

LEGACY : MUZIUM MAYA WARISAN BUDAYA MALAYSIA

¹Muhammad Danial Hafiez bin Mohammad Zulkiffly, ¹Hadi Affendy bin Dahlan

¹Fakulti Teknologi & Sains Maklumat
43600 Universiti Kebangsaan Malaysia

Abstrak

Projek "Legacy: Muzium Maya Warisan Budaya Malaysia" bertujuan untuk menangani isu aksesibiliti dan pemuliharaan budaya Malaysia melalui pembangunan platform maya yang interaktif. Kajian ini bermula dengan permasalahan seperti keterhadapan akses ke muzium fizikal, kekurangan kesedaran generasi muda terhadap warisan budaya, dan kekurangan platform digital moden untuk pembelajaran budaya. Dengan menggunakan teknologi realiti maya (VR), muzium maya ini membolehkan pengguna meneroka artifak, pakaian tradisional, dan sejarah Malaysia melalui pengalaman multimedia yang kaya. Kaedah pembangunan menggunakan pendekatan Agile yang membolehkan reka bentuk dan pembangunan platform dilakukan secara berperingkat, disesuaikan dengan maklum balas pengguna. Hasil projek ini termasuk penciptaan model 3D sebanyak 10 artifak budaya Malaysia dan platform mesra pengguna yang boleh diakses melalui desktop, peranti mudah alih, dan VR. Projek ini menyumbang kepada ilmu dengan memperkenalkan teknologi pendidikan budaya secara maya yang menarik, dan berpotensi memperluaskan pemahaman tentang warisan Malaysia, terutama dalam kalangan generasi muda. Implikasi kepada dasar termasuk meningkatkan kesedaran budaya dan mempromosikan pemuliharaan warisan melalui inovasi digital, selaras dengan usaha ke arah digitalisasi sektor pendidikan dan kebudayaan.

Abstract

The "Legacy: Virtual Museum of Malaysian Cultural Heritage" project aims to address accessibility and preservation issues of Malaysian culture through the development of an interactive virtual platform. This study identifies problems such as limited access to physical museums, lack of awareness among the younger generation, and insufficient modern digital platforms for cultural education. Utilizing virtual reality (VR) technology, this virtual museum enables users to explore artifacts, traditional attire, and Malaysian history through an engaging multimedia experience. The project employs an Agile development methodology, allowing iterative design and development based on user feedback. Key outcomes of the project include the creation of 10 3D models of Malaysian cultural artifacts and a user-friendly platform accessible via desktop, mobile devices, and VR. This project contributes to

the field by introducing an engaging digital platform for cultural education, potentially enhancing understanding of Malaysia's heritage, particularly among the younger generation. Policy implications include increasing cultural awareness and promoting heritage preservation through digital innovation, aligning with national efforts toward digitization in education and culture sectors.

1.0 PENGENALAN

Malaysia dikenali sebagai sebuah negara yang kaya dengan warisan budaya yang unik dan pelbagai, merangkumi seni, sejarah, dan tradisi yang telah diwarisi turun-temurun. Kepelbagaian ini dapat dilihat melalui pelbagai elemen seperti pakaian tradisional yang berwarna-warni, tarian-tarian yang mempunyai makna tersendiri, artifak sejarah yang bernilai, dan seni bina yang menakjubkan. Namun, dalam era moden yang serba pantas ini, terdapat cabaran besar untuk memastikan warisan ini dapat terus dihargai dan dipelihara, terutamanya dalam kalangan generasi muda yang lebih tertumpu kepada teknologi dan kandungan digital. Muzium fizikal, yang selama ini menjadi pusat rujukan utama bagi warisan budaya, kini berhadapan dengan masalah dalam menarik minat pengunjung kerana batasan lokasi dan kekangan masa. Halangan ini sering kali menyebabkan pengetahuan tentang warisan budaya semakin terhakis.

Projek "Legacy: Muzium Maya Warisan Budaya Malaysia" bertujuan untuk mengatasi cabaran ini dengan menyediakan platform digital yang interaktif untuk mempromosikan kekayaan budaya negara secara meluas. Dengan memanfaatkan teknologi Realiti Maya (VR) yang imersif, pengguna dapat menikmati pengalaman visual 3D yang realistik serta pelbagai media interaktif seperti audio dan video, yang memaparkan pelbagai aspek budaya Malaysia secara terperinci. Platform ini memberikan akses yang lebih mudah kepada kandungan budaya, membolehkan pengguna meneroka warisan budaya Malaysia dari mana-mana sahaja di seluruh dunia, tanpa perlu melawat muzium fizikal. Projek ini bukan sahaja menjadi alat pendidikan yang moden tetapi juga berfungsi sebagai inisiatif pemuliharaan budaya, memastikan elemen-elemen penting warisan budaya Malaysia dapat diwarisi dan dihayati oleh generasi akan datang.

Pendekatan projek ini bukan sekadar menumpukan kepada elemen interaktif tetapi juga kepada penghasilan kandungan yang menyeluruh dan menarik. Melalui kolaborasi strategik dengan pelbagai pihak seperti muzium tempatan, institusi budaya, dan komuniti pakar sejarah, projek ini berhasrat untuk mengumpulkan pelbagai maklumat yang sahih dan mendalam tentang artifak, pakaian tradisional, dan sejarah tempatan. Dengan menggunakan teknologi terkini dalam pembangunan VR, platform ini akan menjadi medium yang mesra pengguna dan inklusif, sesuai untuk semua golongan masyarakat, sama ada generasi muda, pelajar yang ingin membuat kajian, mahupun pelancong asing yang ingin memahami budaya Malaysia dengan cara yang lebih mendalam dan menarik.

Secara keseluruhannya, projek ini berfungsi sebagai inisiatif penting dalam memelihara dan mempromosikan warisan budaya Malaysia. Ia memastikan elemen-elemen penting budaya negara dapat terus relevan, mudah diakses, dan dihargai oleh generasi akan datang melalui pendekatan yang moden dan menarik. Dengan menggabungkan teknologi dan budaya, "LEGACY" berperanan sebagai jambatan digital yang menghubungkan masa lalu dengan masa depan Malaysia. Projek ini juga menunjukkan bagaimana inovasi teknologi dapat digunakan sebagai alat untuk pendidikan, pemuliharaan, dan promosi warisan budaya, seterusnya menyumbang kepada pembangunan sektor kebudayaan digital negara.

2.0 KAJIAN LITERATUR

Muzium Maya Warisan Budaya

Sebelum membangunkan platform "LEGACY," beberapa kajian literatur telah dijalankan untuk menganalisis platform muzium maya sedia ada di seluruh dunia. Kajian ini bertujuan untuk memahami bagaimana teknologi Realiti Maya (VR) telah diterapkan, serta mengenal pasti kelebihan dan kekurangan sistem-sistem tersebut. Analisis ini menjadi panduan penting dalam merancang platform "LEGACY" agar ia bukan sahaja berinovasi, tetapi juga dapat mengatasi jurang yang wujud dalam sistem terdahulu. Tiga platform utama yang dikaji adalah *Virtual Museum - Louvre & Smithsonian*, Muzium Maya dengan Pembantu AI - MArTA, dan *Google Arts & Culture VR*.

Virtual Museum - Louvre & Smithsonian, sebagai contoh, menawarkan pengalaman lawatan VR yang sangat realistik dengan paparan 360 darjah, tetapi interaksi pengguna adalah terhad kepada visual dan audio sahaja. Ia kurang imersif dan kos pembangunannya sangat tinggi. Berbeza pula dengan Muzium Maya MArTA di Itali, yang menggabungkan VR dengan pembantu maya AI untuk interaksi yang lebih mendalam, membolehkan pengguna bertanya soalan. Namun, platform ini bergantung pada sambungan internet yang stabil dan ketepatan pemahaman bahasa, yang boleh menjadi cabaran. Sementara itu, *Google Arts & Culture VR* menawarkan aksesibiliti yang sangat tinggi melalui telefon pintar, tetapi pengalamannya bersifat statik dan kurang interaktif, menjadikannya kurang imersif berbanding VR yang sebenar..

Berdasarkan perbandingan ini, dapatan utama menunjukkan bahawa kebanyakan platform sedia ada mempunyai jurang kritikal seperti kekurangan fokus terhadap budaya tempatan, kos pembangunan yang tinggi, dan batasan dalam interaksi yang mendalam. Kebanyakan kandungan lebih tertumpu kepada seni dan budaya Barat, menyebabkan warisan tempatan kurang mendapat tempat. Justeru, projek "LEGACY" dirancang untuk mengatasi jurang ini. Ia mengambil inspirasi daripada kelebihan platform sedia ada, seperti kualiti visual

dari *Virtual Museum* dan aksesibiliti dari *Google Arts & Culture*, sambil menyesuaikannya dengan keunikan budaya Malaysia.

Hasil secara rumusan, kajian literatur ini telah membentuk strategi pembangunan "*LEGACY*" dengan jelas. Projek ini akan memanfaatkan teknologi VR untuk memberikan pengalaman visual berkualiti tinggi dan interaktif, seperti yang dicontohkan oleh platform antarabangsa. Pada masa yang sama, ia akan menekankan kandungan budaya Malaysia yang unik dan komprehensif, yang merupakan jurang ketara pada platform-platform lain. Dengan pendekatan ini, "*LEGACY*" bukan sahaja dapat menawarkan pengalaman yang setanding dengan muzium maya global, tetapi juga berfungsi sebagai alat yang lebih berkesan dan relevan untuk memelihara warisan budaya Malaysia secara digital.

3.0 METODOLOGI

Dalam projek "Legacy", Model Agile dipilih kerana ia membolehkan pembangunan dilakukan secara berperingkat melalui kitaran pendek. Setiap kitaran ini melibatkan perancangan, pembangunan, pengujian, dan penambahbaikan berterusan. Pendekatan ini memastikan projek lebih fleksibel, mengurangkan risiko, dan membolehkan maklum balas pengguna digabungkan dengan pantas, menghasilkan sistem yang stabil dan mesra pengguna.

3.1 Analisis Keperluan

Dalam Pembangunan aplikasi "Legacy: Muzium Maya Warisan Budaya Malaysia" memerlukan analisis keperluan yang terperinci, yang dibahagikan kepada keperluan fungsian dan bukan fungsian. Keperluan fungsian adalah ciri-ciri utama yang akan memberikan pengalaman interaktif dan pendidikan kepada pengguna. Ini termasuk kemampuan untuk berinteraksi dengan artifak 3D dengan memutar dan mengezumnya, serta penyediaan panduan audio dan video dalam dua bahasa. Selain itu, sistem ini direka dengan navigasi yang intuitif untuk pelbagai peranti, memastikan ia dapat diakses secara global, dan menyajikan kandungan budaya Malaysia yang berkonteks dan relevan.

Aspek bukan fungsian pula memfokuskan kepada kualiti dan kestabilan sistem. Aplikasi ini mesti beroperasi dengan kecekapan tinggi untuk memberikan pengalaman VR yang lancar dengan kadar bingkai sesaat (FPS) yang stabil, bagi mengelakkan motion sickness. Kebolegunaan juga menjadi keutamaan, di mana antara muka pengguna (UI) direka agar mesra dan mudah difahami oleh pelbagai peringkat umur. Dari segi teknikal, aplikasi ini perlu serasi dengan sistem operasi Windows dan set kepala VR yang disambungkan.

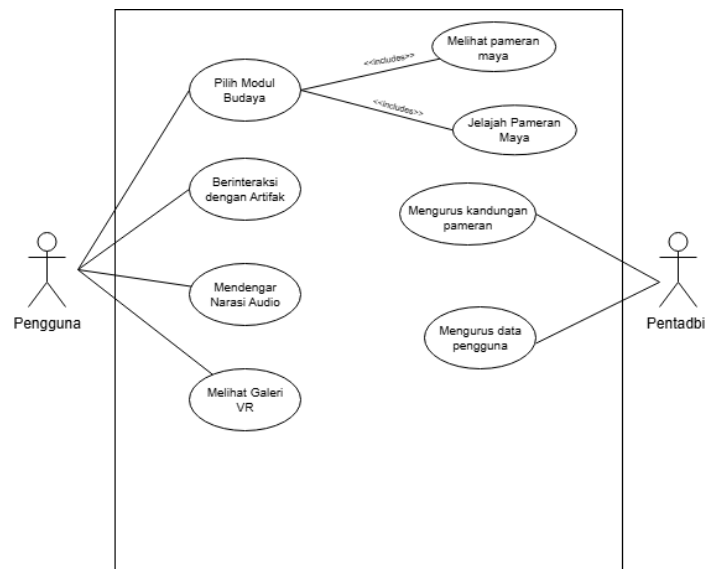
Keperluan lain yang sama penting adalah keselamatan dan kebolehcapaian. Aplikasi ini menjamin keselamatan dengan memastikan ia bebas daripada sebarang perisian hasad dan

tidak akan mengakses fail sistem pengguna. Ia juga menawarkan kebolehcapaian yang tinggi kerana direka untuk berfungsi sepenuhnya secara luar talian selepas pemasangan, menjadikannya sesuai untuk pengguna tanpa sambungan internet yang stabil.

Akhir sekali, kebolehpercayaan, skalabiliti, dan privasi data turut diambil kira. Aplikasi ini mesti stabil dan boleh berjalan untuk jangka masa tertentu tanpa kerosakan, manakala seni bina modularnya membolehkan penambahan kandungan baharu pada masa hadapan. Paling utama, privasi pengguna adalah terjamin sepenuhnya kerana aplikasi ini tidak mengumpul atau menyimpan sebarang data peribadi, memastikan pengguna dapat meneroka warisan budaya dengan selamat dan yakin.

3.2 Rajah Kes Guna

Rajah 1 iaitu rajah kes guna menggambarkan interaksi utama antara pengguna dan sistem Legacy: Muzium Maya Warisan Budaya Malaysia. Ia menunjukkan fungsi-fungsi utama yang tersedia dalam sistem untuk memenuhi keperluan pengguna dan pentadbir. Pengguna memulakan interaksi dengan memilih Modul Budaya, di mana mereka boleh memilih kategori seperti Budaya Melayu, Cina, atau India. Dari sini, pengguna dapat meneroka fungsi lain seperti Melihat Pameran Maya, yang memaparkan artifak dalam bentuk model Tiga Dimensi (3D) yang interaktif, dan Jelajah Pameran Maya, yang menyediakan navigasi untuk meneroka galeri maya. Selain itu, pengguna juga boleh Berinteraksi dengan Artifak, yang membolehkan mereka memutar, mengezum, dan membaca maklumat tambahan mengenai artifak. Fungsi tambahan seperti Melihat Galeri VR memperkaya pengalaman dengan menyediakan penerangan audio dalam pelbagai bahasa dan akses kepada persekitaran maya yang lebih imersif. Untuk pentadbir, fungsi seperti Mengurus Kandungan Pameran membolehkan mereka mengawal maklumat artifak dalam sistem, manakala Mengurus Data Pengguna membolehkan mereka mengurus akaun pengguna termasuk pendaftaran dan aktiviti. Rajah ini memaparkan keseluruhan struktur interaksi sistem dengan pengguna dan pentadbir, memastikan setiap fungsi direka dengan jelas untuk memenuhi keperluan projek.



Rajah 1: Model Rajah Kes Guna

4.0 HASIL

4.1 Pembangunan Aplikasi

Pembangunan aplikasi "LEGACY: Muzium Maya Warisan Budaya Malaysia" melibatkan proses teknikal yang teliti, menggunakan perisian dan teknologi yang sesuai untuk merealisasikan persekitaran Realiti Maya (VR). Projek ini dibangunkan menggunakan pendekatan *Agile*, membolehkan setiap modul seperti paparan artifak 3D dan sistem navigasi diuji dan diperbaiki secara berperingkat. Perisian utama yang digunakan termasuk *Blender* untuk pemodelan aset 3D yang realistik, dan *Unity 3D* sebagai enjin permainan untuk membina persekitaran VR, antara muka pengguna, dan mengintegrasikan animasi. Bahasa pengaturcaraan *C#* digunakan untuk menulis skrip-skrip yang mengawal logik dan fungsi interaktif dalam aplikasi.

Tidak seperti sistem berasaskan web, "LEGACY" tidak memerlukan pangkalan data luaran. Sebaliknya, semua data artifak diuruskan secara terus di dalam enjin *Unity* melalui kaedah *Scene-based data management*. Pendekatan ini memastikan prestasi yang optimum dan pengalaman pengguna yang lancar. Aset-aset 3D, seperti artifak dan ruang pameran, sama ada dihasilkan menggunakan *Blender* atau diperoleh dari sumber sedia ada, kemudian dipindahkan ke *Unity* untuk pembinaan antara muka dan susun atur ruang maya.

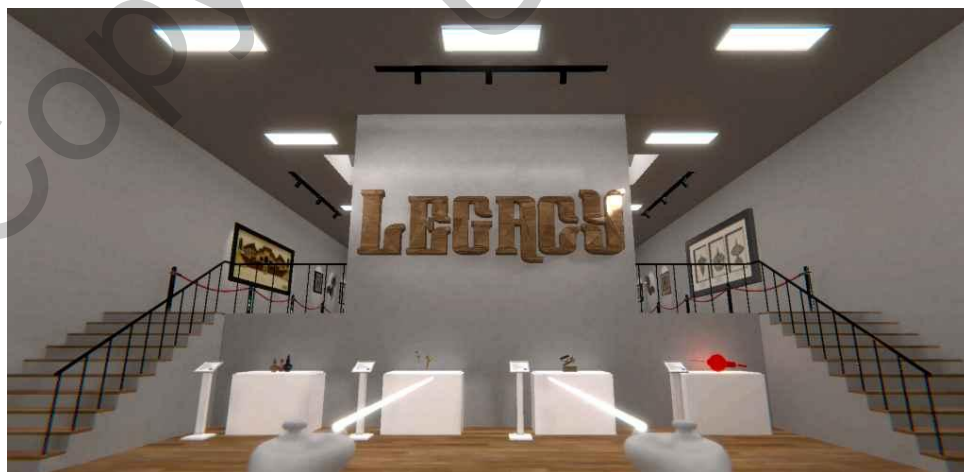
Beberapa skrip *C#* penting telah dibangunkan untuk memastikan kefungsiian aplikasi. Skrip *VisualReset* bertanggungjawab untuk menyimpan dan mengembalikan kedudukan serta putaran asal objek, terutamanya apabila ia digerakkan oleh pengguna. Skrip *UIManager* pula menguruskan paparan panel antara muka pengguna (UI) seperti panel maklumat artifak, memastikan ia muncul atau disembunyikan dengan lancar. Akhir sekali, skrip *SceneLoader* membolehkan peralihan antara babak (scene) dalam aplikasi berjalan tanpa masalah, memastikan kelancaran navigasi.

Rajah 2 memaparkan reka bentuk antara muka bagi *Start Menu*, iaitu skrin permulaan aplikasi *LEGACY*. Skrin ini direka untuk mewujudkan suasana yang dramatik dan imersif, menggunakan latar belakang gelap yang diserikan dengan pancaran cahaya dinamik berwarna jingga untuk menarik perhatian pengguna. Bahagian tengah skrin menjadi tumpuan utama dengan logo "LEGACY" dan tajuk "Muzium Maya Warisan Budaya Malaysia" yang berpendar. Untuk mengukuhkan tema warisan budaya, skrin ini diapit oleh dua buah patung digital yang mengenakan busana tradisional Melayu, mewakili pakaian lelaki dan wanita. Sebuah butang "START" yang jelas diletakkan di tengah, berfungsi sebagai gerbang utama untuk memuatkan adegan persekitaran muzium maya yang sebenar, iaitu *VRFPYBASE*.



Rajah 2: Antara Muka StartMenu *LEGACY*

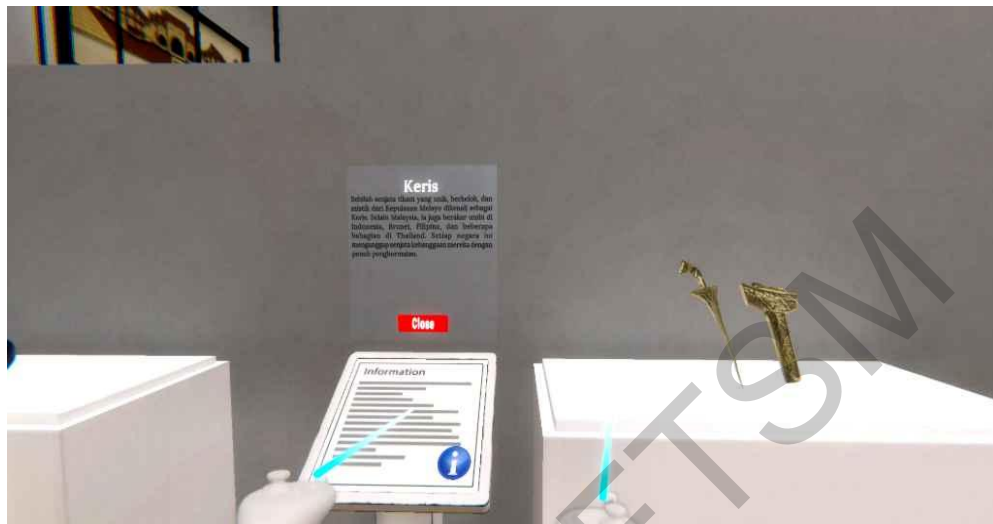
Rajah 3 memaparkan antara muka bagi adegan *VRFPYBASE*, iaitu dewan pameran utama yang menyambut pengguna selepas menekan butang "*START*". Persekitaran ini adalah sebuah ruang legar muzium yang moden, luas, dan diterangi dengan pencahayaan realistik. Dari pandangan pertama, pengguna akan melihat alat kawalan maya dengan penunjuk interaktif, yang menandakan kebolehan untuk berinteraksi dengan objek. Artifak-artifak dipamerkan di atas pameran putih, setiap satu dilengkapi dengan papan maklumat. Tumpuan utama dewan ini adalah logo "*LEGACY*" gergasi bertekstur kayu di dinding belakang. Reka bentuk dewan ini, lengkap dengan tangga ke aras atas, menggalakkan pengguna untuk meneroka ruang pameran yang lebih luas, menjadikan pengalaman pembelajaran budaya lebih interaktif dan imersif.



Rajah 3: Antara muka *VRFPYBASE LEGACY*

Rajah 4 menunjukkan Panel Info Artifak, satu mekanisme interaksi yang membolehkan pengguna mendapatkan maklumat terperinci tentang artifak. Apabila pengguna menekan butang 'i' biru yang terletak pada papan maklumat di sebelah setiap artifak, sebuah panel separa-lutsinar akan muncul. Reka bentuk panel seakan kaca ini memberikan pengalaman moden dan futuristik, membolehkan pengguna membaca maklumat tanpa menghalang pandangan terhadap persekitaran muzium. Panel ini memaparkan tajuk artifak,

seperti 'Keris', diikuti dengan penerangan komprehensif mengenai sejarah dan kepentingannya. Pengguna boleh menutup panel ini dengan menekan butang 'Close' merah, memastikan penyampaian maklumat yang intuitif tanpa mengganggu aliran penerokaan.



Rajah 4: Antara muka Panel Info Artifak *LEGACY*

Rajah 5 memperincikan ciri interaksi tahap tinggi yang terdapat dalam aplikasi *LEGACY*. Fungsi ini membolehkan pengguna berinteraksi secara langsung dengan artifak Keris dengan "mengambil" bilahnya dan sarungnya menggunakan alat kawalan maya. Ini membolehkan pengguna meneliti artifak dari sebarang sudut, memberikan tahap perincian visual yang lebih mendalam. Setelah pengguna "melepaskan" artifak, ia akan kembali secara automatik ke posisi asalnya di atas pameran. Mekanisme penetapan semula automatik ini dikendalikan oleh skrip *C#* bernama *VisualReset.cs*, yang merekod posisi dan rotasi asal artifak, seterusnya mengembalikannya ke posisi tersebut apabila interaksi selesai. Pendekatan ini memastikan ruang pameran kekal kemas dan bersedia untuk interaksi seterusnya.



Rajah 5: Antara muka Interaksi dengan Artifak

Pembangunan persekitaran muzium maya *LEGACY* menekankan kebebasan pergerakan dan reka bentuk ruang pameran yang pelbagai. Rajah 6 menunjukkan pengguna boleh

bergerak secara bebas di dalam dewan utama, yang meningkatkan rasa imersi dan membolehkan mereka meneroka mengikut minat masing-masing. Susun atur galeri ini diperincikan melalui Rajah 7 hingga Rajah 9, yang memaparkan pelbagai jenis pameran. Rajah 7 memfokuskan kepada pameran pakaian tradisional seperti Baju Melayu dan Baju Kurung, direka dengan teliti untuk memberikan pengalaman visual yang autentik, lengkap dengan lantai kayu dan pencahayaan profesional. Rajah 8 dan 9 seterusnya menunjukkan bagaimana lorong galeri dihiasi dengan gabungan patung peraga, artifak, dan karya seni, dengan susun atur yang strategik untuk memandu pengguna melalui naratif budaya.

Pemandangan Pemandangan dari aras atas iaitu pada Rajah 10 memberikan perspektif yang berbeza, membolehkan pengguna melihat keseluruhan susun atur dewan pameran di aras bawah. Dari kedudukan ini, pengguna dapat menghargai skala dan seni bina muzium maya, serta merancang laluan penerokaan mereka yang seterusnya. Pemandangan ini menunjukkan susun atur yang pelbagai dengan pameran artifak di mana setiap objek diletakkan secara strategik untuk menceritakan kisah dan membina kefahaman yang lebih mendalam mengenai budaya yang dipamerkan. Secara keseluruhannya, reka bentuk persekitaran ini berjaya mewujudkan pengalaman yang kaya dan imersif, mencerminkan pameran di muzium fizikal untuk menyampaikan kisah budaya yang mendalam.



Rajah 6: Antara muka Muzium LEGACY



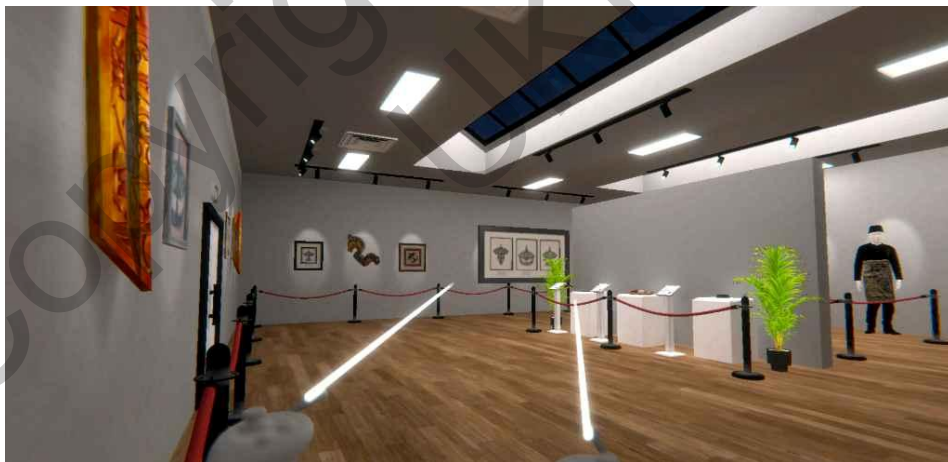
Rajah 7: Antara muka Muzium LEGACY



Rajah 8: Antara muka Muzium LEGACY



Rajah 9: Antara muka Muzium LEGACY



Rajah 10: Antara muka Muzium LEGACY

4.2 Penilaian Aplikasi

Fasa penilaian aplikasi LEGACY: Muzium Maya Warisan Budaya Malaysia dijalankan untuk memastikan setiap fungsi utama dalam sistem beroperasi seperti yang dirancang dan memberikan pengalaman Realiti Maya (VR) yang imersif dan memuaskan. Proses penilaian ini dibahagikan kepada dua kategori utama, iaitu ujian fungsian dan ujian kebolegunaan.

i. Pengujian Fungsian

Aplikasi Pembangunan aplikasi "*LEGACY*" mengadaptasi pendekatan pengujian yang komprehensif, berlandaskan keperluan fungsian dan bukan fungsian dari sudut pandang pengguna akhir. Ujian ini menggunakan kaedah Pengujian Kotak Hitam (*Black-Box Testing*) untuk mengesahkan setiap ciri aplikasi berfungsi seperti yang dijangka, dan Pengujian Kebolegunaan (*Usability Testing*) untuk menilai kualiti pengalaman pengguna (*UX*) dan antara muka (*UI*). Proses pengujian akan diteruskan sehingga semua kes ujian yang telah dirancang berjaya dilaksanakan dan tiada lagi ralat berisiko tinggi yang direkodkan, bagi memastikan produk akhir yang stabil dan memuaskan.

Jadual 1: *Fungsi Yang Diuji*

ID Keperluan	ID Kes Pengujian	ID Prosedur Pengujian	Jenis Pengujian	Alatan	Lulus/Gagal
F001	KP-01-001	PP-01-001	Fungsian	Manual	Lulus
F002	KP-02-001	PP-02-001	Fungsian	Manual	Lulus
F003	KP-03-001	PP-03-001	Fungsian	Manual	Lulus
F004	KP-04-001	PP-04-001	Fungsian	Manual	Lulus
F005	KP-05-001	PP-05-001	Bukan Fungsian	Manual	Lulus

Kesemua lima keperluan fungsian utama, daripada F001 hingga F005, telah menjalani pengujian kotak hitam dan didapati berfungsi dengan jayanya. F001, yang melibatkan fungsi Menu Utama & Pelancaran, telah diuji untuk memastikan butang "*START*" berfungsi dengan betul, membolehkan pengguna memulakan pengalaman muzium maya dengan lancar. F002, iaitu Navigasi Persekitaran *VR*, juga lulus dengan cemerlang, di mana pergerakan pengguna, pusingan kamera, dan had sempadan agar pengguna tidak dapat menembusi dinding berfungsi seperti yang dijangka. Ini memastikan pengguna dapat meneroka persekitaran *VR* tanpa sebarang isu teknikal.

Bagi modul interaksi, F003 (Sistem Panel Maklumat) telah disahkan berfungsi apabila butang interaktif 'i' berjaya memaparkan panel maklumat dan butang "*Close*" pula dapat menutupnya dengan sempurna. F004 (Interaksi dengan Artifak) yang merupakan salah satu ciri utama aplikasi juga lulus, membuktikan fungsi "*Ambil*" (*Grab*) dan "*Lepas*" (*Release*) Keris serta penetapan semula ke posisi asal berfungsi dengan baik. Akhir sekali, F005 (Paparan Visual Pameran) disahkan berfungsi dengan baik, di mana semua artifak, patung peraga (*mannequin*), dan audio latar (*BGM*) dipaparkan dan dimainkan dengan betul, memberikan pengalaman visual dan audio yang lengkap. Kesemua hasil pengujian ini menunjuk ke arah aplikasi "*LEGACY*" memenuhi spesifikasi keperluan fungsian yang telah ditetapkan.

ii. Pengujian Kebolehgunaan

Analisis kebolehgunaan menunjukkan penerimaan yang sangat positif terhadap reka bentuk visual dan kefungsiian aplikasi. Menu Utama (Start Menu) menerima skor purata 4.74/5.0, dengan majoriti responden (73.9%) memberikan penilaian tertinggi. Butang "START" pula mencapai skor hampir sempurna, iaitu 4.91/5.0, mengesahkan kejelasannya dan keberkesanannya sebagai elemen seru untuk bertindak (call-to-action).

Selain itu, kebolehbacaan teks pada panel maklumat artifak turut dinilai sangat baik, dengan skor purata 4.74/5.0. Majoriti responden (78.3%) sangat bersetuju bahawa maklumat yang dipaparkan adalah jelas dan mudah dibaca dalam persekitaran VR. Ini membuktikan reka bentuk panel dan pemilihan fon adalah sesuai untuk paparan VR, di mana hanya seorang responden (4.3%) memberikan maklum balas neutral.

Secara keseluruhannya, reka bentuk visual dan estetika muzium maya, termasuk pencahayaan, warna, dan susun atur, juga menerima maklum balas yang konsisten dan positif dengan skor purata 4.74/5.0. Sebanyak 73.9% responden sangat bersetuju dengan daya tarikan reka bentuk ini. Dapatan ini menunjukkan bahawa usaha dalam membina suasana muzium yang imersif telah berjaya, memberikan impak positif yang signifikan kepada pengalaman pengguna secara keseluruhan.

Jadual 2: Kebolehgunaan Antara Muka (UI) & Pengalaman Pengguna (UX)

Soalan	Purata
Menu Utama (Start Menu) aplikasi adalah menarik dan mudah difahami.	4.74
Butang "START" jelas kelihatan dan fungsinya mudah difahami.	4.91
Teks dan maklumat yang dipaparkan pada Panel Maklumat artifak adalah jelas dan mudah untuk dibaca di dalam VR.	4.74
Reka bentuk visual keseluruhan muzium (pencahayaan, warna, susun atur) adalah menarik secara estetik.	4.74
Purata Kesuluruhan	4.78

Analisis kebolehgunaan menunjukkan maklum balas yang sangat positif terhadap sistem navigasi. Tahap kefahaman responden terhadap cara bergerak menerima skor purata 4.78/5.0, dengan majoriti besar (78.3%) sangat bersetuju bahawa kaedah pergerakan adalah intuitif dan mudah difahami. Seterusnya, keselesaan kelajuan pergerakan juga dinilai sangat baik dengan skor purata 4.78/5.0, di mana sebahagian besar responden (82.6%) bersetuju bahawa kelajuan yang ditetapkan adalah seimbang dan tidak terlalu laju atau perlahan.

Salah satu aspek kritikal dalam VR, iaitu motion sickness, juga menunjukkan hasil yang sangat memberangsangkan. Dengan skor purata 4.74/5.0, majoriti responden (78.3%) sangat bersetuju bahawa mereka tidak mengalami sebarang rasa pening atau ketidakselesaan semasa menggunakan aplikasi ini. Ini membuktikan bahawa kelajuan pergerakan dan kestabilan kadar bingkai sesaat (FPS) aplikasi ini berjaya meminimumkan risiko motion sickness.

Akhir sekali, kemudahan akses ke semua kawasan pameran dinilai hampir sempurna dengan skor purata 4.96/5.0. Hampir semua responden (95.7%) sangat bersetuju bahawa mereka dapat melawat keseluruhan ruang muzium, termasuk naik ke aras atas, tanpa sebarang masalah. Ini mengesahkan bahawa reka bentuk ruang dan sistem navigasi adalah sangat efektif, memastikan penerokaan pengguna tidak terhalang dan pengalaman imersif dapat dikekalkan sepenuhnya.

Jadual 3: Navigasi dan Pergerakan

Soalan	Purata
Saya mudah faham cara untuk bergerak di dalam persekitaran muzium.	4.78
Kelajuan pergerakan terasa selesa (tidak terlalu laju atau perlahan).	4.78
Saya tidak mengalami rasa pening atau ketidakselesaan (motion sickness) semasa bergerak.	4.74
Saya tidak menghadapi masalah untuk melawat semua kawasan pameran, termasuk naik ke aras atas.	4.96
Purata Keseluruhan	4.81

Analisis ini menunjukkan bahawa mekanisme interaksi di dalam aplikasi ini sangat intuitif dan diterima baik oleh pengguna. Kemudahan untuk menemui dan menggunakan butang bagi membuka dan menutup panel maklumat (butang 'i' dan 'close') menerima skor purata 4.70/5.0. Majoriti besar responden (73.9%) sangat bersetuju bahawa butang-butang ini mudah ditemui dan digunakan, mengesahkan reka bentuk serta peletakannya yang efektif.

Interaksi terus dengan artifak Keris, iaitu fungsi mengambil dan menelitinya, juga mendapat sambutan yang amat memberangsangkan dengan skor purata yang tinggi iaitu 4.83/5.0. Sebanyak 87% responden sangat bersetuju bahawa proses interaksi ini terasa semula jadi dan mudah dilakukan. Keputusan ini membuktikan bahawa ciri interaksi yang paling kompleks dalam aplikasi ini telah diimplementasikan dengan jayanya, memberikan kepuasan yang tinggi kepada pengguna.

Jadual 5: *Interaksi*

Soalan	Purata
Butang untuk membuka dan menutup panel maklumat (butang 'i' dan "close") mudah ditemui dan digunakan.	4.70
Proses mengambil dan meneliti artifak Keris secara langsung terasa semula jadi dan mudah dilakukan.	4.83
Purata Keseluruhan	4.77

Analisis maklum balas kualitatif daripada responden memberikan pandangan mendalam mengenai kekuatan dan potensi penambahbaikan aplikasi "LEGACY". Apabila ditanya mengenai ciri-ciri yang paling disukai, majoriti responden secara konsisten menonjolkan elemen interaktif dan pengalaman imersif yang unik. Interaksi secara langsung dengan artifak Keris, di mana pengguna boleh "memegang" dan menelitinya dari dekat, dianggap sebagai ciri yang paling menarik. Selain itu, mereka turut menghargai keupayaan untuk melihat artifak secara terperinci dan memuji suasana muzium maya yang realistik, serta reka bentuk antara muka yang menarik.

Bagi cadangan penambahbaikan, responden mengemukakan beberapa pandangan membina untuk meningkatkan kualiti aplikasi pada masa hadapan. Cadangan utama termasuk penambahan lebih banyak artifak yang boleh berinteraksi secara langsung, memperluaskan koleksi pameran, dan menyediakan maklumat yang lebih terperinci mengenai setiap artifak. Dari segi estetika dan audio, terdapat cadangan untuk menggunakan warna yang lebih ceria, memasukkan kesan bunyi interaktif, dan menambah muzik tradisional di Menu Utama. Malah, ada juga harapan agar aplikasi ini dapat dikomersialkan dengan kerjasama Muzium Negara.

Secara keseluruhannya, maklum balas mengenai masalah teknikal adalah sangat positif. Semua responden menyatakan bahawa mereka tidak menghadapi sebarang isu teknikal yang signifikan, seperti aplikasi terhenti atau grafik yang tidak dipaparkan dengan betul. Ini membuktikan bahawa aplikasi "LEGACY" mempunyai tahap kestabilan yang tinggi. Komen tambahan juga sangat menggalakkan, dengan ramai responden memberikan pujian seperti "terbaik" dan "mantap", serta menyatakan harapan agar aplikasi ini dapat dibangunkan lebih lanjut. Maklum balas kualitatif ini mengukuhkan lagi dapatan daripada analisis kuantitatif, menunjukkan tahap kepuasan yang tinggi terhadap aplikasi ini.

5.0 KESIMPULAN

Projek pembangunan aplikasi Realiti Maya (VR) "Legacy: Muzium Maya Warisan Budaya Malaysia" telah berjaya disiapkan dengan cemerlang, mencapai objektif utamanya dalam menangani isu keterhadapan akses kepada muzium fizikal dan meningkatkan pendedahan warisan budaya kepada generasi muda. Dengan memanfaatkan teknologi imersif, projek ini bukan sahaja berfungsi sebagai platform pendidikan moden, tetapi juga berjaya memberikan pengalaman yang menarik dan bermakna. Pendekatan pembangunan Agile yang fleksibel membolehkan maklum balas pengguna diintegrasikan secara berterusan, menghasilkan sistem yang stabil dan komprehensif. Berdasarkan hasil pengujian, aplikasi ini menerima skor purata keseluruhan yang amat tinggi, secara konsisten melebihi 4.7 daripada 5.0, membuktikan bahawa reka bentuk antara muka, sistem navigasi, dan interaksi yang dibangunkan adalah intuitif dan sangat memuaskan pengguna. Kejayaan projek ini bukan sekadar pencapaian teknikal, tetapi juga memberikan impak yang signifikan kepada masyarakat dengan menjadikan warisan budaya Malaysia lebih mudah diakses dan relevan di era digital ini.

6.0 PENGHARGAAN

Dengan penuh kesyukuran, saya merakamkan setinggi-tinggi penghargaan kepada Tuhan yang Maha Esa atas limpahan rahmat, hidayah, dan kekuatan yang diberikan sepanjang perjalanan saya dalam menyiapkan tesis ini.

Ucapan terima kasih yang tidak terhingga saya tujukan kepada penyelia saya, Dr. Hadi Affendy bin Dahlan, di atas bimbingan, tunjuk ajar, serta dorongan yang tidak pernah putus sepanjang proses penyelidikan dan penulisan tesis ini. Kecemerlangan mereka dalam memberikan panduan telah membantu saya menghasilkan kerja yang terbaik.

Seterusnya, saya ingin menyampaikan penghargaan kepada Fakulti Taknologi Sains dan Maklumat (FTSM), Universiti Kebangsaan Malaysia (UKM), atas penyediaan kemudahan penyelidikan, infrastruktur, serta sokongan teknikal yang sangat membantu kelancaran projek ini.

Akhir sekali, ucapan terima kasih kepada ahli keluarga, rakan-rakan, dan semua individu yang telah memberikan sokongan moral, motivasi, serta bantuan langsung atau tidak langsung dalam menyempurnakan tesis ini. Sumbangan kalian amat saya hargai. Sekian, terima kasih.

7.0 RUJUKAN

B. De Carolis, N. Macchiarulo and M. A. Bochicchio, "AI-Assisted Virtual Reality for Cultural Heritage Education: The Experience of the MARTA Museum," 2023 6th Experiment@ International Conference (exp.at'23), Évora, Portugal, 2023, pp. 152-156, doi: 10.1109/exp.at2358782.2023.10545657. keywords: {COVID-

19;Pandemics;Virtual assistants;Education;Natural languages;Virtual reality;Virtual museums;Virtual Reality;Virtual Assistant;Museum},

C. Terlikkas and C. Poullis, "Towards a more effective way of presenting Virtual Reality museums exhibits," 2014 International Conference on Computer Vision Theory and Applications (VISAPP), Lisbon, Portugal, 2014, pp. 237-241. keywords: {Virtual environments;Visualization;Games;Three-dimensional displays;Navigation;Spinning;Virtual Reality Museums;VR Systems;Visualization;Modeling},

H. Shih, "Heritage Museum Evolution: Virtual Realitizing Heritage Museums in Taiwan with An Exploratory Virtual Reality Museum Project," 2023 Pacific Neighborhood Consortium Annual Conference and Joint Meetings (PNC), Okinawa, Japan, 2023, pp. 38-43, doi: 10.23919/PNC58718.2023.10314973. keywords: {Industries;Pandemics;Conferences;Virtual reality;Museums;Cultural differences;Stakeholders;Virtual Reality Museum;VR;Tao Culture;Lanyu;Taiwan},

Kim, Y. M., Rhiu, I., & Yun, M. H. (2019). A Systematic Review of a Virtual Reality System from the Perspective of User Experience. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 36(10), 893–910. <https://doi.org/10.1080/10447318.2019.1699746>

Marta. 2024. August 14. What is a Virtual Museum: Benefits, Types and Creation Process | 3D-Ace. 3D-Ace Studio. <https://3d-ace.com/blog/virtual-museum/>

P. -P. Li and P. -L. Chang, "A study of Virtual Reality experience value and learning efficiency of museum - using Shihhsanhang museum as an example," 2017 International Conference on Applied System Innovation (ICASI), Sapporo, Japan, 2017, pp. 1158-1161, doi: 10.1109/ICASI.2017.7988391. keywords: {Virtual reality;Education;Solid modeling;Conferences;Technological innovation;Cultural differences;Creativity;Virtual Reality;Museum;Museum Learning;User Experience},

The benefits of virtual museums – ARTDEX. (n.d.-b). <https://www.artdex.com/the-benefits-of-virtual-museums-2/>

- X. Xia, Y. Li and H. -N. Liang, "CovisitVM: Cross-Reality Virtual Museum Visiting," 2024 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces Abstracts and Workshops (VRW), Orlando, FL, USA, 2024, pp. 1074-1075, doi: 10.1109/VRW62533.2024.00333. keywords: *{Three-dimensional displays; Head-mounted displays; Navigation; Conferences; Virtual environments; Collaboration; Resists; Human-centered computing - Human computer interaction (HCI) - Interaction paradigms - Virtual reality}*,
- Z. Pan, W. Chen, M. Zhang, J. Liu and G. Wu, "Virtual Reality in the Digital Olympic Museum," in IEEE Computer Graphics and Applications, vol. 29, no. 5, pp. 91-95, Sept.-Oct. 2009, doi: 10.1109/MCG.2009.103.keywords: *{Virtual reality; Animation; Information retrieval; Avatars; Navigation; Large-scale systems; Virtual environment; History; digital museum; Olympics; virtual environment; sports simulation; virtual reality}*,
- Elmqaddem, N. (2019). Augmented reality and virtual reality in education. Myth or reality?. *International journal of emerging technologies in learning*, 14(3).
- Guntur, M. I. S., Setyaningrum, W., Retnawati, H., & Marsigit, M. (2020, January). Assessing the potential of augmented reality in education. *Proceedings of the 2020 11th International Conference on E-Education, E-Business, E-Management, and E-Learning* (pp. 93-97).
- Gonzalez, A. A., Lizana, P. A., Pino, S., Miller, B. G., & Merino, C. (2020). Augmented reality-based learning for the comprehension of cardiac physiology in undergraduate biomedical students. *Advances in Physiology Education*, 44(3), 314-322.
- Ahmad, J., & Meerah, S. (2002). Pemupukan budaya penyelidikan di kalangan guru di sekolah: Satu penilaian. Bangi: Universiti Kebangsaan Malaysia.
- Johnson, L., Levine, A., Smith, R., & Stone, S. (2010). The 2010 Horizon Report. New media consortium. 6101 West Courtyard Drive Building One Suite 100, Austin, TX 78730. Horizon.
- Li, W., Grossman, T., & Fitzmaurice, G. (2014, April). CADament: a gamified multiplayer software tutorial system. *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (pp. 3369-3378).

- Lund, A. M. (2001). Measuring usability with the use questionnaire. *Usability interface*, 8(2), 3-6.
- Manzano-León, A., Camacho-Lazarraga, P., Guerrero, M. A., Guerrero-Puerta, L., Aguilar-Parra, J. M., Trigueros, R., & Alias, A. (2021). Between level up and game over: A systematic literature review of gamification in education. *Sustainability*, 13(4), 2247.
- Nuanmeesri, S., Kadmateekarun, P., & Poomhiran, L. (2019). Augmented Reality to Teach Human Heart Anatomy and Blood Flow. *Turkish Online Journal of Educational Technology-TOJET*, 18(1), 15-24.
- O'Shea, P., & Scapin, T. (2020). A Review of Commercially Available Educational Augmented Reality Apps. *Innovate Learning Summit*, 251-261.
- Osadchyi, V. V., Valko, N. V., & Kuzmich, L. V. (2021, March). Using augmented reality technologies for STEM education organization. *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1840, No. 1, pp. 012027). IOP Publishing.
- Pallant, J. (2007). SPSS Survival Manual: A Step-By-Step Guide To Data Analysis Using SPSS for Windows. *CrowsNest West: Allen & Unwin*.
- Ramli, R. Z., Marobi, N. A., & Ashaari, N. S. (2021). Microorganisms: Integrating augmented reality and gamification in a learning tool. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 12(6).
- Roopa, D., Prabha, R., & Senthil, G. A. (2021). Revolutionizing education system with interactive augmented reality for quality education. *Materials Today: Proceedings*, 46, 3860-3863.
- Rozhenko, O. D., Darzhaniya, A. D., Bondar, V. V., & Mirzoian, M. V. (2021). Gamification of education as an addition to traditional educational technologies at the university. In *CEUR Workshop Proceedings* (Vol. 2914, pp. 457-464).
- Saleem, A. N., Noori, N. M., & Ozdamli, F. (2021). Gamification applications in E-learning: a literature review. *Technology, Knowledge and Learning*, 1-21.
- Vidal-Balea, A., Blanco-Novoa, Ó., Fraga-Lamas, P., & Fernández-Caramés, T. M. (2021). Developing the next generation of augmented reality games for pediatric healthcare: an open-source collaborative framework based on arc42 for implementing teaching, training and monitoring applications. *Sensors*, 21(5), 1865.

Zhao, F. (2019). Using Quizizz to Integrate Fun Multiplayer Activity in the Accounting Classroom. *International Journal of Higher Education*, 8(1), 37-43.

Muhammadd Danial Hafiez bin Mohammad Zulkiffly (A193441)

Dr. Hadi Affendy bin Dahlan

Fakulti Teknologi & Sains Maklumat

Universiti Kebangsaan Malaysia

Copyright@FTSM
UKM