

Media Virtual Reality Berbasis Pemodelan 3D untuk Edukasi Warisan Budaya Paseban Tri Panca Tunggal

Yulyanto*, Fachri El'Kariem, Rika Nugraha*

¹ Program Studi Desain Komunikasi Visual, Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Kuningan, Kuningan, Indonesia

Email: 1,*yulyanto@uniku.ac.id

Email Penulis Korespondensi: yulyanto.huk@gmail.com

Abstrak—Erosi literasi warisan budaya pada generasi muda merupakan tantangan serius di Indonesia yang semakin terdigitalisasi. Paseban Tri Panca Tunggal, bangunan warisan budaya Sunda yang dibangun pada tahun 1840 di Cigugur, Kuningan, Jawa Barat, menyimpan nilai filosofis dan arsitektural yang mendalam dalam sistem kepercayaan Sunda Wiwitan, namun sulit dijangkau siswa melalui media pembelajaran konvensional. Penelitian ini menyajikan perancangan dan implementasi media edukasi berbasis Virtual Reality (VR) dengan pemodelan 3D yang dikembangkan khusus untuk bangunan tersebut menggunakan kerangka Multimedia Development Life Cycle (MDLC). Blender digunakan untuk pemodelan 3D hardsurface, Unity untuk integrasi interaksi, dan Spatial.io sebagai platform VR berbasis metaverse, menghasilkan pengalaman belajar imersif yang dapat diakses melalui browser web, perangkat Android, dan headset VR. Sembilan elemen arsitektur bangunan, masing-masing mengandung makna filosofis, direkonstruksi secara digital dan dilengkapi konten interaktif berupa narasi audio dan pop-up informasi. Validasi ahli media menghasilkan rata-rata 4,3/5,0 (Sangat Layak), validasi objek menghasilkan 3,5/5,0 (Layak), dan uji coba pengguna terhadap 36 siswa kelas V SD menghasilkan rata-rata 4,21/5,0 (84,2%), berkategori Sangat Layak. Hasil ini membuktikan bahwa media VR berbasis pemodelan 3D efektif sebagai media edukasi warisan budaya dan menawarkan model yang dapat direplikasi untuk pelestarian digital bangunan bersejarah lokal di Indonesia. Sebagai implementasi media VR pertama yang dikembangkan khusus untuk Paseban Tri Panca Tunggal, penelitian ini berkontribusi pada pengembangan model pelestarian digital warisan budaya lokal yang dapat diadopsi secara luas dalam konteks pendidikan di Indonesia.

Kata Kunci: Virtual Reality; Pemodelan 3D; Edukasi Warisan Budaya; Multimedia Development Life Cycle; Paseban Tri Panca Tunggal; Pembelajaran Imersif

Abstract—The erosion of cultural heritage literacy among younger generations is a pressing challenge in Indonesia's digitizing society. Paseban Tri Panca Tunggal, a Sundanese heritage building constructed in 1840 in Cigugur, Kuningan, West Java, embodies significant philosophical and architectural values of the Sunda Wiwitan belief system, yet remains largely inaccessible to students through conventional educational approaches. This study presents the design and implementation of a 3D modeling-based Virtual Reality (VR) educational medium for this heritage site using the Multimedia Development Life Cycle (MDLC) framework. Blender was used for hardsurface 3D modeling, Unity for interactive integration, and Spatial.io for metaverse-based VR deployment, producing an immersive learning experience accessible via web browser, Android devices, and VR headsets. Nine key architectural elements, each bearing distinct philosophical meaning, were digitally reconstructed with interactive audio narration and informational pop-ups. Expert media validation yielded 4.3/5.0 (Very Feasible), object accuracy validation scored 3.5/5.0 (Feasible), and user testing with 36 Grade-5 primary students produced 4.21/5.0 (84.2%, Very Feasible). These results demonstrate that VR-based 3D modeling is an effective medium for cultural heritage education, offering a replicable model for digital preservation of locally significant heritage sites in Indonesia. As the first VR educational medium specifically designed for Paseban Tri Panca Tunggal, this work contributes a replicable digital preservation framework for locally significant heritage sites across Indonesian educational contexts.

Keywords: Virtual Reality; 3D Modeling; Cultural Heritage Education; Multimedia Development Life Cycle; Paseban Tri Panca Tunggal; Immersive Learning

1. PENDAHULUAN

Warisan budaya merupakan dimensi identitas nasional yang tidak tergantikan. Di Indonesia, transmisi pengetahuan budaya lokal kepada generasi muda secara historis bergantung pada lembaga pendidikan formal dan interaksi berbasis komunitas. Namun, laju transformasi digital yang semakin pesat, dipadukan dengan terkonsentrasinya pengetahuan warisan budaya pada para penjaga tradisi lanjut usia, telah menciptakan kesenjangan yang nyata antara situs warisan budaya dan siswa yang seharusnya memperoleh manfaat terbesar dari pemahaman tersebut [1]. Kesenjangan ini terasa khususnya akut pada situs-situs lokal yang tidak mendapatkan perhatian institusional setara dengan monumen yang diakui secara internasional.

Paseban Tri Panca Tunggal, yang didirikan pada tahun 1840 di Cigugur, Kuningan, Jawa Barat, merupakan contoh nyata kategori warisan budaya yang kurang terdokumentasi namun kaya nilai kultural. Bangunan ini berfungsi sebagai pusat upacara dan administrasi komunitas Sunda Wiwitan—tradisi spiritual indigenous Sunda yang mendahului adopsi formal agama-agama besar di kawasan ini. Kosakata arsitekturalnya mengodekan pandangan dunia kosmologis yang kompleks melalui sembilan elemen utama: atap limasan, tongkat kosmis penangkal petir (Momolo), pagar halaman sakral (Kutagara), sistem relief kosmologis (Purwawisada), ornamen railing, tiang utama (Soko Guru), jendela, pondasi, dan pintu upacara utama. Meskipun memiliki signifikansi yang demikian mendalam, bangunan ini masih belum dikenal secara luas oleh siswa sekolah dasar di sekitarnya, bahkan ketika kurikulum muatan lokal Kabupaten Kuningan tahun 2025 (Muatan Lokal Gunung Ciremai) secara resmi mewajibkan pembelajaran warisan budaya daerah bagi siswa kelas V. Media pembelajaran konvensional—ilustrasi buku teks, diagram dua dimensi, dan kunjungan lapangan yang terkendala logistik—terbukti tidak memadai dalam menghasilkan keterlibatan experiential yang mendalam sebagaimana yang dituntut oleh pendidikan warisan budaya [2]. Virtual Reality (VR) telah muncul sebagai alternatif pedagogis yang

menjanjikan, memungkinkan peserta didik untuk menjelajahi lingkungan rekonstruksi digital dengan tingkat kehadiran spasial dan interaktivitas yang tidak dapat dicapai oleh medium statis mana pun. Sistem VR secara umum diklasifikasikan berdasarkan platform penyampaian ke dalam VR mobile (head-mounted display berbasis smartphone), VR PC (HTC Vive, Oculus Rift), headset mandiri (Meta Quest), serta lingkungan VR berbasis browser web [3].

Efektivitas edukatif VR secara teoritis dilandasi oleh Teori Pembelajaran Multimedia Kognitif (Cognitive Theory of Multimedia Learning) Mayer [4], yang menyatakan bahwa pembelajaran dari kata-kata dan gambar menghasilkan luaran yang lebih baik dibandingkan dari kata-kata semata, asalkan beban kognitif (cognitive load) dikelola dengan cermat. VR memperluas kerangka ini dengan menambahkan saluran pemrosesan proprioseptif dan spasial, memungkinkan peserta didik membangun pengetahuan melalui pengalaman yang terwujudkan (embodied experience), bukan penerimaan pasif [5]. Meta-analisis mengonfirmasi bahwa VR berbasis simulasi secara konsisten melampaui instruksi konvensional dalam perolehan pengetahuan dan keterlibatan peserta didik [6][7]. Bagi peserta didik pada tahap operasional konkret (concrete operational stage) Piaget [8] (usia 6–12 tahun), lingkungan VR yang berbasis spasial dan tersusun secara interaktif sangat sesuai dengan kebutuhan perkembangan mereka.

Dalam konteks warisan budaya, VR telah dimanfaatkan untuk rekonstruksi fotogrametri situs arkeologis [9], pengalaman museum virtual interaktif [10], dan penelusuran warisan berbasis mobile [11]. Literatur secara konsisten mengidentifikasi tiga keunggulan utama VR dalam pendidikan warisan budaya: kemampuan menyajikan bangunan atau situs yang secara fisik tidak dapat diakses atau bersifat fragil; kemampuan menanamkan informasi interpretatif kontekstual langsung dalam pengalaman spasial; serta peningkatan keterlibatan afektif dengan materi sejarah dan budaya [12]. Kendati demikian, sebagian besar implementasi yang dipublikasikan menyoroti penguji museum dewasa atau mahasiswa, dengan kesenjangan yang nyata dalam penerapan untuk konteks sekolah dasar [7].

Pemodelan tiga dimensi (3D modeling) telah menjadi metodologi fundamental dalam dokumentasi warisan budaya digital, menawarkan ketelitian representasi yang melampaui gambar teknik konvensional [13]. Teknik hard surface modeling dalam Blender memungkinkan rekonstruksi geometrik presisi pada elemen-elemen arsitektural, mencakup permukaan planar, profil sudut, serta ornamentasi bergaya yang khas arsitektur vernakular Indonesia. Kersten dan Lindstaedt [14] menunjukkan bahwa pemodelan 3D bangunan bersejarah menghasilkan dokumentasi berkualitas arsip dengan biaya yang lebih rendah dibandingkan laser scanning, sementara Skarlatos dkk. [15] mengonfirmasi bahwa pipeline berbasis Blender sangat sesuai untuk aplikasi edukatif mengingat aksesibilitas dan fleksibilitas ekspornya. Dalam konteks Indonesia, Widiastuti dkk. [16] menerapkan pemodelan 3D untuk mendokumentasikan pendopo Jawa tradisional dan menemukan peningkatan signifikan dalam pemahaman spasial siswa terhadap tata bahasa arsitektur vernakular.

Multimedia Development Life Cycle (MDLC), yang diusulkan oleh Luther [17] dan dikembangkan oleh Sutopo [18][19], menyediakan kerangka terstruktur enam tahap—Concept (Konsep), Design (Desain), Material Collecting (Pengumpulan Material), Assembly (Perakitan), Testing (Pengujian), dan Distribution (Distribusi)—yang diadopsi secara luas dalam penelitian teknologi pendidikan Indonesia [20][21]. Struktur bertahapnya sangat cocok untuk pipeline produksi VR, di mana ketergantungan antara pemodelan, desain interaksi, dan kompatibilitas platform membutuhkan manajemen sistematis.

Beberapa studi terdahulu memberikan perbandingan yang relevan. Purnomo dkk. [20] mengembangkan aplikasi VR untuk pura Bali tradisional menggunakan Unity dan Google Cardboard, melaporkan validasi ahli sebesar 4,1/5,0 dan penerimaan pengguna sebesar 78,3% pada siswa menengah. Miftah [21] menerapkan MDLC untuk mengembangkan media edukatif AR pada objek budaya Jawa dengan skor validasi di atas 4,0. Meskipun demikian, hingga saat ini belum ada studi yang mengembangkan media edukasi VR khusus untuk Paseban Tri Panca Tunggal, dan tidak ada publikasi yang mendokumentasikan rekonstruksi digital 3D bangunan ini dalam bentuk apapun. Selain itu, sebagian besar studi VR warisan budaya di Indonesia mensyaratkan headset khusus atau aplikasi mobile, sehingga membatasi aksesibilitas di sekolah-sekolah dengan sumber daya terbatas.

Tabel 1 merangkum perbandingan penelitian terdahulu yang relevan, mengidentifikasi kesenjangan yang direspons oleh penelitian ini.

Tabel 1. Perbandingan Penelitian Terdahulu yang Relevan

Peneliti (Tahun)	Objek Warisan	Teknologi/Metode	Hasil Validasi	Keterbatasan Utama
Purnomo dkk. (2021) [20]	Pura Bali tradisional, Indonesia	Unity, Google Cardboard, MDLC, Android	4,10/5,0; 78,3% pengguna	Hanya Android; tidak aksesibel browser; terbatas satu jenis headset
Miftah (2019) [21]	Budaya Jawa (AR)	AR, Assemblr Edu, MDLC	> 4,0/5,0	Terbatas AR marker; bukan arsitektur; tidak multi-platform
Bekele dkk. (2018) [9]	Situs arkeologis internasional	VR/AR/MR; kajian sistematis	Review; tidak ada validasi primer	Tidak fokus Indonesia; tidak ada uji siswa SD
Hamilton dkk. (2021) [7]	Pendidikan K-12 & PT umum	Berbagai VR; meta-analisis	Meta-analisis kuantitatif	Tidak fokus warisan budaya; tidak ada studi SD + heritage lokal

Penelitian ini (2025)	Paseban Tri Panca Tunggal, Kuningan	Blender–Unity–Spatial.io, MDLC, multi-platform	4,21/5,0 (84,2%)	Pertama untuk PTPT; multi- platform; level SD; selaras kurikulum Mulok
--------------------------	--	---	---------------------	--

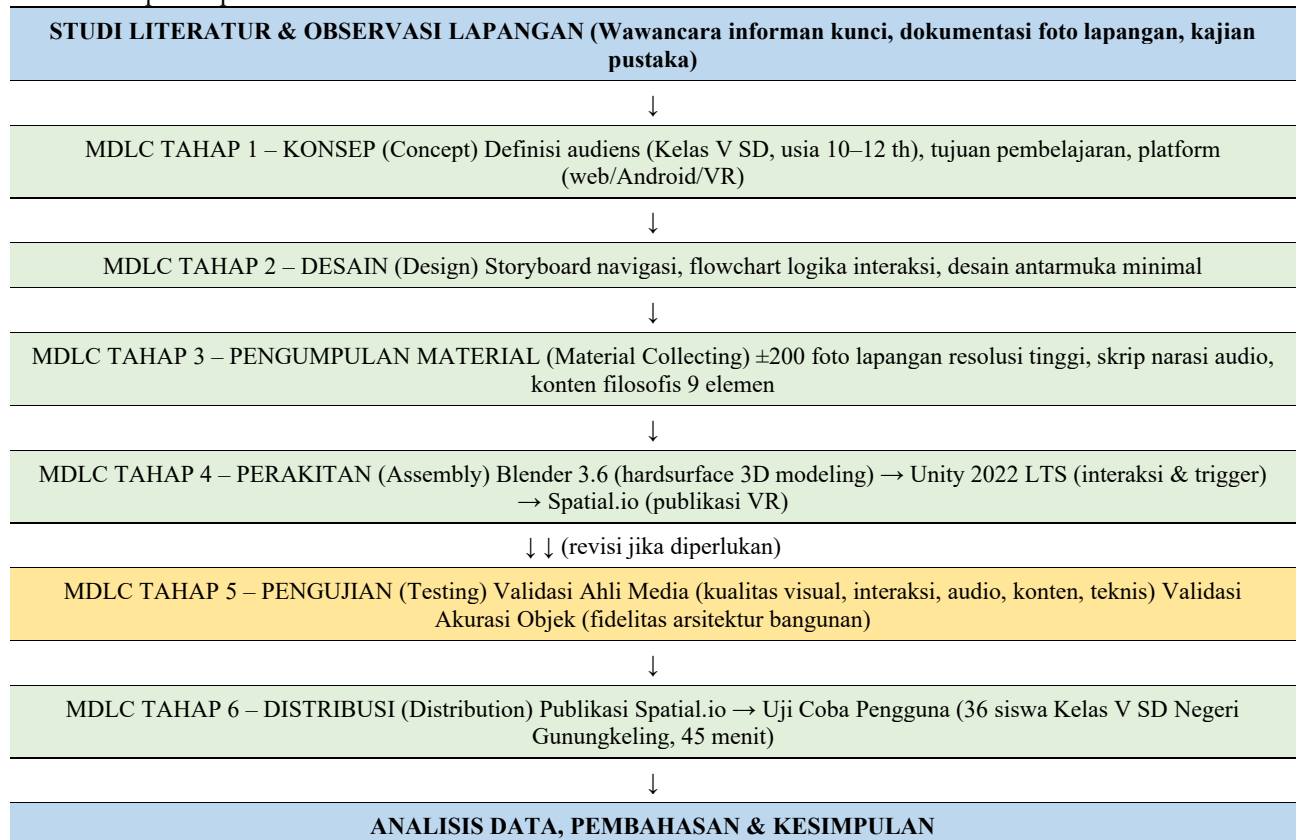
Berdasarkan kajian literatur di atas, terdapat tiga kesenjangan penelitian yang perlu diisi: (1) belum ada penelitian yang mengembangkan media edukasi VR khusus untuk Paseban Tri Panca Tunggal dan tidak ada publikasi yang mendokumentasikan rekonstruksi digital 3D bangunan ini dalam bentuk apapun; (2) sebagian besar studi VR warisan budaya di Indonesia mensyaratkan headset khusus atau aplikasi mobile berbayar, sehingga tidak dapat diakses di sekolah dengan sumber daya terbatas; dan (3) literatur VR untuk pendidikan warisan budaya di tingkat sekolah dasar Indonesia masih sangat terbatas (Tabel 1). Penelitian ini merespons ketiga kesenjangan tersebut dengan merancang, mengimplementasikan, dan mengevaluasi media edukasi berbasis VR pemodelan 3D untuk Paseban Tri Panca Tunggal menggunakan kerangka MDLC, melalui pipeline terintegrasi Blender–Unity–Spatial.io. Kontribusi ilmiah penelitian ini mencakup: (1) memajukan basis bukti VR dalam pendidikan warisan budaya lokal di tingkat sekolah dasar; (2) menyediakan pipeline pengembangan multi-platform yang dapat direplikasi; serta (3) menghadirkan alat pembelajaran yang selaras dengan kurikulum Muatan Lokal Gunung Ciremai.

2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Rancangan Penelitian

Penelitian ini menggunakan rancangan penelitian deskriptif kualitatif, yang sesuai untuk menginvestigasi proses pengembangan dan mengevaluasi kualitas artefak media edukasi [22]. Analisis data mengikuti pendekatan deskriptif naratif Labov dan Waletzky [23], yang menstrukturkan inkuiri di sekitar pengungkapan peristiwa-peristiwa pengembangan secara sekuensial. Metodologi pengembangan yang digunakan adalah kerangka MDLC [17][18][19], yang diterapkan sekaligus sebagai prosedur produksi dan kerangka analitis untuk mendokumentasikan keputusan desain beserta rasionalenya.

Pemilihan MDLC sebagai kerangka pengembangan didasarkan pada tiga pertimbangan utama. Pertama, MDLC dirancang khusus untuk pengembangan produk multimedia interaktif—berbeda dengan model generik seperti ADDIE atau SAM yang lebih berorientasi pada desain kurikulum—sehingga lebih sesuai untuk pipeline produksi berbasis VR yang melibatkan aset 3D, audio spasial, dan interaksi digital [17][18]. Kedua, sifat siklik MDLC memungkinkan iterasi pada tahap Perakitan (Assembly) berdasarkan umpan balik pengujian awal, yang kritis dalam pengembangan VR karena masalah kinerja rendering dan kompatibilitas platform sering ditemukan hanya setelah pengujian langsung [19]. Ketiga, MDLC telah divalidasi secara luas dalam penelitian pengembangan media edukasi berbasis teknologi di Indonesia [20][21], sehingga memberikan basis perbandingan yang diakui secara nasional. Gambar 1 menyajikan diagram alir keseluruhan proses penelitian ini.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian Berbasis MDLC**2.2 Pengumpulan Data**

Data primer dikumpulkan melalui tiga metode yang saling melengkapi. Pertama, wawancara semi-terstruktur dilakukan dengan dua informan kunci: pengelola Paseban Tri Panca Tunggal (Bapak Dedi, komunikasi pribadi, Februari 2025), yang memberikan keterangan otoritatif tentang sembilan elemen arsitektur bangunan dan signifikansi filosofisnya; serta guru kelas V (Ibu Euis, komunikasi pribadi, Februari 2025), yang memberikan konteks pedagogis terkait keselarasan kurikulum. Kedua, observasi langsung dan dokumentasi fotografi bangunan dilaksanakan dalam dua kunjungan lapangan (Januari–Februari 2025), menghasilkan sekitar 200 referensi visual beresolusi tinggi untuk keperluan pemodelan 3D. Ketiga, kajian literatur sistematis dilakukan untuk membangun kerangka teori dan mengidentifikasi preseden desain. Pemilihan SD Negeri Gunungkeling sebagai lokasi uji coba didasarkan pada teknik purposive sampling dengan kriteria: (a) lokasi sekolah berada di Kecamatan Cigugur, dekat dengan Paseban Tri Panca Tunggal; (b) kurikulum muatan lokal sekolah secara eksplisit mencakup warisan budaya Kabupaten Kuningan; dan (c) kesediaan institusional untuk berpartisipasi dalam pengujian media edukasi berbasis teknologi. Jumlah 36 siswa memenuhi syarat minimum uji coba lapangan (field trial) dalam penelitian pengembangan media edukatif [24][27].

2.3 Tahapan Pengembangan (MDLC)

Tahap 1—Konsep (Concept): Audiens target ditetapkan sebagai siswa kelas V (usia 10–12 tahun) di SD Negeri Gunungkeling, Kuningan. Berdasarkan tahap operasional konkret Piaget [8], konten dirancang untuk bersifat visual-grounded, berbasis spasial, serta tersusun secara interaktif (scaffolded). Media dirancang untuk aksesibilitas tiga platform: browser web tanpa instalasi, smartphone Android, dan headset VR. Tujuan pembelajaran utama mencakup pengenalan sembilan elemen arsitektur beserta pemahaman makna filosofisnya dalam sistem kosmologi Sunda Wiwitan.

Tahap 2—Desain (Design): Storyboard dibuat untuk memetakan pengalaman navigasi pengguna di sekitar eksterior bangunan virtual. Flowchart menspesifikasi logika kondisional pemicu interaksi (interaction trigger), termasuk aktivasi pop-up berbasis kedekatan (proximity) dan isyarat audio spasial. Antarmuka (interface) dirancang untuk kompleksitas interaksi yang minimal, sesuai dengan kemampuan perkembangan kelompok usia target dan keterbatasan paradigma interaksi VR mobile.

Tahap 3—Pengumpulan Material (Material Collecting): Sekitar 200 foto lapangan beresolusi tinggi dikumpulkan dalam dua kunjungan observasi. Konten tertulis mengenai signifikansi filosofis masing-masing elemen diturunkan dari transkrip wawancara dan divalidasi terhadap sumber-sumber yang diterbitkan tentang arsitektur Sunda. Skrip narasi audio dikembangkan untuk kesembilan elemen interaktif.

Tahap 4—Perakitan (Assembly): Pemodelan tiga dimensi dilakukan di Blender 3.6 menggunakan teknik hardsurface (pemodelan poligon dengan modifier subdivisi untuk permukaan melengkung; operasi boolean untuk cutout dan relief arsitektural). Masing-masing dari sembilan elemen dimodelkan secara terpisah sebelum dirakit menjadi satu adegan eksterior komposit. Adegan tersebut kemudian diekspor ke Unity 2022 LTS untuk pemrograman interaksi—pengontrol navigasi, zona pemicu kedekatan, pemutaran audio spasial, dan ikon informasional interaktif—lalu diterbitkan di platform Spatial.io.

Tahap 5—Pengujian (Testing): Validasi ahli media dilakukan oleh Moch. Nur Fikri Denintyo, S.Kom., yang mengevaluasi kualitas visual, desain interaksi, kualitas audio, kejelasan konten, dan aksesibilitas teknis. Validasi akurasi objek dilakukan oleh pengelola bangunan (Bapak Dedi), yang menilai fidelitas representasi 3D terhadap elemen-elemen arsitektur asli.

Tahap 6—Distribusi (Distribution): Media VR yang telah disempurnakan diterbitkan di Spatial.io dan diakses oleh 36 siswa kelas V SD Negeri Gunungkeling dalam sesi kelas yang dipandu selama 45 menit. Data pengalaman pengguna dikumpulkan melalui kuesioner segera setelah sesi berlangsung.

2.4 Instrumen Validasi

Seluruh instrumen validasi dan uji coba pengguna menggunakan skala Likert lima poin (1 = Sangat Tidak Setuju hingga 5 = Sangat Setuju). Kategori kelayakan mengacu pada kriteria Walker dan Hess [24] yang diadaptasi untuk konteks VR: $\geq 4,20$ = Sangat Layak; $3,40$ – $4,19$ = Layak; $2,60$ – $3,39$ = Cukup Layak; $1,80$ – $2,59$ = Kurang Layak; $< 1,80$ = Tidak Layak. Instrumen validasi ahli mencakup lima dimensi penilaian: desain visual, desain interaksi, kualitas audio, kejelasan konten, dan kinerja teknis. Kuesioner uji coba pengguna menilai kemudahan penggunaan, pemahaman konten, keterlibatan visual, dan manfaat pembelajaran yang dirasakan, dengan butir-butir yang divalidasi untuk kesesuaian tingkat keterbacaan bagi siswa kelas V.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN**3.1 Produk Media Edukasi VR yang Dihasilkan**

Proses pengembangan menghasilkan media edukasi VR interaktif yang menggambarkan eksterior Paseban Tri Panca Tunggal dengan fidelitas spasial tiga dimensi yang menyeluruh. Media ini dapat diakses melalui tiga saluran: (1) tautan

browser web di Spatial.io tanpa memerlukan instalasi; (2) aplikasi Spatial.io untuk Android; serta (3) headset VR yang kompatibel (Meta Quest). Lingkungan virtual memungkinkan navigasi bebas di dalam kompleks eksterior bangunan, dengan pemicu interaksi yang ditempatkan pada masing-masing dari sembilan elemen arsitektur. Saat pengguna mendekati suatu elemen, pemicu tersebut mengaktifkan narasi audio sekaligus menampilkan pop-up informasi yang mendeskripsikan bentuk arsitektur dan makna filosofisnya. Di samping media VR utama, proyek ini menghasilkan enam luaran komunikasi visual pendukung: poster promosi, infografis edukatif, x-banner, video bumper animasi berdurasi 30 detik, maket fisik cetak 3D, serta pengalaman Augmented Reality (AR) di platform Assemblr Edu—yang secara kolektif membentuk ekosistem komunikasi visual terintegrasi untuk keperluan pembelajaran di kelas.

3.2 Representasi Tiga Dimensi Elemen Arsitektur

Sembilan elemen arsitektur Paseban Tri Panca Tunggal diidentifikasi melalui kunjungan lapangan dan wawancara pakar. Tabel 1 menyajikan ringkasan masing-masing elemen beserta signifikansi filosofisnya sebagaimana yang tertanam dalam media VR.

Tabel 2. Elemen Arsitektur Paseban Tri Panca Tunggal dan Makna Filosofisnya

No.	Elemen Arsitektur	Makna Filosofis dan Kosmologis
1	Atap Limasan	Melambangkan harmoni tiga pihak antara alam manusia, alam, dan ketuhanan—kesatuan kosmologis yang fundamental dalam Sunda Wiwitan.
2	Momolo (Penangkal Petir)	Merepresentasikan poros kosmis (axis mundi) yang menghubungkan langit dan bumi; menandai bangunan sebagai lokus sakral.
3	Pagar Kutagara	Memisahkan ruang sakral dari ruang profan; mengatur akses ritual secara bertingkat sesuai kedudukan spiritual.
4	Relief Purwawisada	Mengodekan narasi kosmologis dalam batu ukiran, berfungsi sebagai teks didaktis permanen pada permukaan eksterior bangunan.
5	Ornamen Railing	Mengekspresikan tata bahasa visual Sunda dan tradisi kerajinan pada zona transisi arsitektural bangunan.
6	Soko Guru (Kolom Utama)	Tiang struktural dan simbolis yang merepresentasikan empat kekuatan kosmis kardinal; angka empat memiliki signifikansi kosmologis khusus.
7	Jendela	Memediasi hubungan antara komunitas interior dan dunia luar; proporsinya didasarkan pada norma-norma kerajinan tradisional Sunda.
8	Pondasi	Menumpukan bangunan secara fisik dan spiritual; merepresentasikan substrat leluhur identitas pengetahuan dan budaya.
9	Pintu Utama	Penanda ambang batas yang mengatur masuknya upacara; ornamentasinya mencerminkan kekhidmatan ritual yang dilaksanakan di dalam bangunan.

Rekonstruksi 3D kesembilan elemen tersebut di Blender 3.6 melibatkan strategi geometrik yang berbeda-beda: subdivisi poligon untuk profil atap limasan yang melengkung; operasi boolean subtraction untuk pola ukiran Purwawisada; serta pemodelan rotasi berbasis lathe untuk elemen-elemen kolom. Keberhasilan mereproduksi bentuk eksterior bangunan menunjukkan viabilitas hardsurface modeling sebagai metode dokumentasi warisan arsitektural yang terjangkau, konsisten dengan temuan Skarlatos dkk. [15] dan Widiastuti dkk. [16]. Kendati demikian, fidelitas elemen-elemen berpermukaan ukiran tetap menjadi keterbatasan yang diakui, sebagaimana diulas lebih lanjut pada Subbagian 3.4.

3.3 Validasi Ahli Media

Validasi ahli media dilakukan oleh Moch. Nur Fikri Denintyo, S.Kom., yang mencakup lima dimensi penilaian. Tabel 2 menyajikan hasil selengkapnya.

Tabel 3. Hasil Validasi Ahli Media

No.	Dimensi Penilaian	Skor (1–5)	Kategori
1	Desain Visual dan Kualitas Estetika	4,5	Sangat Layak
2	Desain Interaksi dan Navigasi	4,3	Sangat Layak
3	Kualitas dan Kesesuaian Audio	4,0	Layak
4	Kejelasan Konten Edukasi	4,4	Sangat Layak
5	Kinerja Teknis dan Aksesibilitas	4,3	Sangat Layak
	Rata-rata Keseluruhan	4,30	Sangat Layak

Skor validasi ahli media secara keseluruhan sebesar 4,30/5,00 menempatkan media ini pada kategori Sangat Layak. Hasil ini lebih unggul secara perbandingan dibandingkan studi-studi sejenis: Purnomo dkk. [20] melaporkan 4,10/5,00 untuk VR pura Bali, sedangkan Miftah [21] melaporkan 4,08/5,00 untuk media AR budaya Jawa. Skor yang sedikit lebih tinggi pada penelitian ini kemungkinan mencerminkan desain interaksi yang lebih komprehensif—khususnya sistem pop-up audio-visual yang terpadu—serta arsitektur multi-perangkat Spatial.io yang meminimalkan hambatan akses bagi pengguna tanpa perangkat keras VR khusus. Dimensi dengan skor terendah adalah kualitas audio (4,0/5,0, Layak), mencerminkan masukan ahli bahwa kalibrasi audio ambien dan kecepatan narasi memerlukan penyempurnaan bagi target pengguna kelas V SD.

3.4 Validasi Akurasi Objek

Validasi fidelitas arsitektur dilakukan oleh pengelola bangunan, Bapak Dedi, menghasilkan skor keseluruhan sebesar 3,50/5,00 (Layak). Perhatian utama yang disampaikan adalah fidelitas tekstur permukaan relief ukiran Purwawisada dan ornamen pagar Kutagara yang belum sepenuhnya menangkap kerumitan visual batu aslinya. Temuan ini mencerminkan ketegangan mendasar dalam media VR warisan budaya real-time antara akurasi geometrik dan kinerja rendering: jumlah poligon (polygon count) yang lebih tinggi serta texture mapping fotorealistik meningkatkan fidelitas representasi, namun menurunkan frame rate, terutama pada platform mobile [9]. Iterasi mendatang dapat mengatasi ketegangan ini melalui penangkapan tekstur fotogrametrik—teknik yang didemonstrasikan oleh Skarlatos dkk. [15] untuk menangkap detail permukaan mikro yang tidak dapat direplikasi oleh pemodelan poligon—seraya mempertahankan geometri poligon rendah untuk kebutuhan penyampaian berbasis mobile. Skor 3,50/5,00 tetap memadai untuk penerapan edukatif awal, mengingat tujuan pembelajaran utama menyangkut pengenalan elemen dan pemahaman makna filosofis, bukan ketelitian tekstur permukaan.

3.5 Hasil Uji Coba Pengguna

Uji coba pengguna dilakukan bersama 36 siswa kelas V dalam sesi yang dipandu selama 45 menit di SD Negeri Gunungkeling, Kuningan. Tabel 3 merangkum distribusi respons pada lima dimensi penilaian.

Tabel 4. Distribusi Respons Uji Coba Pengguna (n = 36)

Dimensi Penilaian	Sangat Baik (5)	Baik (4)	Cukup (3)	Rata-rata
Kemudahan Navigasi	41,7%	55,5%	2,8%	4,39
Kejelasan Visual Model 3D	44,4%	50,0%	5,6%	4,39
Keterpahaman Konten Edukasi	33,3%	63,9%	2,8%	4,31
Kualitas Narasi Audio	30,6%	61,1%	8,3%	4,22
Keterlibatan dan Pengalaman Belajar	41,7%	55,6%	2,8%	4,39
Rata-rata Keseluruhan	38,9%	57,2%	4,5%	4,21 (84,2%)

Skor pengguna secara keseluruhan sebesar 4,21/5,00 (84,2%) menempatkan media ini pada kategori Sangat Layak. Tidak ada satu pun siswa yang memberikan penilaian Kurang Layak atau Tidak Layak pada dimensi mana pun. Hasil ini melampaui 78,3% yang dilaporkan Purnomo dkk. [20] untuk media VR warisan budaya Indonesia yang sebanding, mengindikasikan bahwa model interaksi yang disederhanakan—pop-up yang dipicu oleh kedekatan tanpa input gestural yang kompleks—sangat sesuai dengan kapasitas perkembangan peserta didik usia sekolah dasar. Temuan ini konsisten dengan meta-analisis Merchant dkk. [6] dan Hamilton dkk. [7], yang mengidentifikasi siswa usia sekolah dasar sebagai kelompok yang sangat responsif terhadap lingkungan visual imersif ketika beban kognitif dikelola secara cermat. Karakterisasi Piaget [8] tentang tahap operasional konkret memberikan landasan teoritis: struktur spasial tiga dimensi lingkungan VR beserta pemicu objek interaktif mengaktifkan saluran pemrosesan spasial yang dideskripsikan dalam Teori Pembelajaran Multimedia Kognitif Mayer [4], mendukung keterlibatan yang lebih mendalam dengan konten budaya dibandingkan yang dimungkinkan oleh media dua dimensi. Dimensi dengan skor terendah adalah kualitas narasi audio (4,22/5,00), mengonfirmasi penilaian validator ahli dan mengidentifikasi produksi audio sebagai area utama penyempurnaan pada versi mendatang. Secara komparatif, skor 84,2% melampaui 78,3% yang dilaporkan Purnomo dkk. [20] untuk media VR warisan budaya Indonesia yang sebanding, dan lebih tinggi dari 80,2% rata-rata yang dilaporkan meta-analisis Merchant dkk. [6] untuk VR dalam pendidikan K-12. Keunggulan ini dapat dikaitkan dengan dua faktor: (1) model interaksi berbasis kedekatan (proximity-triggered) yang dirancang untuk kompleksitas minimal sesuai kapasitas perkembangan peserta didik SD, dan (2) aksesibilitas multi-platform Spatial.io yang menghilangkan hambatan instalasi aplikasi. Temuan ini konsisten dengan meta-analisis Hamilton dkk. [7] yang menunjukkan bahwa peserta didik usia sekolah dasar merupakan kelompok yang paling responsif terhadap VR imersif dibandingkan kelompok usia lainnya. Sesuai Teori Pembelajaran Multimedia Kognitif Mayer [4], kombinasi narasi audio dan visualisasi 3D interaktif dalam media ini mengoptimalkan pemrosesan informasi dual-channel, yang menjelaskan tingginya dimensi keterpahaman konten edukatif (4,31/5,00) dan keterlibatan belajar (4,39/5,00) pada hasil uji coba.

3.6 Implikasi, Keterbatasan, dan Arah Penelitian Mendatang

Melampaui fungsi edukatif langsungnya, penelitian ini menunjukkan viabilitas VR berbasis pemodelan 3D sebagai strategi pelestarian digital bagi bangunan warisan yang tidak memiliki sumber daya dokumentasi tingkat UNESCO. Penerapan melalui Spatial.io menciptakan rekaman digital permanen eksterior bangunan yang dapat diakses tanpa perangkat keras khusus—keunggulan yang sangat bermakna dalam konteks Indonesia, di mana ribuan bangunan warisan lokal yang signifikan masih belum terdokumentasi secara digital [13]. Keselarasan eksplisit dengan kurikulum Muatan Lokal Gunung Ciremai Kabupaten Kuningan mengilustrasikan model yang dapat direplikasi untuk integrasi institusional: media VR warisan yang dikembangkan dalam konsultasi dengan penjaga pengetahuan lokal dan praktisi kelas, ditautkan pada tujuan kurikulum formal, serta divalidasi melalui proses tinjauan media edukasi standar.

Beberapa keterbatasan penelitian ini perlu diakui dan ditempatkan dalam konteks metodologisnya yang tepat. Pertama, sebagai penelitian pengembangan (development research) yang bertujuan menghasilkan dan mengevaluasi kelayakan produk media, rancangan pre-test/post-test tidak termasuk dalam ruang lingkup penelitian ini—sejalan dengan tujuan utamanya mengukur kelayakan (feasibility) media, bukan efektivitas kausal terhadap hasil belajar [22][27]. Kajian efektivitas pembelajaran membutuhkan rancangan quasi-eksperimental tersendiri dengan kelompok kontrol dan

instrumen tes terstandarisasi, yang direkomendasikan sebagai agenda penelitian lanjutan. Ketidakhadiran desain pre-post-test ini bukan kelemahan metodologis melainkan konsekuensi dari fokus penelitian pada pengembangan dan validasi produk, bukan pengujian hipotesis kausal [26]. Kedua, sampel satu sekolah (n=36) membatasi generalisabilitas temuan validasi pengguna. Ketiga, media VR hanya mencakup eksterior bangunan; elemen-elemen spasial interior belum dijangkau penelitian ini. Keempat, ketergantungan pada platform pihak ketiga Spatial.io menghadirkan risiko aksesibilitas dan keberlanjutan jangka panjang.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini menyajikan perancangan, implementasi, dan evaluasi pertama media edukasi Virtual Reality berbasis pemodelan 3D untuk Paseban Tri Panca Tunggal—bangunan warisan budaya Sunda yang dibangun pada tahun 1840 di Cigugur, Kuningan, Jawa Barat. Melalui pipeline terintegrasi Blender–Unity–Spatial.io menggunakan kerangka MDLC, media yang dihasilkan merekonstruksi secara digital sembilan elemen arsitektur utama beserta konten audio-visual interaktif, dan dapat diakses melalui browser web, perangkat Android, maupun headset VR. Validasi ahli media (4,30/5,00, Sangat Layak), validasi akurasi objek (3,50/5,00, Layak), dan uji coba pengguna terhadap 36 siswa kelas V SD (4,21/5,00, 84,2%, Sangat Layak) mengafirmasi kelayakan dan daya tarik media ini untuk penerapan di kelas. Penelitian ini berkontribusi pada: (1) penguatan basis bukti VR dalam pendidikan warisan budaya lokal di tingkat sekolah dasar; (2) penyediaan pipeline pengembangan multi-platform tervalidasi yang dapat direplikasi untuk situs warisan Indonesia lainnya; dan (3) hadirnya alat pembelajaran yang selaras dengan kurikulum Muatan Lokal Gunung Ciremai yang aktif. Penelitian mendatang direkomendasikan untuk mengintegrasikan rancangan pre-test/post-test guna mengukur perolehan belajar secara empiris, memperluas cakupan ke ruang interior bangunan, serta mengeksplorasi arsitektur penerapan yang tidak bergantung pada platform pihak ketiga.

UCAPAN TERIMAKASIH

Para penulis menyampaikan terima kasih yang tulus kepada Bapak Dedi, pengelola Paseban Tri Panca Tunggal, atas bimbingannya yang sangat berharga mengenai elemen-elemen arsitektur dan signifikansi filosofis bangunan. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada Ibu Euis dan seluruh staf SD Negeri Gunungkeling, Kuningan, yang telah memfasilitasi pelaksanaan sesi uji coba pengguna, serta kepada Moch. Nur Fikri Denintyo, S.Kom., yang telah bersedia berperan sebagai validator ahli media. Penelitian ini dilaksanakan sebagai bagian dari pemenuhan persyaratan gelar Sarjana Desain Komunikasi Visual pada Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Kuningan.

REFERENSI

- [1] A. Suprijono, *Cooperative Learning: Teori dan Aplikasi PAIKEM*, Ed. Revisi. Yogyakarta: Pustaka Pelajar, 2020.
- [2] J. Radianti, T. A. Majchrzak, J. Fromm, dan I. Wohlgenannt, "A systematic review of immersive virtual reality applications for higher education: Design elements, lessons learned, and research agenda," *Computers & Education*, vol. 147, hlm. 103778, 2020, doi: 10.1016/j.compedu.2019.103778.
- [3] G. Makransky dan L. Lilleholt, "A structural equation modeling investigation of the emotional value of immersive virtual reality in education," *Educational Technology Research and Development*, vol. 66, no. 5, hlm. 1141-1164, 2018, doi: 10.1007/s11423-018-9581-2.
- [4] R. E. Mayer, *Multimedia Learning*, Ed. ke-2. Cambridge: Cambridge University Press, 2009.
- [5] G. Makransky, T. S. Terkildsen, dan R. E. Mayer, "Adding immersive virtual reality to a science lab simulation causes more presence but less learning," *Learning and Instruction*, vol. 60, hlm. 225-236, 2019, doi: 10.1016/j.learninstruc.2017.12.007.
- [6] Z. Merchant, E. T. Goetz, L. Cifuentes, W. Keeney-Kennicutt, dan T. J. Davis, "Effectiveness of virtual reality-based instruction on students' learning outcomes in K-12 and higher education: A meta-analysis," *Computers & Education*, vol. 70, hlm. 29-40, 2014, doi: 10.1016/j.compedu.2013.07.033.
- [7] D. Hamilton, J. McKechnie, E. Edgerton, dan C. Wilson, "Immersive virtual reality as a pedagogical tool in education: A systematic literature review of quantitative learning outcomes and experimental design," *Journal of Computers in Education*, vol. 8, no. 1, hlm. 1-32, 2021, doi: 10.1007/s40692-020-00169-2.
- [8] J. Piaget, *The Origins of Intelligence in Children*. New York: International Universities Press, 1952.
- [9] M. K. Bekele, R. Pierdicca, E. Frontoni, E. S. Malinverni, dan J. Gain, "A survey of augmented, virtual, and mixed reality for cultural heritage," *Journal on Computing and Cultural Heritage*, vol. 11, no. 2, hlm. 1-36, 2018, doi: 10.1145/3145534.
- [10] A. Christopoulos, S. Mystakidis, N. Pellas, dan M. J. Laakso, "ARLEAN: An augmented reality learning analytics ethical framework," *Computers*, vol. 11, no. 8, hlm. 92, 2022, doi: 10.3390/computers11080092.
- [11] B. Palomar dkk., "Mobile augmented reality application for experiencing traditional festivals," *Multimedia Tools and Applications*, vol. 79, no. 25, hlm. 17483-17503, 2020.
- [12] H. Rua dan P. Alvito, "Living the past: 3D models, virtual reality and game engines as tools for supporting archaeology and the reconstruction of cultural heritage," *Journal of Archaeological Science*, vol. 38, no. 12, hlm. 3296-3308, 2011, doi: 10.1016/j.jas.2011.07.015.
- [13] L. Gomes, O. R. P. Bellon, dan L. Silva, "3D reconstruction methods for digital preservation of cultural heritage: A survey," *Pattern Recognition Letters*, vol. 50, hlm. 3-14, 2014, doi: 10.1016/j.patrec.2014.03.023.

- [14] T. P. Kersten dan M. Lindstaedt, "Virtual architectural 3D model of the historic Leoben Stadtplatz via digital photogrammetry and terrestrial laser scanning," *The Photogrammetric Record*, vol. 27, no. 137, hlm. 40-60, 2012.
- [15] D. Skarlatos, S. Kiparissi, dan I. Soteriou, "A comparison of classical surveying techniques and photogrammetric methods for 3D reconstruction of cultural heritage monuments," *ISPRS International Journal of Geo-Information*, vol. 8, no. 2, hlm. 71, 2019, doi: 10.3390/ijgi8020071.
- [16] N. Widiastuti, W. Kusuma, dan T. Rahardjo, "Digitalisasi pendopo tradisional Jawa menggunakan 3D modeling untuk keperluan dokumentasi dan edukasi," *Jurnal Desain*, vol. 8, no. 3, hlm. 241-252, 2021.
- [17] A. C. Luther, *Authorware, Macromind Director, and MacroModel: Interactive Multimedia*. Boston: AP Professional, 1994.
- [18] A. H. Sutopo, *Multimedia Interaktif dengan Flash*. Yogyakarta: Graha Ilmu, 2003.
- [19] A. H. Sutopo, *Teknologi Informasi dan Komunikasi dalam Pendidikan*. Yogyakarta: Graha Ilmu, 2012.
- [20] A. Purnomo, S. Suyatno, dan A. Syahid, "Pengembangan aplikasi virtual reality untuk pembelajaran kebudayaan Bali berbasis android menggunakan Multimedia Development Life Cycle," *Jurnal Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer (JTIK)*, vol. 8, no. 2, hlm. 389-398, 2021, doi: 10.25126/jtik.202182902.
- [21] M. Miftah, "Pengembangan media pembelajaran berbasis augmented reality pada mata pelajaran IPS tema lingkungan budaya," *Jurnal Inovasi Teknologi Pendidikan*, vol. 6, no. 1, hlm. 47-58, 2019, doi: 10.21831/jitp.v6i1.24635.
- [22] M. Sandelowski, "Whatever happened to qualitative description?" *Research in Nursing & Health*, vol. 23, no. 4, hlm. 334-340, 2000.
- [23] W. Labov dan J. Waletzky, "Narrative analysis: Oral versions of personal experience," dalam *Essays on the Verbal and Visual Arts*, J. Helm, Ed. Seattle: University of Washington Press, 1967, hlm. 12-44.
- [24] D. F. Walker dan R. D. Hess, *Instructional Software: Principles and Perspectives for Design and Use*. Belmont, CA: Wadsworth, 1984.
- [25] M. Lombard dan T. Ditton, "At the heart of it all: The concept of presence," *Journal of Computer-Mediated Communication*, vol. 3, no. 2, 1997, doi: 10.1111/j.1083-6101.1997.tb00072.x.
- [26] J. W. Creswell dan J. D. Creswell, *Research Design: Qualitative, Quantitative, and Mixed Methods Approaches*, Ed. ke-5. Thousand Oaks, CA: SAGE Publications, 2018.
- [27] L. Jensen dan F. Konradsen, "A review of the use of virtual reality head-mounted displays in education and training," *Education and Information Technologies*, vol. 23, no. 4, hlm. 1515-1529, 2018, doi: 10.1007/s10639-017-9676-0.
- [28] J. Parong dan R. E. Mayer, "Learning science in immersive virtual reality," *Journal of Educational Psychology*, vol. 110, no. 6, hlm. 785-797, 2018, doi: 10.1037/edu0000241.