

# Implementation of Virtual Reality Technology for Visualization of Moraya Fortress Tondano

Implementasi *Virtual Reality* Untuk Visualisasi Interaktif Benteng Moraya Tondano

Henry Valentino F. Kainde, Dirko G.S. Ruindungan

Dept. of Electrical Engineering, Sam Ratulangi University Manado, Kampus Bahu St., 95115, Indonesia

e-mails : [valentkainde@unsrat.ac.id](mailto:valentkainde@unsrat.ac.id), [dirko@unsrat.ac.id](mailto:dirko@unsrat.ac.id)

Received: 26 October 2026; revised: 25 November 2026; accepted: 13 February 2026

**Abstract** —This study aims to develop the *Benteng Moraya Virtual Tour* application as a digital cultural preservation medium using *Virtual Reality* (VR) technology. The research was motivated by the need to digitize local historical sites amid the declining interest of younger generations in regional history. The method used refers to the *Multimedia Development Life Cycle* (MDLC). Data collection was conducted through direct documentation at the Benteng Moraya site, followed by 3D modeling using Blender and integration into Unity 3D. The resulting application allows users to explore a realistic and interactive 360° virtual environment. The *black box* testing results show that all main features, including navigation, information, and user control, functioned properly as designed. This application serves not only as a virtual exploration tool but also as an educational medium that promotes local cultural heritage preservation in the digital era.

**Key words**— Benteng Moraya; Cultural Preservation; Virtual Reality; Virtual Tour; MDLC

**Abstrak** —Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan aplikasi *Virtual Tour* Benteng Moraya sebagai media pelestarian budaya digital menggunakan teknologi *Virtual Reality* (VR). Latar belakang penelitian ini berangkat dari kebutuhan untuk mendigitalisasi situs bersejarah lokal di tengah rendahnya minat generasi muda terhadap sejarah daerah. Metode yang digunakan mengacu pada *Multimedia Development Life Cycle* (MDLC). Proses pengumpulan data dilakukan melalui dokumentasi langsung di situs Benteng Moraya yang kemudian dimodelkan dalam bentuk tiga dimensi menggunakan Blender dan diintegrasikan ke dalam Unity 3D. Aplikasi ini memungkinkan pengguna menjelajahi lingkungan virtual dengan tampilan 360° yang realistis dan interaktif. Hasil pengujian *black box* menunjukkan seluruh fitur utama berjalan dengan baik sesuai rancangan, meliputi fungsi navigasi, informasi, dan kontrol pengguna. Aplikasi yang dihasilkan tidak hanya berfungsi sebagai sarana eksplorasi virtual, tetapi juga sebagai media edukatif yang mendukung pelestarian budaya lokal di era digital.

**Kata kunci** — Benteng Moraya; Pelestarian Budaya; Virtual Reality; Virtual Tour; MDLC

## I. PENDAHULUAN

Warisan budaya merupakan salah satu aspek penting dalam menjaga identitas suatu bangsa di tengah arus globalisasi dan perkembangan teknologi yang begitu pesat[1], [2]. Di tengah arus globalisasi yang semakin kuat, pelestarian warisan budaya kian sulit dilakukan karena laju modernisasi, urbanisasi, dan pengaruh media yang mendorong terjadinya pergeseran budaya

[3]. Upaya pelestarian warisan budaya tidak lagi hanya bergantung pada kegiatan fisik seperti pameran, festival, atau kunjungan ke situs sejarah, tetapi juga memerlukan pendekatan baru yang menggabungkan unsur teknologi digital. Digitalisasi budaya telah diidentifikasi sebagai strategi efektif untuk mendokumentasikan dan memperkenalkan kembali warisan budaya kepada publik luas, terutama generasi muda yang lebih akrab dengan media interaktif [4].

Sulawesi Utara merupakan daerah yang memiliki warisan budaya dan sejarah yang kaya, salah satunya adalah Benteng Moraya, yang terletak di Kota Tondano. Benteng ini merupakan simbol perjuangan rakyat Minahasa dalam menghadapi penjajahan Belanda pada abad ke-19, khususnya dalam Perang Tondano yang mewakili semangat perlawanan dan identitas masyarakat Minahasa. Nilai sejarah dan budaya yang melekat pada Benteng Moraya menjadikannya salah satu aset penting dalam pembangunan identitas daerah. Namun demikian, masih terdapat kendala dalam memperkenalkan dan melestarikan situs ini, terutama karena minimnya dokumentasi digital, kurangnya promosi berbasis teknologi, dan rendahnya minat generasi muda terhadap sejarah lokal. Tantangan seperti keterbatasan sumber daya, kurangnya dokumentasi 3D berkualitas, serta rendahnya kesadaran masyarakat terhadap pentingnya pelestarian digital juga ditemukan dalam penelitian lain di situs budaya Indonesia.

Dalam beberapa tahun terakhir, teknologi *Virtual Reality* (VR) telah menjadi salah satu inovasi yang banyak digunakan dalam bidang pendidikan, pariwisata, dan pelestarian budaya [5], [6], [7]. VR secara umum mengacu pada teknologi yang menciptakan lingkungan tiga dimensi imersif di mana pengguna dapat berinteraksi secara langsung seolah-olah berada di dunia nyata melalui perangkat seperti *head-mounted display* atau *VR headset* [8]. Sementara itu, *Virtual Reality Tour* (VR Tour) merupakan penerapan khusus dari teknologi VR yang berfokus pada eksplorasi lingkungan nyata dalam bentuk digital, biasanya berupa simulasi lokasi yang direkam atau dimodelkan dalam format 360 derajat sehingga pengguna dapat "berjalan" dan menjelajahi suatu tempat secara virtual [9]. Teknologi ini memungkinkan pengalaman interaktif yang tidak hanya bersifat informatif, tetapi juga mendukung pelestarian dan promosi nilai budaya.

Beberapa penelitian telah menerapkan *virtual reality tour*

untuk promosi dan pelestarian situs budaya seperti penerapan pada situs Museum Klinik Santa Maria, Pura Kehen, Pura Ponjok Batu [10], [11], [12]. Namun, penerapan teknologi ini masih terbatas pada beberapa daerah dan belum mencakup situs-situs budaya di wilayah lain seperti Sulawesi Utara. Oleh karena itu, penelitian ini hadir untuk memperluas penerapan Virtual Reality Tour dalam konteks budaya daerah yang berbeda, dengan studi kasus pada Benteng Moraya di Tondano, sebagai upaya pelestarian dan digitalisasi warisan budaya lokal.

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengembangkan aplikasi Virtual Tour berbasis Virtual Reality yang merepresentasikan Benteng Moraya di Tondano sebagai bentuk pelestarian budaya digital serta untuk meningkatkan minat masyarakat, khususnya generasi muda, terhadap sejarah dan nilai-nilai budaya lokal. Aplikasi ini diharapkan berfungsi sebagai sarana informasi, tetapi juga sebagai media pembelajaran dan pelestarian yang berdampak jangka panjang bagi keberlanjutan budaya daerah di era digital.

#### *A. Penelitian Terkait*

Untuk memperkuat landasan teoretis dan mendukung pengembangan aplikasi ini, beberapa penelitian terkait mengenai penerapan teknologi Virtual Reality dalam pelestarian budaya telah dikaji sebagai berikut. Penelitian yang dilakukan oleh Nur Subchan et al. [4] menyoroti peran penting teknologi Virtual Reality (VR) dalam upaya konservasi warisan budaya, dengan Candi Penataran di Blitar, Jawa Timur sebagai studi kasus utama. Melalui pemanfaatan teknologi 3D point cloud, penelitian ini membangun repositori digital komprehensif yang diperoleh dari kombinasi metode fotogrametri berbasis drone dan rekonstruksi detail menggunakan deep learning. Pendekatan ini terbukti efektif karena mampu menangkap struktur candi secara menyeluruh, termasuk bagian-bagian yang sulit dijangkau secara fisik. Sistem VR yang dihasilkan menawarkan dua mode eksplorasi yaitu: first-person view untuk pengalaman imersif yang mendetail, dan aerial view untuk memahami tata ruang arsitektur secara keseluruhan. Penelitian ini menunjukkan bahwa integrasi antara VR, fotogrametri, dan pembelajaran mesin dapat meningkatkan akurasi dokumentasi serta memperluas akses publik terhadap situs warisan budaya.

Dalam upaya menjaga eksistensi karya sastra tradisional Bali di era digital, I. Putra et al. [13] menunjukkan penerapan VR yang berhasil sebagai media edukasi budaya. Latar belakang penelitian ini adalah rendahnya pengetahuan generasi muda mengenai Lontar Prasi Bali, yang diatasi dengan membangun aplikasi VR interaktif. Penelitian ini menggunakan metode Multimedia Development Life Cycle (MDLC) yang sistematis, meliputi tahap concept, design, material collecting, assembly, testing, dan distribution. Hasilnya menunjukkan tingkat penerimaan yang sangat tinggi, dengan 84,75% responden menyatakan bahwa aplikasi ini menarik dan bermanfaat.

Ahmed et al. [14] mengembangkan model pelestarian situs bersejarah di Dhaka menggunakan teknologi 3D modeling dan Virtual Reality (VR). Penelitian ini mengintegrasikan pembuatan model tiga dimensi menggunakan Autodesk 3ds Max, implementasi VR berbasis Unity dengan dukungan

Google Cardboard, serta penyimpanan hasil model ke dalam digital archive berbasis web. Pendekatan ini terbukti efektif untuk mendokumentasikan situs budaya secara interaktif dengan biaya yang relatif rendah, sekaligus memungkinkan akses publik yang lebih luas terhadap warisan budaya.

Penelitian oleh De Paolis et al. [15] menunjukkan potensi besar Virtual Reality (VR) dalam melestarikan warisan budaya berwujud dan tak berwujud melalui studi kasus Castle of Corsano, sebuah situs bersejarah yang tidak dapat diakses secara fisik. Proyek ini berhasil menciptakan pengalaman imersif dengan merekonstruksi kastil menggunakan Blender dan pendekatan fotogrametri, yang kemudian diintegrasikan ke dalam lingkungan VR interaktif. Pendekatan inovatif ini tidak hanya mendigitalisasi arsitektur dan artefak (tangible heritage), tetapi juga menggabungkan narasi masyarakat lokal, lagu rakyat, dan tradisi (intangible heritage). Aplikasi yang dihasilkan memungkinkan pengguna “berpindah” antara tiga periode sejarah, menjadikan VR sebagai alat efektif untuk diseminasi dan edukasi budaya.

#### *B. Aplikasi Mobile*

Aplikasi adalah sebuah perangkat lunak yang dirancang untuk menjalankan fungsi-fungsi tertentu pada berbagai jenis perangkat elektronik. Secara lebih lengkap aplikasi mobile adalah program siap pakai yang melaksanakan fungsi tertentu yang dipasang diperangkat [16].

#### *C. Virtual Reality*

Virtual reality merupakan ruang digital dimana seluruh gerakan pengguna dapat diketahui atau dilacak dan mengetahui gambaran sekitarnya [17]. Secara teknisnya, VR digunakan untuk menggambarkan lingkungan tiga dimensi yang dihasilkan oleh komputer dan dapat berinteraksi dengan seseorang [18].

#### *D. Blender*

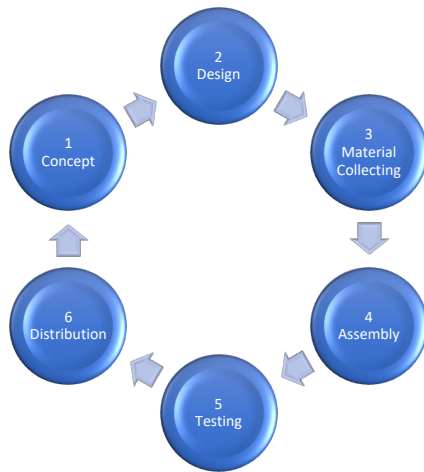
Blender merupakan perangkat lunak open source yang digunakan sebagai sistem pemodelan untuk mendukung aplikasi VR. Blender memiliki berbagai fitur, termasuk pemodelan, teksturing, pencahayaan, animasi, serta pemrosesan video pasca-produksi [19]. Antarmuka pengguna grafis (GUI) terdiri dari susunan jendela dan panel yang berisi kontrol untuk mengoperasikan program. Blender mendukung berbagai alat yang memungkinkan pengguna membuat dan menganimasikan model serta karakter dalam suatu adegan, lengkap dengan efek visual yang menakjubkan [20].

#### *E. Unity*

Unity 3D merupakan suatu *software game engine* yang dapat mengolah beberapa data seperti dimensi, suara, dan tekstur. Keunggulan dari Unity adalah kemampuannya menangani grafik 2D dan 3D [21].

#### *F. Multimedia Development Life Cycle*

Multimedia Development Life Cycle (MDLC) merupakan siklus pengembangan produk multimedia yang dimulai dengan tahap analisis produk, pengembangan produk, dan peluncuran. MDLC sendiri memiliki karakteristik unik yang berkaitan



Gambar 1. Tahapan Metode MDLC

dengan pengembangan dan penggunaan elemen-elemen multimedia [23]. Dengan pengertian yang serupa metodologi MDLC dapat diartikan sebagai rangkaian kegiatan yang bertujuan untuk menghasilkan produk multimedia [24].

Tahapan pengembangan dengan metode MDLC dapat dijalankan secara paralel tanpa harus mengikuti urutan tertentu, namun tetap dimulai dengan tahapan concept dan design [25]. Penggunaan metode MDLC sangat relevan dalam penelitian ini karena menyediakan sebuah kerangka kerja yang terstruktur dengan jelas dan memberikan kebebasan alur pengembangannya. Salah satu jenis MDLC yang populer adalah metode Godfrey dan Luther. Metode Godfrey berfokus pada perencanaan yang detail dan dokumentasi sebelum produksi, sementara metode Luther lebih fleksibel sehingga memungkinkan tahapan berjalan secara paralel dan dapat menyesuaikan perubahan selama penelitian berlangsung sehingga paling cocok dalam pengembangan VR [26]. Tahapan metodologi MDLC pada pengembangan virtual reality Kawasan Benteng Moraya dapat dilihat pada Gambar 1.

#### 1. Concept

Tahap ini menetapkan tujuan pengembangan VR serta efektivitas produk terhadap sasaran penelitian termasuk penentuan target dan jenis aplikasi yang akan dibuat [27].

#### 2. Design

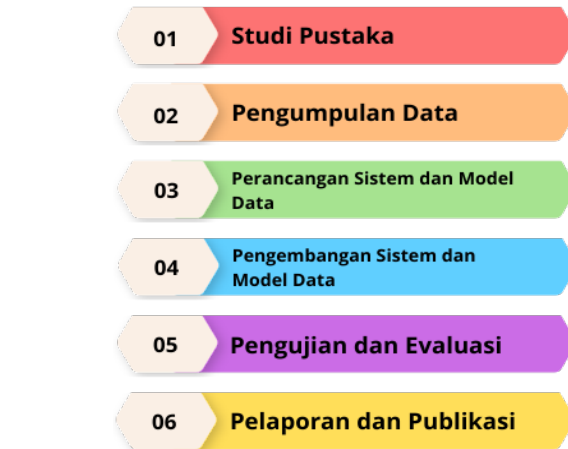
Tahapan ini melibatkan perancangan antarmuka pengguna serta perencanaan alur interaksi dan desain objek 3D.

#### 3. Material Collecting

Bahan penelitian dikumpulkan menggunakan metode kualitatif meliputi observasi, wawancara, dan studi literatur seperti jurnal dan buku terkait topik penelitian [28].

#### 4. Assembly

Perakitan merupakan fase teknis penggabungan hasil tahap sebelumnya untuk membentuk aplikasi dengan integrasi model 3D dan fitur multimedia.



Gambar 2. Metode Penelitian

#### 5. Testing

Pengujian dilakukan untuk memastikan bahwa aplikasi berfungsi dengan baik dan sesuai dengan tujuan yang telah dirancang.

#### 6. Distribution

Tahap dilakukan pembaruan dan pemeliharaan secara berkala untuk meningkatkan kinerja aplikasi agar tetap relevan dengan perangkat VR terbaru.

## II. METODE

### A. Tahapan Penelitian

Tahapan dalam penelitian ini divisualisasikan dalam bentuk diagram alur sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2.

#### 1. Studi Pustaka

Tahap ini berfokus pada eksplorasi dan pengumpulan referensi yang relevan dengan metode, teknik, dan alat yang akan diterapkan dalam pengembangan aplikasi mobile. Selain itu, tahap ini juga bertujuan untuk memahami perangkat dan sumber daya yang dibutuhkan dalam proses penelitian.

#### 2. Pengumpulan Data

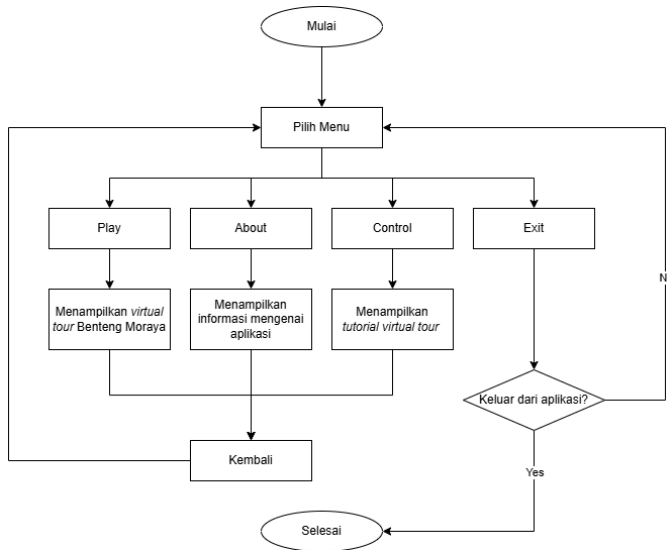
Pada tahap ini, informasi penting mengenai struktur bangunan yang ada di kawasan wisata Benteng Moraya dikumpulkan, guna mendalami berbagai aspek yang terkait dengan objek penelitian.

#### 3. Perancangan Sistem dan Model Data

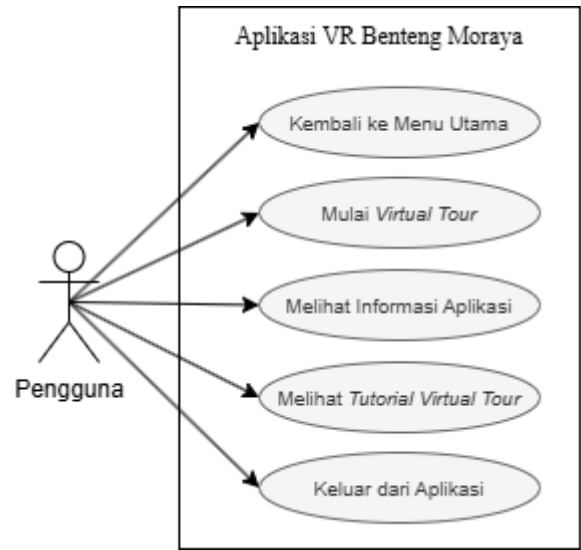
Langkah ini mencakup desain antarmuka perangkat lunak yang akan digunakan, serta penggambaran struktur data yang telah dikumpulkan dalam bentuk model yang memadai untuk menyimpan dan mengelola data.

#### 4. Pembuatan Sistem dan Pengolahan Data

Tahap ini melibatkan penerapan bahasa pemrograman ke dalam desain antarmuka yang telah dibuat sebelumnya, yang kemudian menghasilkan aplikasi perangkat lunak mobile yang dapat digunakan untuk memproses dan mengelola data.



Gambar 3. Flowchart Diagram



Gambar 4. Use Case Diagram

### 5. Pengujian dan Evaluasi

Pada tahap ini, aplikasi diuji pada sejumlah perangkat untuk mengukur kecepatan respons dan menilai sejauh mana fitur-fitur yang telah diterapkan dapat memenuhi kebutuhan pengguna yang telah ditentukan.

### 6. Distribution

Tahap terakhir ini melibatkan penyampaian hasil penelitian melalui publikasi di jurnal ilmiah atau seminar. Proses ini meliputi pemaparan temuan, identifikasi tantangan yang dihadapi selama penelitian, serta perencanaan untuk pengembangan lebih lanjut.

### B. Rancangan Aplikasi

#### 1. Flowchart Diagram

Pada tahap ini, informasi penting mengenai struktur bangunan yang ada di kawasan wisata Benteng Moraya dikumpulkan, guna mendalami berbagai aspek yang terkait dengan objek penelitian.

Desain alur aplikasi *Virtual Tour* Benteng Moraya divisualisasikan dalam bentuk *flowchart* sebagai representasi grafis dari proses interaksi pengguna di dalam sistem. *Flowchart* ini berfungsi untuk menggambarkan tahapan dan logika navigasi aplikasi secara sistematis, mulai dari pengguna memasuki aplikasi hingga keluar dari sistem. Melalui diagram ini, alur kerja aplikasi dapat dipahami dengan lebih mudah karena setiap proses dan keputusan digambarkan secara visual menggunakan simbol-simbol standar.

*Flowchart* ini juga berperan penting dalam tahap perancangan, karena membantu tim pengembang untuk mengidentifikasi alur interaksi antar-komponen aplikasi serta memastikan bahwa setiap fungsi berjalan sesuai dengan kebutuhan pengguna. Selain itu, representasi visual ini memungkinkan proses evaluasi dan penyempurnaan desain dilakukan dengan lebih efisien sebelum implementasi program dimulai.

Pada Gambar 3 ditunjukkan rancangan *flowchart* aplikasi, yang terdiri dari beberapa menu utama yaitu *Play*, *About*, *Control*, dan *Exit*. Masing-masing menu memiliki fungsi spesifik: *Play* digunakan untuk menampilkan virtual tour Benteng Moraya, *About* menampilkan informasi mengenai aplikasi, *Control* menampilkan tutorial penggunaan virtual tour, sedangkan *Exit* digunakan untuk keluar dari aplikasi. Setelah pengguna mengakses salah satu menu, sistem memberikan opsi *Kembali* untuk kembali ke halaman utama, sehingga interaksi dapat berlangsung secara berulang dan fleksibel hingga pengguna memilih untuk mengakhiri aplikasi.

#### 2. Use Case Diagram

*Use case* merupakan representasi fungsi sistem yang menggambarkan bagaimana pengguna berinteraksi dengan aplikasi dari sudut pandang operasional. *Use case diagram* digunakan untuk menjelaskan hubungan antara aktor (pengguna) dengan fitur-fitur utama yang disediakan sistem secara visual, sehingga mempermudah pemahaman terhadap perilaku aplikasi secara keseluruhan [29].

*Use case diagram* pada Gambar 4 menggambarkan interaksi pengguna dengan berbagai fungsi dalam aplikasi *Virtual Tour* Benteng Moraya. Diagram ini menunjukkan bahwa pengguna dapat melakukan beberapa tindakan utama, yaitu memulai *virtual tour*, melihat informasi aplikasi, melihat tutorial penggunaan *virtual tour*, kembali ke menu utama, dan keluar dari aplikasi. Setiap *use case* merepresentasikan fungsi inti yang dapat diakses pengguna selama menggunakan aplikasi, dengan alur interaksi yang sederhana dan intuitif, sehingga membantu pengembang memahami keterkaitan antara fitur sistem dan kebutuhan pengguna secara menyeluruh.

## III. HASIL DAN PEMBAHASAN

### A. Pengumpulan Data

Proses pengumpulan data dilakukan melalui kunjungan langsung ke situs Benteng Moraya yang terletak di Kota Tondano, Sulawesi Utara. Tahapan ini bertujuan untuk

memperoleh data visual yang akurat sebagai dasar dalam proses pemodelan tiga dimensi (*3D modeling*). Dokumentasi dilakukan dengan mengambil foto dan video dari berbagai sudut bangunan menggunakan kamera digital, mencakup area gerbang utama, pilar-pilar, serta elemen arsitektural lainnya yang menjadi ciri khas lokasi.

Seluruh hasil dokumentasi ini kemudian dijadikan acuan dalam tahap pemodelan objek tiga dimensi di perangkat lunak Blender, sehingga bentuk, proporsi, dan tampilan visual yang dihasilkan dapat merepresentasikan kondisi nyata Benteng Moraya secara mendekati. Pendekatan ini memastikan hasil *virtual tour* memiliki nilai autentik dan tetap mencerminkan karakter budaya situs aslinya.

### B. Pembuatan Objek 3 Dimensi

Tahapan pemodelan tiga dimensi merupakan bagian utama dalam proses pengembangan aplikasi *Virtual Tour*. Seluruh model lingkungan Benteng Moraya, termasuk gerbang utama, pilar, dan elemen taman sekitarnya, dibuat menggunakan *Blender*.

Pemodelan dimulai dari pembuatan bentuk dasar (*base mesh*), kemudian dilanjutkan dengan proses penyesuaian detail melalui *edit mode* untuk mengatur ukuran, bentuk, dan proporsi objek agar menyerupai kondisi aslinya. Selanjutnya, dilakukan penambahan *material*, *texture mapping*, dan *shading* untuk meningkatkan realisme visual.

Setelah seluruh model selesai, file diekspor ke dalam format *FBX*, agar kompatibel dengan *Unity 3D* sebagai *game engine* utama. Model 3D yang dihasilkan dapat dilihat pada Gambar 6 yang kemudian diintegrasikan ke dalam lingkungan VR, menciptakan pengalaman eksplorasi yang imersif bagi pengguna.

### C. Pembuatan Aplikasi

Pembuatan aplikasi dilakukan menggunakan *Unity 3D* sebagai platform utama dengan target perangkat *Android*. *Unity* dipilih karena memiliki dukungan kuat terhadap integrasi objek 3D dan pengembangan aplikasi berbasis *Virtual Reality* (VR) dengan performa optimal. Aplikasi ini dirancang untuk memungkinkan pengguna menjelajahi Benteng Moraya secara virtual melalui mode *first-person view*.

Setiap elemen lingkungan yang telah dimodelkan di *Blender* diimpor ke *Unity* dan diatur dalam satu *scene* utama. **Gambar 7** menampilkan proses penempatan model 3D ke dalam lingkungan virtual di *Unity 3D*, termasuk pengaturan pencahayaan, kamera, serta sistem navigasi pengguna.

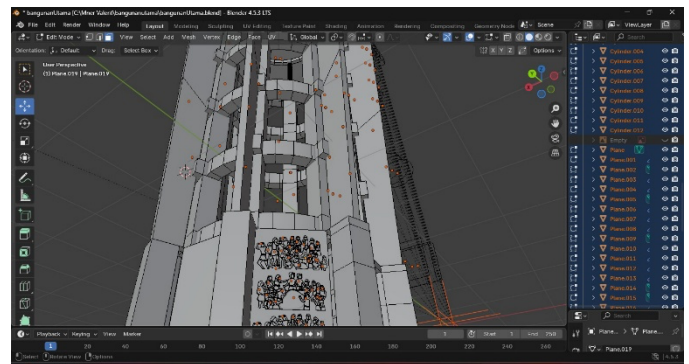
### D. Perancangan Interface

Perancangan antarmuka (*user interface*) dilakukan menggunakan *Figma* sebagai alat bantu utama dalam mendesain tampilan aplikasi sebelum diimplementasikan ke dalam *Unity 3D*. Tahap ini berfokus pada pembuatan tampilan yang sederhana, interaktif, dan mudah dipahami oleh pengguna. Prinsip desain yang diterapkan mengutamakan keseimbangan antara fungsi dan estetika dengan memperhatikan elemen visual yang merepresentasikan identitas budaya Benteng Moraya.

Tampilan utama aplikasi terdiri dari empat menu utama, yaitu *Play*, *About*, *Control*, dan *Exit*. Menu ini berfungsi sebagai pusat navigasi yang mengarahkan pengguna menuju fitur-fitur utama aplikasi. Gambar 8 memperlihatkan tampilan *Main Menu* aplikasi *Virtual Tour Benteng Moraya* yang menampilkan ilustrasi suasana benteng dan tombol interaktif untuk memulai eksplorasi virtual maupun mengakses informasi lainnya.



Gambar 5. Pengambilan Data di Benteng Moraya



Gambar 8. Pembuatan Objek 3D di Blender



Gambar 7. Pembuatan Objek 3D di Unity



Gambar 8. Tampilan Main Menu



Gambar 9. Tampilan Menu Control



Gambar 11. Tampilan Virtual Reality Benteng Moraya

Selanjutnya, halaman *Control* menampilkan panduan singkat mengenai cara menggunakan aplikasi. Pada halaman ini, pengguna dapat memahami fungsi tombol dan mekanisme navigasi selama menjelajahi lingkungan virtual, seperti cara menggerakkan pandangan, berjalan, atau berinteraksi dengan objek. Desain halaman *Control* ditunjukkan pada Gambar 10, yang menampilkan tata letak sederhana dan ikon navigasi untuk memudahkan pemahaman pengguna sebelum memulai tur virtual.

Pemilihan warna dominan merah dan coklat menciptakan nuansa historis yang selaras dengan tema perjuangan rakyat Minahasa. Selain itu, tipografi yang sederhana dengan kontras tinggi memastikan keterbacaan yang baik di berbagai perangkat.

Desain yang telah dibuat di Figma kemudian diimplementasikan ke dalam *Unity 3D*, di mana setiap tombol dikonfigurasi agar terhubung dengan fitur sesuai fungsinya. Pendekatan ini memastikan keselarasan antara aspek visual dan interaktivitas, sekaligus meningkatkan kenyamanan pengguna dalam menjelajahi *Virtual Tour Benteng Moraya*.

#### E. Penampilan VR 360

Tampilan 360° merupakan fitur utama dalam aplikasi *Virtual Tour Benteng Moraya* yang memberikan pengalaman eksplorasi imersif bagi pengguna. Setelah menekan tombol

“Play” pada menu utama, pengguna akan diarahkan ke lingkungan virtual berbasis *Virtual Reality* (VR) yang merepresentasikan area Benteng Moraya secara menyeluruh. Melalui tampilan ini, pengguna dapat menjelajahi area benteng dengan kebebasan pandangan 360°, seolah-olah mereka berada langsung di lokasi sebenarnya.

Seluruh elemen lingkungan virtual, termasuk bangunan utama, pilar, area taman, dan latar sekitar, dibuat semirip mungkin dengan kondisi nyata menggunakan model tiga dimensi (*3D object*) yang telah dirancang di Blender. Perhatian khusus diberikan pada aspek pencahayaan, tekstur, serta penataan objek agar suasana virtual terlihat realistis dan nyaman untuk dieksplorasi.

Gambar hasil pemodelan 3D Benteng Moraya ditampilkan pada Gambar 11, yang menunjukkan tampilan area utama benteng setelah proses *rendering* dan integrasi ke dalam lingkungan virtual. Pemodelan ini menampilkan detail arsitektur seperti bentuk pilar, tulisan “Benteng Moraya”, serta tata letak area sekitar yang dibuat berdasarkan dokumentasi visual lapangan.

Implementasi tampilan 360° ini bertujuan untuk menciptakan pengalaman wisata digital yang tidak hanya informatif tetapi juga mendalam secara visual. Pengguna dapat mengamati objek dari berbagai sudut pandang dan berinteraksi dengan lingkungan virtual. Dengan pendekatan ini, aplikasi mampu menghadirkan nuansa edukatif sekaligus hiburan, yang diharapkan dapat menarik minat masyarakat terhadap pelestarian situs budaya lokal seperti Benteng Moraya.

#### F. Pengujian Sistem Menggunakan Blackbox

Pengujian sistem dilakukan menggunakan metode *Black Box Testing*, yaitu teknik evaluasi perangkat lunak yang berfokus pada pengujian fungsi sistem berdasarkan input dan output tanpa memperhatikan struktur internal kode program [30]. Pengujian ini bertujuan untuk memastikan bahwa setiap fitur dalam aplikasi *Virtual Tour Benteng Moraya* dapat berfungsi dengan baik sesuai rancangan.

Seluruh proses pengujian dilakukan secara manual oleh pengembang dengan memberikan berbagai skenario input untuk mengamati hasil keluaran sistem. Fokus utama pengujian meliputi validasi fungsi utama seperti navigasi antar menu, pemutaran *virtual tour*, tampilan informasi aplikasi, serta kemampuan aplikasi dalam menutup atau keluar dari sistem dengan benar. Untuk mempermudah analisis hasil uji, proses pengujian disusun dalam bentuk tabel yang memuat aktivitas pengujian, hasil yang diharapkan, serta status keberhasilannya. Tabel I berikut memperlihatkan bahwa seluruh fungsi utama dalam aplikasi berjalan sesuai harapan tanpa ditemui kesalahan fungsionalitas.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa seluruh fitur utama pada aplikasi telah berfungsi dengan baik dan sesuai dengan spesifikasi yang dirancang. Keberhasilan ini menjadi dasar yang kuat untuk pengembangan lebih lanjut, baik dari segi peningkatan performa maupun penambahan fitur interaktif di masa mendatang.

Tabel I. Hasil Uji Black Box

| Aktivitas Pengujian | Hasil yang diharapkan | Status |
|---------------------|-----------------------|--------|
|---------------------|-----------------------|--------|

|                                |                                                                          |                 |
|--------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|-----------------|
| Masuk halaman <i>Main Menu</i> | Menampilkan halaman <i>main menu</i> dengan baik                         | <b>Berhasil</b> |
| Masuk halaman <i>Play</i>      | Menampilkan <i>Virtual Reality Tour</i> Benteng Moraya.                  | <b>Berhasil</b> |
| Masuk halaman <i>About</i>     | Menampilkan halaman yang berisi informasi mengenai tujuan dari aplikasi. | <b>Berhasil</b> |
| Masuk halaman <i>Control</i>   | Menampilkan cara menggunakan aplikasi.                                   | <b>Berhasil</b> |
| Tombol <i>Exit</i>             | Keluar dari aplikasi                                                     | <b>Berhasil</b> |

### G. Usability Testing

Setelah memastikan fungsional sistem melalui *Black Box Testing*, tahap selanjutnya adalah *Usability Testing* untuk mengukur tingkat kepuasan dan kemudahan penggunaan aplikasi dari perspektif pengguna akhir.



Gambar 12. Hasil Pengujian *System Usability Scale* (SUS)

Pengujian ini melibatkan 40 responden yang terdiri dari mahasiswa dan pelajar.

Instrumen evaluasi yang digunakan adalah kuesioner *System Usability Scale* (SUS) yang terdiri dari 10 pertanyaan standar. Responden diminta mencoba aplikasi *Virtual Tour* Benteng Moraya terlebih dahulu sebelum mengisi kuesioner. Berdasarkan hasil rekapitulasi dan perhitungan kuesioner dari seluruh responden, diperoleh skor rata-rata akhir SUS sebesar 80,8.

Berdasarkan interpretasi grafik pada Gambar 12, perolehan skor 80,8 secara komprehensif menempatkan aplikasi pada kategori 'Acceptable' dengan predikat 'Excellent' (Grade B). Hasil ini memvalidasi bahwa aplikasi *Virtual Tour* Benteng Moraya memiliki kualitas usability di atas rata-rata, layak diimplementasikan, serta mampu menghadirkan pengalaman pengguna yang mudah dipahami dan interaktif.

## IV. KESIMPULAN DAN SARAN

Penelitian ini berhasil merancang dan mengembangkan aplikasi *Virtual Tour* Benteng Moraya sebagai media pelestarian budaya digital yang memanfaatkan teknologi *Virtual Reality* (VR). Aplikasi ini memungkinkan pengguna menjelajahi lingkungan Benteng Moraya secara virtual melalui tampilan 360° yang imersif dan realistis. Seluruh fitur utama, termasuk navigasi, informasi, dan kontrol, telah diuji menggunakan metode *black box testing* dan menunjukkan hasil berfungsi dengan baik sesuai perancangan. Pengembangan aplikasi ini tidak hanya berkontribusi pada aspek teknologis melalui penerapan *Blender* dan *Unity 3D*, tetapi juga pada

aspek edukatif-budaya dengan menghadirkan cara baru dalam memperkenalkan sejarah dan nilai budaya lokal kepada masyarakat, khususnya generasi muda. Ke depan, aplikasi ini dapat dikembangkan lebih lanjut dengan penambahan fitur interaktif seperti narasi audio, peta lokasi, atau integrasi dengan teknologi *Augmented Reality* (AR), sehingga dapat memperkaya pengalaman pengguna sekaligus memperluas pemanfaatannya dalam bidang pendidikan dan promosi pariwisata daerah.

### V. KUTIPAN

- [1] N. H. Abdullah, W. M. W. Isa, S. N. W. Shamsuddin, N. A. Rawi, M. M. Amin, and W. M. A. W. M. Zain, "Towards Digital Preservation of Cultural Heritage: Exploring Serious Games for Songket Tradition," *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, vol. 15, no. 3, 2024, doi: 10.14569/IJACSA.2024.0150321.
- [2] L. Ningrayati Amali, M. Rifai Katili, and W. Ismail, "Preservation of intangible and tangible cultural heritage using digital technology," *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, vol. 28, no. 2, p. 980, Nov. 2022, doi: 10.11591/ijeecs.v28.i2.pp980-986.
- [3] A. Hiswara, A. M. Aziz, and Y. Pujowati, "Cultural Preservation in a Globalized World: Strategies for Sustaining Heritage," *West Science Social and Humanities Studies*, vol. 1, no. 03, pp. 98–106, Sep. 2023, doi: 10.58812/wsshs.v1i03.250.
- [4] S. Nur, "The Importance of Virtual Reality in the Conservation of Cultural Heritage: An Examination of the Penataran Temple Case Study in Blitar Regency, East Java," *Knowledge Garden*, vol. 2, no. 1, pp. 63–81, Apr. 2024, doi: 10.21776/ub.knowledgegarden.2024.2.1.17.
- [5] Y. Xing, Y. Xiao, and Y. Luo, "Integrating restoration and interactive exploration to enhance cultural heritage through VR storytelling," *Sci Rep*, vol. 14, no. 1, p. 21194, Sep. 2024, doi: 10.1038/s41598-024-72182-9.
- [6] S. Jangra, G. Singh, A. Mantri, Z. Ahmed, T. W. Liew, and F. Ahmad, "Exploring the impact of virtual reality on museum experiences: visitor immersion and experience consequences," *Virtual Real*, vol. 29, no. 2, p. 84, May 2025, doi: 10.1007/s10055-025-01140-1.
- [7] A. A. Mazhar and M. M. Al Rifae, "A Systematic Review of the use of Virtual Reality in Education," in *2023 International Conference on Information Technology (ICIT)*, IEEE, Aug. 2023, pp. 422–427, doi: 10.1109/ICIT58056.2023.10225794.
- [8] I. Wohlgenannt, A. Simons, and S. Stieglitz, "Virtual Reality," *Business & Information Systems Engineering*, vol. 62, no. 5, pp. 455–461, Oct. 2020, doi: 10.1007/s12599-020-00658-9.
- [9] F. De Canio, E. Martinelli, M. Peruzzini, and S. Cavallaro, "Experiencing a Food Production Site Using Wearable Devices: The Indirect Impact of Immersion and Presence in VR Tours," *Sustainability*,

- vol. 14, no. 5, p. 3064, Mar. 2022, doi: 10.3390/su14053064.
- [10] I. B. A. I. Iswara, I. D. G. W. Jayadi, D. M. M. Aditama, N. P. Krinayanti, and I. G. I. Sudipa, "VIRTUAL REALITY TOUR PURA KEHEN BALI DALAM PELESTARIAN BUDAYA BERBASIS DIGITAL," *Jurnal Widya Laksmi: Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*, vol. 4, no. 2, pp. 59–62, Jul. 2024, doi: 10.59458/jwl.v4i2.77.
- [11] I. K. Yudi Purnawan, D. G. H. Divayana, and I. G. P. Sindu, "Pengembangan Virtual Reality untuk Promosi Wisata Religi Pura Ponjok Batu," *International Journal of Natural Science and Engineering*, vol. 3, no. 1, p. 12, Nov. 2019, doi: 10.23887/ijnse.v3i1.22171.
- [12] B. Afwan, "Pengembangan Media Pembelajaran Virtual Reality Berbasis Museum Klinik Santa Maria Kota Metro pada Materi Sejarah SMA," *Tarikhuna: Journal of History and History Education*, vol. 5, pp. 13–24, 2023.
- [13] Putu Wirayudi Aditama, Christina Purnama Yanti, and I Gede Iwan Sudipa, "Implementation of Virtual Reality Museum Lontar Prasi Bali As a Cultural Education Media," *Jurnal Nasional Pendidikan Teknik Informatika (JANAPATI)*, vol. 12, no. 3, pp. 482–492, Dec. 2023, doi: 10.23887/janapati.v12i3.69620.
- [14] S. Ahmed, R. Islam, S. S. Himalay, and J. Uddin, "Preserving heritage sites using 3D modeling and virtual reality technology," in *Proceedings of the 3rd International Conference on Cryptography, Security and Privacy*, New York, NY, USA: ACM, Jan. 2019, pp. 267–272. doi: 10.1145/3309074.3309116.
- [15] L. T. De Paolis, S. Chiarello, C. Gatto, S. Liaci, and V. De Luca, "Virtual reality for the enhancement of cultural tangible and intangible heritage: The case study of the Castle of Corsano," *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage*, vol. 27, p. e00238, Dec. 2022, doi: 10.1016/j.daach.2022.e00238.
- [16] M. Mustika, "Rancang Bangun Aplikasi Sumsel Museum Berbasis Mobile Menggunakan Metode Pengembangan Multimedia Development Life Cycle (Mdlc)," *MIKROTIK: Jurnal Manajemen Informatika*, vol. 8, pp. 1–14, 2018.
- [17] R. D. Silaen, A. Junaidi, and E. Purnawati, "Aplikasi Pengenalan Budaya Jawa Tengah menggunakan Virtual Reality Berbasis Android," *Journal of Dinda: Data Science, Information Technology, and Data Analytics*, vol. 1, pp. 63–72, 2021.
- [18] F. S. Riyadi, A. Sumarudin, and M. S. Bunga, "Aplikasi 3d virtual reality sebagai media pengenalan kampus politeknik negeri indramayu berbasis mobile," *JIKO (Jurnal Informatika dan Komputer)*, 2017.
- [19] D. R. Anamisa, M. Yusuf, F. A. Mufarroha, and N. Rohmah, "Design of Virtual Reality Application for Taharah Using 3D Blender," *J Phys Conf Ser*, vol. 1569, no. 2, p. 022071, Jul. 2020, doi: 10.1088/1742-6596/1569/2/022071.
- [20] P. Pokorný and D. Falešník, "Historical 3D Visualisations of Starý Světlav Castle Using Blender and Unreal Engine," 2021, pp. 351–362. doi: 10.1007/978-3-030-77442-4\_30.
- [21] G. N. P. Perdana and T. Widodo, "Aplikasi Jelajah Pariwisata Kota Batam Berbasis Virtual Reality Menggunakan Perangkat Mobile Android," *Universitas Teknologi Yogyakarta*, 2019.
- [22] F. A. Kafilahudin and M. Akbar, "Pengembangan Media Pembelajaran Interaktif Sistem Pernafasan Hewan Berbasis 3D Augmented Reality," *sudo Jurnal Teknik Informatika*, vol. 3, no. 1, pp. 31–40, May 2024, doi: 10.56211/sudo.v3i1.469.
- [23] R. Roedavan, B. Pudjoatmodjo, and A. P. Sujana, "Multimedia development life cycle (MDLC)," *Teknologi Dan Informasi, Multimedia*, vol. 7, 2022.
- [24] M. Al-Jabari, T. Tamimi, and A.-A. Ramadan, "Multimedia software engineering methodology a systematic discipline for developing integrated multimedia and software products," 2019.
- [25] E. A. Priatno and R. B. B. Sumantri, "Dukungan Perangkat Lunak Authoring dalam Prespektif Multimedia Development Life Cycle (MDLC) Luther," *Jurnal Ilmu Komputer dan Teknologi*, vol. 2, pp. 13–19, 2021.
- [26] A. L. Novianti and A. Setiyadi, "Android Based Virtual Reality Development Using Cardboard for Wisata Batu Kuda Promotion Media."
- [27] T. Kamil, E. Sinduningrum, and M. Iqbal, "Pemanfaatan Augmented Reality dengan Metode MDLC Pengenalan Area Petualangan One Piece Berbasis Android," *Open MenuKLIK: Kajian Ilmiah Informatika dan Komputer Skip to main contentSkip to main navigation menuSkip to site footer*, vol. 4, pp. 3118–3126, 2024.
- [28] M. A. Hidayat, A. Ikhwan, and M. Alda, "Aplikasi Virtual Tour Manasik Haji Pada Asrama Haji Menggunakan Metode MDLC Berbasis Android," *Resolusi: Rekayasa Teknik Informatika Dan Informasi*, vol. 3, pp. 364–371, 2023.
- [29] Ian. Sommerville, *Software engineering*. Pearson, 2016.
- [30] S. Nidhra, "Black Box and White Box Testing Techniques - A Literature Review," *International Journal of Embedded Systems and Applications*, vol. 2, no. 2, pp. 29–50, Jun. 2012, doi: 10.5121/ijesa.2012.2204.



**Henry Valentino Florensus Kainde** (Tomohon, 4 Mei 1989) Menempuh program sarjana di Universitas Atma Jaya Yogyakarta, Program Studi Teknik Informatika Fakultas Teknologi Industri. Menempuh Program Pasca Sarjana di Universitas Atma Jaya Yogyakarta Program Studi Magister Teknik Informatika. Sekarang bekerja sebagai Dosen di Universitas Sam Ratulangi Program Studi Teknik Informatika, Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik.