

PENGEMBANGAN VIRTUAL REALITY UNTUK DIGITALISASI MANDALA 2 DI PURA BESAKIH

I Wayan Karta Sasmita¹, I Made Putrama², Gede Saindra Santyadiputra³

^{1,2}Prodi Pendidikan Teknik Informatika, ³Prodi Ilmu Komputer

Universitas Pendidikan Ganesha

Singaraja, Bali

Email: wayan.karta@undiksha.ac.id¹, made.putrama@undiksha.ac.id², gsaindras@undiksha.ac.id³

This is an open access article under the [CC BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license.

Copyright © 2022 by Author. Published by Universitas Pendidikan Ganesha.



Abstrak—Pengembangan *Virtual Reality* untuk Digitalisasi Mandala 2 di Pura Besakih merupakan suatu pemanfaatan teknologi untuk konservasi warisan budaya. Bencana alam yang tidak bisa diprediksi dan renovasi yang dilakukan di kompleks Pura Besakih menyebabkan perubahan yang mengancam keutuhan arsitektur pura serta peraturan yang membatasi wisatawan untuk tidak memasuki area larangan sehingga wisatawan tidak bisa sepenuhnya menjelajahi/memasuki area utama pura khususnya bagian Mandala 2 sehingga diperlukan upaya untuk melakukan konservasi berbasis digital dengan menggunakan teknologi *virtual reality* yang memungkinkan pengguna untuk melakukan interaksi dan eksplorasi melalui lingkungan virtual. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan *virtual reality* sebagai media informasi sekaligus media konservasi warisan budaya berupa arsitektur bangunan pura. Penelitian ini menggunakan model *Multimedia Development Life Cycle (MDLC)*. Ada enam tahap dalam model MDLC yaitu *Concept, Design, Material Collecting, Assembly, Testing, dan Distribution*. Pengujian pada penelitian ini menggunakan 5 pengujian: (1) Uji *white box* dengan penerapan disetiap prosesnya sudah sesuai, (2) Uji *black box* menunjukkan hasil tidak terdapat kesalahan, (3) Uji ahli isi mendapat hasil rata-rata persentase 87 % termasuk sangat baik, (4) Uji ahli media mendapat hasil rata-rata persentase 93% termasuk sangat baik, (5) Uji pengalaman pengguna (*UEQ*) dari 20 responden dengan hasil positif.

Keywords—Warisan Budaya, Konservasi, Digitalisasi, *Virtual Reality, A-Frame, MDLC*

Abstract—*The Development of Virtual Reality for the Digitization of Mandala 2 at Besakih Temple is a use of technology for the conservation of cultural heritage. Unpredictable natural disasters and renovations carried out in the Besakih Temple complex caused changes that threatened the integrity of the temple architecture as well as regulations that restrict tourists from entering the prohibited area so that tourists cannot fully enter the main area of the temple, especially the Mandala 2 section so that efforts are needed to carry out digital-based conservation using virtual reality technology that allows users to interact and explore*

through a virtual environment The aimed of this study was to develop a virtual reality as an information medium and conservation medium archives as cultural heritage in the form of temple building architecture. This study uses the Multimedia Development Life Cycle (MDLC). There are six stages in the MDLC model: Concept, Design, Material Collecting, Assembly, Testing, and Distribution. Moreover, five stage of the testing process that had been done in this study, such as; (1) The white box test with the application of each process was already appropriate. (2) the black box test showed that there was none of the mistakes obtained. (3) the content judgement showed that the average percentage was 84% categorised as very good. (4) the media judgement showed that the average percentage was 93% categorised as very good. (5) The use of User Experience Questionnaire (UEQ) was gained positive respond as the average percentage from 20 respondents.

Keywords—Cultural Heritage, Conservation, Digitalisation, *Virtual Reality, A-Frame, MDLC*

I. PENDAHULUAN

Bali dikenal karena kebudayaan, pulau seribu pura disematkan karena Bali memiliki jumlah pura lebih banyak daripada daerah lainnya di Indonesia. Pura Kahyangan Jagat merupakan salah satu jenis pura yang sifatnya universal, artinya semua kalangan masyarakat dapat menggunakan pura untuk melakukan kegiatan upacara keagamaan[1]. Pura Besakih merupakan pura Kahyangan Jagat yang terdiri dari 18 kompleks pura. Penataran Agung Besakih terdiri dari 7 bagian Mandala yang melambangkan Sapta Loka[1]. Sebagai tempat suci dan warisan budaya yang berusia lebih dari 50 tahun Pura Besakih merupakan bangunan yang arsitekturnya perlu dipertahankan, perlu dijaga kesakralannya, artinya tidak semua area dapat dimasuki sembarangan[2].

Adanya bencana alam yang tak terduga menyebabkan terjadinya kerusakan pada pelinggih pura tersebut, adanya proses renovasi pura akibat lapuknya bangunan ataupun menyebabkan perubahan arsitektur bangunan pelinggih yang

tidak di dokumentasikan secara mendetail sesuai dengan bangunan aslinya. Adanya larangan bagi wisatawan untuk memasuki area tertentu seperti Mandala 2 yang termasuk Utama Mandala dan dianggap suci menyebabkan wisatawan tidak bisa menjelajahi dan memasuki area utama. Oleh karena itu seharusnya perlu adanya upaya untuk konservasi Pura Besakih dengan menggunakan teknologi digital.

Konservasi yang mencakup dokumentasi atau pengarsipan dapat dimanfaatkan untuk mendokumentasikan detail arsitektur pura, sebagai arsip sejarah. Salah satu upaya konservasi tidak hanya dapat dilakukan dengan cara manual tetapi juga dapat dilakukan dengan digitalisasi. Digitalisasi merupakan konsep pemanfaatan teknologi informasi untuk meningkatkan daya guna dalam hal pengelolaan, pendokumentasian dan penyebaran informasi dan pengetahuan unsur kebudayaan [3]. Salah satu cara untuk mendigitalisasi yaitu dengan menggunakan *virtual reality*. Konservasi *digital* berbasis *virtual reality* menjadi salah satu upaya efektif pemanfaatan teknologi dalam menyajikan informasi dalam hal visual dan interaksi dengan objek 3D.

Virtual reality merupakan teknologi yang digunakan mengembangkan lingkungan 3D yang disimulasikan komputer sehingga pengguna dapat mendapatkan pengalaman seolah-olah berinteraksi dengan lingkungan virtual. *Virtual reality* dapat menggabungkan teks, foto, video serta objek 3D dalam satu aplikasi. Keunggulan *virtual* yaitu bisa membuat dunia buatan yang realistis sehingga pengguna dapat menjelajah dan merasakan pengalaman yang *immersif*, dengan tambahan sensor tertentu atau alat seperti *HTC Vive*, interaksi berupa gerakan tangan dapat dilakukan sehingga pengguna dapat bereksperimen dengan lingkungan virtual [4].

Penelitian yang mengembangkan *virtual reality* untuk media pembelajaran untuk memperkenalkan buah lokal Bali kepada anak-anak yang dilakukan oleh Pranata, Santyadiputra dan Sindu, (2017) dengan judul *Rancangan Game Balinese Fruit Shooter Berbasis Virtual Reality Sebagai Media Pembelajaran*. Penelitian ini menghasilkan aplikasi edukasi yang dapat dijalankan dengan bantuan sistem operasi *Windows* dan *HTC Vive*.

Penelitian dilakukan juga di Pura Besakih yaitu Pengembangan Prototipe 3D 360° *Virtual Reality* Video Pura Besakih Menggunakan *Blender* yang dilakukan oleh Crisnapati et al., (2017). Aplikasi ini tunjukan sebagai penyedia informasi untuk kepentingan pariwisata. Pembuatan objek 3D pura dilakukan dengan bantuan perangkat lunak *Blender*. Penelitian ini menghasilkan *prototype* video 3D 360.

Penelitian terkait mengenai penggunaan *virtual reality* untuk konservasi dan dokumentasi yang dilakukan oleh Adnyana, Darmawiguna and Putrama, (2020) dengan judul Pengembangan *Virtual Reality* untuk Digitalisasi Pura Penataran Agung Bagian Mandala 4 di Pura Besakih menghasilkan aplikasi yang digunakan sebagai media informasi sekaligus sebagai media untuk melestarikan Pura

Penataran Agung bagian Mandala 4 sebagai bagian dari warisan budaya. Implementasi penelitian menggunakan bahasa pemrograman *C#*, *Unity* untuk pembuatan aplikasi berbasis *virtual reality*, *Blender 3D* untuk pembuatan objek 3D dan tekstur bangunan, dan *Adobe Audition* untuk mengedit suara narasi. Hasil penelitian ini berupa aplikasi berbasis *desktop* yang dijalankan secara *offline*. Pengunduhan dan instalasi diperlukan sebelum aplikasi dapat dijalankan.

Berdasarkan beberapa penelitian terkait dan masalah pengembangan aplikasi *virtual reality* yang menampilkan objek 3 dimensi Mandala 2 di Pura Besakih yang akan membantu dalam proses pengarsipan / dokumentasi dan konservasi warisan budaya berbasis digitalisasi. Penelitian ini menggunakan media berbasis *Web Virtual Reality (Web VR)* serta menggunakan tekstur asli untuk model 3D pelinggih yang dapat memberikan tampilan yang lebih nyata. Penelitian ini berfokus pada objek yang terdapat di Mandala 2 yang meliputi visualisasi (1). Bale Pawedaan, (2). Bale Agung, (3). Bale Kawas, (4). Bale Pasamuhan Agung, (5). Bale Papelik, (6). Padmasana Tiga, (7). Bale Tegeh Mpu Pradah, (8). Bale Papelik Sang Hyang Siyem, (9). Meru Tumpang-11, (10). Meru Tumpang-9, (11). Piasan Alit, (12). Palinggih Babaturan, (13). Bale Kembang Sirang, (14). Bale Gong, (15). Kori Agung.

II. KAJIAN TEORI

A. Konservasi

Secara umum, konservasi mempunyai arti pelestarian atau pengawetan yaitu melestarikan benda-benda atau monumen bersejarah berusia 50 tahun keatas Konservasi merupakan istilah dalam semua kegiatan pelestarian sesuai dengan yang telah dirumuskan dalam Piagam Burra Tahun 1981. Konservasi adalah segenap proses pengelolaan suatu tempat agar makna kultural yang dikandungnya terpelihara dengan baik.[5][6]. Kegiatan konservasi dapat meliputi seluruh kegiatan pemeliharaan dan sesuai dengan situasi dan kondisi setempat sehingga dapat pula mencakupi ruang lingkup dalam konservasi.

B. Digitalisasi

Digitalisasi adalah proses alih media dari bentuk tercetak, audio, maupun video menjadi bentuk digital[7]. Digitalisasi dilakukan untuk membuat arsip dokumen bentuk digital, untuk fungsi fotokopi, dan untuk membuat koleksi perpustakaan digital. Digitalisasi memerlukan peralatan seperti komputer, *scanner*, operator media sumber dan *software* pendukung. Tujuan Digitalisasi yaitu: 1) Pembuatan arsip dokumen bentuk digital. 2) Membuat salinan dokumen. 3) Pembuatan koleksi digital untuk keperluan perpustakaan digital.

C. Multimedia

Multimedia merupakan penyatuan dua atau lebih media komunikasi seperti teks, grafik, animasi, audio dan video



KARMAPATI

Kampus Arsitektur, Rekayasa, Multimedia, Pendidikan, Teknik Informatika

dengan ciri-ciri interaktivitas komputer untuk menghasilkan satu presentasi menarik[8]. Multimedia berperan dalam penyajian informasi dengan menggabungkan teks, grafik, audio, animasi, serta video dengan bantuan komputer sehingga pengguna dapat melakukan interaksi.

Adapun contoh media seperti teks, foto dan multimedia seperti video, video 360⁰, *game digital*, *augmented reality* serta *virtual reality*. Masing-masing multimedia memiliki kelebihan dan kelemahan dalam membantu proses pengarsipan. Arsip dalam bentuk teks hanya dapat memberikan informasi satu arah tanpa umpan balik. Audio hanya dapat didengar tetapi tidak dapat dilihat, kelebihanannya dapat dipadukan dengan media lain dan memiliki jangkauan yang lebih luas. Foto bisa berisi teks tetapi tidak dapat berisi audio. Video terbatas dalam hal eksplorasi pengguna[9]. Video dapat memberikan informasi lebih interaktif karena menggabungkan teks, audio dan tampilan visual, tetapi pengguna tidak dapat menjelajahi objek yang direkam dengan kehendaknya. Video 360⁰ memungkinkan pengguna untuk melihat ke semua arah, tetapi tidak ada kebebasan untuk berinteraksi atau bergerak di seluruh citra[10]. *Game digital* memiliki kelebihan dalam hal interaksi tetapi *game* lebih ditunjukkan sebagai sarana hiburan, ada waktu dan misi yang harus diselesaikan[11]. komponen multimedia terdiri dari teks, gambar, suara, animasi, serta video[12]. Teknologi *virtual reality* tidak hanya dapat memuat dan menggabungkan gambar, teks, suara, video, tetapi juga dapat memuat objek 3 dimensi yang dapat dibuat melalui perangkat lunak pengolahan grafik 3D seperti *Blender*.

Objek 3 Dimensi merupakan sebuah objek yang memiliki panjang, lebar dan tinggi. Tahap produksi model 3D digital secara umum dapat dibagi menjadi tiga yaitu: *pre-production*, *production*, and *post-production*. Tahap *pre-production*, terdiri dari tahap *visual design*, *storyboard*, *voice recording*. Tahap *production*, terdiri dari *modeling*, *rigging*, *scene setup*, *texturing*, *animation effects*, *lighting*, *rendering*. *post-production*, terdiri dari *compositing*, *final edit* dan *delivery*[13].

Modeling merupakan proses pembuatan model objek dalam bentuk 3D yang dilakukan melalui bantuan komputer. Model 3D bisa meniru karakter makhluk hidup ataupun benda mati. Pemodelan objek 3D dapat dilakukan dengan beberapa cara, seperti menggunakan gambar sebagai referensi, menggunakan alat 3D *scanning* serta *digital sculpting*[14]. Referensi untuk pemodelan objek 3D dapat menggunakan sketsa atau menggunakan foto digital memungkinkan untuk mendokumentasikan objek nyata lebih detail sehingga proses modeling objek 3D juga dapat dilakukan secara mendetail atau hampir menyerupai objek asli[13]. *Texturing* merupakan proses pembuatan dan pemberian warna atau material (*texture*) pada permukaan objek 3D sehingga dapat memberikan kesan yang nyata.

D. Virtual Reality

Virtual reality merupakan penggunaan multimedia yang dapat menyebabkan pengguna dapat berinteraksi dengan suatu lingkungan visual yang dimodelkan melalui komputer, seakan-akan pengguna mendapatkan pengalaman berada di lingkungan aslinya serta dapat melakukan interaksi dengan objek 3 dimensi. Berkembangnya teknologi *virtual reality* menyebabkan penelitian tidak hanya terbatas pada visualisasi ilmiah, tetapi telah diperluas untuk pendidikan, arkeologi serta konservasi warisan budaya dengan tujuan pemulihan situs sejarah serta dalam bidang seni[11], [15].

Salah satu pemanfaatan teknologi *virtual reality* adalah untuk keperluan konservasi dan pengarsipan atau dokumentasi warisan budaya berupa arsitektur bangunan pura dalam bentuk digital. Karakteristik utama dari *virtual reality* yaitu[16]:

- 1) *Immersion* yang memungkinkan pengguna untuk berinteraksi dalam lingkungan virtual yang diciptakan seperti dunia nyata.
- 2) *Interactivity* merupakan fitur yang membuat perbedaan antara sistem teknologi *virtual reality* dan objek tiga dimensi tradisional. Pengguna tidak dapat menerima data komputer secara pasif tetapi dapat mengoperasikan objek virtual. Aplikasi *virtual reality* memungkinkan pengguna untuk memanipulasi lingkungan virtual dalam beberapa cara seperti manipulasi melalui kontroler genggam atau melalui kontrol *eye tracker*.
- 3) *Visualisation* memungkinkan objek yang ditampilkan dalam lingkungan *virtual reality* merupakan objek dimensi 3 yang memiliki sifat mirip dengan aslinya.

Pengembangan aplikasi *virtual reality* tidak hanya dapat dilakukan secara *native* berupa aplikasi desktop tetapi juga dapat dikembangkan berbasis web. *Web Virtual Reality (Web VR)* atau *web virtual reality* merupakan *virtual reality* yang memungkinkan menyajikan pengalaman yang hampir sama dengan *virtual reality* desktop. *Virtual reality* berbasis web dapat dijalankan melalui browser dengan komputer standar ataupun menggunakan headset seperti HTC Vive. Aplikasi *virtual reality web* dirancang untuk berfungsi dengan baik pada tanpa *headset*, meskipun tidak akan mendapatkan pengalaman *virtual reality* secara penuh[17]. Kelebihan *virtual reality* berbasis *web* yaitu:

- 1) Aplikasi *virtual reality web* menawarkan ketersediaan *cross-platform* yang memungkinkan pengembang untuk memastikan konsistensi kinerja konten *virtual reality* di semua *platform*.
- 2) *Virtual reality web* kompatibel dengan sebagian besar browser bawaan perangkat yang memungkinkan pengguna memiliki fleksibilitas untuk memilih platform tampilan seperti personal komputer atau perangkat *mobile*.

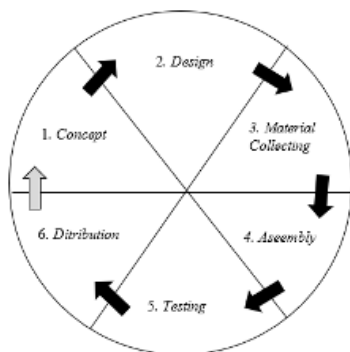
- 3) Aplikasi *virtual reality web* memungkinkan pengembang mengontrol kualitas konten secara spesifik yang dapat diperbaharui dalam satu waktu.
- 4) Pengguna tidak perlu melakukan proses unduh dan instalasi aplikasi untuk menikmati konten *virtual reality*.

A-Frame merupakan sebuah *framework* yang dapat digunakan untuk mengembangkan konten *virtual reality* berbasis *web*. Hasilnya bisa langsung diakses di *desktop browser* maupun *mobile browser* dan juga dapat digunakan dengan perangkat *virtual reality* seperti *HTC Vive*.

HTC Vive tergolong *room-scale VR*, yang bisa menampilkan dunia virtual dalam bentuk ruang yang membaca gerakan kemudian diselaraskan dengan lingkungan virtual. *HTC Vive* terdiri dari 1) *Vive Headset* yang memiliki layar yang akan menampilkan gambar yang membuat pengguna seolah-olah masuk ke dunia virtual, 2) *Vive controller* digunakan sebagai *cursor* untuk berpindah lokasi dan berinteraksi dengan objek 3D, 3) *Vive Base Stations*.

III. METODE PENELITIAN

Penelitian ini termasuk penelitian *research and development (R&D)*. *R&D* adalah metode penelitian yang digunakan untuk menghasilkan sebuah produk tertentu dan menguji produk tersebut. Produk yang dikembangkan dalam penelitian ini adalah *Virtual Reality* untuk Digitalisasi Mandala 2 di Pura Besakih. Model pengembangan yang digunakan dalam penelitian ini adalah model pengembangan *Multimedia Development Life Cycle (MDLC)* melalui 6 (enam) tahapan yakni *Concept, Design, Material Collecting, Assembly, Testing, dan Distribution*[18]. *MDLC* merupakan model pengembangan perangkat lunak multimedia yang langkah penerapannya sederhana seperti pada Gambar 1.



Gambar 1. Model MDLC Luther[19]

A. Concept

Tahap *concept* (konsep) merupakan pengumpulan informasi secara lengkap kemudian dianalisis dan didefinisikan untuk menentukan tujuan, pengguna (*identifikasi audience*), menentukan macam aplikasi (*presentasi, interaktif*), serta tujuan aplikasi (*hiburan, pelatihan,*

pembelajaran) yang harus dipenuhi oleh aplikasi. Pada tahap ini dilakukan pencarian referensi mengenai teori-teori yang diperlukan dan bagaimana menerapkannya dalam teknologi berbasis *virtual reality*. Setelah semua teori terkumpul, selanjutnya dilakukan analisis kebutuhan tentang pembatasan masalah dari aplikasi yang dibuat dengan memperhatikan ketersediaan waktu, kebutuhan dan kemampuan pengembangan aplikasi, Hasil dari tahap *concept* adalah inialisasi proyek, seperti menganalisis permasalahan yang dihadapi dan mengumpulkan, solusi yang ditawarkan serta membantu mendefinisikan fitur dan fungsi software. Pengumpulan data-data tambahan diambil dari jurnal, artikel, dan internet. Dalam tahap *concept* dilakukan analisis masalah dan solusi.

B. Design

Design (perancangan) adalah tahap membuat spesifikasi mengenai arsitektur program, tampilan dan kebutuhan material/bahan untuk program. Tahap *design* bertujuan untuk lebih memahami gambaran umum mengenai aplikasi yang dikerjakan. Dalam tahap perancangan dilakukan pemodelan arsitektur sistem yang berfokus pada perancangan kebutuhan fungsional dan non-fungsional, *user interface, use case digram, activity diagram* dan *story board*.

C. Material Collecting

Material collecting (pengumpulan materi) adalah tahap dimana pengumpulan bahan yang sesuai dengan kebutuhan. Tahap *material collecting* dikerjakan paralel dengan tahap *assembly*. Pada beberapa kasus, tahap *material collecting* dan tahap *assembly* dapat dikerjakan secara linear. Dalam penelitian dilakukan pengumpulan material berupa foto yang digunakan sebagai referensi serta tekstur model 3D masing-masing bangunan Pura Mandala 2 yang dilaksanakan pada tahap *modeling* dan *texturing*.

D. Assembly

Tahap *assembly* (perakitan) adalah tahap dimana semua objek seperti audio, gambar, model 3D atau bahan multimedia dibuat serta digabungkan. Pembuatan aplikasi didasarkan pada tahap *design*. Pada tahap ini peneliti akan melakukan implementasi yang meliputi pembuatan model 3D pura Mandala 2, perekaman suara untuk narasi informasi, pengolahan tekstur bangunan pura, serta penggabungan aset sehingga menjadi aplikasi *virtual reality*.

E. Testing

Tahap *testing* (pengujian) akan dilakukan setelah selesai tahap *assembly* dengan menjalankan aplikasi atau program dengan tujuannya untuk menemukan kesalahan yang mungkin terjadi untuk nantinya diperbaiki. Tahap *concept, design* dan *material collecting* perangkat lunak tidak menjamin bahwa perangkat lunak bebas kesalahan. Tahap testing dilakukan dengan tujuan mengetahui kekurangan dan



KARMAPATI
Kampus Akademi Rekayasa Pendidikan Teknik Informatika

kelemahan maupun kesalahan dari aplikasi yang dikembangkan, sehingga aplikasi masih bisa diperbaiki untuk mengurangi kesalahan-kesalahan yang terjadi sebelum aplikasi dirilis. Pentingnya pengujian perangkat lunak mengacu pada kualitas perangkat lunak tidak dapat terlalu ditekan karena melibatkan sederet aktivitas produksi di mana peluang terjadinya kesalahan manusia sangat besar. Dalam melakukan pengujian perangkat lunak fokus dari pengujian adalah untuk menilai apakah perangkat lunak yang dikembangkan telah memenuhi kebutuhan pengguna akhir, menilai apakah proses pengembangan perangkat lunak telah sesuai dengan metode yang digunakan. Pada tahap testing akan dilakukan 5 jenis pengujian yaitu Uji *White box*, Uji *Black box*, Uji *User Experience (UEQ)*, Uji Ahli Media, serta Uji Ahli Isi.

F. Distribution

Tahapan *distribution* (distribusi) merupakan tahap dimana aplikasi disimpan dalam suatu media penyimpanan. Pada tahap ini jika media penyimpanan tidak cukup untuk menampung aplikasinya, maka dilakukan kompresi terhadap aplikasi tersebut. Namun dalam penelitian ini tahap *distribution* dilakukan sampai pada tahap mengunggah aplikasi *Virtual Reality* Mandala 2 di Pura Besakih.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Virtual reality Mandala 2 di Besakih merupakan aplikasi virtual yang memuat objek bangunan Pura Mandala 2 dalam bentuk 3 dimensi yang menggunakan tekstur asli bangunan sebenarnya. Pengembangan dalam penelitian ini menggunakan model *MDLC*. Hasil dari setiap tahap model *MDLC* yang digunakan dalam penelitian sebagai berikut:

A. Hasil

1) Hasil Tahap Concept

Hasil tahap konsep berupa definisi konsep yang didapatkan dari analisis terhadap hasil wawancara, analisis permasalahan, serta analisis terhadap solusi yang diusulkan. Berikut merupakan definisi konsep seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Definisi Konsep

| Kategori Konsep | Deskripsi Konsep |
|-----------------|---|
| Judul | Pengembangan Virtual Reality untuk Digitalisasi Mandala 2 di Pura Besakih |
| Tujuan | Digitalisasi warisan budaya (arsitektur, sejarah), media informasi dan arsip warisan budaya |
| Sasaran | Masyarakat umum, wisatawan |
| Konten Aplikasi | Model 3D Pura Mandala 2, sejarah pura, informasi masing-masing bangunan Pura Mandala 2 |

2) Hasil Tahap Design

Tahap kedua yaitu tahap perancangan menghasilkan analisis kebutuhan fungsional, batasan perangkat lunak, skenario perangkat lunak serta model fungsional perangkat lunak berupa *usecase digram*.

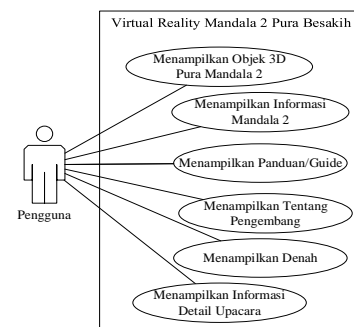
1) Kebutuhan Fungsional

Berdasarkan analisis Pengembangan *Virtual Reality* untuk Digitalisasi Mandala 2 di Pura Besakih, terdapat beberapa kebutuhan fungsional yaitu:

- Aplikasi dapat menampilkan objek 3D Pura Mandala 2 di Pura Besakih.
- Aplikasi memungkinkan pengguna melihat informasi masing-masing Pura Mandala 2 di Pura Besakih.
- Pengguna dapat melihat panduan penggunaan aplikasi.
- Aplikasi mampu menampilkan informasi tentang pengembang aplikasi.
- Aplikasi mampu menampilkan informasi denah bangunan Pura Mandala 2.
- Aplikasi mampu menampilkan informasi detail upacara masing-masing bangunan Pura Mandala 2.

2) Model Fungsional Perangkat Lunak

Model fungsional perangkat lunak digunakan untuk mentranslasi kebutuhan perangkat lunak ke representasi desain agar dapat diimplementasikan menjadi program. Penelitian ini menggunakan *use case diagram* untuk merepresentasikan relasi *actor* atau pengguna dengan kebutuhan fungsional perangkat lunak. *Use case diagram* Pengembangan *Virtual Reality* untuk Digitalisasi Mandala 2 di Pura Besakih pada Gambar 2.



Gambar 2. Use Case Diagram

3) Batasan Perangkat Lunak

Adapun batasan perancangan aplikasi *Virtual Reality* untuk Digitalisasi Mandala 2 di Pura Besakih dapat dipaparkan sebagai berikut.

- Aplikasi hanya menampilkan bangunan Pura Penataran Agung Bagian Mandala 2 di Pura Besakih.
- Aplikasi dapat dijalankan pada perangkat komputer standar yang terinstal *browser Mozilla firefox* tanpa atau dengan *HTC Vive*.

4) Skenario Aplikasi

Hasil skenario aplikasi *Virtual Reality* untuk Digitalisasi Mandala 2 di Pura Besakih dapat sebagai berikut.



KARMAPATI

Kampus Artikal Mahasiswa Pendidikan Teknik Informatika

e-ISSN: 2685-7006 | p-ISSN: 2252-9063

Kumpulan Artikel Mahasiswa Pendidikan Teknik Informatika

(KARMAPATI)

Volume 11, Nomor 1, Tahun 2022

- Pengguna memulai aplikasi.
- Saat aplikasi termuat pada *browser* maka pengguna akan langsung memasuki area yang menampilkan objek 3D, pengguna bisa menjelajahi area.
- Pengguna melihat tampilan menu utama yang berisi nama aplikasi, serta tombol menu yang terdiri dari: Panduan/Guide, Informasi/Information, Pengaturan/Setting.
- Jika pengguna memilih *softbutton* Panduan/Guide, pengguna akan melihat tampilan yang berisi cara menggunakan *controller HTC Vive*.
- Pada tampilan main menu, jika memilih *softbutton* Informasi/Information akan keluar tampilan yang berisi peta Mandala 2 (*default*), informasi mengenai upacara, masing-masing pura serta informasi pengembangnya aplikasi.
- Jika pengguna memilih *softbutton* Pengaturan/Setting pengguna dapat mengatur volume suara dan memilih bahasa.
- Jika menggunakan alat *HTC Vive* maka pengguna harus melepas *headset* untuk keluar dari lingkungan virtual.

3) Hasil Tahap Material Collecting

Pada tahap pengumpulan materi, hasil yang didapatkan berupa foto bangunan pura yang akan digunakan sebagai referensi untuk membuat model objek 3D serta perbandingan yang menjadi isi dari aplikasi *virtual reality* yang dikembangkan. Adapun hasil yang diperoleh seperti pada Gambar 3, Gambar 4 dan Gambar 5:



Gambar 3. Kori



Gambar 4. Bale Panggungan



Gambar 5. Meru Tumpang 9

4) Hasil Tahap Assembly

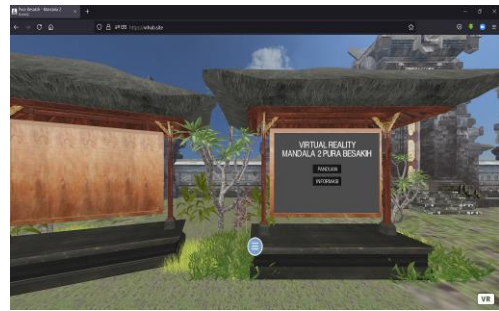
Setelah semua foto referensi didapatkan maka dilakukan pembuatan objek 3D dari masing-masing bangunan pura, suara narasi informasi, serta penggabungan seluruh objek menjadi aplikasi *virtual reality* berbasis *web* menggunakan *framework A-frame*. Adapun hasil pembuatan objek 3D pura Mandala 2 di Pura Besakih sebagai berikut.

1) Implementasi Pemodelan Bangunan Pura Mandala 2

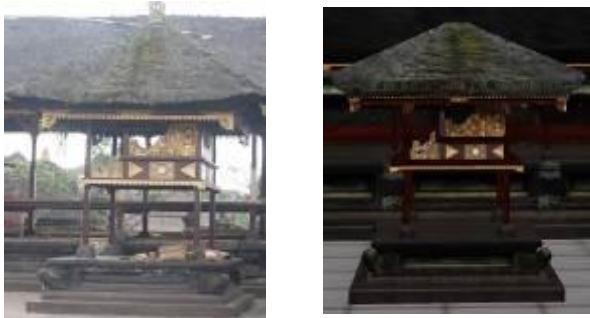
Berikut ini merupakan perbandingan pemodelan bangunan Mandala 2 Pura Besakih antara bangunan sebenarnya dengan bangunan hasil modeling 3D seperti pada Gambar 6, Gambar 7, Gambar 8.



Gambar 6. Perbandingan Kori Agung



Gambar 9. Tampilan Menu Aplikasi



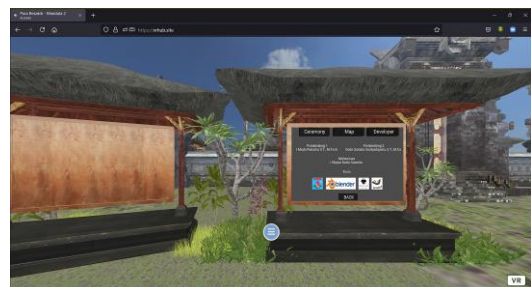
Gambar 7. Perbandingan Bale Panggungan



Gambar 10. Tampilan Halaman Panduan Penggunaan



Gambar 8. Perbandingan Meru Tumpang 9



Gambar 11. Tampilan Halaman Pengembang



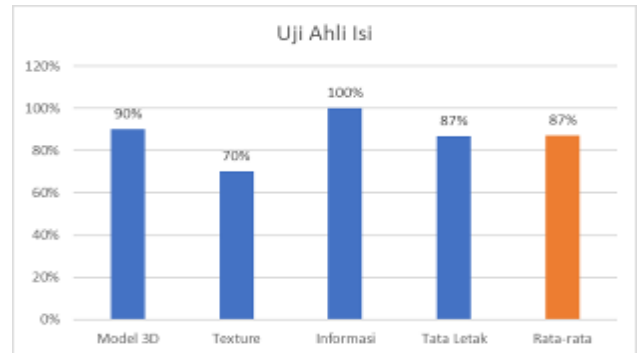
Gambar 12. Tampilan Pengaturan Volume Suara Dan Bahasa

2) Implementasi Antarmuka Aplikasi

Antarmuka aplikasi digunakan untuk berinteraksi antara pengguna dengan aplikasi. Berikut ini merupakan implementasi layar antarmuka aplikasi pengguna.



Gambar 13. Tampilan Informasi Objek 3D



Gambar 14. Grafik Uji Ahli Isi

3) Implementasi Perangkat Lunak

Adapun perangkat lunak yang digunakan dalam mengimplementasi pengembangan aplikasi yaitu:

- *GIMP* untuk membuat tekstur objek 3D Mandala 2.
- *Blender* untuk membuat objek 3D Mandala 2.
- *A-Frame* sebagai sebagai *framework* pengembangan aplikasi *virtual reality*.
- *SteamVR* menghubungkan perangkat *HTC Vive* dan komputer.
- *Javascript* sebagai bahasa pemrograman pengembangan aplikasi.
- *Browser Mozilla firefox* sebagai perangkat lunak untuk menjalankan aplikasi.

4) Implementasi Perangkat Keras

Adapun perangkat keras yang digunakan dalam mengimplementasikan pengembangan dan menjalankan aplikasi yaitu:

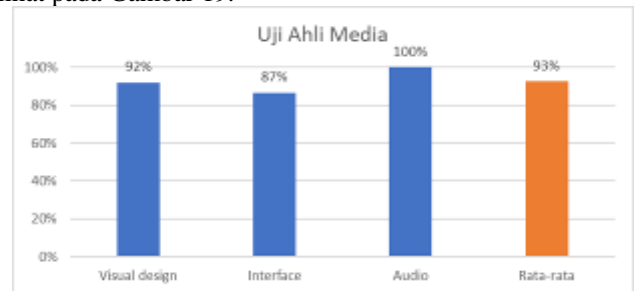
- Perangkat keras komputer dengan spesifikasi minimum
Prosesor: AMD Ryzen 7 1700X 8-Core 3,4GHz, Sistem Operasi: Windows 10 64-bit, Memory /RAM: 8 GB, VGA: NVIDIA GeForce GTX 1050 Ti.
- Perangkat keras HTC Vive
- Perangkat keras web server dengan spesifikasi yang digunakan dalam penelitian ini yaitu CPU (Core) 0,75, RAM (MB) 512, serta SSD Disk Space 750 MB.

5) Hasil Tahap Testing (pengujian)

Dalam penelitian ini dilakukan lima pengujian yaitu Uji *White box*, Uji *Black box*, Uji Ahli Isi, Uji Ahli Media, dan Uji Respon Pengguna (UEQ). Pengujian *black box* melibatkan 5 responden, didapatkan hasil bahwa kebenaran proses dalam aplikasi sudah sesuai. Uji *white box* menggunakan desain *test case* yang telah dilakukan didapatkan *code* aplikasi sudah berjalan dengan baik.

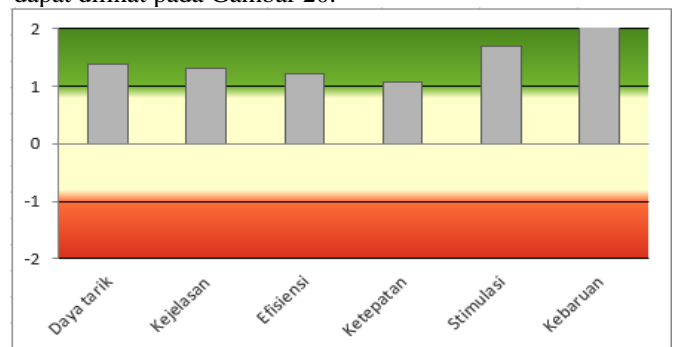
Hasil uji ahli isi didapatkan rata-rata aspek model 3D sebesar 90%, rata-rata aspek *texture* sebesar 70%, rata-rata aspek informasi sebesar 100%, rata-rata aspek tata-letak sebesar 87% dan rata-rata persentase respon dari 2 orang responden yaitu 87% yang masuk dalam kriteria sangat baik. Grafik hasil rekapitulasi penilaian uji ahli isi dapat dilihat pada Gambar 18.

Uji ahli media didapatkan rata-rata untuk aspek *visual desig* yaitu 92%, rata-rata aspek *interface* yaitu 87%, rata-rata aspek audio yaitu 100%, dan rata-rata persentase respon dari 2 orang responden yaitu 93% yang masuk dalam kriteria sangat baik. Grafik hasil rekapitulasi penilaian uji ahli media dapat dilihat pada Gambar 19.



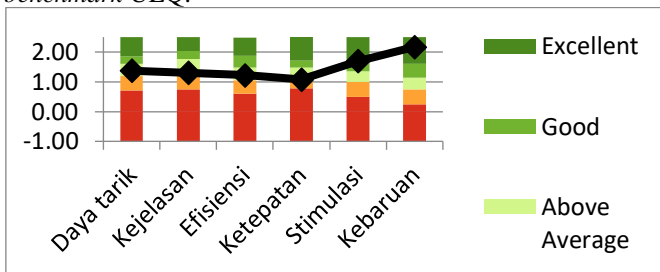
Gambar 15. Grafik Uji Ahli Media

Hasil pengujian respon pengguna (UEQ) yang telah dilakukan menunjukkan nilai rata-rata pertanyaan sesuai kelompoknya. Nilai rata-rata impresi antara -0.8 dan 0.8 merupakan nilai evaluasi positif dan nilai-nilai < -0.8 merupakan evaluasi negatif. Sehingga dapat disimpulkan bahwa aplikasi *Virtual Reality* untuk Digitalisasi Mandala 2 di Pura Besakih memiliki impresi positif berturut-turut untuk aspek Daya tarik, Kejelasan, Efisiensi, Ketepatan, Stimulasi, dan Kebaruan. Grafik hasil rekapitulasi uji respon pengguna dapat dilihat pada Gambar 20.



Gambar 16. Grafik Uji Respon Pengguna

Grafik hasil *benchmark* pada Gambar 21 menunjukan, tiga skala masuk dalam kategori *above average* (diatas rata-rata), yaitu skala Daya Tarik, Kejelasan, dan Efisiensi. Skala Ketepatan termasuk kedalam katagori *below average* (dibawah rata-rata). Skala Stimulasi termasuk kedalam katagori *good* (baik). Sedangkan skala Kebaruan berada dalam kategori *excellent* (sangat baik) sesuai dengan tingkatan *benchmark* UEQ.



Gambar 17. Grafik *Benchmark* Skala UEQ

6) Hasil Tahap Distribution

Tahap distribusi aplikasi Virtual Reality Mandala 2 Pura Besakih menghasilkan aplikasi yang siap diakses secara *online* oleh pengguna dengan terlebih dahulu melakukan proses pengunggahan melalui penyedia jasa *web hosting*.

B. Pembahasan

Pengembangan aplikasi *Virtual Reality* untuk Digitalisasi Mandala 2 di Pura Besakih menggunakan proses *Multimedia Development Life Cycle (MDLC)* yang melalui 6 (enam) tahapan yakni *Concept, Design, Material Collecting, Assembly, Testing, dan Distribution*. Pada tahap *concept* dilakukan analisis masalah dan solusi yang diperlukan serta analisis kebutuhan. Dalam analisis masalah peneliti menggunakan metode wawancara dengan dua narasumber, narasumber tersebut merupakan Kepala Bidang Sejarah Cagar Budaya serta anggota Badan Pengawas Manajemen Operasional Kawasan Pura Besakih serta wisatawan yang ditemui peneliti di kawasan Pura Besakih. Dari analisis masalah dan solusi didapatkan suatu definisi konsep yang mencakup tujuan, sasaran, dan konten. Tujuan untuk digitalisasi warisan budaya (arsitektur, sejarah), media informasi dan arsip warisan budaya. Sasaran masyarakat umum, wisatawan. Konten Aplikasi yang memuat Model 3D Pura Mandala 2, sejarah pura, informasi. Selanjutnya pada tahap *design* peneliti melakukan perancangan berdasarkan definisi konsep yang dikerjakan pada tahap *concept*. Perancangan mencakup analisis yang terdiri dari kebutuhan fungsional dan non-fungsional, model fungsional perangkat lunak yang terdiri dari *use case*, batasan perangkat lunak, skenario penggunaan aplikasi. Pada tahap *material collecting* dilakukan pengumpulan bahan berupa foto masing-masing bangunan Pura Mandala 2, tekstur bangunan, teks serta audio

untuk narasi informasi pura. Pengambilan gambar diperlukan sebagai referensi pemodelan 3D dari masing-masing bangunan Mandala 2. Pengambilan foto dilakukan menggunakan kamera dengan mengambil gambar dari sisi depan, sisi samping, dan sisi belakang bangunan. Foto yang didapatkan mencakup gambar lingkungan bagian dalam Mandala 2 terdiri dari foto lingkungan dan bangunan pelinggih Mandala 2 sebanyak 15 bangunan. Pada tahap *assembly* rancangan yang masih konseptual direalisasikan menjadi satu aplikasi *virtual reality*. Pengolahan bahan memerlukan bantuan beberapa perangkat lunak seperti *Audacity*, untuk mengolah hasil rekaman audio yang digunakan pada narasi mengenai informasi objek-objek 3D dan penyetaraan volume setiap suara. Proses pembuatan suara narasi dilakukan dengan merekam suara dari pengisi suara, selanjutnya suara rekaman diolah dan disimpan dengan format *.mp3* dengan versi bahasa Inggris dan bahasa Indonesia. *GIMP* untuk membuat tekstur sebelum disatukan pada objek 3D. *Blender* untuk membuat model objek 3D dan menyatukan objek 3D dengan tekstur. Objek 3D dengan format *.blend* dikompresi menjadi file 3D dengan format *.gltf* yang bertujuan agar file 3D memiliki ukuran lebih kecil. Aset-aset yang dikumpulkan pada tahap *material collecting* yang mencakup objek 3D bangunan Mandala 2, audio, serta aset penunjang disatukan dengan menggunakan bantuan *framework A-frame* sehingga menjadi aplikasi *virtual reality*. Proses penyatuan dilakukan mengacu pada rancangan fungsional yang dibuat sebelumnya pada tahap *design* agar menghasilkan aplikasi yang sesuai tujuan dan siap diuji. Bahasa pemrograman yang peneliti gunakan adalah *javascript*. Pada tahap *testing* dilakukan pengujian dengan menjalankan dan mengevaluasi aplikasi *virtual reality*, menentukan perbedaan antara hasil yang diharapkan dengan hasil sebenarnya serta mengetahui bagaimana respon terhadap penggunaan aplikasi. Pertama dilakukan uji *white box*, selanjutnya dilakukan uji *black box*, kemudian dilakukan uji ahli isi. Setelah melakukan uji ahli isi, kemudian dilanjutkan dengan uji ahli media dan terakhir uji respon pengguna.

Pengujian *white box* aplikasi *virtual reality* berupa pengujian code yang sudah memiliki *flow graph* dilakukan oleh peneliti secara bertahap dari awal pengerjaan sampai selesai dikerjakan pada tahap *assembly*. Hasil pengujian *white box* menyatakan proses pemuatan aplikasi pada *browser*, proses navigasi pemilihan menu dan sub-menu aplikasi, proses penggunaan aplikasi pada *mode desktop*, proses penggunaan aplikasi dengan alat virtual *HTC Vive*, proses penggunaan *controller* untuk teleportasi, navigasi area serta interaksi dengan menu aplikasi sudah sesuai dengan alur *flow graph*. Pengujian *black box* berfokus pada fungsional aplikasi sehingga dengan menguji kebenaran proses aplikasi yang dilakukan pada 5 orang responden dengan memberikan kuesioner yang berisi 15 skenario uji. Dari hasil dari pengujian *black box* dinyatakan proses dengan pengujian dari saat pertama aplikasi dijalankan sudah sesuai, menampilkan menu



KARMAPATI

Kumpulan Artikel Mahasiswa Pendidikan Teknik Informatika

yang terdapat 2 menu pilihan yaitu menu panduan/*guide*, serta menu informasi/*information* sudah berjalan sesuai proses tidak ada kesalahan pada saat main menu dijalankan, pada main menu petunjuk juga sudah menampilkan tahapan mengenai petunjuk penggunaan aplikasi. Pada main menu informasi menampilkan 3 sub-menu yaitu sub-menu Upacara, Denah, serta Pengembang. Sub-menu pengembang saat dipilih sudah menampilkan tentang informasi pengembang dan *tools* yang digunakan untuk membuat aplikasi. Sub-menu upacara saat dipilih sudah menampilkan mengenai informasi detail tentang upacara masing-masing pura yang terdapat dalam aplikasi. Sub-menu denah sudah menampilkan gambar mengenai denah area Mandala 2 Pura Besakih. Keseluruhan proses dalam aplikasi sudah sesuai. Pengujian ahli media berfokus memvalidasi terhadap *visual design, interface*, audio aplikasi dengan melibatkan 2 orang dosen Program Studi Pendidikan Teknik Informatika. Pengujian dilakukan dengan memberikan kuesioner yang terdiri dari 11 pernyataan yang dibagi menjadi 3 aspek. Dari hasil uji ahli media didapatkan rata-rata persentase respon dari 2 orang ahli yaitu 93% yang masuk dalam kriteria sangat baik, hal ini menunjukkan bahwa aplikasi diterima dengan sangat baik oleh pengguna dari aspek *visual design* yang terdiri dari kesesuaian warna dan desain aplikasi, kesesuaian tulisan dengan aplikasi, kemenarikan tampilan, ketetapan ukuran dan pemilihan jenis tulisan, pewarnaan objek 3D bangunan pelinggih sudah sesuai, pemilihan ukuran menu sudah tepat, dari aspek *interface* yang terdiri dari menu aplikasi mudah digunakan, fungsi tombol aplikasi sudah sesuai, serta aspek audio yang terdiri dari kejelasan bahasa, kesesuaian musik latar dengan tema dan kejelasan suara narasi mengenai informasi pura sudah sesuai. Pelaksanaan pengujian ahli isi berfokus mengetahui kesesuaian isi terhadap tema yang diangkat dilakukan oleh 2 orang responden melibatkan Jero Bendesa Desa Adat Besakih dan anggota Oprasional Pengelola Kawasan Pura Besakih dilakukan dengan memberikan kuesioner yang terdiri dari 7. Hasil ahli isi mendapatkan rata-rata persentase sebesar 84% yang termasuk kriteria sangat baik, hal tersebut menunjukkan bahwa pengembangan aplikasi yang peneliti lakukan sudah sesuai dilihat dari kesesuaian objek 3 dimensi pura yang dikenalkan, kesesuaian tata letak objek pura sudah sesuai, ketepatan penggunaan tekstur sudah sesuai, ketetapan penggunaan kata dan kalimat serta kelengkapan informasi baik yang berbentuk teks maupun audio yang disampaikan sudah sesuai.

Pengujian pengalaman pengguna melibatkan sebanyak 20 responden dengan menggunakan pengujian *User Experience Questionnaire (UEQ)* dengan memberikan pengguna kesempatan mencoba menggunakan aplikasi kemudian diberikan kuesioner yang terdiri dari 26 pernyataan, masing-masing pertanyaan memiliki skala penilaian 1 sampai dengan 7. Setelah mendapatkan jawaban dari pengguna maka dilakukan proses perhitungan dengan menggunakan bantuan *Data Analysis Tools*. Perhitungan pertama yaitu jawaban-

jawaban tersebut dilakukan konversi menjadi bobot nilai jawaban secara berurutan dengan skala (1, -3); (2, -2); (3, -1); (4, 0); (5, 1); (6, 2); (7, 3). Setelah itu dilakukan perhitungan *mean, varian*, dan simpangan baku untuk setiap pertanyaan. Dari hasil analisis uji respon pengguna tersebut didapatkan rata-rata persentase respon dari 20 orang responden menunjukkan impresi positif berturut-turut dalam kelompok Daya tarik (*Attractiveness*), Kejelasan (*Perspicuity*), Efisiensi (*Efficiency*), Ketepatan (*Dependability*), Stimulasi (*Stimulation*), dan Kebaruan (*Novelty*). Hasil *benchmark* menunjukan, tiga skala masuk dalam kategori *above average* (diatas rata-rata), yaitu skala Daya Tarik, Kejelasan, dan Efisiensi. Skala Ketepatan termasuk dalam katagori *below average* (dibawah rata-rata). Skala Stimulasi termasuk dalam katagori *good* (baik). Sedangkan skala Kebaruan berada dalam katagori *excellent* (sangat baik). Pada tahap *distribution* dilakukan penyebarluasan aplikasi dengan mengunggah file aplikasi melalui penyedia jasa *web hosting* sehingga pengguna dapat mengakses aplikasi melalui jaringan *online* melalui *browser*.

V. KESIMPULAN & SARAN

Berdasarkan hasil analisis, implementasi dan pengujian pada penelitian Pengembangan *Virtual Reality* untuk Digitalisasi Mandala 2 di Pura Penataran Agung Besakih dikembangkan menggunakan model *MDLC (Multimedia Development Life Cycle)* sesuai dengan tujuan untuk merancang dan mengimplementasikan rancangan *virtual reality* sebagai media konservasi warisan budaya yang berbentuk arsitektur bangunan pura dimana aplikasi mampu menampilkan bangunan dan pelinggih, menampilkan tata letak, nama bangunan, deskripsi bangunan yang tersedia dalam bentuk teks maupun suara. Selain itu aplikasi dapat sebagai media informasi dan dokumentasi arsip warisan budaya. Pengembangan aplikasi berbasis *virtual reality web* dengan bantuan *framework A-Frame* sehingga pengguna dapat menjalankan aplikasi lewat jaringan *online* yang dapat dibuka pada *browser* dengan menggunakan komputer tanpa atau dengan *HTC Vive*. Respon pengguna terhadap aplikasi dapat diterima dengan baik, hal ini ditunjukkan dari uji respon menunjukkan impresi positif. skala Daya Tarik, Kejelasan, dan Efisiensi termasuk kategori *above average* (diatas rata-rata), skala Ketepatan termasuk dalam katagori *below average* (dibawah rata-rata), skala Stimulasi termasuk dalam katagori *good* (baik). Sedangkan skala Kebaruan berada dalam katagori *excellent* (sangat baik). Pengujian ahli isi menunjukkan nilai sebesar 87% tergolong dalam kategori sangat baik. Pengujian ahli media menunjukkan nilai sebesar 93% tergolong dalam kategori sangat baik.

Berdasarkan pengamatan peneliti, beberapa hal yang dapat dijadikan bahan pertimbangan sebagai tindak lanjut penelitian yaitu pengembangan selanjutnya perlu dilakukan penembahan objek seperti sarana persembahyangan dan orang



KARMAPATI

Kampus Arsitek Rekayasa Pendidikan Teknik Informatika

berlalu lalang dengan tujuan aplikasi agar lebih tampak dinamis.

REFERENSI

- [1] I. K. Wiana, *PURA BESAKIH HULUNYA PULAU BALI*. Surabaya: PARAMITA, 2009.
- [2] A. A. S. N. Indradewi, "Pergeseran Fungsi Pura di Bali: Dari Ritual ke Pertemuan Politik," vol. 06, no. 02, pp. 195–208, 2016.
- [3] M. N. . Sitokdana, "DIGITALISASI KEBUDAYAAN DI INDONESIA," vol. 2015, no. Sentika, 2015.
- [4] S. R. Chavan, "Augmented Reality vs . Virtual Reality : Differences and Similarities," vol. 5, no. 6, pp. 1947–1952, 2016.
- [5] M. Rachman, "Konservasi nilai dan warisan budaya," vol. 1, no. 1, pp. 30–39, 2012.
- [6] I. W. Runa, "KONSERVASI BANGUNAN BERSEJARAH Studi Kasus Bangunan Peribadatan di Pulau Bali," pp. 1–11, 2016, [Online]. Available: [http://repository.warmadewa.ac.id/300/2/JURNAL UNDAGI 2016 KONSERVASI BANGUNAN BERSEJARAH.pdf](http://repository.warmadewa.ac.id/300/2/JURNAL_UNDAGI_2016_KONSERVASI_BANGUNAN_BERSEJARAH.pdf).
- [7] E. Sukmana, "Digitalisasi Pustaka," *UPT Perpustakaan Institut Teknologi Bandung*, 2005. https://www.researchgate.net/profile/Ena_Sukmana/publication/236965703_DIGITALISASI_PUSTAKA/inks/0deec51a80c1dce616000000.pdf.
- [8] Munir, *MULTIMEDIA Konsep & Aplikasi dalam Pendidikan*. 2012.
- [9] U. Essays, "Advantages And Disadvantages Of Multimedia Elements Computer Science Essay," 2013. <https://www.ukessays.com/essays/computer-science/advantages-and-disadvantages-of-multimedia-elements-computer-science-essay.php>.
- [10] S. Gardonio, "What's the Difference Between VR, AR, MR, and 360?," 2017. <https://www.ietfforall.com/difference-between-vr-ar-mr-360/>.
- [11] P. Bouvier *et al.*, "Cross-benefits between virtual reality and games To cite this version : HAL Id : hal-00622350," 2012.
- [12] C. S. A. Jabar *et al.*, *APPLIED APPROACH AA*. 2015.
- [13] W. Vaughan, *Digital Modeling*. 2012.
- [14] A. Beane, *3D Animation Essentials*. Canada, 2012.
- [15] B. H. and J. K. N. Ma, F. Laroche, "Virtual conservation and interaction with our cultural heritage: Framework for multi-dimension model based interface '2013 Digital Heritage International Congress (DigitalHeritage)," 2013, [Online]. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/document/6743756/>.
- [16] J. Wang, "Procedia Engineering Research on Application of Virtual Reality Technology in Competitive Sports," vol. 29, pp. 3659–3662, 2012, doi: 10.1016/j.proeng.2012.01.548.
- [17] Uva, "Eleven examples of how WebVR is being used today," 2017. <https://medium.com/samsung-internet-dev/eleven-examples-of-how-webvr-is-being-used-today-cbcb214b816c>.
- [18] H. Sugiarto, "Penerapan Multimedia Development Life Cycle Pada Aplikasi Pengenalan Abjad Dan Angka," vol. 3, no. 1, pp. 26–31, 2018.
- [19] I. Binanto, *Multimedia DasarDasar Teori dan Pengembangannya*. Yogyakarta: ANDI, 2010.