digital documentation and modelling methods applied to historic buildings in Indonesia and evaluate the advantages, limitations and prospects of these technologies. The research method used is a literature study by reviewing various academic sources related to Building Information Modelling (BIM), photogrammetry, laser scanning (LiDAR), and other digital technologies. The effectiveness, implementation challenges, and potential for future development were analysed. The results show that digital methods such as BIM and LiDAR provide high accuracy in the documentation and modelling of historic buildings. However, the main challenges include limited expertise, high investment costs, and the lack of national regulatory standards in digitisation of cultural heritage. In conclusion, while digital technology has the potential to improve the effectiveness of historic preservation, a holistic strategy that includes regulation, education, and government policy support is needed to ensure the sustainability of digitisation of cultural heritage in Indonesia.

Key Words: BIM, Digital Documentation, Historic Buildings, Conservation, Digital Technology.

PENDAHULUAN

Perkembangan kota yang pesat sering kali mengancam kelestarian bangunan bersejarah, terutama yang belum memiliki dokumentasi yang memadai. Banyak bangunan bersejarah yang mengalami perubahan fungsi, renovasi yang tidak sesuai dengan karakter aslinya (Katunský et al., 2024), atau bahkan mengalami pembongkaran akibat kebutuhan lahan dan kurangnya kesadaran akan nilai sejarah yang dikandungnya (Yung et al., 2017). Seiring dengan perkembangan zaman, banyak bangunan bersejarah yang mengalami perubahan, kerusakan, atau bahkan hilang akibat kurangnya perhatian terhadap pelestarian arsitektur tradisional (Oxley, 2015). Sayangnya, tanpa dokumentasi arsitektur yang memadai, informasi mengenai bentuk, struktur, dan elemen arsitektural bangunan ini dapat hilang. Dokumentasi arsitektur menjadi penting untuk memastikan bahwa pengetahuan tentang bangunan bersejarah tetap terjaga dan dapat digunakan sebagai acuan dalam upaya konservasi serta restorasi di masa depan (Letellier & Eppich, 2015). Selain itu, dokumentasi ini dapat menjadi sumber referensi bagi akademisi, arsitek, dan pihak terkait dalam memahami lebih dalam tentang warisan budaya yang ada.

Namun, di tengah penerapan teknologi digital dalam dokumentasi dan pemodelan bangunan bersejarah di Indonesia, masih terdapat berbagai tantangan. Ketersediaan sumber daya manusia yang terampil dalam teknologi ini masih terbatas, begitu pula dengan infrastruktur pendukung seperti perangkat pemindaian beresolusi tinggi dan sistem pengelolaan data yang efektif. Selain itu, standar dalam digitalisasi bangunan bersejarah di Indonesia belum sepenuhnya terintegrasi dengan regulasi nasional maupun internasional terkait pelestarian cagar budaya. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi dan menganalisis metode dokumentasi serta pemodelan digital yang telah diterapkan pada bangunan bersejarah di Indonesia, termasuk kelebihan, keterbatasan, serta prospeknya di masa depan. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi bagi akademisi, praktisi, serta pemangku kebijakan dalam mengembangkan strategi pelestarian bangunan bersejarah berbasis teknologi digital di Indonesia.

TINJAUAN PUSTAKA

Konsep Teknologi Digital dalam Arsitektur:

Teknologi digital dalam arsitektur mengacu pada penggunaan perangkat lunak, perangkat keras, dan teknik berbasis digital dalam proses perancangan, konstruksi, serta pelestarian bangunan (Chen et al., 2023)). Ini mencakup berbagai teknologi seperti Building Information Modeling (BIM), pemodelan 3D, kecerdasan buatan (AI), realitas virtual (VR) dan realitas tertambah (AR), serta pemindaian laser (LiDAR) untuk dokumentasi dan analisis bangunan (Puerto et al., 2024).

Metode Dokumentasi Digital pada Bangunan Bersejarah:

Dokumentasi digital pada bangunan bersejarah bertujuan untuk merekam, menganalisis, dan melestarikan warisan arsitektur secara akurat menggunakan teknologi modern. Salah satu teknik yang umum digunakan adalah *fotogrametri*, yaitu metode yang mengandalkan foto dari berbagai sudut untuk menghasilkan model 3D dengan bantuan perangkat lunak seperti *Agisoft Metashape* atau *Reality Capture* (Moyano et al., 2020). Teknik ini lebih murah dibandingkan pemindaian laser dan cocok untuk dokumentasi fasad serta detail ornamen, meskipun memiliki keterbatasan dalam menangkap elemen dalam bangunan. Sementara itu, laser scanning (LiDAR – *Light Detection and Ranging*) menggunakan sensor pemindai laser untuk menangkap bentuk dan dimensi bangunan dalam bentuk point cloud, yang kemudian diproses menggunakan *software* seperti Autodesk ReCap atau *FARO Scene* (Liu et al., 2023). Teknologi ini menawarkan akurasi tinggi dan mampu mendokumentasikan struktur kompleks, baik eksterior maupun interior, namun membutuhkan

biaya yang besar dan waktu pemindaian yang cukup lama.

Selain itu, *Building Information Modeling* (BIM) juga berperan dalam pelestarian bangunan bersejarah dengan mengintegrasikan data dari *laser scanning* atau *fotogrametri* ke dalam perangkat lunak seperti Autodesk Revit (Solla et al., 2020). BIM memungkinkan simulasi rekonstruksi dan perencanaan restorasi dengan informasi detail terkait material serta kondisi struktural bangunan. Sementara itu, *Augmented Reality* (AR) dan *Virtual Reality* (VR) memungkinkan eksplorasi *virtual* dari bangunan bersejarah dengan merekonstruksi model digital interaktif yang dapat diakses melalui *headset* VR atau aplikasi AR (Boboc et al., 2022).

Penerapan Teknologi Digital dalam Pelestarian Bangunan Bersejarah:

Teknologi digital telah menjadi alat penting dalam konservasi dan restorasi bangunan bersejarah di berbagai belahan dunia, termasuk di Indonesia. Studi literatur menunjukkan bahwa implementasi teknologi digital dalam pelestarian arsitektur warisan budaya semakin berkembang, dengan berbagai metode seperti fotogrametri, laser scanning, *Building Information Modeling* (BIM), dan teknologi berbasis sensor.

Di tingkat global, berbagai proyek telah memanfaatkan laser scanning (LiDAR) untuk mendokumentasikan bangunan bersejarah dengan presisi tinggi. Salah satu contoh adalah proyek rekonstruksi Katedral Notre-Dame di Paris, yang mengalami kebakaran pada tahun 2019 (Mouaddib et al., 2024). Pemindaian laser yang telah dilakukan sebelum kebakaran memungkinkan rekonstruksi yang lebih akurat berdasarkan data digital yang tersedia. Demikian pula, Petra di Yordania dan berbagai situs arkeologi di Mesir telah dipindai menggunakan LiDAR untuk mendokumentasikan dan melindungi struktur yang rentan terhadap erosi dan kerusakan lingkungan (Angelini et al., 2023).

Di Indonesia, penggunaan teknologi digital dalam konservasi bangunan bersejarah mulai berkembang, terutama dalam dokumentasi dan pemetaan digital. Salah satu proyek yang telah menerapkan metode ini adalah dokumentasi Candi Borobudur, di mana fotogrametri dan pemindaian laser digunakan untuk mencatat detail relief dan struktur candi (Kawato et al., 2021). Selain dokumentasi, teknologi BIM untuk konservasi (HBIM – *Historic Building Information Modeling*) semakin banyak digunakan untuk bangunan bersejarah. Salah satu contoh Aula Timur Institut Teknologi Bandung (Agustina et al., 2023) dan beberapa bangunan kolonial di Malang menunjukkan potensi BIM dalam menyimpan data historis dan memberikan panduan dalam pemeliharaan jangka panjang (Santosa et al., 2021). Lebih lanjut, penerapan *Augmented Reality* (AR) dan *Virtual Reality* (VR) telah mulai diperkenalkan dalam pengalaman tur digital beberapa situs seperti Candi Prambanan (Pendit et al., 2015).

METODELOGI PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode studi literatur untuk mengumpulkan data dan informasi terkait dokumentasi digital serta pemodelan bangunan bersejarah di Indonesia. Studi literatur memungkinkan eksplorasi mendalam terhadap berbagai penelitian terdahulu guna mengidentifikasi metode, teknologi, serta tantangan dalam penerapan digitalisasi untuk pelestarian bangunan bersejarah.

Sumber data dalam penelitian ini terdiri dari artikel jurnal, buku, laporan penelitian, serta sumber terpercaya lainnya yang membahas dokumentasi digital dan pemodelan bangunan bersejarah, khususnya di Indonesia. Pemilihan sumber dilakukan dengan mempertimbangkan kredibilitas, keterkinian, serta relevansi terhadap fokus penelitian. Basis data akademik seperti Scopus, Google

Scholar, ScienceDirect, dan portal jurnal nasional digunakan untuk mencari publikasi yang relevan dengan topik ini.

Prosedur pengumpulan data dilakukan melalui beberapa tahapan, yaitu (1) pencarian literatur, (2) seleksi sumber yang relevan, (3) analisis isi terhadap literatur yang dikaji, dan (4) perumusan konsep berdasarkan sintesis temuan dari berbagai sumber. Pencarian literatur menggunakan kata kunci seperti *"digital documentation of historical buildings," "BIM for heritage conservation,"* dan *"digital modeling for heritage architecture in Indonesia"*. Setelah itu, dilakukan seleksi berdasarkan kesesuaian dengan fokus penelitian, terutama yang membahas metode dokumentasi digital, teknologi pemodelan, serta implementasi di konteks bangunan bersejarah Indonesia.

Teknik analisis data yang digunakan dalam penelitian ini adalah analisis konten, di mana setiap literatur yang dikaji dianalisis untuk mengidentifikasi pola, tren, serta temuan utama yang berkontribusi terhadap pemahaman mengenai penerapan teknologi digital dalam dokumentasi dan pemodelan bangunan bersejarah. Dari hasil analisis ini, dilakukan perumusan konsep, yaitu dengan mengelompokkan temuan berdasarkan aspek metode dokumentasi, teknologi pemodelan, tantangan yang dihadapi, serta dampak implementasi teknologi digital terhadap pelestarian bangunan bersejarah. Sintesis dari berbagai hasil studi sebelumnya digunakan untuk menyusun kerangka konseptual yang dapat menjadi dasar bagi penelitian lebih lanjut maupun implementasi di lapangan.

Dengan pendekatan ini, penelitian dapat memberikan pemetaan yang jelas mengenai metode dokumentasi dan pemodelan digital yang telah diterapkan di Indonesia, sekaligus merumuskan konsep yang dapat menjadi panduan dalam pengembangan strategi digitalisasi untuk pelestarian bangunan bersejarah.

ANALISIS DAN DISKUSI

Tabulasi	Metode	dan	Pembahasan	Hasil
Dalam upaya pelestarian bangunan bersejarah, dokumentasi dan pemodelan digital telah menjadi bagian integral dalam memastikan keberlanjutan warisan arsitektur. Berbagai penelitian telah dilakukan untuk mengembangkan metode yang lebih efektif dalam mendokumentasikan, menganalisis, dan melestarikan bangunan bersejarah menggunakan teknologi digital. Untuk memahami perkembangan ini, diperlukan analisis komprehensif terhadap metode yang telah diterapkan di berbagai studi terdahulu.				

Tabulasi berikut menyajikan berbagai pendekatan dokumentasi yang digunakan dalam penelitian terdahulu, termasuk fotogrametri, pemindaian laser terestrial (TLS), *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV), serta Building Information Modeling (BIM) dan *Heritage BIM* (HBIM). Selain itu, tabulasi ini juga mengidentifikasi teknologi utama yang diterapkan, hasil temuan dari penelitian, serta tantangan yang dihadapi dalam implementasi metode digitalisasi bangunan bersejarah.

Melalui tabulasi ini, diharapkan dapat diperoleh gambaran menyeluruh mengenai efektivitas setiap metode dalam pelestarian bangunan bersejarah. Analisis yang dilakukan akan membantu dalam menyusun strategi yang lebih tepat guna dalam mengadopsi teknologi digital untuk mendukung konservasi warisan budaya di Indonesia.

Tabel 1. Identifikasi Penelitian Terdahulu

No	Nama Peneliti & Tahun	Judul Penelitian	Objek yang Diteliti	Metode Dokumentasi	Teknologi yang Digunakan	Hasil dan Temuan Utama	Tantangan yang Dihadapi
1	(Nyoman Crisnapati et al., 2019)	3D Digitalization of Besakih Architectural Heritage: Documentation and Preservation	Pura Besakih, Bali	Fotogrametri, Pemindaian 3D	3D Laser Scanner, HBIM	Dokumentasi menghasilkan model digital 3D rekonstruksi beserta informasi non-geometrik dari lebih dari 1500 elemen bangunan. Data dalam format HBIM dapat digunakan untuk perencanaan pemeliharaan dan konservasi.	Keterbatasan dokumen as-built dan spesifikasi teknis yang lengkap menghambat proses perencanaan konservasi dan restorasi.
2	(Santosa et al., 2021)	The Digital Management System of the Tangible Culture Heritage for Enhancing Historic Building Governance in Malang, Indonesia	Bangunan Bersejarah di Malang	Sistem Manajemen Digital	HBIM, GIS, Cloud-Based Platform, VR	Penggunaan HBIM dan sistem digital berbasis partisipasi publik dapat meningkatkan pengelolaan dan konservasi bangunan bersejarah serta mendukung pariwisata berkelanjutan.	Tantangan utama adalah kurangnya kesadaran pemangku kepentingan, keterbatasan dana, dan kompleksitas implementasi sistem digitalisasi dalam skala kota.
3	(Ardhiati et al., 2020)	An Adaptive Re-use of Cultural Heritage Buildings in Jabodetabek (Greater Jakarta) as the National Gallery of Indonesia's Satellites	Bangunan Galeri Nasional Indonesia, Jabodetabek	Adaptive Reuse	Grounded Theory, Case Study, BIM	Pemanfaatan bangunan cagar budaya untuk galeri seni dengan pendekatan adaptive reuse menunjukkan potensi besar dalam mengakomodasi kebutuhan ruang pameran seni rupa.	Keterbatasan ruang dalam bangunan cagar budaya untuk fungsi baru, serta kebutuhan akan pemeliharaan yang ketat sesuai standar konservasi cagar budaya.

4	(Yudono et al., 2020)	The Three Dimension (3D) Spatial Urban Heritage Informatics of Malang City, Indonesia	Bangunan Bersejarah di Kota Malang	3D Spatial Urban Heritage Informatics	GIS, BIM, Virtual Reality (VR)	Penggunaan sistem multimedia spasial berbasis 3D dapat meningkatkan partisipasi publik dalam pelestarian dan perencanaan kota berbasis cagar budaya.	Keterbatasan akses terhadap data spasial dan kurangnya SDM yang terampil dalam pemanfaatan teknologi digital.
5	(Hanan et al., 2015)	Batak Toba Cultural Heritage and Close-range Photogrammetry	Rumah Adat Batak Toba	Fotogrametri Jarak Dekat	Kamera non-metrik, software fotogrametri	Fotogrametri memberikan fleksibilitas dalam akuisisi data, menghasilkan model 3D yang akurat dan mudah dioperasikan oleh masyarakat umum untuk dokumentasi bangunan tradisional.	Terbatasnya pelatihan penggunaan teknologi fotogrametri dan kurangnya kesadaran masyarakat terhadap digitalisasi warisan budaya.
6	(Suhari et al., 2024)	Developing Digital Interactive Exploration of Historical Places with Blending BIM and Virtual Reality	Candi Kidal, Malang	Site Survey dan Digital Interactive Exploration	BIM, Virtual Reality (VR), Autodesk Revit, Unity3D	Integrasi BIM dan VR memungkinkan pengalaman eksplorasi interaktif untuk memahami dan mendokumentasikan Candi Kidal secara imersif melalui platform digital.	Kendala utama adalah keterbatasan sumber daya, baik dalam hal teknologi, aksesibilitas, maupun tenaga ahli dalam pengembangan model digital.
7	(Rahadian & Nurhidayah, 2020)	Digital Documentation of Heritage Buildings using the Principles of Heritage Building Information Modeling (Case Study:	Cirebon City Hall	H-BIM dan Penggunaan 3D Scanning	H-BIM, 3D Laser Scanner, GIS	H-BIM diterapkan dalam perencanaan pemeliharaan dan perbaikan Cirebon City Hall dengan informasi non-geometrik mengenai material dan konstruksi asli.	Keterbatasan akses terhadap data teknis dan spesifikasi material bangunan yang akurat menghambat pembuatan model

Cirebon City
Hall)

digital yang
presisi.

8	(Suhari et al., 2024)	Conservation of Balinese Customary Buildings with BIM Technology Approach	Bangunan Adat di Bali	Fotogrametri dan Pemindaian 3D	LiDAR, BIM, HDS (High-Definition Surveying)	Digitalisasi bangunan dengan pemanfaatan BIM dan High-Definition Surveying (HDS) menunjukkan tingkat akurasi tinggi dalam pemodelan bangunan adat Bali, memungkinkan dokumentasi dan analisis yang lebih komprehensif.	Keterbatasan akses terhadap data historis dan kurangnya tenaga ahli dalam pengoperasian perangkat lunak BIM serta biaya investasi tinggi untuk perangkat teknologi seperti HDS dan pemindaian laser.
---	-----------------------	---	-----------------------	--------------------------------	---	--	--

- | | | | | | | | |
|----|--------------------------|--|---|--|--|--|--|
| 9 | (Dwijendra et al., 2024) | Integration of Building Information Modelling (BIM) for Cultural Preservation in Infrastructure Development in Bali, Indonesia | 30 Proyek Infrastruktur dan Bangunan Bersejarah di Bali | Mixed-Method (Kualitatif & Kuantitatif), Wawancara & Kuesioner | BIM, LiDAR, VR, 3D Scanning, Resource Management Tools | Integrasi BIM dalam pengembangan infrastruktur di Bali menunjukkan bahwa BIM berperan dalam meningkatkan efisiensi energi (pengurangan konsumsi energi hingga 15%), pengurangan limbah konstruksi hingga 20%, serta peningkatan nilai konservasi budaya dengan rata-rata skor 4,2 dari 5 dibandingkan proyek tanpa BIM yang hanya mencapai 3.5. Hasil uji statistik menunjukkan bahwa perbedaan ini signifikan ($p < 0.05$). | Kendala utama dalam penerapan BIM untuk pelestarian budaya adalah biaya investasi yang tinggi, kebutuhan pelatihan SDM yang memadai, serta kurangnya dukungan regulasi yang mengatur pemanfaatan BIM dalam konservasi bangunan bersejarah di Bali. |
| 10 | (Trisyanti et al., 2023) | A Preliminary Study of 3D Vernacular Documentation for Conservation and Evaluation: A Case Study in Keraton Kasepuhan Cirebon | Keraton Kasepuhan, Cirebon | Fotogrametri dan Pemindaian Laser Terrestrial | UAV, TLS, BIM | Penggunaan UAV dan TLS menghasilkan model 3D yang akurat untuk dokumentasi dan evaluasi konservasi bangunan bersejarah. | Keterbatasan aksesibilitas area tertentu dan kondisi cuaca yang mempengaruhi kualitas data. |
| 11 | (Suwardhi et al., 2022) | Heritage Smart City Mapping, Planning and Land Administration (Hestya) | Kota Lama Semarang | Pemetaan Spasial 3D | UAV, GIS, BIM | Integrasi data spasial 3D untuk perencanaan kota cerdas dan administrasi lahan yang efektif. | Kompleksitas integrasi data dari berbagai sumber dan kebutuhan akan infrastruktur teknologi yang memadai. |

12	(Murtiyoso et al., 2018)	Multi-Scale and Multi-Sensor 3D Documentation of Heritage Complexes in Urban Areas	Situs Kesepuhan dan Sitingil	Fotogrametri, TLS, dan UAV	UAV, TLS, GIS, BIM	Pendekatan multi-skala dan multi-sensor meningkatkan akurasi dan efisiensi dalam dokumentasi 3D kawasan heritage.	Koordinasi antar pemangku kepentingan dan manajemen data yang kompleks.
13	(Sulistiyani, 2024)	A Digital Preservation for the Indonesian First Terminus	Stasiun Kereta Api Pertama di Indonesia	Fotogrametri dan Pemindaian Laser Terrestrial	UAV, TLS, BIM	Dokumentasi digital membantu pelestarian dan perencanaan restorasi bangunan bersejarah.	Keterbatasan sumber daya dan teknologi dalam proses digitalisasi.

Analisis Metode Dokumentasi dan Pemodelan Digital pada Bangunan Bersejarah di Indonesia

Berdasarkan hasil studi literatur yang telah dikumpulkan, terdapat berbagai metode dokumentasi dan pemodelan digital yang telah diterapkan dalam pelestarian bangunan bersejarah di Indonesia. Beberapa metode utama yang digunakan antara lain fotogrametri, pemindaian laser terestrial (TLS), Unmanned Aerial Vehicle (UAV), serta *Building Information Modeling* (BIM) dan *Heritage BIM* (HBIM). Fotogrametri dan UAV fotogrametri digunakan secara luas karena fleksibilitas dan efisiensinya dalam menangkap data visual serta menghasilkan model 3D dengan akurasi tinggi. Dibuktikan pada Pura Besakih, Bali menunjukkan bahwa pemindaian 3D Laser Scanner dan HBIM dapat merekonstruksi lebih dari 1500 elemen bangunan dengan akurasi tinggi untuk perencanaan konservasi (Nyoman Crisnapati et al., 2019). Penelitian lain oleh menyoroti pentingnya sistem manajemen digital berbasis HBIM dan GIS dalam pengelolaan bangunan bersejarah di Malang, yang dapat meningkatkan keterlibatan publik dalam pelestarian warisan budaya (Santosa et al., 2021).

Integrasi Teknologi Digital dalam Dokumentasi dan Pemodelan Bangunan Bersejarah

Sejumlah penelitian menunjukkan bahwa penggunaan BIM dan HBIM semakin berkembang dalam konservasi bangunan bersejarah di Indonesia. Penelitian Dwijendra et al. (2024) membahas integrasi BIM dengan teknologi LiDAR dan Virtual Reality (VR) dalam proyek infrastruktur berbasis warisan budaya di Bali. Hasilnya menunjukkan bahwa pendekatan ini mampu meningkatkan efisiensi energi hingga 15% serta mengurangi limbah konstruksi hingga 20%, sekaligus menjaga harmoni dengan warisan budaya lokal. Sementara itu, penelitian Rahman et al. (2022) mengenai pemetaan Kota Lama Semarang menyoroti pemanfaatan GIS dan BIM dalam perencanaan smart city berbasis warisan budaya, yang berkontribusi pada administrasi lahan yang lebih efektif. Penelitian lain, seperti Adipandang Yudono et al. (2019), mengkaji sistem multimedia spasial berbasis 3D GIS dan VR yang terbukti meningkatkan partisipasi publik dalam pelestarian dan perencanaan kota berbasis heritage.

Tantangan dalam Implementasi Digitalisasi Bangunan Bersejarah

Meskipun teknologi digital telah banyak diterapkan dalam dokumentasi dan pemodelan bangunan bersejarah, masih terdapat beberapa tantangan utama dalam implementasinya. Studi oleh Suhari et al. (2022) menunjukkan bahwa kurangnya data historis dan keterbatasan tenaga ahli dalam pengoperasian perangkat digital menjadi kendala utama dalam dokumentasi digital bangunan bersejarah di Indonesia. Tantangan lainnya yang ditemukan dalam penelitian Santosa et al. (2021) adalah biaya investasi yang tinggi untuk teknologi seperti LiDAR dan BIM, serta keterbatasan regulasi terkait digitalisasi bangunan bersejarah. Hambatan lain yang sering muncul adalah kompleksitas struktur arsitektur bersejarah yang membuat pemindaian digital lebih sulit dan mahal.

Perumusan Kerangka Konseptual untuk Strategi Digitalisasi Bangunan Bersejarah

Berdasarkan sintesis berbagai hasil penelitian, ditemukan bahwa integrasi antara berbagai metode dokumentasi digital—seperti LiDAR, UAV fotogrametri, dan HBIM—dapat menghasilkan model bangunan bersejarah dengan tingkat presisi yang tinggi. Pemanfaatan VR dan AR juga memberikan peluang baru dalam konservasi serta promosi warisan budaya secara interaktif. Namun, keberhasilan implementasi teknologi ini bergantung pada dukungan kebijakan pemerintah, peningkatan kapasitas SDM, serta pengembangan infrastruktur digital yang lebih baik. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan holistik yang tidak hanya berfokus pada aspek teknologi, tetapi juga pada aspek regulasi, edukasi, dan partisipasi masyarakat dalam upaya pelestarian bangunan bersejarah.

KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa teknologi digital memainkan peran penting dalam dokumentasi dan pemodelan bangunan bersejarah di Indonesia. Studi literatur yang telah dikaji mengungkapkan bahwa metode seperti fotogrametri, LiDAR, UAV, dan BIM telah banyak diterapkan untuk mendukung pelestarian bangunan bersejarah. Setiap metode memiliki keunggulan masing-masing, di mana fotogrametri dan UAV memberikan fleksibilitas tinggi dalam akuisisi data, sementara LiDAR dan BIM menawarkan tingkat presisi lebih baik untuk kebutuhan rekonstruksi dan perencanaan konservasi. Integrasi BIM dengan GIS, VR, dan AR juga telah membuka peluang baru dalam meningkatkan interaksi dan partisipasi publik terhadap warisan budaya melalui teknologi imersif.

Meskipun demikian, implementasi digitalisasi dalam konservasi bangunan bersejarah di Indonesia masih menghadapi berbagai tantangan. Tantangan utama yang diidentifikasi dari berbagai penelitian adalah biaya yang tinggi dalam pengadaan teknologi dokumentasi digital, terutama untuk alat seperti LiDAR dan UAV yang memerlukan investasi besar dalam perangkat keras dan perangkat lunak. Selain itu, minimnya tenaga ahli yang memiliki kompetensi dalam pengoperasian serta pemrosesan data digital menjadi hambatan dalam penerapan teknologi ini secara luas. Studi juga menunjukkan bahwa kurangnya regulasi dan kebijakan yang mendukung penerapan BIM dan digitalisasi dalam konservasi heritage menjadi tantangan signifikan yang perlu segera diatasi.

Berdasarkan hasil analisis, penelitian ini berhasil merumuskan kerangka konseptual yang mengelompokkan metode dokumentasi digital ke dalam empat aspek utama, yaitu metode dokumentasi, teknologi pemodelan, tantangan, serta dampak implementasi teknologi digital terhadap pelestarian bangunan bersejarah di Indonesia. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi bagi akademisi, praktisi konservasi, dan pembuat kebijakan dalam mengembangkan strategi digitalisasi yang lebih efektif untuk pelestarian bangunan bersejarah di Indonesia. Ke depan, perlu dilakukan penelitian lebih lanjut yang berfokus pada

optimalisasi biaya serta peningkatan kapasitas SDM untuk mendukung keberlanjutan program digitalisasi ini.

Referensi

- Agustina, L. K., Harto, A. B., Suwardhi, D., Wikantika, K., Purnama, I., & Mahardika, M. S. (2023). Preserving Historical Significance: HBIM Implementation for The East Hall of Bandung Institute of Technology. *2023 IEEE Asia-Pacific Conference on Geoscience, Electronics and Remote Sensing Technology (AGERS)*, 71–76. <https://doi.org/10.1109/AGERS61027.2023.10490744>
- Angelini, A., Cozzolino, M., Gabrielli, R., Gentile, V., & Mauriello, P. (2023). Geophysical and Geomatic Methods for the Knowledge, Conservation, and Management of Jordanian Cultural Heritage. *Geosciences*, 13(11), Article 11. <https://doi.org/10.3390/geosciences13110349>
- Ardhiati, Y., D, A. P., Anggita, D., Putri, R. I., Prasetya, L. E., Intan, W. N., Abi, M. W., Alfiano, R., Izzulhaq, M. R., Putra, R. R., & Arfiansyah, C. (2020). An Adaptive Re-use of Cultural Heritage Buildings in Jabodetabek (Greater Jakarta) as the National Gallery of Indonesia's Satellites. *International Journal of Built Environment and Scientific Research*, 4(2), 115–126. <https://doi.org/10.24853/ijbesr.4.2.115-126>
- Boboc, R. G., Băutu, E., Gîrbacia, F., Popovici, N., & Popovici, D.-M. (2022). Augmented Reality in Cultural Heritage: An Overview of the Last Decade of Applications. *Applied Sciences*, 12(19), Article 19. <https://doi.org/10.3390/app12199859>
- Chen, Y., Wu, Y., Sun, X., Ali, N., & Zhou, Q. (2023). Digital Documentation and Conservation of Architectural Heritage Information: An Application in Modern Chinese Architecture. *Sustainability*, 15(9), Article 9. <https://doi.org/10.3390/su15097276>
- Dwijendra, N. K. A., Desak Ayu Krystina Winastri, K., & Dewa Ngakan Made Bagus Krishna, K. (2024). Integration of Building Information Modelling (BIM) for Cultural Preservation in Infrastructure Development in Bali, Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1416(1), 012040. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1416/1/012040>
- Hanan, H., Suwardhi, D., Nurhasanah, T., & Bukit, E. S. (2015). Batak Toba Cultural Heritage and Close-range Photogrammetry. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 184, 187–195. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.05.079>
- Katunský, D., Katunská, J., Dolníková, E., & Hutkai, K. (2024). Preserving the historical value and thermal properties of renovated buildings: The case of reconstructed town houses in Kosice, Slovakia. *Frontiers of Architectural Research*, 13(6), 1185–1197. <https://doi.org/10.1016/j.foar.2024.04.007>
- Kawato, M., Li, L., Hasegawa, K., Adachi, M., Yamaguchi, H., Thufail, F. I., Riyanto, S., Brahmantara, & Tanaka, S. (2021). A DIGITAL ARCHIVE OF BOROBUDUR BASED ON 3D POINT CLOUDS. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLIII-B2-2021, 577–582. XXIV ISPRS Congress <q>Imaging today, foreseeing tomorrow</q>, Commission II - 2021 edition, 5–9 July 2021. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLIII-B2-2021-577-2021>
- Letellier, R., & Eppich, R. (2015). *Recording, Documentation and Information Management for the Conservation of Heritage Places*. Routledge.
- Liu, J., Azhar, S., Willkens, D., & Li, B. (2023). Static Terrestrial Laser Scanning (TLS) for Heritage Building Information Modeling (HBIM): A Systematic Review. *Virtual Worlds*, 2(2), Article 2. <https://doi.org/10.3390/virtualworlds2020006>
- Mouaddib, E. M., Pamart, A., Pierrot-Deseilligny, M., & Girardeau-Montaut, D. (2024). 2D/3D data fusion for the comparative analysis of the vaults of Notre-Dame de Paris before and after the fire. *Journal of Cultural Heritage*, 65, 221–231.

- <https://doi.org/10.1016/j.culher.2023.06.012>
- Moyano, J., Nieto-Julián, J. E., Bienvenido-Huertas, D., & Marín-García, D. (2020). Validation of Close-Range Photogrammetry for Architectural and Archaeological Heritage: Analysis of Point Density and 3D Mesh Geometry. *Remote Sensing*, 12(21), Article 21. <https://doi.org/10.3390/rs12213571>
- Murtiyoso, A., Grussenmeyer, P., Suwardhi, D., & Awalludin, R. (2018). Multi-Scale and Multi-Sensor 3D Documentation of Heritage Complexes in Urban Areas. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 7(12), Article 12. <https://doi.org/10.3390/ijgi7120483>
- Nyoman Crisnapati, P., Gede Mahendra Darmawiguna, I., Windu Antara Kesiman, M., & Kusuma Wijaya, B. (2019). 3D Digitalization of Besakih Architectural Heritage: Documentation and Preservation. *Journal of Physics: Conference Series*, 1175(1), 012106. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1175/1/012106>
- Oxley, R. (2015). *Survey and Repair of Traditional Buildings: A Conservation and Sustainable Approach*. Routledge.
- Pendit, U. C., Zaibon, S. B., & Abubakar, J. A. (2015). DIGITAL INTERPRETIVE MEDIA USAGE IN CULTURAL HERITAGE SITES AT YOGYAKARTA. *Jurnal Teknologi (Sciences & Engineering)*, 75(4), Article 4. <https://doi.org/10.11113/jt.v75.5069>
- Puerto, A., Castañeda, K., Sánchez, O., Peña, C. A., Gutiérrez, L., & Sáenz, P. (2024). Building information modeling and complementary technologies in heritage buildings: A bibliometric analysis. *Results in Engineering*, 22, 102192. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2024.102192>
- Rahadian, E. Y., & Nurhidayah, N. (2020). Digital Documentation of Heritage Buildings using the Principles of Heritage Building Information Modeling (Case Study: Cirebon City Hall). *INTERNATIONAL CONFERENCE ON GREEN TECHNOLOGY AND DESIGN (ICGTD)*, 2020, 1–6.
- Rahim, S. A. A., Ashaari, N. I. M., Kamarudin, S. S., Hashim, M. A. S., Arjinan, S., Chala, G. T., & Rahmat, S. (2023). THE INTEGRATION OF HISTORIC BUILDING INFORMATION MODELLING (HBIM) FOR THE TRADITIONAL CULTURAL HERITAGE OF RUMAH TUKANG KAHAR. *Journal of Engineering Science and Technology*, 249–260.
- Santosa, H., Yudono, A., & Adhitama, M. S. (2021). The digital management system of the tangible culture heritage for enhancing historic building governance in Malang, Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 738(1), 012056. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/738/1/012056>
- Solla, M., Gonçalves, L. M. S., Gonçalves, G., Francisco, C., Puente, I., Providência, P., Gaspar, F., & Rodrigues, H. (2020). A Building Information Modeling Approach to Integrate Geomatic Data for the Documentation and Preservation of Cultural Heritage. *Remote Sensing*, 12(24), Article 24. <https://doi.org/10.3390/rs12244028>
- Suhari, K. T., Purwanto, H., & Andinisari, R. (2024). Developing Digital Interactive Exploration of Historical Places with Blending BIM and Virtual Reality. *The Indonesian Journal of Computer Science*, 13(1), Article 1. <https://doi.org/10.33022/ijcs.v13i1.3732>
- Sulistiyani, H. (2024). A Digital Preservation for the Indonesian First Terminus. *Preservation, Digital Technology & Culture*, 53(2), 51–60. <https://doi.org/10.1515/pdte-2024-0008>
- Suwardhi, D., Trisyanti, S. W., Virtriana, R., Syamsu, A. A., Jannati, S., & Halim, R. S. (2022). Heritage Smart City Mapping, Planning and Land Administration (Hestia). *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 11(2), Article 2. <https://doi.org/10.3390/ijgi11020107>
- Trisyanti, S. W., Suwardhi, D., Purnama, I., & Wikantika, K. (2023). A Preliminary Study of 3D Vernacular Documentation for Conservation and Evaluation: A Case Study in Keraton Kasepuhan Cirebon. *Buildings*, 13(2), Article 2. <https://doi.org/10.3390/buildings13020546>

- Yudono, A., Santosa, H., & Tolle, H. (2020). *The Three Dimension (3D) Spatial Urban Heritage Informatics of Malang City, Indonesia*. 124–129. <https://doi.org/10.2991/aer.k.200729.020>
- Yung, E. H. K., Zhang, Q., & Chan, E. H. W. (2017). Underlying social factors for evaluating heritage conservation in urban renewal districts. *Habitat International*, 66, 135–148. <https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2017.06.004>