

VIRTUAL TOUR APPLICATION FOR CULTURAL HERITAGE IN NORTH ACEH REGENCY USING AUGMENTED REALITY TECHNOLOGY

RANCANG BANGUN VIRTUAL TOUR CAGAR BUDAYA KABUPATEN ACEH UTARA MENGGUNAKAN TEKNOLOGI AUGMENTED REALITY

Melly Yani¹, Eva Darnila², Maryana³
^{1,2,3}Universitas Malikussaleh

Jl. Kampus Unimal Bukit Indah, Blang Pulo, Kec. Muara Satu, Lhokseumawe, Aceh
email Melly.200170061@mhs.unimal.ac.id¹, Eva.darnila@unimal.ac.id², Maryana@unimal.ac.id³

Abstract - Cultural heritage refers to historical objects that must be preserved through protection, development, and utilisation. In North Aceh Regency, cultural heritage preservation faces challenges such as low interest among younger generations and the lack of interactive learning media. This study aims to design a virtual tour application using Augmented Reality (AR) and Geographic Information System (GIS) technologies as an interactive medium to digitally introduce cultural heritage sites. Data were collected from the Department of Education and Culture of North Aceh and through direct observation and documentation in the field. The application integrates AR features to display 3D cultural objects and GIS to present the geographical locations accurately. The development includes user interface design, motion-based navigation, and historical information panels. Testing results show that all markers successfully displayed 3D objects with an average detection time of 3.58 seconds, a detection distance of 75.71 cm, and a rotation angle of up to 360°. The objects appeared stable, and the historical information was well presented. The main contribution of this study is the implementation of AR technology in the local context of North Aceh, which has rarely been applied. Limitations include the small number of heritage sites and testing limited to a few AR devices. Future research is recommended to expand site coverage, improve device compatibility, and add gamification features to enhance user engagement.

Keywords - Cultural Heritage, Virtual Tour, Augmented Reality, Geographic Information System

Abstrak - Cagar budaya merupakan warisan benda bersejarah yang perlu dilestarikan melalui perlindungan, pengembangan, dan pemanfaatan. Di Kabupaten Aceh Utara, pelestarian cagar budaya menghadapi tantangan seperti rendahnya minat generasi muda dan kurangnya media pembelajaran interaktif. Penelitian ini bertujuan merancang aplikasi virtual tour berbasis Augmented Reality (AR) dan Geographic Information System (GIS) sebagai media interaktif untuk mengenalkan cagar budaya secara digital. Data diperoleh dari Dinas Pendidikan dan Kebudayaan Kabupaten Aceh Utara, serta melalui observasi dan dokumentasi langsung di lapangan. Aplikasi ini menggabungkan fitur AR untuk menampilkan objek 3D dan Sistem Informasi Geografis untuk menyajikan lokasi cagar budaya secara akurat. Pengembangan mencakup perancangan antarmuka pengguna, navigasi berbasis gerakan, dan panel informasi sejarah. Hasil pengujian menunjukkan bahwa seluruh marker berhasil memunculkan objek 3D dengan waktu deteksi rata-rata 3,58 detik, jarak deteksi 75,71 cm, dan sudut rotasi hingga 360°. Objek tampil stabil dan informasi sejarah dapat diakses dengan baik. Kontribusi utama penelitian ini adalah penerapan teknologi Augmented Reality dalam konteks lokal Aceh Utara yang masih jarang digunakan. Keterbatasannya meliputi jumlah situs yang terbatas dan uji coba hanya pada beberapa perangkat Augmented Reality. Penelitian lanjutan disarankan menambah cakupan lokasi, meningkatkan kompatibilitas perangkat, serta menambahkan fitur gamifikasi untuk meningkatkan keterlibatan pengguna.

Kata Kunci - Cagar Budaya, Virtual Tour, Augmented Reality, Geographic Information System

I. PENDAHULUAN

Cagar budaya merupakan elemen penting dalam membentuk identitas dan jati diri bangsa, sekaligus menjadi sumber pengetahuan dan pendidikan. Kabupaten Aceh Utara memiliki kekayaan warisan budaya yang signifikan, terutama situs Kerajaan Samudra Pasai, kerajaan Islam pertama di Nusantara yang berdiri sejak 1267 M. Keberadaan kerajaan ini telah dibuktikan melalui penemuan berbagai artefak dan makam raja-raja Pasai di Kampung Geudong, serta sisa-sisa bangunan pusat kerajaan di Desa Beuringin, Kecamatan Samudera[1]. Selain itu, situs bersejarah seperti rumah pahlawan nasional Cut Meutia menambah nilai historis daerah ini. Namun, di tengah potensi budaya yang besar ini, masih terdapat berbagai tantangan dalam pelestariannya. Salah satu masalah utama adalah kurangnya kesadaran dan pemahaman masyarakat terhadap pentingnya cagar budaya. Rendahnya literasi sejarah lokal, terbatasnya akses informasi, dan kurangnya media pembelajaran yang menarik membuat cagar budaya sering kali diabaikan dan tidak mendapat perhatian yang layak. Informasi tentang sejarah lokal sering kali tersebar secara terbatas dan belum terdokumentasi dengan baik dalam bentuk yang mudah diakses oleh masyarakat umum[1].

Dalam konteks ini, teknologi Augmented Reality (AR) dan Geographic Information System (GIS) digabungkan menjadi sebuah aplikasi virtual tour yang menawarkan solusi inovatif untuk mengenalkan cagar budaya secara digital dan interaktif. Teknologi Augmented Reality memungkinkan pengguna untuk melihat objek virtual yang ditampilkan secara langsung di dunia nyata secara real-time, memberikan pengalaman visual yang menarik, interaktif, dan informatif [2]. Geographic Information System menyediakan pemetaan lokasi yang akurat dan informatif. Sementara itu, Virtual Tour menyajikan simulasi lokasi secara virtual dalam bentuk panorama 360°, yang dibentuk dari rangkaian foto atau video yang saling terhubung dan dapat dieksplorasi oleh pengguna menggunakan perangkat digital seperti smartphone[3][4][5]. Virtual Tour juga sering digunakan untuk keperluan promosi wisata dan edukasi karena kemampuannya menyajikan narasi, teks, efek suara, dan peta lokasi secara simultan[6][7][8]. Teknologi ini juga memungkinkan penyajian informasi sejarah dalam bentuk tiga dimensi (3D) yang lebih mudah dipahami dan menarik, terutama bagi generasi muda. Selain itu, Virtual Tour menawarkan simulasi lingkungan nyata yang dapat diakses secara daring tanpa harus mengunjungi lokasi secara fisik. Dengan memanfaatkan rangkaian gambar panorama, video, dan elemen multimedia lainnya seperti audio dan teks, Virtual Tour mampu menghadirkan pengalaman eksplorasi digital terhadap suatu tempat yang nyata [9]. Dengan menggabungkan kedua teknologi tersebut, maka proses pengenalan dan edukasi mengenai cagar budaya dapat dilakukan secara lebih interaktif, fleksibel, dan menyenangkan.

Namun demikian, implementasi teknologi AR dan Virtual Tour untuk pengenalan cagar budaya di Kabupaten Aceh Utara masih sangat minim. Belum adanya media digital interaktif yang secara khusus mengangkat tema cagar budaya lokal menjadi alasan penting untuk dikembangkannya suatu aplikasi edukatif yang dapat menjembatani kebutuhan informasi masyarakat. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun sebuah aplikasi Virtual Tour Cagar Budaya Kabupaten Aceh Utara yang menggunakan teknologi Augmented Reality, sebagai media inovatif dalam mengenalkan dan menyampaikan nilai-nilai sejarah kepada masyarakat luas. Diharapkan, aplikasi ini dapat menjadi solusi dalam memperluas akses informasi, meningkatkan pemahaman, serta menumbuhkan kepedulian masyarakat terhadap pentingnya pelestarian cagar budaya. Selain itu, aplikasi ini juga dapat digunakan sebagai media pembelajaran sejarah yang lebih kontekstual dan menyenangkan, sekaligus mendukung promosi wisata budaya di Kabupaten Aceh Utara melalui pendekatan digital yang modern.

II. SIGNIFIKASI STUDI

1. Penelitian Terdahulu

Penelitian ini dilakukan untuk menjawab keterbatasan dari studi-studi sebelumnya yang telah mengkaji pemanfaatan teknologi *Augmented Reality* (AR) dan *Geographic Information System* (GIS) dalam pelestarian dan edukasi cagar budaya. Sebagai contoh, penelitian oleh [10] menunjukkan bahwa teknologi AR dapat meningkatkan minat belajar sejarah lokal, namun masih terbatas pada aspek visualisasi tanpa menyertakan informasi spasial yang komprehensif. Sementara itu, penelitian oleh [11] memanfaatkan GIS untuk pemetaan jalur wisata, tetapi tidak mengintegrasikan teknologi AR sehingga pengalaman pengguna tidak bersifat interaktif dan kurang memberikan konteks visual langsung terhadap objek budaya yang dimaksud.

Untuk mengatasi keterbatasan tersebut, studi ini menghadirkan inovasi dengan menggabungkan secara terpadu teknologi *Augmented Reality* dan *Geographic Information System* dalam bentuk aplikasi Virtual Tour cagar budaya yang diterapkan di Kabupaten Aceh Utara. Integrasi kedua teknologi ini memungkinkan pengguna tidak hanya melihat representasi objek budaya dalam bentuk 3D secara interaktif melalui marker-based AR, tetapi juga memperoleh informasi lokasi situs cagar budaya secara akurat dalam peta digital. Penggabungan ini memberikan pengalaman belajar yang lebih menyeluruh dan mendalam, karena pengguna diajak untuk memahami konteks sejarah sekaligus lokasi fisik situs budaya secara langsung. Fokus penelitian ini pada Kabupaten Aceh Utara juga memberikan nilai kebaruan, karena wilayah ini memiliki kekayaan budaya seperti Kerajaan Samudra Pasai dan rumah pahlawan Cut Meutia yang sebelumnya belum banyak dieksplorasi melalui pendekatan teknologi digital interaktif.

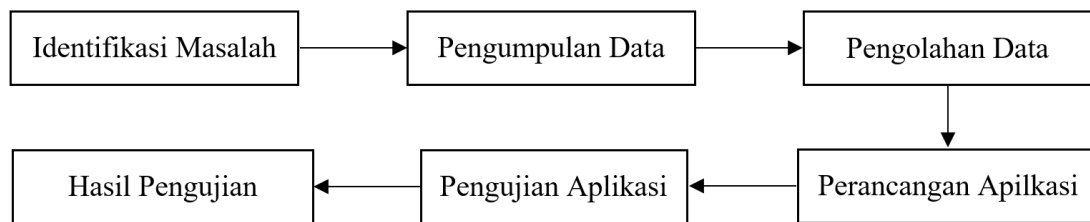
Dampak nyata dan terukur dari penelitian ini terhadap pelestarian cagar budaya terlihat melalui beberapa indikator. Pertama, aplikasi ini meningkatkan akses masyarakat terhadap informasi sejarah lokal, dengan penyajian visual 3D dan peta lokasi yang mudah diakses melalui perangkat digital. Kedua, hasil uji coba menunjukkan bahwa pengguna, khususnya dari kalangan generasi muda, merasa lebih tertarik dan termotivasi untuk mengenal serta mengunjungi situs budaya setelah menggunakan aplikasi. Ketiga, dokumentasi digital yang dibuat dalam aplikasi ini dapat menjadi bentuk pelestarian non-fisik terhadap objek budaya yang rentan rusak atau hilang, sehingga tetap dapat dipelajari secara virtual dalam jangka panjang. Terakhir, aplikasi ini berpotensi mendukung upaya promosi wisata budaya oleh pemerintah daerah, dengan menyajikan informasi sejarah secara menarik dan modern kepada wisatawan maupun masyarakat umum. Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya memberikan kontribusi dalam pengembangan teknologi informasi untuk edukasi budaya, tetapi juga menunjukkan bahwa inovasi digital dapat menjadi strategi pelestarian budaya yang efektif, inklusif, dan berkelanjutan di era modern.

2. Tahapan Penelitian

Penelitian ini memiliki signifikansi penting baik secara teoritis maupun praktis dalam mendukung pelestarian dan pengenalan cagar budaya di Kabupaten Aceh Utara. Secara teoritis, studi ini memperkaya literatur mengenai pemanfaatan teknologi informasi, khususnya *Augmented Reality* (AR) dan Virtual Tour, dalam konteks pelestarian budaya dan pembelajaran sejarah. Penelitian ini juga dapat menjadi acuan awal dalam pengembangan model pembelajaran sejarah digital interaktif di berbagai wilayah dengan karakter budaya yang berbeda.

Secara praktis, aplikasi yang dikembangkan memberikan manfaat langsung bagi masyarakat, khususnya generasi muda, sebagai media edukatif yang menarik dan interaktif untuk mengenal sejarah lokal. Bagi pemerintah daerah, aplikasi ini berpotensi menjadi sarana promosi digital yang efektif dalam meningkatkan minat wisata budaya dan penyebaran informasi situs bersejarah. Sementara itu, bagi institusi pendidikan, aplikasi ini dapat dijadikan alat bantu pembelajaran sejarah yang kontekstual dan visual. Penelitian ini juga menunjukkan potensi integrasi teknologi *Augmented Reality* dan Virtual Tour dalam menciptakan solusi digital yang berdampak secara

sosial dan kultural. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat menjadi langkah awal dalam membangun sinergi antara pelestarian budaya dan teknologi digital yang modern, inklusif, dan berkelanjutan. Adapun gambaran dari desain penelitian yang digunakan dalam penelitian ini ialah sebagai berikut :



Gambar 1. Tahapan Penelitian

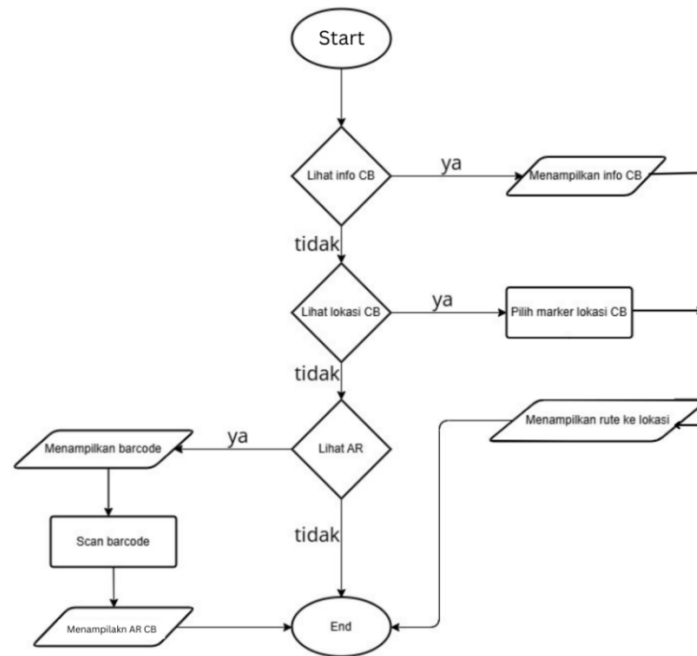
Penelitian ini menggunakan pendekatan rekayasa perangkat lunak yang mencakup identifikasi kebutuhan, pengumpulan dan pengolahan data, perancangan sistem, serta implementasi dan pengujian aplikasi. Data dikumpulkan melalui observasi lapangan ke beberapa situs cagar budaya di Kabupaten Aceh Utara serta wawancara dengan pihak terkait. Objek budaya dimodelkan dalam format 3D menggunakan perangkat lunak Blender, dan dikonversi untuk ditampilkan melalui sistem marker-based Augmented Reality. Aplikasi dirancang dengan antarmuka interaktif yang terintegrasi dengan peta digital berbasis GIS. Pengujian sistem dilakukan melalui metode black-box testing untuk memastikan fungsionalitas dan kompatibilitas lintas perangkat.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bagian ini membahas proses penelitian yang dilakukan mulai dari perancangan hingga pengujian sistem aplikasi Virtual Tour berbasis Augmented Reality (AR) dan Geographic Information System (GIS) yang dirancang untuk mendukung pelestarian cagar budaya di Kabupaten Aceh Utara. Implementasi sistem dilakukan berdasarkan hasil analisis kebutuhan serta permasalahan yang ditemukan di lapangan. Sistem ini dikembangkan dengan pendekatan terstruktur, mulai dari pengumpulan data historis, pemodelan objek 3D, hingga pengujian teknis pada berbagai perangkat.

A. Skema Sistem

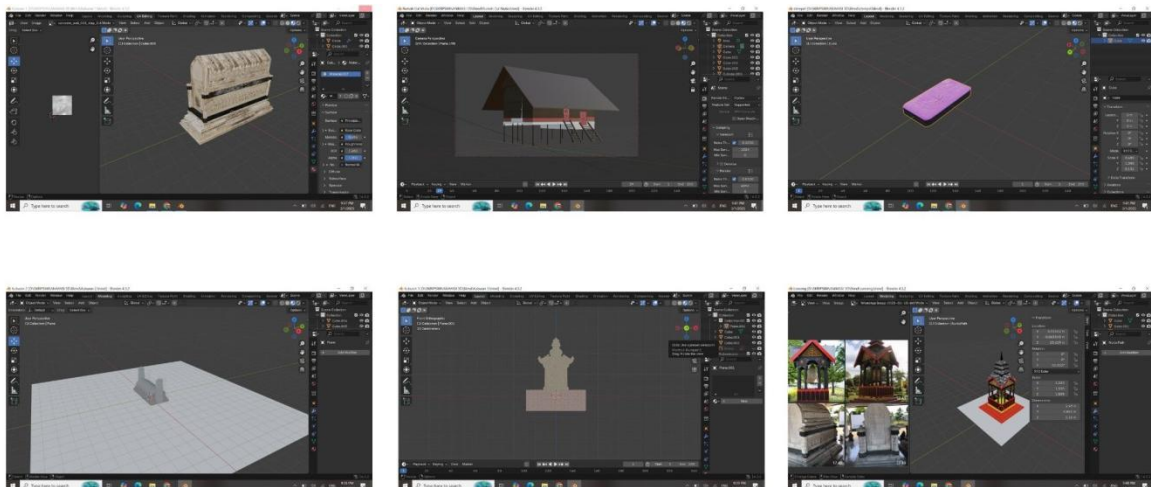
Pengguna mengakses *website* Melalui *browser*, pengguna masuk ke sistem *virtual tour*. Pengguna memilih Cagar Budaya pilih cagar budaya yang ingin dilihat, menampilkan informasi dan model 3D. *Augmented Reality* diaktifkan *scan barcode*, WebAR menampilkan *model 3D* di lingkungan nyata menggunakan kamera perangkat. Pengguna dapat berinteraksi Memutar, memperbesar, atau menjelajahi *model 3D* dalam WebAR. Peta interaktif ditampilkan Menggunakan *Leaflet.js*, menampilkan lokasi cagar budaya. Pengguna memilih lokasi Klik titik lokasi untuk mendapatkan *route* ke cagar budaya yang dipilih. Untuk lebih lanjut, skema sistem dalam dilihat pada gambar 2.



Gambar 2. Skema Sistem

B. Rancangan Menggunakan *Modelling Blender*

Rancangan hasil menggunakan pemodelan di Blender melalui beberapa tahapan penting dalam proses pembuatan objek tiga dimensi (3D). Blender merupakan perangkat lunak open-source [12] yang digunakan secara luas untuk keperluan pemodelan 3D, animasi, serta rendering. Perangkat lunak ini menyediakan berbagai alat yang mendukung proses produksi visual dalam berbagai bidang, termasuk desain objek, simulasi gerakan, dan pencahayaan virtual. Gambar 3 menampilkan hasil rancangan objek tiga dimensi yang dibuat menggunakan Blender. Proses ini dimulai dari tahap modeling dasar, kemudian dilanjutkan dengan penambahan detail, pengaturan tekstur, hingga rendering akhir. Tampilan visual pada gambar menunjukkan bagaimana Blender dapat menghasilkan objek 3D dengan kualitas visual yang realistis dan detail yang presisi.

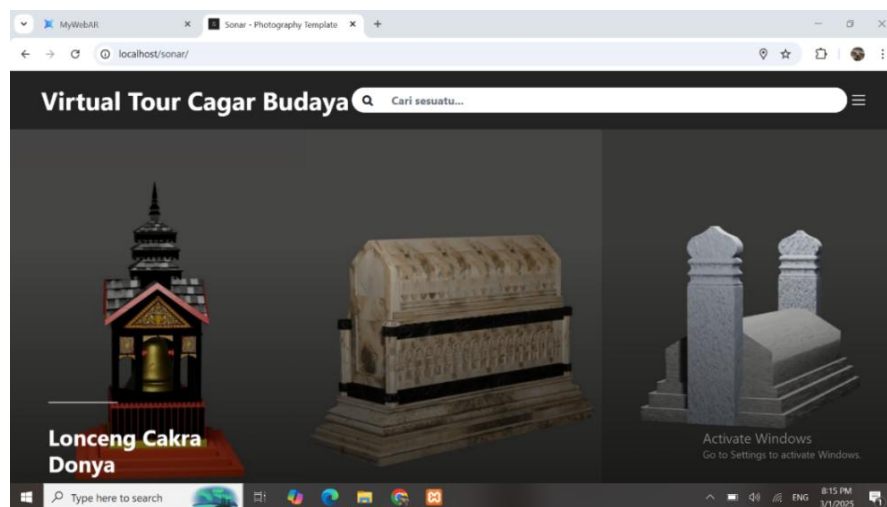
Gambar 3. Rancangan *Modelling Blender*

C. Desain Interface

Tahapan implementasi merupakan puncak dari strategi implementasi perancangan sistem. Implementasi sistem adalah fase dimana sistem siap untuk beroperasi, dan terdiri dari gambaran implementasi lingkungan dan implementasi program.

1. Halaman Tampilan Awal *Website*

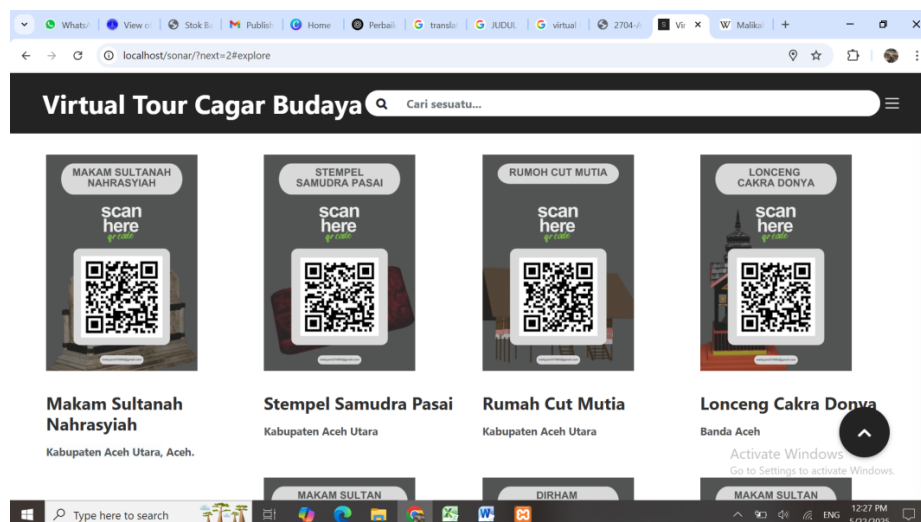
Tampilan awal website adalah tampilan pertama pada sebuah sistem yang menyajikan halaman utama serta informasi dasar yang terdapat dalam sistem tersebut. Tampilan ini berfungsi sebagai pintu masuk bagi pengguna untuk mengakses berbagai fitur dan informasi yang tersedia. Desain tampilan awal biasanya mencerminkan identitas sistem, serta dirancang agar menarik dan mudah dinavigasi. Gambar 4 menunjukkan tampilan awal dari website yang telah dirancang.



Gambar 4. Halaman Tampilan Awal *Website*

2. Halaman List Pilihan Cagar Budaya

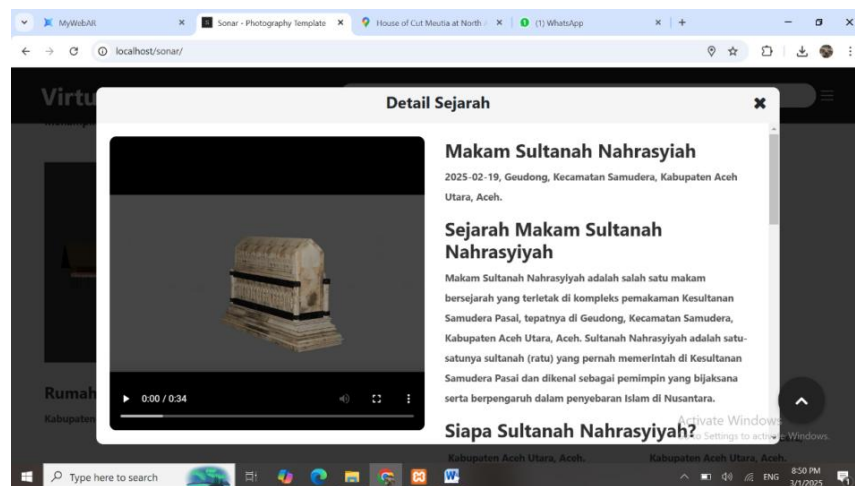
Halaman List Pilihan Cagar Budaya menampilkan berbagai pilihan yang tersedia dalam sistem, yang diimplementasikan berdasarkan data yang telah diteliti oleh penulis dari beberapa Cagar Budaya. Halaman ini dirancang untuk memudahkan pengguna dalam mengakses informasi mengenai situs-situs Cagar Budaya yang tercatat dalam sistem. Gambar 5 memperlihatkan tampilan halaman list Cagar Budaya dalam sistem yang telah dibangun.



Gambar 5. Halaman List Pilihan Cagar Budaya

3. Halaman Detail Sejarah dan Video Animasi

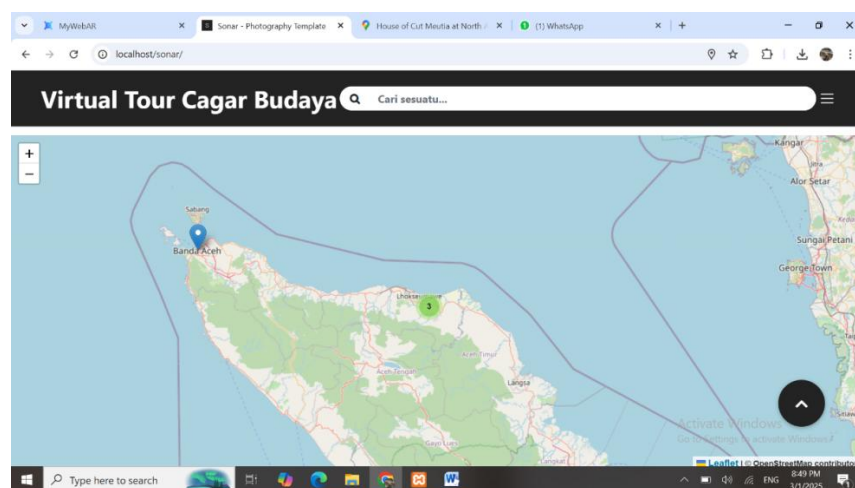
Halaman detail sejarah dan video animasi adalah berupa tampilan dari pilihan sejarah yang telah dirangkum secara keseluruhan berupa informasi dan berita dan juga video animasi yang diterterakan. Penyajian informasi ini diharapkan dapat memberikan pengalaman interaktif dan edukatif bagi pengguna. Gambar 6 memperlihatkan tampilan halaman detail sejarah beserta video animasi dalam sistem.



Gambar 6. Halaman Detail Sejarah dan Video Animasi

4. Halaman Tampilan *Sistem Informasi Geografis (SIG)*

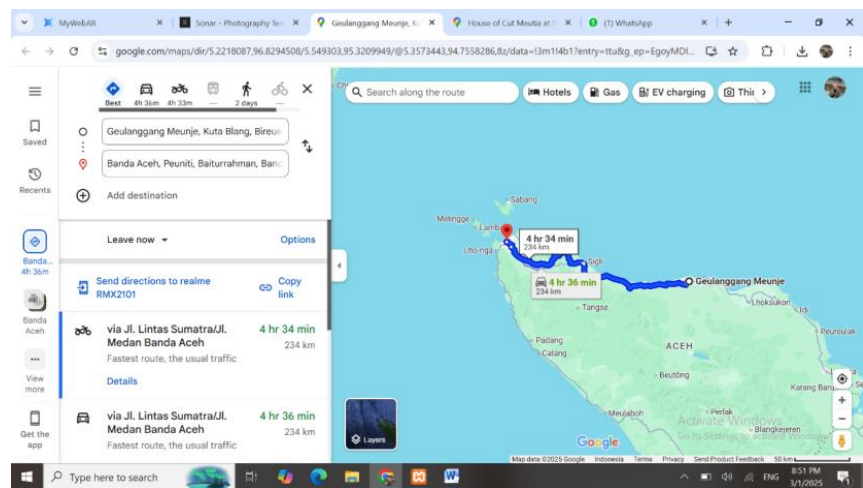
Halaman ini menyajikan informasi yang disediakan dalam *Sistem Informasi Geografis (SIG)* yang terintegrasi pada sistem. SIG digunakan untuk menampilkan data spasial Cagar Budaya secara interaktif melalui peta digital, sehingga memudahkan pengguna dalam memahami lokasi serta sebaran objek Cagar Budaya. Fitur ini menjadi elemen penting dalam mendukung visualisasi geografis dan analisis lokasi berbasis data. Gambar 7 menunjukkan tampilan halaman Sistem Informasi Geografis (SIG) dalam sistem yang dirancang



Gambar 7. Halaman Tampilan Sistem Informasi Geografis (SIG)

5. Halaman Tampilan Rute Lokasi

Halaman ini merupakan tampilan yang disediakan dalam sistem untuk memberikan informasi rute menuju lokasi Cagar Budaya melalui integrasi dengan Sistem Informasi Geografis (SIG). Fitur ini berfungsi untuk memudahkan pengguna dalam mengetahui jalur atau arah yang dapat ditempuh untuk mencapai lokasi Cagar Budaya secara akurat dan efisien. Gambar 8 memperlihatkan halaman sistem yang menampilkan rute menuju lokasi Cagar Budaya.



Gambar 8. Halaman Tampilan Rute Lokasi

D. Pengujian *Desain Marker* dan Objek AR
Pengujian desain marker dan objek Augmented Reality (AR) dilakukan untuk memastikan bahwa marker yang dirancang mampu menampilkan objek 3D dan informasi yang sesuai ketika dipindai. Pengujian ini bertujuan untuk mengevaluasi keberhasilan integrasi marker dengan sistem AR, baik dari segi visualisasi objek maupun keakuratan informasi yang ditampilkan. Hasil pengujian tersebut dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Pengujian *Desain Marker* dan Objek AR

No	Nama Objek	Marker	Objek 3D yang Ditampilkan	Waktu Deteksi (detik)	Jarak Deteksi (cm)	Sudut Perputaran Max (°)	Stabilitas Objek	Status
1	Makam Sultan Malik Al-Shaleh			3,5	75	360°	Stabil	Lulus
2	Makam Sultan Muhammad Malik Az- Zhahir			4	73	360°	Stabil	Lulus
3	Makam Sultanah Nahrasyiah			3	75	360°	Stabil	Lulus

Dirham Samudra 4 Pasai			4	77	360°	Stabil	Lulus
Lonceng Cakra 5 Donya			3.5	78	360°	Stabil	Lulus
Stempel Samudra 6 Pasai			4	77	360°	Stabil	Lulus
7 Rumah Cut Mutia			3	75	360°	Stabil	Lulus
Rata-rata			3.58	75.71	360°	Stabil	Lulus

Objek digital dibuat menggunakan *Blender*, yang kemudian diuji melalui sistem *marker-based AR*. Hasil pengujian menunjukkan bahwa rata-rata waktu deteksi objek adalah 3,58 detik dengan jarak optimal 75 cm dan sudut rotasi maksimal 360°. Semua marker dapat dikenali dengan stabil, dan objek tampil akurat serta *real-time*. Imbasnya terhadap pengguna akhir (*end-user*) sangat positif. Dari hasil uji coba terhadap kelompok pengguna, mayoritas merasa pengalaman belajar sejarah menjadi lebih menyenangkan dan interaktif dibanding metode konvensional. Mereka juga mengapresiasi kemudahan akses dan kemampuannya menyajikan informasi secara visual, terutama untuk generasi muda yang terbiasa dengan teknologi digital.

E. Pengujian Kompatibilitas dan Performa Sistem AR pada Perangkat *Mobile*

Pengujian ini dilakukan untuk mengevaluasi kompatibilitas dan performa sistem *Augmented Reality* (AR) berbasis web pada berbagai perangkat mobile. Fokus utama pengujian adalah memastikan bahwa sistem AR yang dibangun melalui platform *MyWebAR* dapat berjalan dengan baik di berbagai tipe dan merek handphone, baik yang menggunakan sistem operasi Android maupun iOS. Pengujian mencakup aspek dukungan terhadap WebAR, kemampuan perangkat dalam membaca *marker*, kelancaran pemunculan objek 3D, serta kualitas interaksi pengguna dengan objek tersebut. Detail hasil pengujian dari masing-masing perangkat disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Pengujian Kompatibilitas dan Performa Sistem AR pada Perangkat *Mobile*

No	Merek & Tipe Handphone	Sistem Operasi	Dukungan MyWebAR	Hasil Pengujian	Keterangan
1	Samsung Galaxy S21	Android 13	Mendukung	Berfungsi dengan baik	Marker terbaca, objek 3D muncul normal
2	Xiaomi Redmi Note 10	Android 12	Mendukung	Berfungsi sebagian	Sedikit lag saat memuat objek 3D
3	iPhone 13	iOS 17	Mendukung	Berfungsi dengan baik	Respons cepat, UI berjalan lancar
4	OPPO A57	Android 11	Tidak Mendukung	Tidak dapat digunakan	Tidak kompatibel dengan WebXR
5	Vivo Y12	Android 10	Tidak Mendukung	Tidak dapat digunakan	Browser tidak mendukung AR
6	Samsung Galaxy A51	Android 11	Mendukung	Berfungsi baik	Marker dan interaksi normal
7	Realme C21	Android 11	Tidak Mendukung	Tidak dapat digunakan	Kamera gagal membaca marker

Meski hasil pengujian sistem secara umum memuaskan, terdapat beberapa kendala teknis selama implementasi. Salah satu tantangan utama adalah kompatibilitas perangkat, terutama pada ponsel kelas menengah ke bawah yang tidak mendukung WebXR API, sehingga tidak dapat menampilkan AR dengan optimal. Beberapa perangkat seperti OPPO A57, Vivo Y12, dan Realme C21 gagal menjalankan aplikasi karena keterbatasan pada browser atau sistem operasi. Selain itu, lag saat memuat objek 3D juga terjadi pada perangkat dengan spesifikasi prosesor rendah, seperti Xiaomi Redmi Note 10.

Kendala lainnya adalah dalam pemodelan objek 3D, di mana detail tekstur dan bentuk harus disesuaikan dengan data historis namun tetap ringan agar dapat dimuat dengan cepat. Penyesuaian ini memerlukan waktu dan keterampilan teknis tinggi dalam proses rendering di Blender agar tetap akurat secara visual tanpa mengorbankan performa sistem. Dari sisi pengembangan, integrasi antara fitur WebAR dengan sistem navigasi GIS juga memerlukan sinkronisasi koordinat dan validasi posisi yang presisi agar data lokasi sesuai dengan kondisi geografis di lapangan.

IV. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil mengembangkan aplikasi *Virtual Tour* berbasis AR yang terintegrasi dengan Sistem Informasi Geografis (SIG) sebagai inovasi dalam pelestarian dan edukasi cagar budaya di Kabupaten Aceh Utara. Kebaruan utama terletak pada penggabungan teknologi AR dan GIS yang memungkinkan pengalaman interaktif serta pemetaan lokasi situs secara akurat, sehingga memudahkan pengguna dalam mengakses dan memahami nilai sejarah secara kontekstual. Metode *marker-based tracking* yang digunakan terbukti efektif dan responsif, dengan waktu deteksi rata-rata 3,58 detik, jarak optimal 75,71 cm, dan kemampuan rotasi objek hingga 360°, menjadikan aplikasi ini layak dan praktis sebagai media pembelajaran digital. Secara praktis, aplikasi ini dapat meningkatkan kesadaran dan keterlibatan masyarakat, terutama generasi muda, dalam pelestarian warisan budaya lokal melalui pendekatan teknologi yang menarik dan mudah diakses. Untuk pengembangan selanjutnya, disarankan menambahkan fitur narasi audio dan tur panduan interaktif guna memperkaya pengalaman edukasi, serta meningkatkan kualitas visualisasi 3D agar lebih realistis. Selain itu, perluasan kompatibilitas ke platform mobile dan web sangat penting untuk menjangkau pengguna yang lebih luas dan meningkatkan aksesibilitas. Implementasi gamifikasi juga dapat dipertimbangkan untuk memotivasi interaksi dan pembelajaran yang lebih mendalam. Dengan rekomendasi ini, aplikasi berpotensi menjadi alat edukasi digital yang efektif sekaligus mendukung promosi pariwisata budaya di Aceh Utara secara berkelanjutan.

REFERENSI

- [1] P. Haryani and J. Triyono, "Augmented Reality (Ar) Sebagai Teknologi Interaktif Dalam Pengenalan Benda Cagar Budaya Kepada Masyarakat," *Simetris J. Tek. Mesin, Elektro dan Ilmu Komput.*, vol. 8, no. 2, p. 807, 2017, doi: 10.24176/simet.v8i2.1614.
- [2] Y. Abdurrahman and M. Azrino Gustalika, "Aplikasi Augmented Reality dengan Marker Based dan Markerless Tracking sebagai Pengenalan Budaya Candi Mendut," *Remik*, vol. 7, no. 2, pp. 859–871, 2023, doi: 10.33395/remik.v7i2.12137.
- [3] K. Buleleng, N. Made, A. Widiastini, M. A. Prayudi, and P. I. Rahmawati, "Pelatihan Pembuatan Virtual Tour bagi Kelompok Sadar Wisata Desa," *Bakti Budaya*, vol. 3, no. 2, pp. 116–131, 2020.
- [4] Y. Anggara and G. M. Zamroni, "Virtual Reality Tour Menggunakan Metode Gambar Panorama 360° Sebagai Media Informasi dan Pengenalan Gedung Perkuliahan Kampus 4 Universitas Ahmad Dahlan," *JSTIE (Jurnal Sarj. Tek. Inform.)*, vol. 9, no. 1, pp. 1–12, 2021, doi: 10.12928/jstie.v1i1.19045.
- [5] S. Istita and H. Suroyo, "Pengembangan Aplikasi Virtual Tour (Wisata Virtual) Objek Wisata dengan Konten Image Kamera 360," *J. Adv. Inf. Ind. Technol.*, vol. 3, no. 2, pp. 45–52, 2021, doi: 10.52435/jaiit.v3i2.159.
- [6] S. Capotorto, M. Lepore, and A. Varasano, "Article a virtual space built on a canvas painting for an 'augmented' experience to catch the artist's message," *ISPRS Int. J. Geo-Information*, vol. 10, no. 10, 2021, doi: 10.3390/ijgi10100641.
- [7] M. Syani and F. Rahman, "Virtual Tour Interaktif Panorama 360 ° Berbasis Web Di Politeknik Berbasis Web Di Politeknik Tedc Bandung," *J. Komunikasi, Media dan Inform.*, vol. 11, no. 1, pp. 60–65, 2017.
- [8] A. Yuliana and E. Lisdianto, "Aplikasi Virtual tour Sebagai MediaPromosi Objek Wisata di Stone Garden Kab. Bandung Barat," *KOPERTIP J. Ilm. Manaj. Inform. dan Komput.*, vol. 1, no. 1, pp. 19–24, 2017, doi: 10.32485/kopertip.v1i1.6.
- [9] D. Dio, N. Safriadi, and A. S. Sukamto, "Rancang Bangun Aplikasi Virtual Tour Lokasi Rekreasi dan Hiburan Keluarga di Pontianak," *J. Sist. dan Teknol. Inf.*, vol. 7, no. 1, p. 1, 2019, doi: 10.26418/justin.v7i1.27384.
- [10] M. Learning *et al.*, "The Indonesian Journal of Computer Science," vol. 14, no. 2, pp. 2357–2386, 2025.
- [11] K. Efivania, E. Yuniarti, and M. Indah Fitriani, "PEMETAAN JALUR WISATA CAGAR BUDAYA RUMAH BETANG MENGGUNAKAN SISTEM INFORMASI GEOGRAFIS (SIG) Studi Kasus: Desa Melapi Dan Desa Urang Unsa Kabupaten Kapuas Hulu," pp. 1–9, 2022.
- [12] A. Faizal Ferdianto, K. Quraisy Al Hamidy, P. Zaky Al Mahdi, F. Nugroho, and A. Fahmi Karami, "Jurnal Rekayasa Sistem Informasi dan Teknologi Volume 2, No 1-Agustus 2024 e-ISSN : 3025-888X EKSPEDISI ASTRONOT: MENANAMKAN NILAI ISLAM PANTANG MENYERAH DALAM ANIMASI 3D BLENDER," vol. 2, no. 1, 2024.