



Jurnal Arsitektur Zonasi

Journal homepage: <https://ejournal.upi.edu/index.php/jaz>



Photogrammetry: Dalam Upaya Pelestarian Arsitektur Pusaka

Pusparini Dharma Putri*¹, Laretna Trisnantari Adishakti²

^{1,2} Magister Arsitektur, Departemen Teknik Arsitektur dan Perencanaan, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, Indonesia

*Correspondence: E-mail: pusparini.dharma.p@mail.ugm.ac.id

ABSTRACT

Virtual visualization of architectural objects is currently necessary for architectural studies, whether used for public purposes or academic purposes. Nowadays in Indonesia, virtual visualization is still limited to a new built environment, what about existing built objects? This research further reinforces the importance of performing virtual visualization (reconstruction) for built objects, focusing on heritage. Virtual reconstruction itself is included in a major process of preservation and integrated development in the big concept of Heritage Building Information Modeling (H-BIM). Taking observations that are scattered in the Borobudur Temple Compound, this research also wants to study the usage of virtual reconstruction in preserving heritage. Using two types of data sources (Source-Based and Reality-Based), researchers tried to reconstruct the built objects till the stage of identifying the characters. This research aims to produce 3D visualization using Agisoft-Metashape, and also raises awareness about the urge of the virtual reconstruction as a prefix in the data collage stage in compiling a Historic Urban Landscape (HUL). As a result of identification in the form of the rural settlement for Javanese communities is greatly strengthened by the characteristics that have been captured, namely in the form of a mass system that blends with nature, types of building materials that still utilize local raw materials, and the lack of ornamentation on building components. The end of this research shows that a strong regional identity (character of rural settlements) needs to be maintained and strengthened in sustainable development, which is incorporated in one gate data system.

ARTICLE INFO

Article History:

Submitted/Received 27 Juli 2022

First Revised 08 Sept 2022

Accepted 20 Okt 2022

First Available online 16 Des 2022

Publication Date 27 Feb 2023

Keyword:

Photogrammetry,
Heritage-BIM,
in-fill Design,
HUL

Keyword:

photogrammetry;
Heritage-BIM;
Olah Desain Arsitektur Pusaka;
HUL

ABSTRAK

Visualisasi virtual objek arsitektur saat ini sangat diperlukan dalam mempelajari arsitektur baik digunakan untuk kepentingan umum atau pun akademik. Di Indonesia visualisasi virtual masih terbatas pada objek arsitektur baru, lalu bagaimana dengan objek terbangun/objek arsitektur pusaka? Hal ini semakin memperkuat pentingnya melakukan visualisasi virtual untuk objek terbangun, khususnya objek pusaka. Visualisasi (rekonstruksi virtual) sendiri termasuk dalam satu proses besar pelestarian dan pembangunan terintegrasi dalam konsep Heritage Building information Modeling (H-BIM). Mengambil objek amatan yang tersebar dalam Kawasan Komplek Candi Borobudur, penelitian ini sekaligus ingin mempelajari manfaat rekonstruksi virtual dalam pelestarian kawasan dalam konsep besar. Menggunakan dua jenis sumber data (*Source-Based* dan *Reality-Based*), peneliti mencoba merekonstruksi objek amatan dan mengidentifikasi karakternya. Tujuan dari penelitian ini selain untuk menghasilkan visualisasi 3D menggunakan Agisoft-Metashape juga mengangkat diskusi pentingnya rekonstruksi virtual sebagai awalan dalam tahapan kolase data dalam menyusun Historic Urban Landscape (HUL). Hasil dari identifikasi yaitu amatan merupakan kawasan permukiman pedesaan masyarakat sosial-jawa yang diperkuat oleh karakter berupa; tata masa yang menyatu dengan alam, jenis material bangunan yang masih memanfaatkan bahan baku setempat, dan minimnya ornamentasi pada komponen bangunan. Bagian akhir, penelitian ini memperoleh kesimpulan bahwa masih kuatnya identitas kawasan dengan karakter permukiman pedesaan perlu dipertahankan dan diperkuat dalam pembangunan berkelanjutan yang semua tergabung dalam one gate data system (*open source*).

Copyright © 2023 Universitas Pendidikan Indonesia

1. PENDAHULUAN

1.1. Urgensi Pelestarian Kawasan Pusaka

Pembangunan dan pengembangan wilayah di Indonesia harus memerhatikan kekayaan pusaka Indonesia (benda dan tak-benda), namun dalam pelaksanaannya belum berjalan maksimal. Padahal kekayaan sejarah panjang berdirinya Indonesia terangkai dalam *local wisdom*, kuliner, tata kota, dan tentu termasuk dalam wujud arsitektur. Kekayaan arsitektur yang dimiliki ini tersebar dari Sabang sampai Merauke, dan setiap wilayah memiliki nilai keunggulan masing-masing. Kekayaan arsitektur Indonesia merupakan wujud pusaka yang harus kita lestarikan dalam wujud pembangunan yang berkelanjutan dan terintegrasi. Salah satu permasalahan yang nampak dan perlu mendapat perhatian lebih ada di kawasan Komplek Candi Borobudur, proyek Kawasan Strategis Pariwisata Nasional. Pada kawasan tersebut banyak ditemukan ketidaksesuaian pembangunan dengan semangat pelestarian pusaka di Indonesia.

Terkait dengan pergerakan pelestarian pusaka di Indonesia, Bumi Pelestarian Pusaka Indonesia (BPPI) dibentuk pada tahun 2004 sebagai gerakan pelestarian pusaka Indonesia supaya makin terarah dan sistematis. Mengutip dari Piagam Pelestarian Kota Pusaka tahun 2013, BPPI (BPPI, 2003), disebutkan bahwa berbagai daerah Indonesia memiliki aset pusaka benda dan tak-benda. Semua terjalin apik dalam pusaka saujana yang merupakan satu kesatuan pembentuk identitas suatu wilayah yang selalu dilestarikan. Hal ini sejalan dengan pembangunan berkelanjutan dalam lingkup besar *Sustainable Development Goals (SDGs)*. Guna mencapai pembangunan berkelanjutan (UNESCO, 2017), seluruh proses pelestarian harus terekam dengan baik sehingga dapat berguna sebagai pembelajaran lanjutan. Disinilah posisi inventarisasi dan dokumentasi Kota Pusaka menjadi penting. Mengenali aset melalui sistem inventarisasi yang holistik dan sistematis. Inventarisasi aset pusaka perlu diikuti dengan analisis signifikansi, penetapan serta panduan pengamanan dan pelestariannya.

Komplek Candi Borobudur sendiri telah masuk dalam daftar *World Heritage* sejak tahun 1995, dimana ini mengindikasikan pembangunan kawasan perlu mengedepankan lapisan perkembangan (Prabowo et al., 2020). Selanjutnya, pembangunan atau pun pengembangan penataan kawasan pusaka biasa disebut Olah Desain Arsitektur Pusaka atau yang biasa disebut sebagai *adaptive reuse/adaptive design* berdiri sebagai tonggak arsitektur berkelanjutan (Abdulameer & Abbas, 2020), baik dalam sudut pandang jejak karbon atau lapisan sejarah suatu pusaka. Kajian awal sebelum upaya implementasi Olah Desain Arsitektur Pusaka adalah mengidentifikasi kondisi eksisting bangunan atau kawasan pusaka eksisting. Olah Desain Arsitektur pada bangunan pusaka harus mampu menguatkan rasa memiliki atau rasa keterikatan sebuah objek pusaka, kemarin, kini, dan esok. Dalam upaya membangun keterikatan tersebut Olah Desain harus memerhatikan berbagai aspek, seperti sosial, ekonomi, dan budaya, tidak lupa memerhatikan lapisan waktu yang terjadi. Proses setelah melakukan kajian Olah Desain Arsitektur Pusaka perlu dilakukan advokasi arahan desain dalam mekanisme *Heritage Impact Assessment (HIA)* (ICOMOS, n.d.). Pada titik ini menjadi semakin jelas pentingnya menerapkan digitalisasi data bangunan atau kawasan pusaka, yang tidak hanya berupa digitalisasi dokumen namun dalam wujud 3D interaktif (Andriasyan et al., 2020).

Namun, sejak penancangan kawasan Komplek Candi Borobudur sebagai Kawasan Strategis Pariwisata Nasional (KSPN) banyak hal terjadi yang mempengaruhi kelestarian kawasan. Mulai dari isu sosial ekonomi hingga permasalahan arsitektur “baru”, buah dari “*top down*” proyek dari pemerintah pusat yang tidak diawali dengan kajian mendalam. Pasca penancangan kawasan Komplek Candi Borobudur sebagai Kawasan Strategis Pariwisata Nasional, pemerintah perlu merujuk paradigma baru dalam pembangunan kawasan, yaitu

Historic Urban Landscape (HUL) (Ginzarly et al., 2019) yang mengharuskan menghadirkan seluruh lapisan waktu terkait segala aspek kawasan dan juga rencana strategis dalam pengembangan kawasan. Sistem yang berhasil dibuat oleh pemerintah Ballarat memang bukan pekerjaan mudah, pekerjaan membangun satu sistem data yang dapat diakses seluruh masyarakat membutuhkan waktu yang panjang serta kerjasama antar sektor pemerintah dan juga swasta. Sejauh ini pengelola kawasan Komplek Candi Borobudur masih belum mampu membuat satu sistem data yang terintegrasi antar instansi pemerintah dan membuat sistem data tersebut terbuka untuk umum. Perlu disadari dengan adanya sistem data ini maka semakin kecil kemungkinan pembangunan masif saat ini yang terjadi di kawasan Komplek Candi Borobudur tidak akan seperti saat ini, yang dimana ditemukan banyak ketidaksesuaian dengan apa yang seharusnya.



Gambar 1. Implementasi Proyek Peningkatan Kualitas Permukiman di Imaginary Corridor (Sumber: Penulis, 2021)

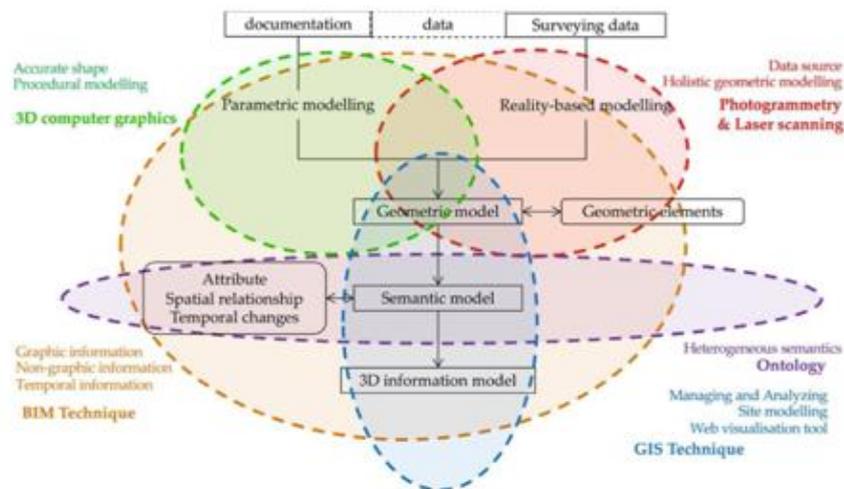
Dunia pelestarian arsitektur pusaka mulai memperkenalkan *HUL* sebagai suatu paradigma baru dalam memandang suatu kawasan dan *Heritage Impact Assessment (HIA)* sebagai alat dalam melakukan penilaian kelayakan intervensi pada objek pusaka. *HIA* merupakan suatu pendekatan dan metoda dalam pelestarian agar lebih terarah dan memiliki justifikasi yang kuat dalam menanggapi berbagai intervensi kawasan *World Heritage (WH)* dan pada *buffer zone area* objek pusaka di Indonesia pada khususnya. Secara jelas *International Council of Monuments and Sites (ICOMOS)* menyatakan;

3.5 ...However, the use of databases and GIS, or 3D-modelling, changes the way in which HIAs are undertaken. The systems allow assessment to be a far more iterative process.... (ICOMOS, n.d.)

1.2. Implementasi Arsitektur Dijital dalam Pelestarian Pusaka Arsitektur

Berkembangnya implementasi teknologi digital dalam arsitektur semakin membuka berbagai kesempatan dan kemudahan dalam berarsitektur. Teknologi digital dalam arsitektur, pada khususnya pelestarian objek arsitektur selain dapat membantu dalam proses pengumpulan data (dokumentasi) juga dapat meningkatkan visualisasi data (Yang et al., 2020). Masih dalam payung besar *Sustainable Development Goals (SDGs) 2030*, digitalisasi data dalam arsitektur sudah menjadi keharusan, terlebih terkait pendokumentasian arsitektur pusaka. Dalam konteks ini *UNESCO* memiliki tujuan untuk melestarikan objek arsitektur dalam rangka pembangunan berkelanjutan, bersamaan dengan hal tersebut aspek wisata, budaya, data, dan proses desain dapat terbantuan oleh penerapan teknologi dan pemetaan *SDGs* oleh *UNESCO*. Dalam sebuah kajian penelitian, peneliti berhasil melakukan pemetaan berbagai proses digital dalam arsitektur, dan mereka berhasil mengelompokkannya dalam beberapa kelompok. Pengelompokan tersebut terbagi menjadi tiga fase utama, tahap dokumentasi -> data -> survey data, secara keseluruhan mereka termasuk dalam *Building*

Information Modelling (BIM) (Yang et al., 2020). *Heritage-BIM*, untuk lebih spesifik lagi dalam lingkup pelestarian arsitektur pusaka (pusaka bendawi).

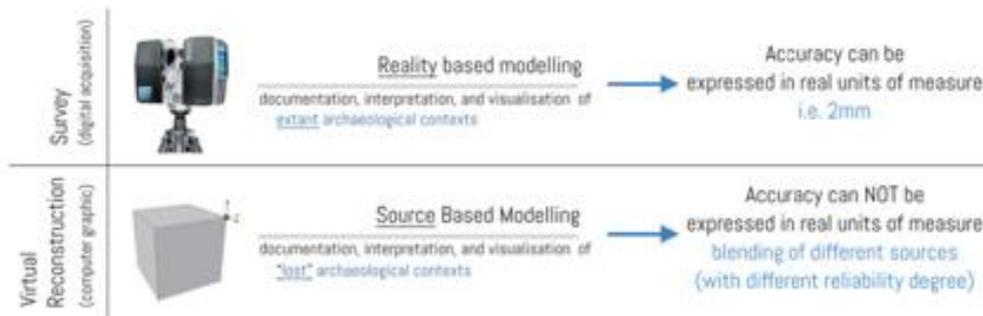


Gambar 2. Skema Penerapan dan Implementasi Virtual Reconstruction dalam Dunia Konservasi (Sumber: [Xiucheng Yang et al, 2020](#))

A. Heritage Building Information Modelling

Dalam beberapa tahun kebelakang *Building Information Modelling (BIM)* menjadi topik pembicaraan diantara pelaku arsitektur, mengenai integrasi yang mencakup seluruh siklus hidup bangunan dari tahap konstruksi hingga manajemen aset. Namun diskusi *BIM* lebih banyak difokuskan pada desain bangunan baru, masih sedikit yang melakukan proses *BIM* pada fase pasca bangun. Nyatanya *BIM* dapat diterapkan pada segala jenis desain (baik dalam tahapan pra-desain atau pun pasca desain). Terkait hal tersebut, perlu diketahui kembali bahwa arsitektur pusaka merupakan wujud pembelajaran dari masa lampau yang menggambarkan perkembangan arsitektur pada masanya (UNESCO, 2016), sehingga implementasi *BIM* menjadi penting dalam pelestarian pusaka. Dokumentasi / inventarisasi data secara digital menjadi suatu keharusan dalam upaya pelestarian pusaka yang terarah dan berkelanjutan. Seluruh perangkat dan proses pelestarian pusaka arsitektur dipayungi dalam *Heritage Building Information Modelling (H-BIM)*. Implementasi *H-BIM* dimulai dari pemodel (baik permodelan berbasis *faces/edges* atau *points*) yang akurat dari objek amatan dan diverifikasi dalam *one-based data system (BIM cloud)* (Wong et al., 2014). Tahapan ini adalah pekerjaan yang cenderung rumit dan penting dalam proses *adaptive reuse* sebagai dokumentasi data awal sebelum masuk tahap *post-processing* (Olah Desain Arsitektur Pusaka)/ODAP (Yang et al., 2020).

Pendalaman mengenai teknologi dokumentasi objek dalam upaya implementasi *H-BIM* sudah banyak dilakukan peneliti dengan disiplin ilmu arkeologi atau pun geodesi. Arkeologi memanfaatkannya guna menghasilkan rekonstruksi virtual (permodelan digital) dengan metoda pemindaian laser dan atau *photogrammetry*. Sedangkan, disiplin ilmu geodesi lebih memfokuskan pembelajaran dan pengkajian mengubah objek nyata menjadi algoritma dalam aplikasi pemetaan (objek 3D). Proses rekonstruksi virtual dikelompokkan menjadi dua berdasarkan sumber data yang di mana akan menghasilkan dua data digital yang berbeda pula (Demetrescu, 2018). Yaitu *Source Based Modelling (SBM)* dan *Reality Based Modelling (RBM)*, kedua hal ini terdengar mirip namun secara detail pengumpulan data hingga proses data berbeda. Kedua metode ini, *SBM* dan *RBM* memiliki akurasi data yang berbeda.



Gambar 3. *Source Based Data dan Virtual Reality Base Data*
(Sumber: Demetrescu, 2018)

B. *Photogrammetry* dalam Pelestarian Arsitektur

Bencana, baik alam atau imbas dari aktivitas manusia, berhasil merusak dan menghancurkan berbagai objek arsitektur bernilai tinggi. Salah satu contoh adalah berbagai kuil kuno/tempat peribadatan sudah berhasil dihancurkan ISIS selama perang di Suriah dan Irak (Fangi et al., 2013). Selain hal tersebut, juga ada bencana alam seperti gempa bumi/kebakaran/angin topan yang menghancurkan struktur arsitektur dengan nilai tinggi. Sehingga menjadi penting untuk memiliki permodelan 3D (virtual) dengan menggunakan salah satunya memanfaatkan metode *photogrammetry* sebagai upaya preventif jika terjadi kerusakan. Selain sebagai tindakan preventif, permodelan ini dapat berfungsi sebagai museum “diorama” digital berbagai objek arsitektur (Nakaya et al., 2010).

Selain *photogrammetry* ada metode lain yaitu *Terrestrial Laser Scanner (TLS)*, dan *Lidar* yang biasa digunakan dalam pemetaan/dokumentasi digital. Pelestari arsitektur pusaka banyak memanfaatkan metode *Photogrammetry* dan *Terrestrial Laser Scanner (TLS)* dalam melakukan dokumentasi objek arsitektur bangunan, sedangkan *Lidar* lebih banyak digunakan dalam pelestarian kawasan yang luas (makro). *Photogrammetry* merupakan metode pemetaan objek nyata 3D yang nantinya akan menghasilkan produk *3D virtual* yang menggunakan hasil rekaman foto digital (Nex & Remondino, 2014). Perangkatnya yang digunakan lebih sederhana dan mudah dioperasikan, bisa menggunakan kamera telepon genggam, *DSLR/mirrorless*, atau pun *Unmanned Airplane Vehicles/UAV* (drone). Sehingga praktik *Photogrammetry* termasuk metode yang *low cost*, lebih mudah dan murah.

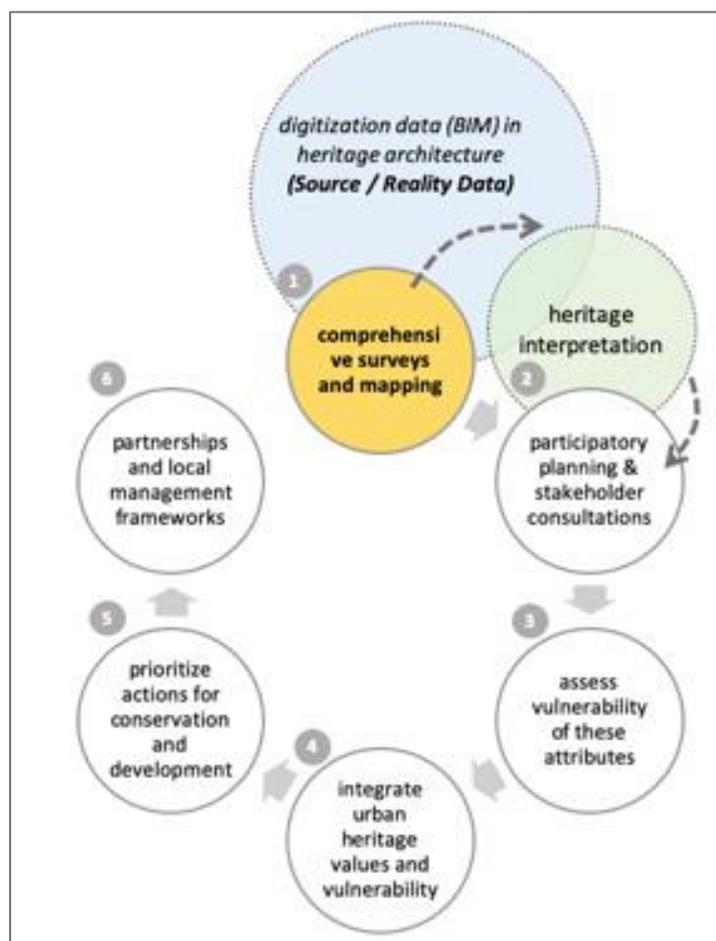
Secara konseptual, metode *photogrammetry* berprinsip kerja dengan menumpang tindihkan dua atau lebih untuk mendapatnya satu titik yang sama dan memiliki nilai/koordinat (x, y, z) (Drap et al., 2008). Cukup dengan mengambil sebanyak mungkin foto objek sehingga persinggungan antar foto semakin banyak dan objek yang dihasilkan akan semakin presisi. Permodelan dalam penelitian ini menggunakan aplikasi *Agisoft Metashape* untuk menerjemahkan gambar-gambar yang saling tumpang tindih tersebut untuk mendapatkan titik (*point*) yang akan membentuk objek 3D dalam bentuk kumpulan titik (*dense cloud*).

1.3. Paradigma *Historic Urban Landscape* dalam Pelestarian Arsitektur Pusaka

Historic Urban Landscape merupakan paradigma yang komprehensif dalam melakukan pelestarian yang menyeluruh dan berkelanjutan, dengan memperhatikan aspek pembentuk kawasan (arsitektur, planologi, arkeologi, pemerintahan, budayawan, dan berbagai aspek lain). Di mana paradigma ini mulai diangkat oleh UNESCO (W. H. C. UNESCO, 2011) dan umpan tersebut sudah berusaha ditangkap Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan dan Kementerian Pembangunan Umum dan Perumahan Rakyat (workshop, 2016) dalam berupaya bersama dalam pelestarian kawasan bersejarah di Indonesia. Perlu kita pahami bersama, bahwa

pembangunan berkelanjutan bukan hanya soal menerapkan teknologi hijau, namun bagaimana kita memanfaatkan yang sudah ada dengan maksimal dan melakukan injeksi baru dalam pembangunan yang terukur dan terarah.

Namun, terdapat kritik menarik terhadap paradigma *HUL*, dalam publikasi artikel ilmiahnya, Santander (Santander et al., 2018) mengungkapkan bahwa konsep *HUL* tidak mampu menjawab banyak pertanyaan. Pertanyaan seperti; Apa "batas perubahan yang dapat diterima" yang mampu mendamaikan pengelolaan kota tua dan kawasan modern kota bersejarah? Bagaimana nilai warisan baru mampu mengasumsikan ekspresi kontemporer, dimensi *immaterial*, dan elemen alam? Bagaimana konsep baru, serba merangkul, sistemik, dan transversal ini dapat diadaptasi ke dalam kerangka hukum sektoral agar memperoleh perlindungan hukum nyata dan menjadi model pemerintahan yang efektif di lingkungan perkotaan? Bersama dengan banyak masalah lainnya, menurut pikiran sederhana hanya memperumit penerapan yang masuk akal dan efektif dari tujuan yang diusulkan dengan kerangka teoritis dari lanskap kota bersejarah. Baginya paradigma ini tidak lebih dari sekadar ucapan umum dan tersebar yang bertindak sebagai pusaran air yang menelan segala sesuatu tanpa menyediakan alat efektif yang mampu mengelola sejumlah besar item yang dicakupnya. Dalam menerapkan paradigma *HUL*, perlu dipahami terlebih dahulu nilai keunggulan dari objek yang sedang kita hadapi. Karena inti dari *HUL* adalah memahami dan mengelola lingkungan bersejarah dengan pengakuan bahwa kota bukanlah monumen statis atau sekelompok bangunan, tetapi tunduk pada kekuatan dinamis (perkembangan zaman) (W. H. C. UNESCO, 2011).



Gambar 4. Langkah Kritis dalam implementasi Historic Urban Landscape (sumber: The *HUL* Guidebook, UNESCO, 2016 dengan penyesuaian)

Mengadopsi paradigma tersebut sebagai pendekatan dalam manajemen arsitektur pusaka tentunya akan memperlihatkan perbedaan pada langkah implementasi pada tiap kasusnya (objek kajian). Jika terdapat kesalahan maka hal tersebut menjadi pembelajaran berharga untuk kawasan lain. Sebagaimana empat prinsip pelaksanaan *good governance in heritage management* (akuntabilitas, transparansi, keadilan, dan tanggung jawab) harus berjalan beriringan dan unsur *P4 (Public Private People Partnership)* harus terwujud untuk keseimbangan manajemen kawasan yang terarah (Bonniotti, 2021). Dalam penelitian ini akan difokuskan dalam pembelajaran awal dalam implementasi *HUL (cultural dan natural mapping)*.

2. METODE PENELITIAN

2.1. Objek Amatan: Kawasan Komplek Candi Borobudur

Komplek Candi Borobudur terletak di Kabupaten Magelang, Provinsi Jawa Tengah. Merujuk pada Masterplan Borobudur (1979) yang dipersiapkan JICA, kawasan terbagi dalam beberapa zona dan pengawasan pengembangan kawasan (Zona 1 dan 2; Sub Penyangga 1 dan Sub Penyangga 2). Komplek Candi Borobudur memiliki *Outstanding Universal Values* yang harus dikawal keberlangsungannya dalam segala upaya pembangunan yang diperkirakan mempengaruhi secara langsung mau pun tidak langsung. Lebih spesifik lagi, *Outstanding Universal Value* Komplek Candi Borobudur diturunkan dalam enam poin atribut yang menjadi ciri khasnya (Dirjen Kebudayaan, 2021). Berdasarkan atribut ini pula penelitian ini berlandas dalam menentukan objek penelitian disamping juga merujuk pada zonasi JICA (1979).

Atribut 1: Tiga Bangunan Candi: Borobudur, Pawon, dan Mendut
Atribut 2: Koridor Imajiner
Atribut 3: Saujana Borobudur
Atribut 4: Jejak Danau Purba sebagai bukti bahwa Kompleks Candi Borobudur
Atribut 5: Elemen Arsitektur dan Seni pada Kompleks Candi Borobudur
Atribut 6: Kemampuan memadukan elemen budaya lama dan baru serta sifat multikultural atau inklusif

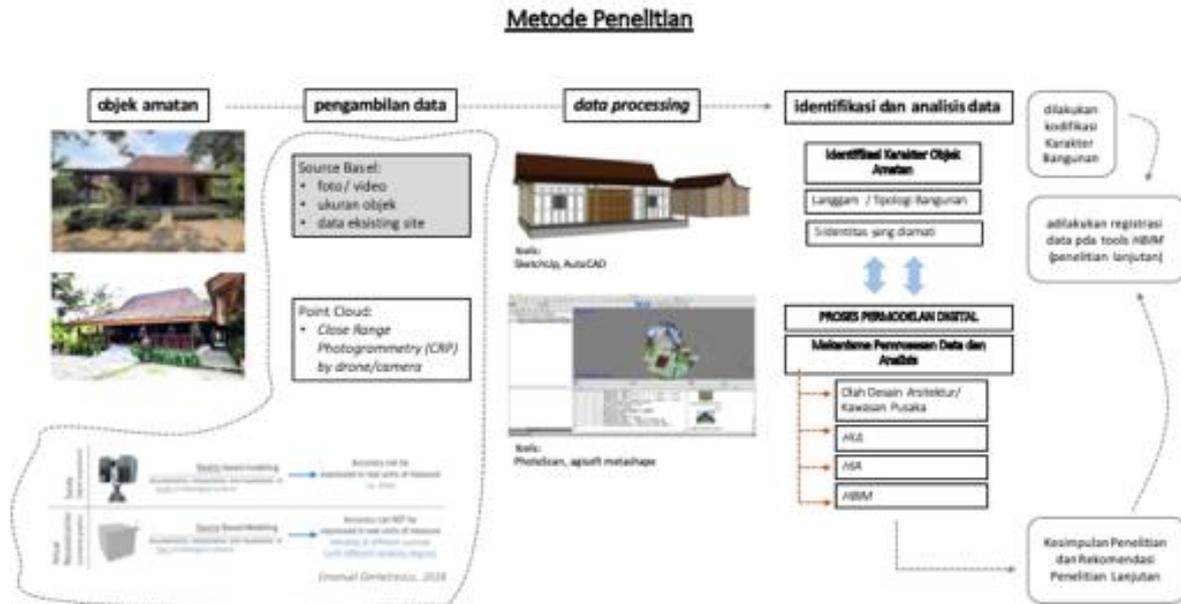
Gambar 5. Atribut Komplek Candi Borobudur
(sumber: Borobudur Management Plan, 2021)

Urgensi penelitian pada kawasan Komplek Candi Borobudur juga didasari oleh Pemerintah Indonesia yang telah menetapkan bahwa kawasan ini masuk dalam Kawasan Strategis Pariwisata Nasional (KSPN), dokumen Rencana Tata Ruang Wilayah Kabupaten Magelang untuk memperkuat masterplan JICA, dan juga Peraturan Presiden Nomor 58 Tahun 2014. Sehingga untuk melakukan pembangunan yang terarah pengelola Komplek Candi Borobudur perlu memiliki pedoman yang mengatur dan memberikan arahan pengembangan kawasan yang sesuai dengan karakter warisan kawasan Borobudur.

2.2. Metode Pengolahan Data dan Analisis

Dalam jurnal ini, peneliti lebih menekankan pada proses pendokumentasian dengan menggunakan kamera DSLR dalam metode *photogrammetry (Reality Based Modelling)* dan juga dengan melakukan penggambaran berdasar pengukuran langsung di lapangan (*Source Based Modelling*). Kedua metode ini dilakukan sebagai kajian keefektifan metode rekonstruksi

virtual dalam upaya pelestarian arsitektur pusaka dalam kawasan Komplek Candi Borobudur. Hasil dari rekonstruksi virtual selanjutnya akan digunakan sebagai model 3D virtual guna mengidentifikasi karakter bangunan tanpa perlu melakukan pengamatan langsung di lapangan. Berikut alur penelitian keseluruhan;



Gambar 6. Metodologi dan Alur Analisis Penelitian (Sumber: Penulis, 2021)

Penentuan objek amatan untuk metode *photogrammetry* dan pengukuran lapangan biasa berdasarkan pada kondisi; (1) tidak banyak penghalang pandangan ke bangunan (Pardamean & Tolle, 2021), (2) seluruh selubung bangunan dapat dikelilingi/diambil fotonya (minimal dua sisi bangunan yang bersebelahan), (3) objek amatan merupakan bangunan lama atau bangunan yang merepresentasikan karakter mayoritas bangunan di sekitarnya (J. H. S. UNESCO, 2021). Dengan ketentuan objek amatan tersebut, berhasil terkurasi enam objek amatan yang memenuhi kriteria tersebut untuk selanjutnya dilakukan proses rekonstruksi virtual dengan memanfaatkan *photogrammetry*. Disamping dilakukan metode *photogrammetry* (selanjutnya akan disebut dengan *Closed Range Photogrammetry/CRP*), keenam objek amatan terpilih juga akan direkonstruksi menggunakan metode penggambaran kembali berdasar hasil pengukuran (selanjutnya akan disebut dengan *Source Based Modelling/SBM*).

Berikut daftar wilayah dan objek amatan yang akan menjadi studi aplikatif dari penelitian;

Tabel 1. Daftar Objek Amatan

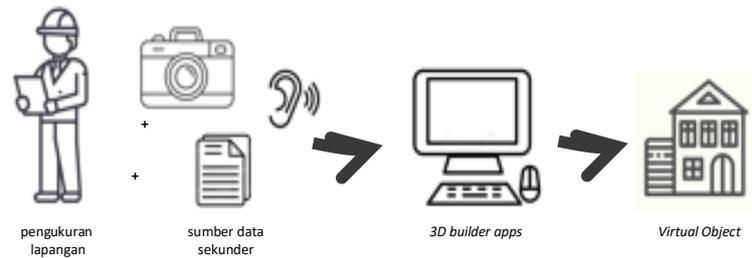
No	Area Amatan	Metode	Objek Amatan	Pemilik	Fungsi
1	Candirejo	CRP*	Limasan Tradisional	Tatak	Guest House
2	Bejeng	CRP*	Limasan Tradisional	Darso	Guest House
3	Klipoh	SB**	Kampung Olah Desain	-	Rumah & workshop
4		SB**	Kampung Tradisional	-	Rumah & workshop
5	Maitan	CRP*	Kampung Tradisional	Daryadi	Rumah kosong
6	Wringinputih	SB**	Kampung Tradisional	Mudrikah	Rumah tinggal

*Close Range Photogrammetry, **Source Based

Metode Pengolahan Data dan Analisis

Source Based Modelling (SBM)

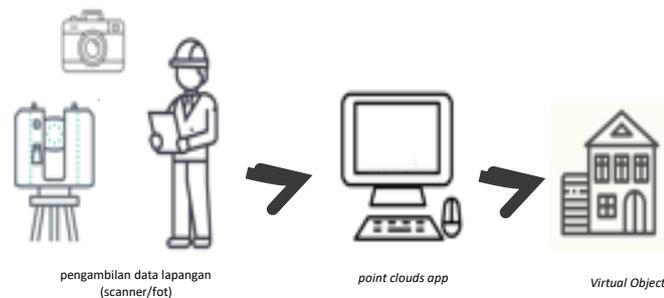
Metode ini merupakan metode standar dalam upaya merekonstruksi virtual objek arsitektur terbangun. Namun metode ini memiliki permasalahan klasik yaitu cenderung membutuhkan waktu lebih lama (dalam proses pengambilan data di lapangan atau proses di belakang meja). Hasil rekonstruksi dengan metode ini bergantung pada kemampuan *drafter* dan aplikasi *rendering* yang digunakan.



Gambar 7. Urutan proses modeling -> Source Based Data
(Sumber: Penulis, 2022)

Peralatan yang digunakan dilapangan merupakan peralatan standar, seperti meteran serta kertas gambar, tidak lupa proses amatan dilapangan akan terdokumentasi dengan video atau foto objek amatan. Dalam penelitian kali ini, rata-rata waktu yang dibutuhkan untuk mendapatkan ukuran seluruh komponen bangunan objek amatan berkisar antara 15 -20 menit. Sehingga tapi tidak dapat dipungkiri bahwa metode ini termasuk metode rekonstruksi virtual yang paling mudah dilakukan dan biasa dilakukan (untuk bangunan dengan tingkat kerumitan ornament sedang).

Closed Range Photogrammetry (CRP)



Gambar 8. Urutan proses modeling -> Closed Range Photogrammetry (CRP)
(Sumber: Penulis, 2022)

Closed Range Photogrammetry/CRP akan menghasilkan model 3D dengan keakuratan tinggi (0,x milimeter) dengan tingkat kedetailan yang relative tinggi dibandingkan metode *SBM*. *Photogrammetry* memiliki prinsip kerja membaca cahaya hasil tangkapan kamera dan kemampuan aplikasi pengolah foto (dalam penelitian ini menggunakan *Agisoft Metashape*). Rekonstruksi virtual dengan *photogrammetry* masuk dalam kelompok *Reality Based Modelling/RBM*, menggunakan basis data kondisi ekisting dilapangan. Foto-foto yang diperoleh akan diproses secara otomatis oleh *Agisoft Metashape* yang beroperasi tanpa penyederhanaan berlebihan dan menghasilkan informasi yang dikemas ke dalam hasil akhir kumpulan titik/*point clouds* yang membentuk objek 3D.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Closed Range Photogrammetry (CRP)

Dalam penelitian ini peneliti menggunakan dua alat bantu pengumpul data, kamera DSLR dan kamera telepon genggam (dengan ekstensi file *jpeg/png/tiff*), serta menggunakan *UAV/drone* (dengan ekstensi file *tiff/obj*). Proses pengambilan data dengan kamera DSLR/kamera telpon genggam memerlukan waktu sekitar 10 menit untuk memastikan mendapatkan foto seluruh sisi bangunan dengan tingkat kedetilan sedang (70 – 90 foto), ini tidak termasuk foto siteplan bangunan (dengan *UAV*). Proses pengolahan data memerlukan beberapa tahapan sebelum menjadi objek 3D yang berbasis *points*.



Gambar 9. Permodelan Objek Amatan (2), metode *CRP* dengan kamera DSLR
(Sumber: Penulis, 2022)

Permodelan dengan menggunakan *UAV/drone* membutuhkan waktu sekitar 5-10 menit (bergantung pada kondisi kepadatan sekitar) untuk mendapatkan model bangunan secara utuh. Kendala ditemukan ketika melakukan pengambilan data pada objek amatan (2) dan (5) yang disebabkan jarak antar masa bangunan yang terlalu dekat. Hal tersebut mengharuskan pengambilan data dilakukan dengan dua cara, menerbangkan drone (mengambil data sekeliling objek) dan membawa drone berkeliling bangunan dalam kondisi tidak terbang. Luaran yang dihasilkan dengan *UAV* akan langsung berupa bentuk 3D (*obj*), kolase foto (*jpg*), dan material (*mtl*). Sehingga diperlukan proses *reverse* untuk mendapatkan data *points*. Proses *reverse* ini sendiri perlu dilakukan selain untuk merapikan/menseleksi hasil permodelan yang tidak diperlukan (*cache*) juga jika kita menghendaki melakukan intervensi desain (Olah Desain Arsitektur Pusaka).

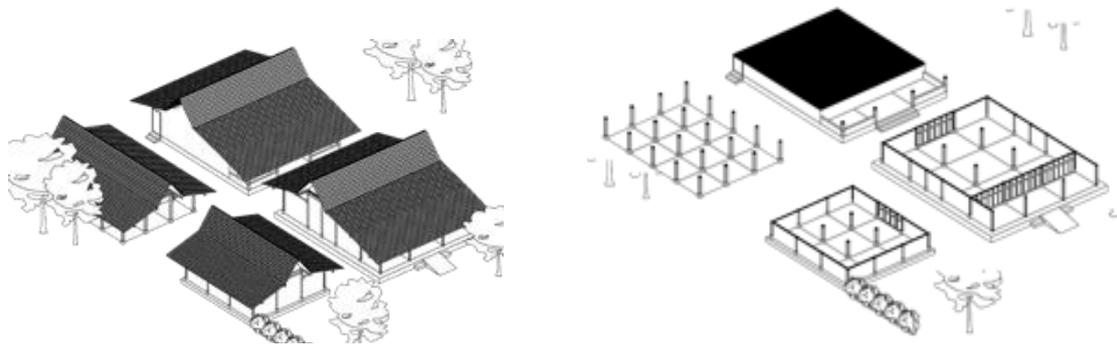


Gambar 10. [kiri] Permodelan Objek Amatan (1); [kanan] Permodelan Objek Amatan (5), metode *CRP* dengan drone
(Sumber: Penulis, 2022)

Source Based Modeling (SBM)

Proses pengambilan data di lapangan dengan melakukan pengukuran pada tiap komponen bangunan secara detil. Disamping pengukuran juga dilakukan pendataan jenis dan kondisi material bangunan, data ini berperan pada tahap *rendering* akhir untuk menghasilkan visualiasasi akhir yang menyerupai kondisi asli. Pengukuran objek dalam penelitian ini

memakan waktu sekitar 15-20 menit (bergantung pada banyaknya masa bangunan dalam satu objek amatan). Diperlukan ketelitian ketika melakukan pengukuran sehingga tidak ada komponen yang terlewat untuk diukur yang mengharuskan kita kembali ke lapangan.

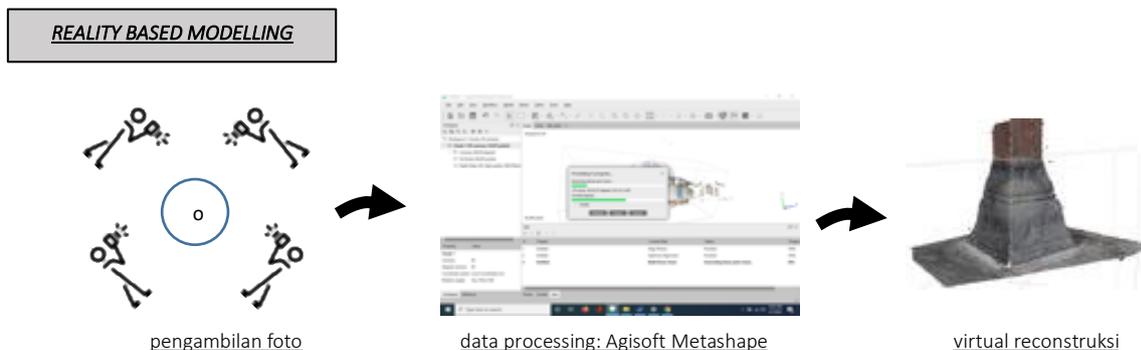


Gambar 11. Permodelan objek amatan (6) dengan metode Source Based dengan proses data menggunakan SketchUp
(Sumber: Penulis, 2022)

3.1 Isi Pembahasan

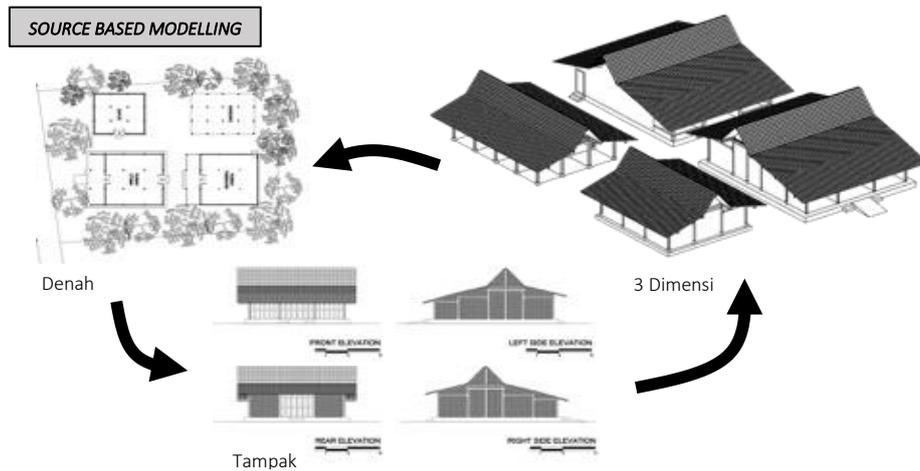
Pengumpulan Data Lapangan

Dalam penelitian ini, metode pengumpulan secara konvensional dengan pengamatan di lapangan dan melakukan pengukuran akurat langsung dalam tabel memerlukan waktu lama dilapangan. Hal tersebut karena surveyor sebelum melakukan pengukuran perlu memahami kondisi objek amatan terlebih. Hal ini dilakukan untuk memastikan proses pengambilan data berjalan baik dan tidak ada data yang terlewat. Durasi waktu pengambilan data dalam metode ini akan sangat bergantung pada surveyor, semakin tinggi jam terbang surveyor proses pengumpulan data akan semakin cepat, hal ini sedikit berkebalikan dengan metode *CRP. Photogrammetry* cenderung memerlukan waktu singkat dan proses yang cukup sederhana dalam pengambilan data lapangan, karena memanfaatkan perangkat berupa kamera tanpa mengharuskan surveyor paham betul akan objek amatan.



Gambar 12. Langkah dalam pelaksanaan *Reality Based Modeling* dengan kamera tangan
(Sumber: Penulis, 2022)

Sudut-sudut pada objek amatan yang ingin ditangkap dalam proses rekonstruksi akan menjadikan proses lebih lama dikarenakan perangkat perlu mengolah ratusan foto untuk diperoleh kesamaan titik dan dihasilkan *point cloud*. Dalam praktiknya, metode *Source Based Modelling* ketika masuk pada tahap penggambaran akan ditemukan ketidaksesuaian data hasil pengukuran, dalam tahap penggambaran 2D atau ketika sudah menjadi objek 3D (proporsi tidak sesuai). Sehingga menjadi penting melakukan pengukuran yang akurat ketika berada dilapangan, proses ini menuntut ketelitian yang tinggi dari manusia sebagai surveyor/pengumpul data lapangan.



Gambar 13. Langkah dalam penggambaran objek berdasarkan data pengukuran lapangan secara konvensional (Sumber: Penulis, 2022)

Closed Range Photogrammetry dan Source Based Modelling

Closed Range Photogrammetry digunakan dalam penelitian ini dengan beberapa pertimbangan. Pertama jarak bangunan dengan objek sekitar relative jauh (lebih dari 1.5 meter), sehingga jarak kamera dengan objek dapat konsisten (namun tidak berlaku ketika pengambilan foto untuk objek (2) dan (5)). Kedua, objek amatan terpilih paling memenuhi kriteria objek yang dapat dikelilingi 360° dan tanpa vegetasi yang menghalangi pengambilan gambar. Ini lah yang menjadi kendala dalam pelaksanaan metode *Closed Range Photogrammetry* dibandingkan menggunakan metode *Source Based Modelling*. Hipotesa awal dalam penelitian ini dengan memanfaatkan *Closed Range Photogrammetry* akan lebih efisien untuk mencapai hasil akhir yang akurat -> objek 3D, namun ternyata hal ini hanya berlaku untuk objek amatan tertentu.

Ukuran objek, kondisi sekitar objek, dan kualitas alat pengambil gambar sangat mempengaruhi kualitas luaran dari proses *Closed Range Photogrammetry* (mempengaruhi kepadatan *point* dan peta warna yang dihasilkan). Berbeda dengan metode *Source Based Modelling*, yang sangat mempengaruhi hasil adalah ketelitian surveyor dalam mengumpulkan data lapangan dan kemampuan *drafter*. Dapat diambil gambaran umum bahwa kedua metode ini, baik *Closed Range Photogrammetry* dan *Source Based Modelling* penggunaannya sangat dipengaruhi oleh kondisi objek amatan. Akan sangat baik jika kedua metode ini dapat dipadu padankan dalam satu aplikasi yang mampu melakukan sinkronisasi data dengan baik.

Analisis Pemrosesan Data

* objek amatan eksterior bangunan (R. 40)

Metode (pengumpulan data)	Jenis Data	Akurasi data	Biaya	Perangkat	Lama proses pengambilan data	Lama proses pengolahan data (menjadi objek 3D)
Konvensional (pengukuran langsung)	Source based	Bergantung pada data terkumpul	\$\$	Meteran (digital/analog)	2	1
<i>Closed Range Photogrammetry (CRP)</i>	Reality based	Akurat dengan sedikit distorsi cahaya	\$\$\$	Kamera DSLR Lensa Tamron 18-200, Drone (Di Phantom 3)	1	2
<i>Terrestrial Laser Scanning (TLS)</i>	Reality based	Akurat (2mm)	\$\$\$\$\$	3D Laser scanner (ex. leica, Faro)		

** (relatif) 1 orang 2 orang 3 orang
berikut pengembalian 12 objek amatan

Metode (pengumpulan data)	Aplikasi pengolahan data	Basis data luaran	Hasil luaran	Kemampuan bentuk dan material dengan objek
Konvensional (pengukuran langsung)	Revit/AutoCAD/ArchCAD	Face(s)	Denah tampak (2D) -> 3D	Bentuk : menyempai Material : menyempai
<i>Closed Range Photogrammetry (CRP)</i>	PhotoScan/Agisoft Metashape	Point(s)	3D -> Denah tampak (2D)	Bentuk : akurat Material : sesuai kondisi cahaya ketika pengambilan data
<i>Terrestrial Laser Scanning (TLS)</i>	CloudCompare / Brevan perangkat	Point(s)	3D -> Denah tampak (2D)	Bentuk : akurat Material : sesuai objek

Gambar 14. Komparasi Proses Source Based, Closed Range Photogrammetry, dan TLS (Sumber: Penulis, 2022)

3.2 Potensi Pengembangan Sistem Data Virtual dalam Pelestarian Pusaka

Perkembangan implementasi metode *Closed Range Photogrammetry/CRP* semakin membuka kesempatan eksplorasi metode yang dapat digunakan untuk pengumpulan data (pengambilan gambar objek amatan) yang menghasilkan dokumentasi 3D virtual yang sesuai dengan kondisi nyata. Hal ini juga akan mendukung keberhasilan sebuah kawasan dalam yang menjalankan prinsip *Historic Urban Landscape* (Ginzarly et al., 2019). Peran masyarakat (*participatory public*) berpotensi besar membantu pengelolaan kawasan pusaka, di mana masyarakat berperan sebagai pemberi data di lapangan berupa foto kondisi eksisting.

Closed Range Photogrammetry/CRP atau pun metode rekonstruksi virtual lainnya dapat menghadirkan ruang data digital, yang berisikan objek 3D atau pun view kawasan dalam bentuk foto/video objek dari waktu ke waktu. Data digital tersebut juga mendokumentasikan lapisan waktu dan faktor lain hadir dan memengaruhi arsitektur. Dalam lingkup meso-makro, data digital ini dapat menghadirkan diorama digital (Nakaya et al., 2010) yang dapat diakses dari berbagai tempat dan waktu.

4. KESIMPULAN

Rekonstruksi virtual dalam upaya pelestarian arsitektur pusaka dalam bentuk dokumentasi digital masih perlu dikembangkan dan diperluas penggunaannya di Indonesia. Kemudahan dalam melakukan dokumentasi sederhana (berupa foto 2D atau mendokumentasikan dalam video) tentu dengan berbagai kualitas perangkat akan membantu dalam dokumentasi untuk selanjutnya masuk proses rekonstruksi secara virtual objek tersebut. Dengan dua metode permodelan dalam penelitian ini (*CRP* dan *SBM*) serta perangkat yang mengiringi sudah mampu menjadi awal yang baik dan sederhana untuk melakukan rekonstruksi virtual.

Optimasi *points* -> *point cloud* -> *dense cloud* menjadi kunci penting sebelum melangkah masuk dalam tahapan *pre-entry data Heritage-Building Information Modelling/H-BIM* yang terintegrasi dalam sistem *one source data* (data tunggal). Namun, tidak ada salahnya jika proses membangun mekanisme besar ini sebagai sumber data penelitian atau pun pengambil kebijakan dimulai dengan data yang telah tersedia, walau sedikit. Karena topik Rekonstruksi Virtual dalam upaya pelestarian masih sangat luas dan banyak diskusi dengan berbagai disiplin ilmu diluar arsitektur untuk mengembangkannya.

Penelitian ini juga menjadi studi awal dalam pengembangan satu wadah digital yang dapat diakses oleh seluruh pihak sebagai sarana pembelajaran kekayaan nilai arsitektur suatu kawasan, dalam contoh kasus ini adalah Komplek Candi Borobudur. Tidak dapat dipungkiri masih perlu dilakukan penelitian/kajian lanjutan dalam pengembangan wadah digital tersebut. Mulai dari merancang suatu mekanisme pengumpulan data yang lebih sederhana hingga proses pengolahan data yang lebih ramah pengguna. Seluruh penelitian terkait topik ini harus dengan satu semangat dan tujuan, yaitu menghadirkan presentasi lapisan keunggulan nilai arsitektur pusaka dengan mengedepankan partisipasi dari berbagai pihak. Penelitian lanjutan sangat berpotensi dilakukan bersama disiplin ilmu lain, seperti Geodesi atau pun Teknologi Informasi untuk mulai mengembangkan sistem data (penyimpanan, pengolahan, dan aksesibilitas data).

6. REFERENSI

- Abdulameer, Z. A., & Abbas, S. S. (2020). Adaptive reuse as an approach to sustainability. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 881(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/881/1/012010>
- Andriasyan, M., Moyano, J., Nieto-Julián, J. E., & Antón, D. (2020). From point cloud data to

- Building Information Modelling: An automatic parametric workflow for heritage. *Remote Sensing*, 12(7). <https://doi.org/10.3390/rs12071094>
- Boniotti, C. (2021). The public–private–people partnership (P4) for cultural heritage management purposes. *Journal of Cultural Heritage Management and Sustainable Development*. <https://doi.org/10.1108/JCHMSD-12-2020-0186>
- BPPI. (2003). *Piagam Pelestarian Kota Pusaka*.
- Demetrescu, E. (2018). Virtual reconstruction as a scientific tool: The extended matrix and source-based modelling approach. *Communications in Computer and Information Science*, 817, 102–116. https://doi.org/10.1007/978-3-319-76992-9_7
- Dirjen Kebudayaan, K. P. dan K. R. I. (2021). *20210405_Management Plan BTC.pdf*.
- Drap, P., Grussenmeyer, P., Hartmann-virnich, A., & Photogrammetric, A. H. (2008). *Photogrammetric stone-by-stone survey and archeological knowledge : an application on the Romanesque Priory Church Notre-Dame d ' Aleyrac To cite this version :*
- Fangi, G., Piermattei, L., & Wahbeh, W. (2013). Spherical Photogrammetry as Rescue Documentation for the Reconstruction of Some UNESCO Sites in Syria. *International Journal of Heritage in the Digital Era*, 2(3), 335–341. <https://doi.org/10.1260/2047-4970.2.3.335>
- Ginzarly, M., Houbart, C., & Teller, J. (2019). The Historic Urban Landscape approach to urban management: a systematic review. *International Journal of Heritage Studies*, 25(10), 999–1019. <https://doi.org/10.1080/13527258.2018.1552615>
- ICOMOS. (n.d.). *Guidance on Heritage Impact Assessment for Cultural World Heritage Propertise*. 148, 148–162.
- Nakaya, T., Yano, K., Isoda, Y., Kawasumi, T., Takase, Y., Kirimura, T., Tsukamoto, A., Matsumoto, A., Seto, T., & Iizuka, T. (2010). Virtual Kyoto project: Digital diorama of the past, present, and future of the historical city of Kyoto. *Lecture Notes in Computer Science (Including Subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, 6259 LNCS, 173–187. https://doi.org/10.1007/978-3-642-17184-0_14
- Nex, F., & Remondino, F. (2014). UAV for 3D mapping applications: A review. *Applied Geomatics*, 6(1), 1–15. <https://doi.org/10.1007/s12518-013-0120-x>
- Pardamean, B. S., & Tolle, H. (2021). Pembuatan Objek 3D Candi Badut Menggunakan Metode Photogrammetry. *Physics and Science Education Journal (PSEJ)*, 5(6), 1–2.
- Prabowo, B. N., Pramesti, P. U., Ramandhika, M., & Sukawi, S. (2020). Historic urban landscape (HUL) approach in Kota Lama Semarang: Mapping the layer of physical development through the chronological history. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 402(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/402/1/012020>
- Santander, A. A., Garai-Olaun, A. A., & Arana, A. de la F. (2018). Historic urban landscapes: A review on trends and methodologies in the urban context of the 21st century. *Sustainability (Switzerland)*, 10(8). <https://doi.org/10.3390/su10082603>
- UNESCO. (2016). The HUL Guidebook. *The HUL Guide*, 59. <http://historicurbanlandscape.com/themes/196/userfiles/download/2016/6/7/wirey5prpznidqx.pdf>
- UNESCO. (2017). UNESCO moving forward the 2030 Agenda for Sustainable Development. *The United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization*, 22. <http://en.unesco.org/sdgs>
- UNESCO, J. H. S. (2021). *Documentation of The Traditional Building Character in Cultural Landscape of Borobudur Region*.
- UNESCO, W. H. C. (2011). UNESCO Recommendation on HUL. *Records of the General Conference 36th Session*, 25.

- Wong, J., Wang, X., Li, H., Chan, G., & Li, H. (2014). A review of cloud-based bim technology in the construction sector. *Journal of Information Technology in Construction*, 19(August), 281–291.
- Yang, X., Grussenmeyer, P., Koehl, M., Macher, H., Murtiyoso, A., & Landes, T. (2020). Review of built heritage modelling: Integration of HBIM and other information techniques. *Journal of Cultural Heritage*, 46, 350–360. <https://doi.org/10.1016/j.culher.2020.05.008>