

RESEARCH ARTICLE

Ruang Pamer Virtual Berbasis *Mixed Reality* Untuk Mempermudah Penyampaian Informasi

Andini Aulia Pasha, Zefanya Hasiholan Manurung* and Fat'hah Noor Prawita

Fakultas Ilmu Terapan, Universitas Telkom, Bandung, 40257, Jawa Barat, Indonesia

* Corresponding author: fatahnoorprawita@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

The advancement of Virtual Reality (VR) and Mixed Reality (MR) technology has significantly impacted the fields of education and product design, enabling interactive and immersive experiences for users. However, physical exhibitions often face limitations in space and accessibility, hindering the effectiveness of product information delivery. Therefore, a MR-based solution has been developed to overcome these constraints by creating a flexible and interactive virtual exhibition space, allowing visitors to explore products in greater depth without physical limitations. The NusantaraRoom application was developed using the V-Model method with a systematic approach to requirement analysis, design, implementation, testing, and deployment. Development was carried out using Unity and Meta Quest to create an immersive and optimized MR environment for showcasing student design products. 3D product models were created using Blender, optimized to maintain high application performance. Testing was conducted in stages, including validation testing through User Acceptance Testing (UAT) to ensure the application's alignment with user needs. With NusantaraRoom, virtual exhibitions can enhance visitor experiences in understanding product details through intuitive digital interaction. This solution also provides broader accessibility for audiences from various locations while reducing the need for physical exhibition space and resources. The implementation of MR technology demonstrates significant potential in transforming how products are presented and accessed in academic and creative industries

Key words: *Mixed Reality, Pameran Virtual, Desain Produk, Meta Quest*

Pendahuluan

Pameran merupakan salah satu metode penting dalam menyampaikan informasi produk kepada khalayak. Bagi mahasiswa Desain Produk, pameran menjadi medium untuk menunjukkan hasil karya, mengomunikasikan fungsi dan nilai estetika, serta menerima tanggapan langsung dari pengunjung [1]. Namun, penyelenggaraan pameran fisik tidak lepas dari berbagai kendala, seperti keterbatasan ruang dan lokasi geografis. Situasi ini menyebabkan jumlah produk yang dapat ditampilkan menjadi terbatas dan mengurangi kualitas pengalaman eksplorasi bagi pengunjung [2]. Keterbatasan ruang pameran juga berdampak pada kurang optimalnya penyampaian informasi produk. Dalam kondisi fisik, pengunjung hanya dapat melihat produk dari satu sudut, tanpa kebebasan untuk memutar, memperbesar, atau menjelajahi fitur desain secara detail.

Hal ini mengurangi pemahaman menyeluruh terhadap produk, khususnya pada karya desain tiga dimensi yang memiliki elemen bentuk kompleks. Kurangnya interaktivitas ini menjadi salah satu tantangan utama dalam menciptakan pengalaman pameran yang edukatif dan

menarik [3]. Untuk menjawab tantangan tersebut, teknologi imersif mulai dimanfaatkan dalam penyelenggaraan pameran. Salah satu teknologi yang potensial adalah *Mixed Reality* (MR), yaitu teknologi yang menggabungkan elemen dunia nyata dan dunia digital secara simultan [4]. Berbeda dengan *Virtual Reality* (VR) yang sepenuhnya membawa pengguna ke lingkungan digital, MR memungkinkan pengguna tetap berada di dunia nyata, namun dapat berinteraksi langsung dengan objek virtual yang ditampilkan secara kontekstual [5]. Dengan menggunakan perangkat seperti *Meta Quest 3*, pengguna dapat melihat objek 3D yang diproyeksikan ke ruang nyata, serta memanipulasinya melalui gerakan tangan atau kontrol visual. Fitur ini memberikan pengalaman eksplorasi produk yang lebih mendalam, alami, dan realistis [6]. MR juga mendukung persepsi spasial dan kedalaman yang tinggi, sehingga pengguna dapat memahami struktur, proporsi, serta fitur produk secara lebih detail dibandingkan dengan metode visualisasi dua dimensi atau pameran fisik konvensional.

Interaksi yang ditawarkan tidak hanya bersifat visual, tetapi juga edukatif, karena dapat disertai dengan informasi tambahan dalam bentuk narasi teks, suara, atau animasi interaktif [7]. Hal ini membuka peluang baru dalam penyampaian informasi produk yang lebih efektif

dan menarik. Melihat potensi tersebut, dikembangkanlah sebuah aplikasi ruang pameran virtual berbasis MR yang dirancang untuk melengkapi ruang pameran konvensional dan menjadikannya sebagai ruang pameran *hybrid*. Aplikasi ini memanfaatkan perangkat *Meta Quest* untuk menyajikan pengalaman eksplorasi produk yang imersif, interaktif, dan dapat diakses dari mana saja, baik oleh pengunjung yang hadir langsung di lokasi maupun mereka yang terkendala secara geografis. Melalui fitur seperti rotasi, *zoom in*, dan *zoom out*, pengguna dapat melihat dan memahami produk dari berbagai sudut dengan lebih mendalam. Dengan demikian, solusi ini diharapkan dapat menjadi alternatif pameran yang lebih inklusif, efisien, dan mendukung proses pembelajaran serta presentasi karya desain secara optimal.

Tinjauan Penelitian

Ruang Pameran

Ruang pameran merupakan elemen penting dalam dunia desain, edukasi, dan komunikasi visual, berfungsi sebagai medium antara pencipta karya dan audiens [8]. Di lingkungan akademik seperti Fakultas Industri Kreatif (FIK) Telkom University, ruang pameran dimanfaatkan oleh mahasiswa untuk menampilkan karya desain dalam konteks pembelajaran, asesmen, maupun publikasi. Namun demikian, keterbatasan area fisik menjadi salah satu tantangan utama. Jumlah karya yang dapat ditampilkan secara bersamaan sangat terbatas, terutama ketika ruang pameran digunakan oleh banyak mahasiswa secara bergiliran. Kondisi ini berpotensi menurunkan kualitas pengalaman eksplorasi bagi pengunjung karena keterbatasan interaksi dan informasi visual terhadap karya yang dipamerkan [9]. Untuk menciptakan ruang pameran konvensional yang efektif, sejumlah prinsip desain ruang perlu diperhatikan. Prinsip *way-finding* atau kemudahan navigasi menjadi krusial agar pengunjung tidak merasa tersesat dan dapat mengikuti alur pameran secara intuitif [10].

Elemen-elemen seperti pencahayaan yang optimal, proporsi dan tata letak ruang yang seimbang, serta penempatan media informasi (seperti label produk, narasi visual, atau teks penjelasan) memiliki peran penting dalam menyampaikan pesan dan makna dari karya yang ditampilkan. Selain itu, fleksibilitas ruang juga perlu dipertimbangkan agar mampu mengakomodasi berbagai jenis karya, mulai dari dua dimensi, tiga dimensi, hingga karya berbasis teknologi interaktif [11]. Ruang pameran yang dirancang dengan baik tidak hanya menampilkan objek, tetapi juga membangun narasi, mengarahkan persepsi, dan menciptakan keterlibatan emosional pengunjung. Di lingkungan kampus, tantangan lain yang sering muncul adalah kebutuhan untuk menampilkan beragam karya secara bersamaan dalam waktu dan ruang yang terbatas. Situasi ini menuntut adanya strategi desain ruang yang tidak hanya bergantung pada elemen fisik, tetapi juga memungkinkan integrasi elemen digital sebagai pelengkap. Di sinilah muncul potensi penggabungan antara pameran fisik dan pendekatan berbasis teknologi imersif, seperti penggunaan ruang pameran berbasis MR, untuk menjawab keterbatasan ruang tanpa menghilangkan esensi interaksi dalam pameran konvensional.

Ruang Pameran Virtual

Ruang pameran virtual merupakan representasi digital dari ruang pameran fisik yang memungkinkan pengguna untuk mengeksplorasi karya dalam lingkungan tiga dimensi, dengan bantuan perangkat teknologi imersif seperti *Virtual Reality* (VR) atau *Mixed Reality* (MR) [12]. Pendekatan ini tidak dimaksudkan untuk sepenuhnya menggantikan pameran fisik, tetapi untuk melengkapi keterbatasan ruang dan akses yang sering menjadi kendala dalam penyelenggaraan pameran konvensional. Salah satu pendekatan yang relevan dalam hal ini adalah menciptakan ruang pameran hibrida, di mana karya fisik dan virtual dapat disajikan secara bersamaan dalam satu ruang pameran yang sama. Contoh implementasinya dapat ditemukan pada skema ruang pameran di lingkungan

akademik seperti FIK Telkom University, yang memiliki keterbatasan area. Dalam model ini, beberapa karya ditampilkan secara fisik, sementara beberapa spot atau meja kosong disiapkan secara khusus untuk menampilkan produk digital berbasis MR. Spot tersebut dapat dilengkapi dengan marker atau alat bantu visual yang memungkinkan pengunjung menggunakan perangkat MR, seperti *headset Meta Quest 3* untuk melihat dan berinteraksi dengan produk digital dalam bentuk objek 3D. Meskipun objek ditampilkan secara virtual, pengunjung tetap berada di lingkungan fisik pameran, sehingga pengalaman tetap terasa nyata dan kontekstual. Keunggulan MR dalam konteks ini adalah kemampuannya untuk mempertahankan kesadaran terhadap ruang nyata sembari menghadirkan objek digital yang tampak seolah benar-benar hadir di lingkungan sekitar [13]. Pengguna dapat memutar, memperbesar, atau menjelajahi objek dari berbagai sudut pandang secara langsung. Dengan begitu, keterbatasan sudut pandang atau ruang fisik dapat diatasi, tanpa kehilangan kehadiran fisik yang menjadi kekuatan utama pameran konvensional [14]. Selain itu, ruang pameran virtual berbasis MR juga menawarkan fleksibilitas tinggi dalam penyampaian informasi. Produk digital yang ditampilkan dapat dilengkapi dengan narasi suara, animasi interaktif, petunjuk visual, atau video proses pembuatan yang sulit dihadirkan dalam pameran fisik biasa. Integrasi berbagai media ini mengubah pameran menjadi ruang naratif yang interaktif dan eksploratif, memungkinkan pengunjung memahami proses, nilai fungsional, serta aspek estetika dari karya secara menyeluruh. Pendekatan ini tidak hanya memperkaya pengalaman pengunjung, tetapi juga membuka ruang baru dalam komunikasi desain di era digital [15].

Penyampaian Informasi

Penyampaian informasi merupakan elemen penting dalam proses komunikasi antara penyelenggara pameran dan pengunjung. Dalam konteks ruang pameran, baik fisik maupun virtual, informasi harus disampaikan secara jelas, relevan, dan mudah dipahami untuk mendukung pengalaman pengunjung dalam mengeksplorasi produk atau karya yang ditampilkan. Informasi ini bisa berupa deskripsi produk, fitur, bahan, proses pembuatan, hingga nilai estetika dan fungsionalnya. Ketepatan dalam menyusun informasi berperan besar dalam membantu pengunjung memahami makna dari suatu karya dan membentuk persepsi yang sesuai dengan maksud pencipta [16]. Dalam ruang pameran virtual berbasis teknologi imersif seperti *Mixed Reality* (MR), penyampaian informasi mengalami transformasi dari format konvensional menjadi lebih dinamis dan interaktif. Tidak hanya mengandalkan teks atau gambar statis, informasi kini dapat disajikan dalam bentuk suara (narasi), animasi, model 3D interaktif, dan video [5].

Hal ini membuat proses penyampaian informasi menjadi lebih kontekstual dan mendalam karena memungkinkan pengguna untuk berinteraksi langsung dengan konten. Misalnya, pengguna dapat mengarahkan tangan atau pointer ke objek 3D tertentu untuk menampilkan deskripsi, memperbesar bagian produk, atau mendengarkan penjelasan audio yang mendetail. Kualitas penyampaian informasi yang baik juga ditentukan oleh seberapa intuitif dan konsisten antarmuka pengguna dalam memberikan petunjuk. Aplikasi pameran virtual perlu mempertimbangkan hierarki informasi, letak penempatan elemen informasi dalam ruang 3D, serta kejelasan navigasi agar pengguna tidak merasa bingung atau kehilangan arah saat menjelajahi ruang pameran [17]. Penggabungan antara visual, teks, suara, dan gerakan menjadi strategi multimodal yang mendukung berbagai gaya belajar pengguna serta memperkaya pengalaman eksplorasi secara menyeluruh. Dengan pendekatan ini, penyampaian informasi tidak hanya bersifat satu arah, tetapi menjadi pengalaman dua arah yang mengajak pengguna untuk aktif memahami dan mengeksplorasi setiap bagian dari karya yang ditampilkan.

Mixed Reality (MR)

MR adalah konsep yang berada pada spektrum *reality virtuality continuum* yang diperkenalkan oleh Milgram dan Kishino. Spektrum ini menggambarkan perpaduan antara dunia nyata dan virtual, dimana MR berada di antara AR yang memperkaya dunia nyata dengan elemen digital, dan VR yang sepenuhnya menggantikan dunia nyata dengan lingkungan digital [18]. Dalam MR, elemen digital dan fisik tidak hanya digabungkan tetapi juga dapat saling berinteraksi secara dinamis, menciptakan pengalaman yang imersif dan interaktif. Teknologi MR pada dasarnya memanfaatkan perangkat keras seperti *headset* VR (misalnya, *Meta Quest*) untuk menyediakan visualisasi elemen digital yang terintegrasi dengan lingkungan nyata pengguna [19]. Dalam aplikasi ruang pameran virtual, teknologi ini memungkinkan pengguna untuk menjelajahi produk seolah-olah berada dalam ruang pameran fisik. Komponen-komponen utama dalam pengembangan aplikasi ruang pameran virtual ini mencakup *Real-Time Rendering*, *Tracking*, *Spatial Mapping*, Visualisasi Objek 3D, dan *Passthrough* [20].

Interaksi Pengguna di Ruang Virtual

Dalam dunia nyata, manusia berinteraksi dengan objek melalui gerakan tangan, penglihatan, dan orientasi tubuh secara alami. Pengalaman ini berusaha direplikasi dalam ruang virtual melalui berbagai teknologi interaksi yang memungkinkan pengguna merespons dan memanipulasi elemen digital dengan cara yang serupa. Pada aplikasi berbasis VR dan MR, kemampuan untuk melakukan interaksi yang intuitif menjadi kunci dalam menciptakan pengalaman yang imersif dan realistis. Dalam konteks ruang pameran virtual, interaksi pengguna memungkinkan mereka untuk melihat produk dari berbagai sudut, memperbesar atau memperkecil tampilan, serta menempatkan ulang objek sesuai kebutuhan. Agar pengalaman ini terasa alami, sistem MR biasanya mengadopsi dua metode utama, yaitu *gesture-based interaction* dan *controller-based interaction*, yang masing-masing memberikan cara berbeda dalam mengendalikan objek virtual [21].

Unity

Dalam mengembangkan ruang pameran virtual berbasis *Mixed Reality* (MR), dibutuhkan perangkat lunak yang mampu memvisualisasikan dan mengelola objek 3D secara efektif. Salah satu *platform* yang paling banyak digunakan untuk tujuan ini adalah *Unity*, sebuah *game engine lintas platform* yang mendukung pengembangan aplikasi interaktif berbasis waktu nyata, termasuk VR dan MR. *Unity* kompatibel dengan berbagai perangkat keras seperti *Meta Quest*, serta menyediakan kemampuan grafis canggih untuk menciptakan visualisasi realistis dan pengalaman pengguna yang imersif. Keunggulan utama *Unity* terletak pada fleksibilitas dan kemudahan penggunaannya. *Platform* ini menggunakan bahasa pemrograman C#, memungkinkan pengembang mengatur logika aplikasi serta membangun interaksi kompleks antara pengguna dan elemen virtual. Dalam konteks ruang pameran virtual, *Unity* sangat efektif untuk mengelola perilaku objek 3D, sistem navigasi, serta berbagai bentuk interaksi pengguna.

Fungsi utama *Unity* dalam pengembangan aplikasi MR mencakup tiga aspek penting: rendering, integrasi perangkat, dan pengelolaan sumber daya. Untuk rendering, *Unity* mendukung *real-time* rendering dengan teknologi seperti PBR dan *Global Illumination*, yang menghasilkan pencahayaan dan material objek realistis sesuai karakteristik fisiknya. Sementara itu, integrasi perangkat difasilitasi oleh SDK seperti *Meta Quest SDK*, mempermudah implementasi fitur *tracking*, *spatial mapping*, dan manipulasi objek secara *real-time* [22]. Selain itu, *Unity* menyediakan antarmuka visual yang intuitif seperti *Scene View*, *Inspector*, dan *Timeline*, serta *Asset Store* yang memudahkan pengembang mengakses aset siap pakai seperti model 3D, audio, dan skrip tambahan. Untuk mengoptimalkan pengembangan aplikasi MR di

Unity, digunakan dua fitur utama dari ekosistem *Extended Reality* (XR), yaitu *XR Plugin Management* dan *XR Interaction Toolkit*. Karena MR merupakan bagian dari XR, kedua fitur ini sangat relevan dan mendukung proses pengembangan aplikasi NusantaraRoom, khususnya dalam integrasi perangkat dan penyusunan sistem interaksi spasial.

Visual Studio Code

Visual Studio Code (VS Code) adalah editor kode sumber lintas *platform* yang ringan dan fleksibel, yang banyak digunakan oleh pengembang untuk menulis dan mengelola kode dalam berbagai bahasa pemrograman, termasuk C# [23]. Dalam pengembangan aplikasi NusantaraRoom berbasis MR, VS Code digunakan sebagai lingkungan pengembangan utama untuk menyusun logika program menggunakan bahasa C# yang terintegrasi dengan *Unity*. VS Code menyediakan berbagai fitur seperti *IntelliSense*, *debugging*, dan integrasi Git, yang mempercepat proses penulisan kode dan pelacakan kesalahan. Dengan dukungan ekstensi seperti *C# for Visual Studio Code (powered by OmniSharp)*, editor ini memungkinkan penulisan skrip yang efisien dan kompatibel dengan proyek *Unity*. Penggunaan VS Code juga mendukung navigasi struktur kode yang lebih rapi melalui fitur *outline*, *auto-formatting*, serta linting untuk mendeteksi kesalahan sintaksis secara langsung. Editor ini sangat membantu dalam menyusun fungsi interaksi, pengelolaan logika UI, serta integrasi API yang digunakan dalam aplikasi ruang pameran virtual.

Meta Quest SDK

Dalam pengembangan aplikasi ruang pameran virtual berbasis *Mixed Reality*, *Meta Quest SDK* berperan sebagai jembatan antara sistem pengembangan dan perangkat keras *headset* seperti *Meta Quest*. SDK ini menyediakan berbagai alat dan pustaka yang memungkinkan pengembang mengakses fitur-fitur kunci seperti *hand tracking*, *spatial mapping*, dan *passthrough*, yang krusial untuk menciptakan pengalaman pameran yang imersif, realistis, dan interaktif [24]. Salah satu keunggulan utama *Meta Quest SDK* adalah kemampuannya untuk berintegrasi langsung dengan *engine* seperti *Unity* dan *Unreal Engine*, sehingga mempercepat proses pengembangan dan membantu pengembang mengoptimalkan performa aplikasi. Melalui integrasi ini, pengguna dapat menjelajahi ruang virtual, memanipulasi objek 3D, dan berinteraksi dengan elemen digital secara intuitif di lingkungan *Mixed Reality*. SDK ini juga mendukung berbagai fitur canggih, termasuk API untuk pelacakan tangan alami, yang memungkinkan interaksi tanpa perangkat tambahan.

Teknologi *spatial mapping* memungkinkan perangkat memetakan lingkungan fisik secara akurat, lalu mengintegrasikannya dengan elemen virtual untuk menciptakan pengalaman yang selaras dengan dunia nyata. Sementara itu, fitur *passthrough* memungkinkan pengguna tetap melihat lingkungan fisik melalui kamera *headset*, dengan lapisan informasi digital yang ditampilkan secara *real-time*, mendukung integrasi harmonis antara dunia fisik dan virtual. Dengan dukungan dokumentasi yang lengkap dan komunitas pengembang yang aktif, *Meta Quest SDK* menawarkan fleksibilitas tinggi dalam pengembangan aplikasi MR, serta membuka peluang bagi inovasi interaktif di berbagai bidang, termasuk pendidikan, seni, dan desain produk.

Figma

Figma adalah sebuah *platform* desain antarmuka berbasis web yang memungkinkan pengguna untuk membuat, mengedit, dan berkolaborasi dalam pembuatan desain secara *real-time*. Sebagai alat desain UI/UX yang populer, Figma mendukung berbagai kebutuhan visual seperti wireframe, prototipe interaktif, hingga mockup antarmuka aplikasi dengan efisien dan fleksibel. Salah satu keunggulan utama

Figma adalah kemampuannya untuk dijalankan langsung melalui browser tanpa memerlukan instalasi tambahan, serta fitur kolaboratif yang memungkinkan beberapa pengguna mengakses dan mengedit dokumen secara bersamaan [25]. Figma juga menyediakan berbagai komponen siap pakai dan *plugin* yang mempermudah proses desain, konsistensi antarmuka, serta dokumentasi visual. Dalam pengembangan aplikasi NusantaraRoom, Figma digunakan untuk merancang desain antarmuka pengguna, mulai dari tampilan awal, halaman menu, hingga *layout* interaksi produk. Proses ini membantu memastikan bahwa alur navigasi dan elemen visual dalam aplikasi sesuai dengan kebutuhan pengguna serta mendukung pengalaman penggunaan yang optimal di lingkungan *Mixed Reality*.

Metode Penelitian

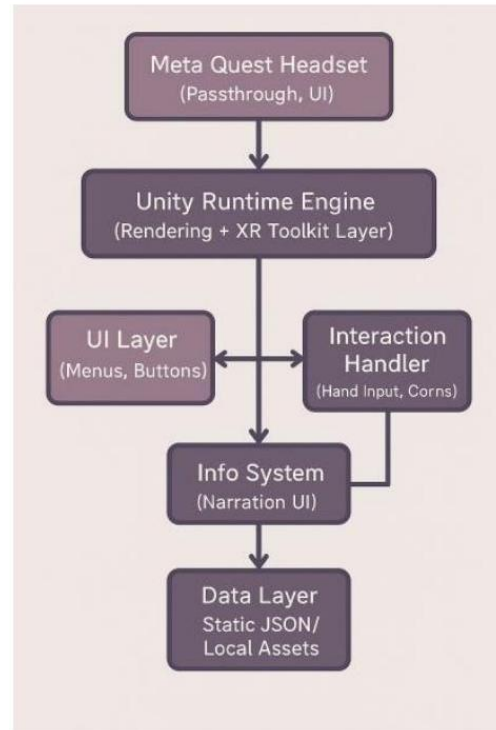
Analisis Kebutuhan Pengguna

Analisis kebutuhan dilakukan untuk mengidentifikasi kebutuhan, ekspektasi, dan keterbatasan pengguna akhir terhadap aplikasi yang dikembangkan. Informasi dikumpulkan melalui wawancara dengan calon pengguna, yakni mahasiswa Program Studi Desain Produk Universitas Telkom yang berperan sebagai penyelenggara pameran serta pencipta produk. Proses ini mencakup identifikasi karakteristik pengguna, aktivitas yang dilakukan dalam konteks pameran, serta kendala yang dihadapi dalam menyampaikan informasi produk secara efektif. Hasil analisis menunjukkan bahwa pengguna memerlukan sebuah *platform* yang mampu menyajikan produk secara visual dari berbagai sudut pandang, menyampaikan informasi secara rinci dan interaktif, serta mempermudah pengunjung dalam navigasi konten pameran secara mandiri. Selain itu, aplikasi juga diharapkan dapat mengatasi keterbatasan ruang dan waktu yang umum terjadi pada pelaksanaan pameran fisik. Temuan-temuan ini kemudian diterjemahkan ke dalam daftar kebutuhan fungsional yang menjadi dasar dalam proses perancangan fitur aplikasi.

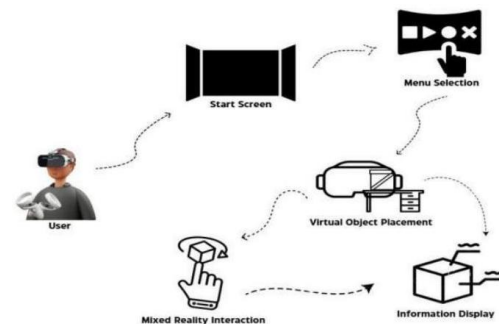
Hasil wawancara menunjukkan bahwa para pengguna mendukung konsep pameran *hybrid* berbasis teknologi imersif. Penyelenggara menyoroti keterbatasan ruang fisik dan potensi penggunaan *area* khusus untuk menampilkan produk virtual, sementara pencipta karya menginginkan fitur interaktif seperti rotasi objek, zoom, dan narasi penjelasan desain. Hal ini mengindikasikan kebutuhan akan pengalaman eksplorasi karya yang imersif, informatif, dan tetap terintegrasi dengan pameran fisik. Tujuan pengembangan aplikasi ini bukan untuk menggantikan pameran konvensional, melainkan sebagai pelengkap dalam bentuk ruang pameran *hybrid*. Pendekatan ini relevan dengan kondisi di lingkungan FIK Telkom University yang memiliki keterbatasan ruang dan kapasitas tampilan karya. Teknologi *Mixed Reality* (MR) memungkinkan karya yang tidak tertampung secara fisik tetap dapat diakses secara virtual. Selain mengatasi keterbatasan ruang, pendekatan *hybrid* juga memperluas akses bagi pengunjung yang terhambat oleh faktor geografis. Pengalaman pameran tetap dapat dinikmati melalui perangkat MR, menjadikannya lebih inklusif, fleksibel, dan menjangkau audiens yang lebih luas.

Perancangan Aplikasi

Aplikasi ruang pameran virtual yang dikembangkan diberi nama NusantaraRoom, dan dibangun sebagai aplikasi *standalone* yang dijalankan langsung melalui perangkat *Meta Quest Headset*, tanpa memerlukan koneksi ke server eksternal. Arsitektur aplikasi ini dapat dilihat pada Gambar 1 berikut. Aplikasi ini beroperasi di atas *Unity Runtime Engine* yang bertanggung jawab untuk proses *real-time rendering* dan pengelolaan interaksi spasial melalui lapisan *XR Toolkit*. *Unity* menjadi penghubung utama antara perangkat keras *headset* dengan lapisan-lapisan fungsional aplikasi lainnya. Lapisan *UI Layer* menyediakan elemen-elemen antarmuka seperti tombol dan menu navigasi yang



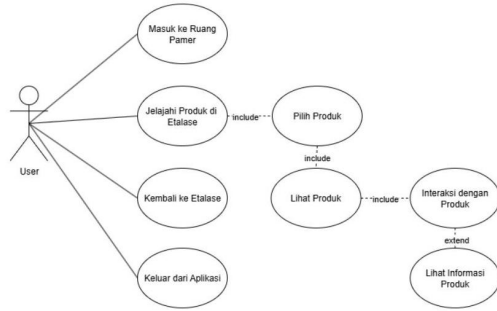
Gambar 1. Arsitektur Aplikasi



Gambar 2. Alur Interaksi Pengguna

diakses pengguna melalui tampilan *headset*. Lapisan ini dirancang untuk *merespons input* dari *Interaction Handler*, yaitu modul yang menangani gerakan tangan atau *input* dari kontroler menggunakan sistem pelacakan internal perangkat (*insideout tracking*).

Interaksi yang dilakukan pengguna, seperti memilih objek atau menggerakkan produk 3D, diproses melalui modul *Interaction Handler* dan diteruskan ke subsistem lain seperti *Info System*, yang menampilkan narasi atau deskripsi produk dalam bentuk teks UI. Seluruh data seperti model 3D, informasi naratif, dan konfigurasi interaksi disimpan secara lokal dalam *Data Layer*, menggunakan file statis seperti JSON dan aset *Unity* yang telah dikompilasi di dalam aplikasi. Karena tidak bergantung pada API eksternal atau *cloud storage*, seluruh proses berlangsung secara lokal di dalam *headset*. Dengan pendekatan arsitektur ini, NusantaraRoom dirancang untuk memberikan pengalaman *Mixed Reality* yang imersif dan stabil, serta dapat dijalankan secara fleksibel di berbagai lokasi pameran tanpa bergantung pada konektivitas internet.



Gambar 3. Alur Interaksi Pengguna

Table 1. Kebutuhan Hardware dan Software

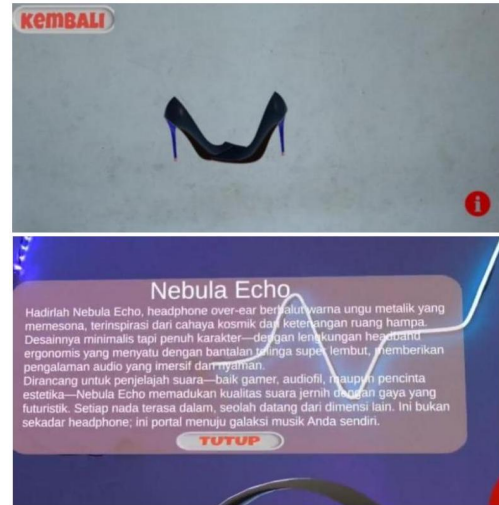
Hardware	Software
Laptop HP Envy X360: AMD Ryzen™ 7 4700U dan RAM 16,0 GB	Windows Operation System
Oculus Quest 3	Unity Hub 6 versi 6000.0.25f1

Alur interaksi pengguna 2 menggambarkan tahapan penggunaan aplikasi NusantaraRoom, mulai dari menjalankan aplikasi hingga berinteraksi langsung dengan objek virtual dalam ruang pameran. Aplikasi ini dirancang untuk menghadirkan pengalaman yang intuitif dan imersif melalui pemanfaatan perangkat *Mixed Reality*, memungkinkan pengguna berinteraksi secara alami dengan elemen digital yang menyatu dengan lingkungan fisik. Untuk dapat mengakses pameran, pengguna diwajibkan menggunakan perangkat *Meta Quest 3* atau yang setara. Setelah aplikasi dijalankan, pengguna akan melihat tampilan awal dengan tombol "Mulai". Selanjutnya, pengguna diarahkan ke halaman menu/etalase yang menampilkan produk-produk pameran. Produk dipilih dengan menekan salah satu item dalam daftar, yang kemudian akan ditampilkan secara virtual dan ditempatkan di atas objek fisik di dunia nyata, seperti meja. Pengguna dapat mengeksplorasi objek 3D tersebut dengan mengamati dari berbagai sudut melalui fitur interaktif yang disediakan, serta mengakses informasi tambahan berupa teks deskriptif yang menjelaskan detail produk.

Berdasarkan kebutuhan pengguna yang telah dianalisis, fitur-fitur dalam aplikasi NusantaraRoom dapat digambarkan dalam bentuk *use case diagram*, seperti ditunjukkan pada Gambar 3. Diagram ini merepresentasikan hubungan antara pengguna (aktor) dengan sistem aplikasi, serta mencakup fungsi-fungsi utama yang dapat diakses selama proses interaksi. Terdapat satu aktor utama dalam sistem, yaitu pengunjung pameran. Pengunjung dapat memulai aplikasi, mengakses menu atau etalase produk, memilih dan mengamati produk secara virtual, serta memperoleh informasi tambahan terkait produk tersebut. Selain itu, terdapat fitur tambahan seperti navigasi dan keluar aplikasi yang disediakan sebagai bagian dari fleksibilitas dalam penggunaan. Relasi antar fitur menggunakan *include* untuk proses yang wajib dilalui, seperti memulai aplikasi atau memilih produk, serta *extend* untuk proses opsional yang dapat meningkatkan pengalaman pengguna, seperti melihat informasi tambahan atau kembali ke menu utama. Dengan pendekatan ini, *use case diagram* memberikan gambaran fungsional yang terstruktur mengenai alur interaksi pengguna dalam ruang pameran virtual berbasis *Mixed Reality*.

Kebutuhan Pengembangan Aplikasi

Untuk mengimplementasikan aplikasi sesuai rancangan yang telah dibuat, dibutuhkan perangkat keras dan perangkat lunak berikut pada tabel 1.



Gambar 4. Tampilan Antarmuka Ruang Pamer NusantaraRoom

Hasil dan Pembahasan

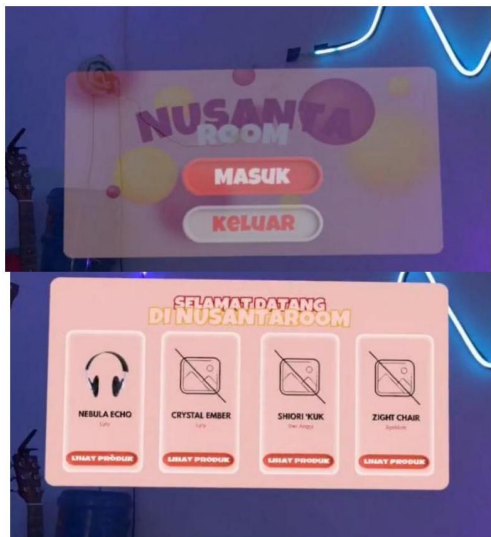
Bagian ini menjelaskan implementasi aplikasi, hingga pengujian yang dilakukan, yaitu pengujian fungsionalitas dan pengujian ke pengguna.

Implementasi Aplikasi

Aplikasi NusantaraRoom dikembangkan menggunakan *Unity* dengan dukungan *Mixed Reality Toolkit* (MRTK) dan *Meta XR SDK* untuk menghadirkan pengalaman ruang pameran berbasis *Virtual Reality* (VR). Struktur proyek menggunakan pendekatan modular dengan pembagian folder berdasarkan fungsi seperti *Scenes*, *Scripts*, *Prefabs*, dan *Models*. Arsitektur *Model-View-View Model* (MVVM) digunakan untuk memisahkan logika bisnis dari antarmuka pengguna. Hasil implementasi menunjukkan bahwa aplikasi mampu menampilkan lingkungan pameran virtual yang imersif. Pengguna dapat berpindah antar area pameran dengan kontrol berbasis tangan atau *controller* VR, serta berinteraksi dengan objek produk dalam bentuk 3D yang dapat diputar dan diperbesar. Informasi produk disajikan melalui panel teks dan narasi *audio* yang muncul saat objek dipilih. Tampilan antarmuka dirancang dalam format *worldspace* UI, yang memungkinkan pengguna untuk mengakses tombol navigasi, menu informasi, dan fitur eksplorasi produk dalam ruang virtual. Navigasi antar titik menggunakan sistem teleportasi, sementara interaksi dikendalikan melalui *XR Ray Interactor* dan *OVR Interaction Rig* untuk mendeteksi gerakan tangan dan arah pandang. Seluruh fitur diuji langsung pada perangkat *Meta Quest*, dan aplikasi berjalan secara stabil tanpa gangguan performa. Implementasi ini menunjukkan bahwa aplikasi telah memenuhi kebutuhan pengguna dalam menyampaikan informasi produk secara lebih interaktif, fleksibel, dan mendukung konsep pameran *hybrid*.

Pengujian Aplikasi

Pengujian aplikasi dilakukan melalui dua tahapan utama, yaitu pengujian fungsional dan pengujian pengguna. Pengujian fungsional bertujuan memastikan bahwa seluruh fitur aplikasi berjalan sesuai dengan rancangan dan mendukung pengalaman *Mixed Reality* secara optimal. Aspek-aspek yang diuji meliputi kemampuan *passthrough* untuk menampilkan dunia nyata melalui kamera perangkat *Meta Quest*, navigasi antarmuka seperti tombol "Mulai" dan menu transisi layar, serta akurasi *hand tracking* dan *controller tracking* dalam mengenali gestur pengguna. Interaksi dengan objek virtual, termasuk rotasi, zoom, dan



Gambar 5. Tampilan Interaksi pengguna dengan objek 3D dan tampilan panel informasi produk

penempatan pada permukaan fisik, diuji untuk menjamin responsivitas dan kesesuaian dengan ekspektasi. Visualisasi *etalase* produk dan tampilan canvas juga diuji untuk memastikan kemudahan dalam menjelajah dan memilih produk. Selain itu, fitur pemunculan informasi naratif dalam bentuk teks diuji untuk memastikan kejelasan konten yang ditampilkan saat objek dipilih.

Pengujian pengguna dilakukan terhadap 15 partisipan yang terdiri dari mahasiswa Desain Produk dan pengunjung non-mahasiswa. Tujuan pengujian ini adalah mengevaluasi kenyamanan navigasi, efektivitas fitur interaktif, serta kejelasan penyampaian informasi. Tiga pendekatan digunakan: pengujian langsung menggunakan perangkat *Meta Quest 3*, sesi jarak jauh melalui *Google Meet*, dan pengujian mandiri dengan video demonstrasi. Hasil pengujian menunjukkan bahwa aplikasi NusantaRoom mampu memberikan pengalaman pameran yang interaktif dan informatif. Fitur eksplorasi produk 3D seperti rotasi dan zoom dinilai efektif, sementara navigasi menggunakan *controller* mendapat respons positif. Namun, akurasi *hand tracking* masih memerlukan peningkatan, terutama pada kondisi pencahayaan tertentu. Mayoritas partisipan menilai penyampaian informasi dalam aplikasi lebih jelas dibandingkan pameran fisik, serta menilai aplikasi memiliki potensi besar sebagai pelengkap ruang pameran konvensional, khususnya dari sisi aksesibilitas dan efisiensi.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pengujian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa aplikasi NusantaRoom berhasil dikembangkan sebagai ruang pameran virtual berbasis *Mixed Reality* (MR) yang mampu menjawab keterbatasan ruang dan akses dalam pameran fisik. Teknologi MR memungkinkan produk ditampilkan secara virtual tanpa batasan lokasi, sehingga lebih banyak karya dapat dipamerkan secara bersamaan dan diakses dari berbagai tempat. Aplikasi ini mampu menghadirkan pengalaman eksplorasi produk yang interaktif melalui fitur rotasi objek 360°, zoom, dan navigasi menggunakan *controller*. Sebagian besar pengguna merasa terbantu dalam memahami detail produk secara visual. Meskipun demikian, fitur *hand tracking* masih perlu ditingkatkan karena belum optimal dalam kondisi tertentu, khususnya pencahayaan. Dari sisi aksesibilitas, NusantaRoom memberikan kemudahan bagi pengguna untuk menjelajahi pameran secara

fleksibel tanpa kehadiran fisik, yang pada akhirnya memperluas jangkauan audiens. Aplikasi ini dinilai potensial sebagai pelengkap pameran konvensional dan dapat mendukung penyampaian informasi produk secara lebih inklusif dan inovatif. Untuk pengembangan selanjutnya, peningkatan pada aspek teknis seperti stabilitas pelacakan gerakan serta penyempurnaan elemen visual dan navigasi diharapkan dapat meningkatkan kualitas pengalaman pengguna secara keseluruhan.

Daftar Pustaka

1. Taxén G, Hellström SO, Tobiasson H. The Well of Inventions: Learning, Interaction and Participatory Design in Museum Installations; 2000.
2. Falk JH, Dierking LD. The Museum Experience. 2nd ed. Routledge; 2016.
3. Bitgood S. An Analysis of Visitor Circulation: Movement Patterns and the General Value Principle. Curator: The Museum Journal. 2006;49(4):463-75.
4. Trunfio M, Jung T, Campana S. Mixed Reality Experiences in Museums: Exploring the Impact of Functional Elements of the Devices on Visitors' Immersive Experiences and Post-Experience Behaviours. Information & Management. 2022;59(8):103698.
5. Padmasari AC, Azizan ATB, Fadli MN, Salsabila RF. Mixed Reality in Virtual 3D Exhibitions and Digital Products. Edsence: Jurnal Pendidikan Sains. 2024;6(1):32-41.
6. Brown J, Santoso M, Wang P. User Experiences with Meta Quest 3 Passthrough Video Technology; 2023. Available at: <https://www.eurekalert.org/newsreleases/1033184>.
7. Tang Y, Au K, Leung Y. Comprehending Products with Mixed Reality: Geometric Relationships and Creativity. International Journal of Engineering Business Management. 2018;10.
8. AND Academy. Exhibition Design: Principles, Trends & Career Guide; 2025. Available at: <https://www.andacademy.com/resources/blog/interior-design/exhibition-design-guide/>.
9. Qi Y, Ni Q, Xue Q, Wu J, Lee S. Analysis of Museum Exhibition Space Optimization Design: Grounded Theory and Analytic Hierarchy Process. Asia-Pacific Journal of Convergent Research Interchange. 2024;10(9):439-53.
10. Arthur P, Passini R. Wayfinding: People, Signs, and Architecture. 2nd ed. McGraw-Hill; 1992.
11. Puspasari S. Pendampingan Perancangan Ruang Pamer Museum Dr. AK. Gani pada Pameran Bersama Museum Negeri Sumatera Selatan. ABSYARA: Jurnal Pengabdian Pada Masyarakat. 2021;2(2):239-45.
12. Saenong A, Rahman MR. Inovasi Mixed Reality Sebagai Media Pembelajaran dan Pengenalan Kampus Undipa Makassar Berbasis Virtual. Jurnal Teknologi. 2024;6(2).
13. KM Tech. Realitas Campuran (Mixed Reality): Memadukan Dunia Nyata dan Virtual; 2025. Available at: <https://www.kmtech.id/post/realitas-campuran-mixed-reality-mr-memadukan-dunia-nyata-dan-virtual>.
14. Setyo D. Digitalisasi Ruang Pameran: Potensi Media Sosial Sebagai Platform Pameran Karya Seni Rupa; 2024.
15. Nakevska M, Van Der Sanden A, Funk M, Hu J, Rauterberg M. Interactive Storytelling in a Mixed Reality Environment: The Effects of Interactivity on User Experiences. Entertainment Computing. 2017;21:97-104.
16. Falk JH, Dierking LD. The Museum Experience Revisited. Walnut Creek, California: Left Coast Press; 2013.
17. Sundari S, Adib MA, Khairani S. Perancangan Aplikasi Mixed Reality Museum Presiden Indonesia Berbasis Android Menggunakan Vuforia. Jurnal SAINTIKOM. 2024;23(1):124.

18. Skarbez R, Smith M, Whitton MC. Revisiting Milgram and Kishino's Reality-Virtuality Continuum. *Frontiers in Virtual Reality*. 2021;2.
19. Iptek Digital. Mixed Reality dalam Headset VR Meta Quest 3; 2023. Available at: <https://iptek.co.id/mixed-reality-dalam-headset-vr-meta-quest-3/>.
20. MonsterAR. Perkembangan Headset Mixed Reality Lengkap Hingga Saat Ini; 2024. Available at: <https://monsterar.net/2024/10/24/rangkuman-headset-mixed-reality-lengkap/>.
21. Microsoft. Interaction Fundamentals – Mixed Reality; 2023. Available at: <https://learn.microsoft.com/id-id/windows/mixed-reality/design/interaction-fundamentals>.
22. Alhakamy A, Tuceryan M. Real-Time Illumination and Visual Coherence for Photorealistic Augmented/Mixed Reality. *ACM Computing Surveys*. 2021;53(3):1-34.
23. Valsecchi G, Grandia R, Hutter M. Quadrupedal Locomotion on Uneven Terrain With Sensorized Feet. *IEEE Robotics and Automation Letters*. 2020;5(2):1548-55.
24. Immersive Learning News. Meta Reveals Hand-Tracking 2.0 for the Meta Quest 2; 2022. Available at: <https://www.immersivelearning.news/2022/04/28/meta-reveals-hand-tracking-2-0-for-the-meta-quest-2/>.
25. Cyberogism. Figma Collaborative Design; 2025. Available at: <https://cyberogism.com/figma-collaborative-design/>.
26. Davoudian A, Chen L, Liu M. A Survey on NoSQL Stores. *ACM Computing Surveys*. 2019;51(2):1-43.
27. Hakim MR, Dijaya R, Busono S. Perancangan Aplikasi Augmented Reality untuk Visualisasi Model 3 Dimensi Design Packaging Produk. *JIPi (Jurnal Ilmiah Penelitian dan Pembelajaran Informatika)*. 2023;8(3):947-58.
28. Huber M, Schlegel M, Klinker G. Application of Time-Delay Estimation to Mixed Reality Multisensor Tracking. *IEEE Transactions*. 2014;11(3).
29. Kennel-Maushart F, Poranne R, Coros S. Interacting with Multi-Robot Systems via Mixed Reality. In: *Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*. London, United Kingdom: IEEE; 2023. p. 11633-9.
30. Meta. Manage Spatial Data Sharing on Meta Quest; 2024. Meta Quest Help. Available at: <https://www.meta.com/help/quest/625635239532590/>.
31. Rasyida R, Nurdin EA. Pembelajaran Berbasis Metaverse Virtual Reality Menggunakan Spatial.io dengan Model Discovery Learning untuk Meningkatkan Pemahaman dan Minat Siswa. *Jurnal Pendidikan*. 2023;7.
32. Syahputra H, Saputra M, Wijaya BC. Implementasi Perbandingan dan Optimalisasi Teknik 3D Rendering pada Objek Animasi Profil Fakultas Teknik Universitas Gajah Putih Takengon. *Jurnal Ilmiah*. 2022;4(4).
33. Tan X, Cui W. Production Scheduling Problem Under Peak Power Constraint. In: *2020 IEEE Sustainable Power and Energy Conference (iSPEC)*. Chengdu, China: IEEE; 2020. p. 2083-8.
34. Unity Technologies. XR Interaction Toolkit Documentation; 2021. Available at: <https://docs.unity3d.com/Packages/com.unity.xr.interaction.toolkit@2.6/manual/index>.
35. Wiwanata IPF, Nugraha BSD, Pradibta H. Perancangan Aplikasi Game Berbasis Virtual Reality dengan Tema Sejarah. *MULTINE-TICS*. 2021;7(2):113-23.
36. Yuniarti A, Hariadi RR. Gestur Tangan sebagai Interaksi dan Kontrol dalam Realitas Virtual Menggunakan Google Cardboard dan Leap Motion; 2023.