**Jutisi:** Jurnal Ilmiah Teknik Informatika dan Sistem Informasi
Jl. Ahmad Yani, K.M. 33,5 - Kampus STMIK Banjarbaru
Loktabat – Banjarbaru (Tlp. 0511 4782881), e-mail: puslit.stmikbjb@gmail.com
e-ISSN: 2685-0893
p-ISSN: 2089-3787

# Pengembangan Aplikasi Teknologi *Augmented Reality* untuk Mendukung Konsep *Smart City* Daerah Istimewa Yogyakarta

**Yoga Sahria[1*], Haryoko[2], Yogi Piskonata[3]**
[1,2]Teknologi Informasi, Universitas Amikom Yogyakarta, Yogyakarta, Indonesia
[3]Informatika, Universitas Amikom Yogyakarta, Yogyakarta, Indonesia
*e-mail *Corresponding Author:* yogasahria@amikom.ac.id

***Abstract***

*This research develops Augmented Reality (AR) applications at Sonobudoyo Museum as part of the Smart City concept in Yogyakarta. Museum digitization aims to improve visitor experience through interactive technology. The AR application developed allows users to access museum collection information in the form of 3D visualization, video, and text via mobile devices. The research method uses Research and Development (R&D) with the Analyze, Design, Develop, Implement, Evaluate development model and the MDLC (Multimedia Development Life Cycle) approach. Evaluation was conducted based on visitor responses related to ease of use, attractiveness, and cultural understanding. The results showed that the application of AR increased visitor engagement and satisfaction and supported public services in the tourism and cultural education sectors. With a System Usability Scale (SUS) score of 88, this application is categorized as "excellent". AR technology is proven to be effective in preserving and promoting local culture and has the potential to be applied more widely in the Smart City ecosystem.*

***Keywords:*** *Augmented Reality; Sonobudoyo Museum; Smart Cities; Education Culture and technology.*

**Abstrak**

Penelitian ini mengembangkan aplikasi *Augmented Reality* (AR) di Museum Sonobudoyo sebagai bagian dari konsep *Smart City* di Yogyakarta. Digitalisasi museum bertujuan meningkatkan pengalaman pengunjung melalui teknologi interaktif. Aplikasi AR yang dikembangkan memungkinkan pengguna mengakses informasi koleksi museum dalam bentuk visualisasi 3D, video, dan teks melalui perangkat seluler. Metode penelitian menggunakan *Research and Development* (R&D) dengan model pengembangan *Analyze, Design, Develop, Implement, Evaluate* serta pendekatan MDLC (*Multimedia Development Life Cycle*). Evaluasi dilakukan berdasarkan tanggapan pengunjung terkait kemudahan penggunaan, daya tarik, dan pemahaman budaya. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penerapan AR meningkatkan keterlibatan dan kepuasan pengunjung serta mendukung layanan publik di sektor pariwisata dan edukasi budaya. Dengan skor *System Usability Scale* (SUS) 88, aplikasi ini masuk kategori "*excellent*". Teknologi AR terbukti efektif dalam melestarikan dan mempromosikan budaya lokal serta berpotensi diterapkan lebih luas dalam ekosistem *Smart City*.

**Kata kunci:** *Augmented Reality*; Museum Sonobudoyo; *Smart City*; Edukasi Budaya dan teknologi.

## 1. Pendahuluan

Daerah Istimewa Yogyakarta (DIY) dikenal sebagai salah satu pusat kebudayaan di Indonesia yang kaya akan warisan sejarah, seni, dan tradisi [1]. Salah satu tempat penting yang menjadi pusat pelestarian budaya adalah Museum Sonobudoyo, yang menyimpan berbagai artefak dan koleksi bersejarah, termasuk seni rupa, batik, kerajinan, dan senjata tradisional [2]. Namun, tantangan utama yang dihadapi museum ini adalah bagaimana menarik minat generasi muda dan meningkatkan jumlah pengunjung, terutama di era digital saat ini. Perubahan preferensi masyarakat terhadap cara memperoleh informasi mengharuskan museum untuk beradaptasi dengan teknologi modern agar tetap relevan. Dalam konteks ini penelitian ini

penting, pemanfaatan teknologi *Augmented Reality* (AR) menjadi strategi inovatif yang dapat menjembatani kesenjangan antara warisan budaya tradisional dan ekspektasi pengunjung modern. AR memungkinkan pengalaman interaktif yang lebih menarik dengan menyediakan visualisasi 3D, narasi audio, serta elemen digital yang memperkaya pemahaman terhadap koleksi museum. Penelitian mengenai penerapan AR dalam museum menjadi penting untuk mengevaluasi efektivitas teknologi ini dalam meningkatkan keterlibatan pengunjung, memperkuat edukasi budaya, serta mendukung konsep *Smart City* dalam sektor kebudayaan. Selain itu, penelitian ini dapat memberikan wawasan bagi pengelola museum dalam mengadopsi strategi digitalisasi yang lebih adaptif dan inovatif, sehingga warisan budaya tetap lestari dan relevan bagi masyarakat masa kini dan mendatang.

Penelitian dan penerapan AR di museum telah berkembang secara signifikan dalam beberapa tahun terakhir seperti yang diteliti oleh [3],[4],[5]. AR terbukti dapat meningkatkan pengalaman belajar pengunjung dengan memperkaya informasi visual dan menyajikan konten dalam bentuk yang lebih menarik [6],[7],[8],[9]. Misalnya, penelitian [10] menunjukkan bahwa teknologi AR di museum dapat meningkatkan pemahaman pengunjung terhadap sejarah dan budaya melalui pengalaman belajar yang lebih dinamis. Selain itu, [11] juga menyebutkan bahwa AR memberikan peluang besar untuk merubah cara museum menyampaikan informasi, menjadikannya lebih imersif dan berkesan. (AR) memungkinkan interaktivitas tinggi dan semakin banyak diterapkan di museum untuk meningkatkan pengalaman dan pembelajaran wisatawan [12]. AR terdapat jenis menggunakan penanda (*markerbased*) [13], [14],[15] dan tanpa penanda (*markerless*) [16], [17]. Di Yogyakarta sendiri, upaya untuk mendukung konsep *Smart City* telah mencakup berbagai aspek, mulai dari transportasi hingga pengelolaan energi. Namun, sektor pariwisata budaya, khususnya museum, masih relatif belum banyak dijelajahi dalam konteks integrasi dengan teknologi digital seperti AR dalam era 4.0 agar tetap relevan.

Di Yogyakarta sendiri, upaya untuk mendukung konsep *Smart City* telah mencakup berbagai aspek, mulai dari transportasi hingga pengelolaan energi. Sektor pariwisata budaya, khususnya museum, masih relatif belum banyak dijelajahi dalam konteks integrasi dengan teknologi digital seperti AR dalam era 4.0 agar tetap relevan. Museum Sonobudoyo sebagai salah satu pusat pelestarian budaya di Yogyakarta masih menghadapi tantangan dalam menarik minat pengunjung, terutama generasi muda yang lebih terbiasa dengan teknologi digital dan pengalaman interaktif. Saat ini, metode penyampaian informasi di museum masih bersifat konvensional melalui papan deskripsi, pemandu wisata, atau media cetak, yang kurang menarik bagi pengunjung dengan preferensi interaksi digital. Ketimpangan ini menunjukkan adanya gap antara kondisi saat ini di mana museum masih menggunakan metode tradisional dengan kondisi ideal yang diharapkan, yaitu museum yang mampu menyajikan pengalaman lebih interaktif [18], edukatif [19], dan menarik [20] melalui integrasi teknologi digital seperti AR. Jika ketimpangan ini tidak diatasi, dikhawatirkan museum akan semakin kehilangan relevansinya di mata generasi muda dan mengalami penurunan jumlah pengunjung. Oleh karena itu, penelitian mengenai implementasi AR di Museum Sonobudoyo menjadi krusial untuk mengevaluasi efektivitas teknologi ini dalam meningkatkan daya tarik museum, memperkaya pengalaman edukatif pengunjung, serta mendukung transformasi digital di sektor kebudayaan guna memperkuat pelestarian warisan budaya secara berkelanjutan.

Sebagai solusi terhadap tantangan yang dihadapi Museum Sonobudoyo dalam meningkatkan daya tarik dan interaktivitas bagi pengunjung, terutama generasi muda, penerapan teknologi AR dapat menjadi pendekatan yang efektif. AR memungkinkan pengunjung untuk mendapatkan pengalaman yang lebih mendalam melalui penyajian informasi dalam bentuk visual interaktif, animasi 3D, serta elemen multimedia yang memperkaya pemahaman mereka terhadap koleksi museum [21]. Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa penerapan AR di museum mampu meningkatkan engagement pengunjung, membuat pembelajaran lebih menyenangkan, serta mendorong eksplorasi lebih lanjut terhadap objek budaya yang ditampilkan [22]. Penelitian ini dilaksanakan karena masih minimnya adopsi teknologi digital interaktif, seperti AR, di sektor pariwisata budaya di Yogyakarta, khususnya pada Museum Sonobudoyo. Padahal, teknologi ini memiliki potensi besar untuk meningkatkan daya tarik museum dan memberikan pengalaman edukatif yang lebih modern serta relevan dengan generasi yang lebih muda. Dengan menerapkan AR, museum dapat menawarkan interaksi yang lebih kaya dan mendalam, yang tidak hanya menarik pengunjung lokal tetapi juga turis internasional. Selain itu, langkah ini mendukung strategi Yogyakarta dalam mengembangkan kota berbasis teknologi atau *Smart City* yang berfokus pada peningkatan

kualitas layanan publik dan pelestarian budaya. Penelitian ini bertujuan untuk mengeksplorasi efektivitas penerapan *Augmented Reality* (AR) di Museum Sonobudoyo sebagai upaya meningkatkan interaksi dan pengalaman edukatif bagi pengunjung.

## 2. Tinjauan Pustaka

Penelitian sebelumnya telah menunjukkan bagaimana teknologi AR dapat diterapkan dalam museum dan situs warisan budaya untuk meningkatkan pengalaman pengunjung serta pelestarian budaya. Lypak et al. [23] mengembangkan sistem informasi berbasis AR untuk museum sejarah lokal kecil, di mana mereka merancang dan mengimplementasikan proyek berbasis pemodelan 3D dan interaksi digital untuk meningkatkan pemahaman sejarah bagi pengunjung. Studi ini menyoroti bagaimana teknologi AR dapat diterapkan dalam skala yang lebih kecil untuk meningkatkan keterlibatan pengunjung dengan menggunakan interaksi berbasis objek virtual.

Sementara itu, Vashisht dan Sharma [24] mengembangkan aplikasi GhoomAR, yang bertujuan untuk menghadirkan pengalaman eksplorasi warisan budaya yang lebih menarik dengan AR. Sistem ini dirancang dengan teknologi pelacakan lokasi dan pemetaan digital, yang memungkinkan pengguna berinteraksi dengan elemen budaya dalam bentuk digital langsung di lokasi bersejarah.

Studi lain oleh Vlachos et al. [25] meninjau berbagai aplikasi AR untuk situs warisan budaya di lingkungan perkotaan. Mereka mengidentifikasi bahwa fitur seperti pemindaian objek berbasis marker, overlay informasi berbasis lokasi, serta gamifikasi dalam eksplorasi budaya adalah elemen kunci dalam membuat aplikasi AR lebih efektif dalam edukasi sejarah dan pelestarian budaya. Dari berbagai penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa penerapan AR dalam museum dan situs budaya tidak hanya meningkatkan interaktivitas, tetapi juga memberikan metode inovatif dalam penyajian informasi sejarah, yang sejalan dengan tujuan penelitian ini dalam mendukung konsep *Smart City* melalui digitalisasi sektor budaya.

*State of the Art* Berdasarkan tinjauan terhadap riset-riset terdahulu, dapat disimpulkan bahwa penelitian mengenai teknologi AR telah berkembang pesat, terutama dalam sektor museum dan pengembangan kota pintar. Sebagai perbedaan utama, penelitian ini mengusulkan kombinasi markerless dan markerbased AR, yang memungkinkan pengunjung mengakses informasi koleksi museum secara lebih fleksibel dan intuitif tanpa perlu menyesuaikan dengan marker fisik. Kebaruan lain dari penelitian ini adalah integrasi AR dengan sistem edukasi, yang dapat meningkatkan keterlibatan pengunjung dari berbagai kelompok usia dan memperkuat aspek edukatif dalam kunjungan museum. Selain itu, penelitian ini lebih menekankan konektivitas AR dengan konsep *Smart City*, di mana teknologi ini tidak hanya berfungsi sebagai alat edukatif, tetapi juga sebagai bagian dari ekosistem digital kota untuk memperkaya sektor pariwisata berbasis teknologi di Yogyakarta. Dengan demikian, penelitian ini menghadirkan pendekatan baru yang tidak hanya meningkatkan efektivitas teknologi AR dalam konteks museum, tetapi juga mendorong transformasi digital dalam pelestarian budaya secara lebih luas. Dengan demikian, hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan wawasan baru bagi pengembangan teknologi AR dalam konteks yang lebih luas, khususnya dalam mendukung ekosistem *Smart City* berbasis budaya dan teknologi di Yogyakarta.

## 3. Metodologi

Metode penelitian ini menggunakan Metodologi *Multimedia Development Life Cycle* (MDLC). MDLC adalah pendekatan pengembangan perangkat lunak yang berfokus pada pembuatan produk multimedia, termasuk aplikasi berbasis *Augmented Reality* (AR) seperti yang digunakan dalam penelitian ini. MDLC memiliki beberapa tahapan yang terstruktur untuk memastikan bahwa produk multimedia yang dikembangkan memenuhi kebutuhan pengguna dan tujuan yang diinginkan. Pendekatan ini sangat cocok digunakan dalam proyek yang melibatkan komponen visual, audio, animasi, dan interaktivitas, seperti aplikasi AR di Museum Sonobudoyo.

Gambar 1. *Multimedia Development Life Cycle* (MDLC)

### 3.1. *Concept* (Konsep)

Pada tahap konsep, dilakukan identifikasi kebutuhan pengguna dan perumusan ide dasar dari aplikasi multimedia yang akan dikembangkan. Dalam konteks penelitian ini, tahap konsep melibatkan identifikasi masalah yang dihadapi Museum Sonobudoyo, seperti kurangnya daya tarik museum bagi generasi muda, serta tujuan penggunaan teknologi AR untuk memperkaya pengalaman pengunjung. Ide dasar aplikasi AR dirumuskan berdasarkan bagaimana pengunjung bisa berinteraksi dengan koleksi museum melalui teknologi yang interaktif dan menarik.

### 3.2. *Design* (Desain)

Salah satu solusi Tahap desain melibatkan perancangan elemen-elemen multimedia yang akan digunakan dalam aplikasi, seperti antarmuka pengguna (*user interface*), tata letak (*layout*), interaksi visual, dan cara teknologi AR diintegrasikan. Dalam desain ini, aplikasi AR untuk Museum Sonobudoyo dirancang dengan mempertimbangkan user experience (pengalaman pengguna) yang intuitif, sehingga pengunjung dapat dengan mudah menggunakan perangkat mereka untuk memindai objek dan mendapatkan informasi tambahan melalui visualisasi 3D, video, dan teks. Selain itu, ditentukan pula aspek teknis seperti perangkat yang didukung (*smartphone, tablet*), platform (iOS/Android), dan fitur AR yang digunakan.

### 3.3. *Material Collecting* (Pengumpulan Materi)

Pada tahap pengumpulan materi, semua materi yang akan digunakan dalam aplikasi dikumpulkan dan diproduksi. Untuk aplikasi AR Museum Sonobudoyo, materi ini mencakup foto-foto koleksi museum, model 3D objek-objek budaya, video sejarah, narasi suara, serta teks informasi tambahan. Data ini mungkin dikumpulkan melalui wawancara dengan kurator museum, riset literatur, atau fotografi dan pemodelan objek secara langsung. Semua materi tersebut akan diolah dan disesuaikan dengan kebutuhan aplikasi AR.

### 3.4. *Assembly* (Pembangunan)

Pada tahap ini adalah tahap pengembangan atau implementasi, di mana semua materi yang telah dikumpulkan dan desain yang telah dirumuskan dikombinasikan dan diimplementasikan ke dalam aplikasi multimedia. Dalam tahap ini, pengembang aplikasi menggunakan perangkat lunak untuk menggabungkan elemen-elemen multimedia dengan komponen AR. Pada aplikasi AR, ini berarti mengembangkan sistem pemindaian objek dan integrasi konten digital yang muncul saat pengunjung memindai koleksi museum. Pengembangan ini mencakup pemrograman aplikasi, pengintegrasian model 3D dengan objek fisik, serta penyesuaian antarmuka.

### 3.5. *Testing* (Pengujian)

Tahap ini melibatkan pengujian aplikasi yang telah dikembangkan untuk memastikan fungsionalitas, stabilitas, dan kemudahan penggunaan. Pengujian dilakukan dalam berbagai skenario untuk memastikan bahwa aplikasi AR bekerja dengan baik di berbagai perangkat dan kondisi. Pengujian di Museum Sonobudoyo akan mencakup uji coba langsung oleh pengunjung untuk melihat apakah aplikasi dapat mendeteksi objek dengan baik, apakah informasi yang ditampilkan akurat, dan apakah aplikasi mudah digunakan. *Feedback* dari pengujian ini akan digunakan untuk perbaikan aplikasi sebelum dirilis secara resmi.

### 3.6. *Distribution* (Distribusi)

Setelah pengujian selesai dan aplikasi berfungsi sesuai dengan harapan, tahap akhir adalah distribusi. Aplikasi AR yang telah selesai akan diluncurkan dan disebarluaskan kepada pengguna. Dalam konteks Museum Sonobudoyo, aplikasi ini dapat diunggah ke toko aplikasi seperti *Google Play Store* atau *Apple App Store* agar dapat diunduh oleh pengunjung. Selain itu, museum dapat menyediakan perangkat khusus bagi pengunjung yang tidak memiliki smartphone yang kompatibel dengan aplikasi AR. Pada tahap ini, juga dapat dilakukan promosi atau edukasi untuk mengenalkan cara penggunaan aplikasi kepada pengunjung museum.
Metodologi *Multimedia Development Life Cycle* (MDLC) memberikan kerangka yang jelas dalam pengembangan aplikasi multimedia interaktif seperti AR. Dengan mengikuti tahapan MDLC, aplikasi AR Museum Sonobudoyo dikembangkan secara terstruktur, mulai dari perumusan ide, desain, pengumpulan materi, pembangunan aplikasi, pengujian, hingga distribusi. Metode ini memastikan bahwa produk akhir tidak hanya memenuhi standar teknis tetapi juga memberikan pengalaman yang menarik dan bermanfaat bagi pengguna, sekaligus mendukung konsep *Smart City* di Yogyakarta melalui peningkatan layanan berbasis teknologi di sektor pariwisata budaya.

## 4. Hasil dan Pembahasan

Penerapan AR di Museum Sonobudoyo sejalan dengan inisiatif Yogyakarta untuk menjadi kota pintar. Inovasi ini menunjukkan bagaimana teknologi dapat diintegrasikan ke dalam ruang publik untuk meningkatkan layanan wisata, mendukung pelestarian budaya, dan menciptakan lingkungan yang lebih interaktif. Dengan menggunakan aplikasi AR, museum berfungsi tidak hanya sebagai tempat untuk menyimpan artefak, tetapi juga sebagai pusat edukasi digital yang sesuai dengan visi *Smart City*. aplikasi ini dapat diakses melalui smartphone, mendukung konsep *mobile-friendly* dalam pelayanan publik kota pintar.

### 4.1. Pengonsepan (*concept*)

Dalam tahap ini, ide-ide inovatif yang muncul mencakup fitur-fitur seperti pengenalan objek melalui kamera perangkat pintar, penyajian informasi tambahan secara digital, hingga rekonstruksi virtual artefak yang sulit disajikan dalam bentuk fisik. Konsep lain yang juga dikaji adalah integrasi AR dengan aplikasi pariwisata Yogyakarta yang lebih luas, sehingga pengunjung dapat merencanakan kunjungan mereka dengan lebih mudah, termasuk mengakses museum secara virtual. Berikut hasil rincian konsep disajikan pada Tabel 1.

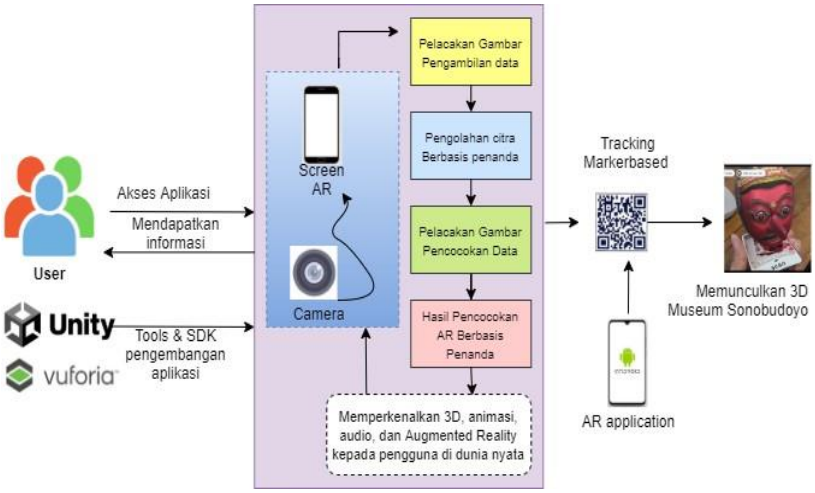
Tabel 1. Hasil Konsep

| Judul | Deskripsi Konsep |
|---|---|
| Jenis Multimedia | Aplikasi AR yang diterapkan di Museum Sonobudoyo menggunakan berbagai jenis multimedia yang dirancang untuk memberikan pengalaman interaktif dan edukatif bagi pengunjung. |
| Tujuan | Memberikan pengalaman pembelajaran yang lebih mendalam dan interaktif mengenai sejarah dan budaya Yogyakarta. Mendukung Yogyakarta sebagai kota budaya yang bertransformasi menjadi *Smart City*, dengan teknologi yang mendukung kehidupan masyarakat. |
| Sasaran | Pengunjung Museum Termasuk wisatawan lokal, nasional, maupun internasional dari berbagai kalangan usia. |
| Audio | Konten audio yang disertakan khas kejogjaan dalam aplikasi berfungsi sebagai narasi tambahan yang memberikan informasi kontekstual mengenai artefak yang dipindai. |

| Judul | Deskripsi Konsep |
|---|---|
| Gambar | Gambar digunakan untuk memberikan referensi visual yang lebih jelas dan menarik mengenai artefak museum. Sebagai representasi visual langsung dari artefak, serta penunjang penjelasan yang diberikan melalui teks dan audio. |
| Animasi | Animasi berfungsi untuk menghidupkan koleksi museum dengan menambahkan elemen gerak pada artefak, seperti peragaan cara pembuatan atau penggunaannya dalam konteks sejarah. Animasi 3D atau video yang disajikan melalui AR ketika pengunjung memindai artefak tertentu. |
| Scripting | Scripting mengatur logika di balik interaksi aplikasi, seperti bagaimana dan kapan konten multimedia muncul, serta bagaimana aplikasi merespon tindakan pengguna. Mengelola alur interaksi, mengatur jalannya konten, dan memastikan aplikasi berjalan sesuai dengan skenario yang telah dirancang. |
| Interaksi Behavior | Aplikasi ini memungkinkan interaksi melalui pemindaian artefak menggunakan kamera perangkat pintar pengunjung. Setiap pemindaian memicu respons tertentu, seperti menampilkan informasi, gambar, atau animasi terkait |

### 4.2. Perancangan (*design*)

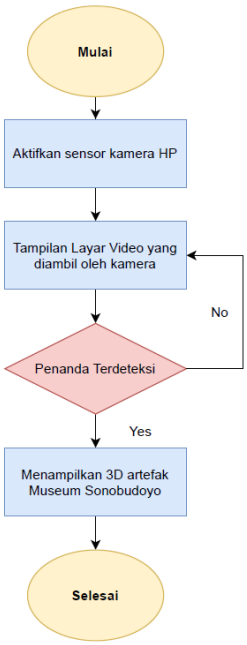
Dalam proses ini, fokus utama adalah menciptakan antarmuka yang mudah digunakan, menarik secara visual, dan sesuai dengan kebutuhan berbagai kategori pengunjung, termasuk generasi milenial, wisatawan mancanegara, serta pelajar. Dalam tahap perancangan ini menentukan alur (*flow*) dalam sebuah aplikasi atau prosedur sistem secara logika. Adapun hasil *flow system* yang dirancang disajikan pada Gambar 2.




Gambar 2. Alur Aplikasi

Penggunaan warna, tata letak informasi, dan navigasi aplikasi dirancang agar tidak membebani pengunjung dengan informasi yang berlebihan namun tetap memberikan pengalaman edukatif yang menyenangkan. Aspek audio-visual ditambahkan, di mana pengunjung dapat mendengar narasi terkait artefak tertentu atau melihat animasi 3D yang merekonstruksi peristiwa sejarah. Langkah selanjutnya adalah membuat *flowchart*. *Flowchart* adalah alat yang berguna untuk memvisualisasikan alur kerja suatu proses atau sistem. Gambar 3 menunjukkan *flowchart* perancangan arsitektur aplikasi.

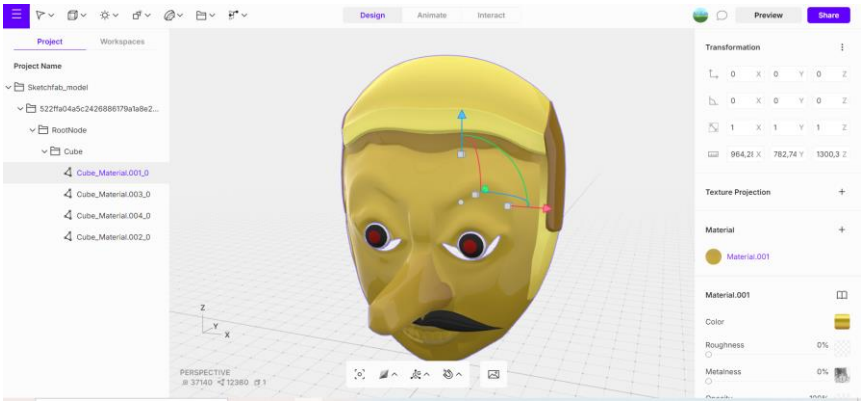
Pada Gambar 3 *Flowchart* (diagram alur) digunakan untuk merepresentasikan urutan langkah-langkah atau proses dalam suatu sistem atau tugas. Flowchart membantu pengguna dalam memahami proses secara keseluruhan. Dengan melihat diagram alur, orang dapat melihat urutan langkah-langkah yang diperlukan untuk menyelesaikan tugas atau mencapai suatu tujuan Aplikasi AR mamalia laut berhasil untuk digunakan oleh user dari awal hingga akhir




Gambar 3. *Flowchart*

### 4.3. Pengumpulan bahan (*material collecting*)

Pengumpulan bahan merupakan tahap penting yang mencakup pengumpulan data terkait koleksi museum, termasuk gambar, video, deskripsi artefak, serta narasi sejarah. Gambar, video, dan animasi yang mendukung presentasi AR juga dikumpulkan sebagai bagian dari pembuatan aplikasi. Berikut cuplikan pembuatan asset 3D disajikan pada Gambar 4.




Gambar 4. Pengumpulan Asset 3D

Seluruh bahan ini kemudian diolah dan disesuaikan dengan kebutuhan aplikasi AR untuk memastikan penyampaian konten yang sesuai dan menarik bagi pengguna.

### 4.4. Pembuatan (*assembly*)

Data yang telah dikumpulkan (seperti model 3D, video, audio) diintegrasikan ke dalam aplikasi AR, di mana pengguna dapat mengaksesnya dengan mudah melalui pemindaian artefak museum. Sebelum aplikasi diluncurkan, pengujian internal dilakukan untuk memastikan bahwa semua fungsi berjalan dengan baik dan antarmuka pengguna bekerja secara intuitif. Programmer membuat platform AR dengan menggunakan teknologi ARCore (untuk Android), memastikan aplikasi dapat berjalan di berbagai perangkat pintar. khusus dibuat untuk beberapa artefak yang dipilih, 3D dioptimalkan agar berjalan lancar pada perangkat mobile dengan kualitas grafis yang baik.

Dalam pembuatan media berbasis AR, langkah awal adalah menginstal aplikasi Unity dan Vectary. Setelah itu, lakukan pengaturan awal Unity dengan membuat akun dan login, lalu pilih opsi untuk membuat proyek baru. Selanjutnya, buat akun di situs Vuforia (https://developer.vuforia.com) dan buat database sebagai sumber gambar target yang akan dipindai. Setelah mengunggah gambar target ke Vuforia, desain objek 3D di https://app.vectary.com/. Untuk menampilkan objek 3D di Unity dan menghubungkannya dengan Vuforia, impor paket Vuforia ke dalam proyek, lalu hubungkan dan modifikasi skrip Vuforia agar dapat berinteraksi dengan objek 3D serta mengambil data dari basis data.

Cuplikan Kode C# untuk Interaksi Vuforia dengan Objek 3D Museum

```
using System.Collections;
using System.Collections.Generic;
using UnityEngine;
using Vuforia;

public class ARController : MonoBehaviour, ITrackableEventHandler
{
    Private TrackableBehaviour mTrackableBehaviour;
    public GameObject museumModel;
    void Start()
    {
        mTrackableBehaviour = GetComponent<TrackableBehaviour>();
        if (mTrackableBehaviour)
        {
            mTrackableBehaviour.RegisterTrackableEventHandler(this);
        }
        museumModel.SetActive(false);
    }
    public void OnTrackableStateChanged(TrackableBehaviour.Status previousStatus, TrackableBehaviour.Status
newStatus)
    {
        if (newStatus == TrackableBehaviour.Status.DETECTED ||
            newStatus == TrackableBehaviour.Status.TRACKED ||
            newStatus == TrackableBehaviour.Status.EXTENDED_TRACKED)
        {
            OnTargetFound();
        }
        else
        {
            OnTargetLost();
        }
    }
    private void OnTargetFound()
    {
        Debug.Log("Image Target Found");
        museumModel.SetActive(true);
    }

    private void OnTargetLost()
    {
        Debug.Log("Image Target Lost");
        museumModel.SetActive(false);
    }
}
```

Tahap Assembling ini penting untuk memastikan bahwa semua elemen multimedia terintegrasi dengan baik dan menciptakan pengalaman yang kohesif bagi pengguna. Dengan melibatkan tahapan ini, proyek multimedia dapat mencapai tingkat kualitas dan keberhasilan yang diinginkan.

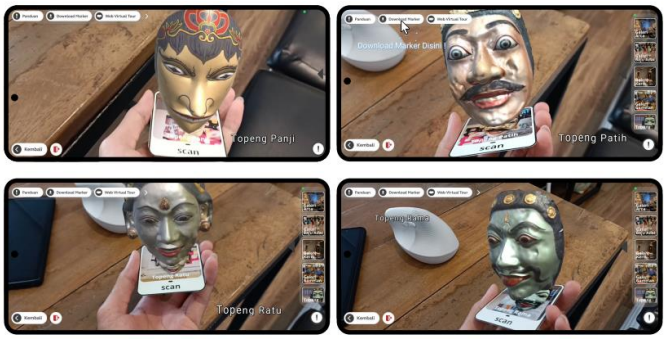
### 4.5. Hasil Aplikasi & Pengujian (*testing*)

Dilakukan oleh tim pengembang dan pengelola museum untuk memastikan bahwa aplikasi AR berfungsi sebagaimana mestinya. Pada tahap ini, masalah teknis, bug, dan kekurangan dalam tampilan visual diidentifikasi dan diperbaiki. Untuk dapat menggunakan aplikasi ini smartphone pengguna harus memenuhi syarat minimum sebagai berikut:

*Smartphone* memiliki modul kamera, Minimum OS Android 8.0 (Oreo) atau lebih tinggi, *Smartphone* mendukung layanan Google Play untuk AR. Berikut Hasil aplikasi AR Museum Sonobudoyo.

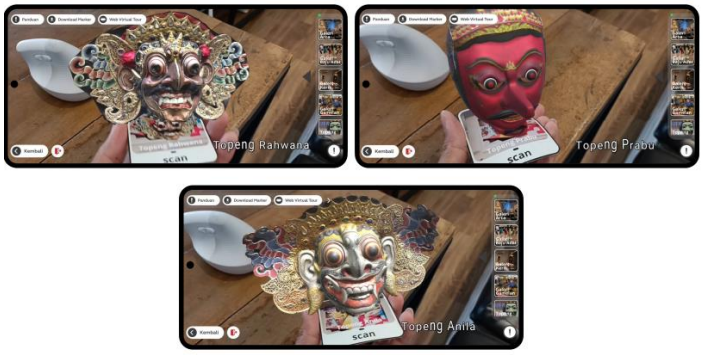
Gambar 5. Menu Utama

Menu utama merupakan bagian utama aplikasi yang memuat judul dan deskripsi aplikasi. Pada bagian ini pengguna dapat mengakses menu galeri dengan menekan tombol Buka Galeri. Buka Galeri: Untuk menampilkan pilihan galeri yang tersedia, Galeri Topeng: Untuk beralih ke halaman galeri topeng, Galeri Keris: Untuk beralih ke halaman galeri keris, Galeri Arca: Untuk beralih ke halaman galeri arca. Galeri topeng merupakan bagian galeri yang menampilkan model berbagai macam jenis topeng. Pilih salah satu model untuk ditampilkan dalam bentuk 3D *Augmented Reality* (AR). Setiap model topeng yang dipilih akan mengarahkan pengguna ke pada halaman kamera untuk fitur AR.




Gambar 6. Hasil Menu 3D Topeng

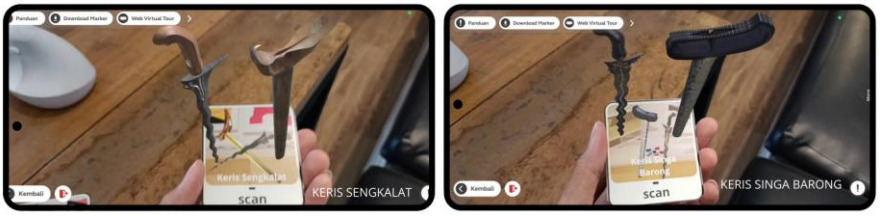
Gambar Topeng merupakan tampilan kamera ketika melakukan scan pada marker dan menampilkan model topeng sesuai marker yang dipilih atau digunakan. Pengguna dapat melakukan *scaling (zoom in & out)* pada model yang ditampilkan menggunakan dua jari.




Gambar 7. AR Museum 3D Topeng

Selanjutnya galeri keris merupakan bagian galeri yang menampilkan model berbagai macam jenis keris. Pilih model untuk ditampilkan dalam bentuk 3D *Augmented Reality* (AR).

Setiap model topeng yang dipilih akan mengarahkan pengguna ke pada halaman kamera untuk fitur AR. Berikut merupakan tampilan kamera ketika melakukan scan pada marker dan menampilkan model keris sesuai *marker* yang dipilih atau digunakan. Pengguna dapat melakukan scaling (*zoom in & out*) pada model yang ditampilkan menggunakan dua jari pada Gambar 8.




Gambar 8. Galeri Gambar 3D Keris

Galeri arca merupakan bagian galeri yang menampilkan model berbagai macam jenis arca. Pilih model untuk ditampilkan dalam bentuk 3D *Augmented Reality* (AR). Setiap model arca yang dipilih akan mengarahkan pengguna ke pada halaman kamera untuk fitur AR.

Gambar 9. Galeri Gambar 3D Arca

Galeri arca merupakan bagian galeri yang menampilkan model berbagai macam jenis arca. Pilih model untuk ditampilkan dalam bentuk 3D *Augmented Reality* (AR). Setiap model arca yang dipilih akan mengarahkan pengguna ke pada halaman kamera untuk fitur AR. Berikut hasil markerless Arca.

Gambar 10. AR 3D Arca

Pada Gambar 10. Berbeda dengan galeri keris, topeng menggunakan *marker based* sedangkan galeri arca menggunakan berbasis markerless. AR *marker based* adalah *Augmented Reality* tanpa menggunakan marker atau penanda objek untuk menampilkan model 3D. *Augmented Reality* dengan menggunakan marker atau penanda objek yang memiliki pola yang akan dibaca melalui media webcam pada perangkat komputer atau mobile. AR Markerless adalah *Augmented Reality* tanpa menggunakan marker atau penanda objek untuk menampilkan model 3D. Pengujian aplikasi menggunakan *Android Smartphone* yang support dengan AR. Berikut ini adalah hasil dari pengujian aplikasi yang sudah diuji coba.

Tabel 2. Pengujian Aplikasi

| Tindakan | Aplikasi | Hasil |
|---|---|---|
| Splash screen | Aplikasi AR yang menampilkan halaman Pembukaan awal aplikasi | Berhasil |
| Menu Utama | Galeri topeng, Galeri keris, Galeri arca dll | Berhasil |
| Kembali Galeri | Kembali ke bagian galeri utama | Berhasil |
| scaling | Melakukan Zoom dan In pada 3D | Berhasil |
| Panduan | Mendownload Panduan Penggunaan Aplikasi | Berhasil |
| Download Marker | Mendownload Penanda untuk di scan kamera | Berhasil |
| Tombol Deskripsi | Untuk Menampilkan deskripsi model yang ditampilkan | Berhasil |
| Tombol Keluar | Untuk menutup atau keluar aplikasi | Berhasil |

Berdasarkan hasil pengujian tabel 2, aplikasi sudah berjalan sesuai rancangan dan dapat diimplementasikan.

### 4.6. Pendistribusian *(distribution*)

Pada tahap ini, setelah aplikasi diuji, aplikasi tersebut didistribusikan kepada pengunjung museum secara random dengan tujuan melakukan evaluasi media AR yang sudah dikembangkan. Agar bisa mengevaluasi, penulis menyebarkan kuesioner kepada pengguna menggunakan google form dengan metode SUS (*System Usability Scale*). SUS adalah alat pengukuran yang digunakan untuk mengevaluasi usability suatu sistem. Metode ini terdiri dari 10 pertanyaan yang dinilai dengan skala likert 5 poin, yaitu dari sangat tidak setuju hingga sangat setuju. Skor SUS berkisar antara 0 hingga 100.

SUS dapat digunakan untuk mengukur usability berbagai produk seperti hardware, software, mobile app, hingga website. Penggunaan SUS dalam pengujian usability dapat membantu meningkatkan kualitas produk dan memperbaiki kelemahan yang ada. Untuk menghitung skor SUS, terdapat beberapa aturan yang harus diikuti. Setiap pertanyaan bernomor ganjil, skor setiap pertanyaan yang didapat dari skor pengguna akan dikurangi 1. Setelah itu, skor dari semua pertanyaan akan dijumlahkan dan dikalikan dengan 2.5 [26]. Berikut rumus dan hasil dari perhitungan SUS.

$$\bar{x} = \frac{\sum x}{n}$$

$\bar{x}$ = skor rata-rata
$\sum x$ = jumlah skor SUS
$n$ = jumlah responden

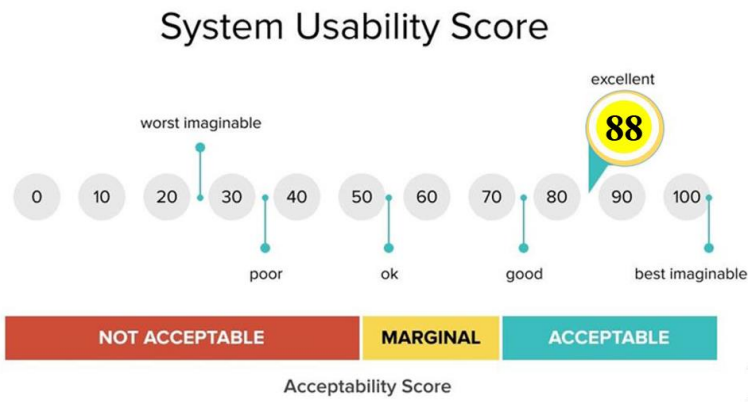
Gambar 11. Rumus SUS

Pertanyaan SUS (System Usability Scale) digunakan untuk mengevaluasi kemudahan penggunaan aplikasi AR Museum. Pertanyaan mencakup aspek seperti keinginan untuk menggunakan kembali aplikasi, kemudahan atau kerumitan dalam penggunaannya, serta kebutuhan akan bantuan teknis. Selain itu, pertanyaan juga menilai konsistensi fitur, potensi kebingungan dalam navigasi, serta sejauh mana pengguna merasa orang lain dapat dengan cepat memahami cara kerja aplikasi. Evaluasi juga mencakup hambatan dalam penggunaan serta kebutuhan adaptasi sebelum pengguna merasa nyaman dalam mengoperasikan aplikasi ini. Pengumpulan dilakukan secara random dengan jumlah 23 responden, Setelah melakukan pengumpulan data dari responden, kemudian data tersebut dihitung.

Tabel 3. Skor Hitung Hasil SUS

| Skor Hasil Hitung | | | | | | | | | | Jumlah | Nilai |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Q1 | Q2 | Q3 | Q4 | Q5 | Q6 | Q7 | Q8 | Q9 | Q10 | | (Jumlah x 2.5) |
| 4 | 4 | 4 | 3 | 4 | 3 | 2 | 2 | 4 | 3 | 33 | 83 |
| 3 | 4 | 4 | 4 | 4 | 2 | 4 | 3 | 2 | 2 | 32 | 80 |
| 2 | 3 | 4 | 4 | 2 | 4 | 2 | 4 | 4 | 3 | 32 | 80 |
| 4 | 3 | 3 | 2 | 4 | 3 | 3 | 4 | 4 | 2 | 32 | 80 |
| 2 | 3 | 2 | 3 | 4 | 3 | 2 | 2 | 2 | 4 | 27 | 68 |
| 3 | 3 | 4 | 2 | 4 | 4 | 3 | 2 | 3 | 3 | 31 | 78 |
| 4 | 4 | 4 | 2 | 2 | 3 | 3 | 2 | 4 | 3 | 31 | 78 |
| 4 | 3 | 4 | 2 | 4 | 3 | 2 | 3 | 4 | 2 | 31 | 78 |
| 2 | 3 | 2 | 2 | 2 | 3 | 4 | 4 | 3 | 2 | 27 | 68 |
| 3 | 2 | 3 | 4 | 3 | 2 | 4 | 2 | 4 | 3 | 30 | 75 |
| 4 | 3 | 3 | 2 | 3 | 4 | 4 | 2 | 4 | 4 | 33 | 83 |
| 4 | 4 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 4 | 4 | 3 | 34 | 85 |
| 2 | 2 | 3 | 4 | 3 | 2 | 4 | 2 | 2 | 2 | 26 | 65 |
| 3 | 3 | 2 | 4 | 4 | 3 | 2 | 2 | 4 | 2 | 29 | 73 |
| 4 | 2 | 3 | 3 | 2 | 2 | 4 | 4 | 2 | 2 | 28 | 70 |
| 2 | 3 | 2 | 3 | 4 | 4 | 3 | 4 | 4 | 3 | 32 | 80 |
| 3 | 4 | 2 | 3 | 4 | 4 | 3 | 3 | 2 | 4 | 32 | 80 |
| 4 | 3 | 4 | 2 | 3 | 4 | 4 | 4 | 2 | 4 | 34 | 85 |
| 4 | 3 | 2 | 2 | 2 | 3 | 2 | 3 | 2 | 4 | 27 | 68 |
| 4 | 2 | 2 | 4 | 4 | 4 | 3 | 2 | 2 | 4 | 31 | 78 |
| 2 | 2 | 4 | 3 | 3 | 2 | 4 | 2 | 3 | 3 | 28 | 70 |
| 4 | 3 | 2 | 4 | 3 | 2 | 2 | 4 | 2 | 2 | 28 | 70 |
| 4 | 2 | 3 | 3 | 3 | 4 | 4 | 2 | 4 | 4 | 33 | 83 |
| Skor Rata-rata (Hasil Akhir) | | | | | | | | | | | 88 |

Pada tabel 4 hasil data diatas hasil skor rata-rata SUS adalah 88, maka skor tersebut masuk dalam kategori *EXCELLENT* dengan grade scale B. Artinya secara usability berdasarkan data tersebut mendapatkan penilaian dapat diterima atau layak.




Gambar 12. Skor Penerimaan SUS.

**4.7 Pembahasan**

Temuan penelitian ini sejalan dengan berbagai studi yang menunjukkan bagaimana teknologi Augmented Reality (AR) dapat mengoptimalkan pengalaman pengguna dalam

kunjungan museum. Studi dalam [27] menekankan bahwa integrasi AR dalam aplikasi mobile mampu meningkatkan keterlibatan pengunjung dengan menyajikan informasi yang lebih interaktif dan menarik. Selain itu, penelitian dalam [28] menunjukkan bahwa penerapan AR dalam museum kecil dapat memperkaya pemahaman sejarah bagi pengunjung melalui visualisasi digital yang lebih dinamis. Implementasi AR juga terbukti efektif dalam mengenali objek sejarah, sebagaimana dibahas dalam [29], di mana teknologi AR digunakan untuk memperjelas detail artefak dan memberikan informasi tambahan yang dapat diakses langsung oleh pengunjung. Selain itu, penelitian dalam [30] menyoroti bagaimana AR dapat menghubungkan keterkaitan budaya antar-artefak dari berbagai wilayah, sehingga memperkaya pemahaman lintas budaya dalam konteks museum. Lebih lanjut, studi dalam [31] mengungkapkan bahwa penggunaan AR tidak hanya meningkatkan daya tarik visual, tetapi juga berkontribusi terhadap peningkatan pemahaman sejarah dan narasi budaya bagi pengunjung. Dengan demikian, keberhasilan penerapan AR di Museum Sonobudoyo dalam meningkatkan pengalaman interaktif dan pelestarian budaya digital sejalan dengan berbagai studi yang menyoroti manfaat AR dalam memperkaya interaksi pengguna dan memperkuat edukasi sejarah di lingkungan museum.

## 5. Simpulan

Penelitian ini berhasil menunjukkan bahwa penerapan teknologi *Augmented Reality* (AR) di Museum Sonobudoyo dapat meningkatkan pengalaman interaktif pengunjung dan memperkuat pelestarian budaya melalui teknologi digital. Aplikasi AR tersebut mampu menyediakan informasi yang lebih mendalam dan menarik secara visual tentang koleksi museum, sehingga mendukung tujuan *Smart City* dalam mempromosikan inovasi teknologi untuk layanan publik. Hal ini dapat meningkatkan daya tarik pariwisata berbasis teknologi dan mendorong digitalisasi sektor kebudayaan. Implikasinya, implementasi AR dalam sektor budaya dapat meningkatkan kesadaran masyarakat akan pentingnya pelestarian warisan budaya lokal sekaligus memberikan nilai tambah bagi sektor pariwisata dan edukasi. Aplikasi berdasarkan data hasil skor rata-rata SUS adalah 88, maka skor tersebut masuk dalam kategori *excellent* dengan grade scale B. Artinya secara *usability* berdasarkan data tersebut mendapatkan penilaian dapat diterima atau layak.

Spekulasi yang dapat diajukan adalah bahwa di masa depan, penggunaan teknologi AR tidak hanya terbatas pada museum, tetapi juga dapat diterapkan untuk penunjang layanan publik lain di Yogyakarta, misalnya untuk informasi sejarah kota atau pemanduan wisata secara interaktif. Untuk penelitian selanjutnya, disarankan agar dilakukan pengujian terhadap efektivitas jangka panjang penggunaan teknologi AR dalam meningkatkan kunjungan museum dan kepuasan pengunjung. Pengembangan AR yang lebih interaktif, seperti integrasi dengan kecerdasan buatan (AI) atau fitur gamifikasi, dapat dipertimbangkan agar aplikasi tersebut lebih menarik bagi berbagai kalangan usia.

## Ucapan Terimakasih

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Kemendikbud yang telah mendanai Hibah berdasarkan Surat Keputusan Nomor 0459/E5/PG.02.00/2024 Tanggal 30 Mei 2024 dan Perjanjian / Kontrak Nomor 107/E5/PG.02.00.PL/2024 Tanggal 11 Juni 2024 Penelitian Dosen Pemula Tahun Anggaran 2024. Penulis juga mengucapkan Terimakasih yang sebesar-besarnya juga penulis ucapkan kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat (LPPM) Universitas Amikom Yogyakarta atas dukungannya dari awal sampai selesai penelitian ini.

## Referensi

[1] A. Pinasti *et al*., "Crustal Deformation Pattern across Yogyakarta Special Region Revealed by a Dense Geodetic Measurements," *2019 5th International Conference on Science and Technology (ICST)*, Yogyakarta, Indonesia, 2019, pp. 1-5, doi: 10.1109/ICST47872.2019.9166405

[2] M. Artikova and M. Artikov, "Augmented Reality Technologies in Mobile Applications To Optimize User Experience In Museum Tours," *2024 International Conference on Advanced Information Scientific Development (ICAISD)*, Jawa Barat, Indonesia, 2024, pp. 31-34, doi: 10.1109/ICAISD63055.2024.10895520.

[3] Y. Li, L. Yu and H. -N. Liang, "CubeMuseum: An Augmented Reality Prototype of Embodied Virtual Museum," *2021 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality Adjunct (ISMAR-Adjunct)*, Bari, Italy, 2021, pp. 13-17, doi: 10.1109/ISMAR-Adjunct54149.2021.00014.

[4] S. Din and N. N. M. Zool, "EMMAR: Exploration of Malaysian Traditional Musical Instrument with Augmented Reality," *2025 19th International Conference on Ubiquitous Information Management and Communication (IMCOM)*, Bangkok, Thailand, 2025, pp. 1-7, doi: 10.1109/IMCOM64595.2025.10857532.

[5] T. Listyorini and B. I. Subakti, "Implementation of Augmented Reality as a Recognition of Historic Objects in Android-Based Credit Museums," *2023 International Conference on Technology, Engineering, and Computing Applications (ICTECA)*, Semarang, Indonesia, 2023, pp. 1-6, doi: 10.1109/ICTECA60133.2023.10490676.

[6] P. Zhao and A. Morris, "Representing Cross-Cultural Links of Artifacts in Museums with Augmented Reality," *2022 IEEE International Conference on Artificial Intelligence and Virtual Reality (AIVR)*, CA, USA, 2022, pp. 234-236, doi: 10.1109/AIVR56993.2022.00048.

[7] H. Vardhan, A. Saxena, A. Dixit, S. Chaudhary and A. Sagar, "AR Museum: A Virtual Museum using Marker less Augmented Reality System for Mobile Devices," *2022 3rd International Conference on Issues and Challenges in Intelligent Computing Techniques (ICICT)*, Ghaziabad, India, 2022, pp. 1-6, doi: 10.1109/ICICT55121.2022.10064611.

[8] M. Kadri, H. Khalloufi and A. Azough, "V-Museum: A Virtual Museum Based on Augmented and Virtual Realities for Cultural Heritage Mediation," *2020 International Conference on Intelligent Systems and Computer Vision (ISCV)*, Fez, Morocco, 2020, pp. 1-5, doi: 10.1109/ISCV49265.2020.9204253.

[9] S. Vashisht, "Road Less Travelled: Travelling Using Augmented Reality," *2024 Second International Conference Computational and Characterization Techniques in Engineering & Sciences (IC3TES)*, Lucknow, India, 2024, pp. 1-5, doi: 10.1109/IC3TES62412.2024.10877550.

[10] U. Nafi'Ah, A. Sapto, J. Sayono, A. Herdiani and N. E. Susanti, "Museum Personal Guide: Tackling the Limited Conditions," *2021 Universitas Riau International Conference on Education Technology (URICET)*, Pekanbaru, Indonesia, 2021, pp. 169-174, doi: 10.1109/URICET53378.2021.9865943.

[11] Z. Setiawan, R. S. Y. Zebua, D. Suprayitno, R. S. Hamid, V. Islami, and A. Marsyaf, Buku Ajar Perilaku Konsumen: PT. Sonpedia Publishing Indonesia, 2024.

[12] R. A. Alakhtar, "Using Augmented Reality to Explore Museum Artifacts," *2020 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality Adjunct (ISMAR-Adjunct)*, Recife, Brazil, 2020, pp. 295-299, doi: 10.1109/ISMAR-Adjunct51615.2020.00083.

[13] V. W. Febrihartanti, B. S. Hantono and A. Nasikun, "Analysis of Marker Factors Effect on the Detection Process of Image-Based Tracking in Web Augmented Reality," *2024 16th International Conference on Information Technology and Electrical Engineering (ICITEE)*, Bali, Indonesia, 2024, pp. 380-385, doi: 10.1109/ICITEE62483.2024.10808292.

[14] A. Seetharam, T. Kumar, H. Gupta, and R. Bhaumik, "A Marker-Based *Augmented Reality* Application to Teach Chemistry to Indian Students," in International Conference on Smart Computing and Communication, 2024, pp. 415-435.

[15] A. Arief, R. D. Nurani and S. N. Kapita, "Design And Build A Hijaiah Letter Recognition Application For Early Children Using The Markerless Method Based Augmented Reality," 2023 Eighth International Conference on Informatics and Computing (ICIC), Manado, Indonesia, 2023, pp. 1-4, doi: 10.1109/ICIC60109.2023.10382003.

[16] M. Yang and Y. Chiu, "Note-Taking for 3D Curricular Contents using Markerless Augmented Reality," in *Interacting with Computers*, vol. 26, no. 4, pp. 321-333, July 2014, doi: 10.1093/iwc/iwu015

[17] D. Abisha, R. Navedha Evanjalin, J. Ida Christy, M. Syed Rabiya and S. Bala Dinesh, "ARtViz: Enhancing Art Books with Marker-based Augmented Reality for 3D Visualization using Vuforia and Unity," *2024 5th International Conference on Image Processing and Capsule Networks (ICIPCN)*, Dhulikhel, Nepal, 2024, pp. 1-5, doi: 10.1109/ICIPCN63822.2024.00078.

[18] A. Misso, J. Stephen, B. Maiseli and M. Issaka, "Exploring the Adoption of Virtual and Augmented Reality in Enhancing Interactive Learning in Tanzania," *2019 IST-Africa Week*

*Conference (IST-Africa)*, Nairobi, Kenya, 2019, pp. 1-9, doi: 10.23919/ISTAFRICA.2019.8764839.

[19] Y. Yang, Q. Liu, L. Wu, S. Xu, S. Yu and N. Zhang, "Design and Development of Mobile Augmented Reality for Mathematical Experiments," *2019 International Symposium on Educational Technology (ISET)*, Hradec Kralove, Czech Republic, 2019, pp. 139-143, doi: 10.1109/ISET.2019.00037.

[20] P. Perea, D. Morand and L. Nigay, "[POSTER] Halo3D: A Technique for Visualizing Off-Screen Points of Interest in Mobile Augmented Reality," *2017 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR-Adjunct)*, Nantes, France, 2017, pp. 170-175, doi: 10.1109/ISMAR-Adjunct.2017.58.

[21] C. Florea *et al.*, "Extending a User Involvement Tool with Virtual and Augmented Reality," *2019 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR)*, Osaka, Japan, 2019, pp. 925-926, doi: 10.1109/VR.2019.8798299.

[22] A. G. Lupascu, A. Ciupe, S. Meza and B. Orza, "ARThings – enhancing the visitors' experience in museums through collaborative AR," *2021 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces Abstracts and Workshops (VRW)*, Lisbon, Portugal, 2021, pp. 669-670, doi: 10.1109/VRW52623.2021.00217.

[23] H. Lypak, N. Kunanets, N. Veretennikova, H. Matsiuk, T. Kramar and O. Duda, "An Information System Project Using Augmented Reality for a Small Local History Museum," *2023 IEEE 18th International Conference on Computer Science and Information Technologies (CSIT)*, Lviv, Ukraine, 2023, pp. 1-4, doi: 10.1109/CSIT61576.2023.10324194

[24] S. Vashisht and B. Sharma, "GhoomAR: Experience the Rich Heritage and Culture using *Augmented Reality*," 2024 International Conference on E-mobility, Power Control and Smart Systems (ICEMPS), Thiruvananthapuram, India, 2024, pp. 1-5, doi: 10.1109/ICEMPS60684.2024.10559378.

[25] A. Vlachos, M. Perifanou and A. A. Economides, "*Augmented Reality* Applications for Urban Cultural Heritage Sites: An Overview," 2022 International Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT), Bucharest, Romania, 2022, pp. 322-324, doi: 10.1109/ICALT55010.2022.00102.

[26] P. Y. Pratiwi, I. M. Ardwi Pradnyana and N. K. Winda Damayanti, "Usability Analysis on Digital Library Information System using System Usability Scale (SUS)," *2023 International Conference on Electrical and Information Technology (IEIT)*, Malang, Indonesia, 2023, pp. 293-298, doi: 10.1109/IEIT59852.2023.10335582.

[27] S. Sivakami, A. D. R N, H. Sharma, K. Shilpa, M. M. Adnan and R. Thrisha, "VR/AR System Interchangeability: A Data-Driven Method for Better Integration and Reliability," *2024 International Conference on IoT, Communication and Automation Technology (ICICAT)*, Gorakhpur, India, 2024, pp. 1366-1370, doi: 10.1109/ICICAT62666.2024.10922958.

[28] J. Li, J. He and X. Zhou, "Design of Museum Cultural Relics multi view virtual display system based on AR-VR fusion technology," *2021 6th International Conference on Intelligent Computing and Signal Processing (ICSP)*, Xi'an, China, 2021, pp. 912-915, doi: 10.1109/ICSP51882.2021.9408927.

[29] T. Dvořák, J. Kubišta, O. Linhart, I. Malý, D. Sedláček and S. Ubik, "Presentation of Historical Clothing Digital Replicas in Motion," in *IEEE Access*, vol. 12, pp. 13310-13326, 2024, doi: 10.1109/ACCESS.2024.3355049.

[30] D. A. Plecher, M. Wandinger and G. Klinker, "Mixed Reality for Cultural Heritage," *2019 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR)*, Osaka, Japan, 2019, pp. 1618-1622, doi: 10.1109/VR.2019.8797846.

[31] E. Yoo and J. Yu, "Evaluating the Impact of Presentation on Learning and Narrative in AR of Cultural Heritage," in *IEEE Access*, vol. 12, pp. 25876-25887, 2024, doi: 10.1109/ACCESS.2024.3365696.