

Analisis Efektivitas Markerless Mid Air Vuforia dalam Pembelajaran AR Tata Surya

Effectiveness Analysis of Vuforia's Markerless Mid Air in Solar System AR Learning

Indra Febryan Noor^{1*}, Ika Asti Astuti²

^{1,2}Jurusan Sistem Informasi, Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Amikom Yogyakarta,
Yogyakarta

E-mail: ^{1*}indrafebryan@students.amikom.ac.id, ²asti@amikom.ac.id

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan dan menguji aplikasi *Augmented Reality (AR)* berbasis metode *markerless* dengan pendekatan *mid air* untuk meningkatkan efektivitas pembelajaran tata surya. Aplikasi ini dirancang untuk mengatasi keterbatasan pada aplikasi AR konvensional, yang sering kali bergantung pada deteksi permukaan datar, serta untuk meningkatkan realisme dan fleksibilitas interaksi antara objek *virtual* dan lingkungan fisik. Metodologi pengujian mencakup empat skenario berbeda yang mengevaluasi akurasi deteksi ruang 3D di bawah berbagai kondisi pencahayaan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu mendeteksi ruang 3D dengan baik pada intensitas cahaya tinggi di luar ruangan (1007 LUX) dan rendah di dalam ruangan (20 LUX). Namun, ketika kamera diarahkan ke tembok polos dengan intensitas cahaya 100 LUX, deteksi ruang 3D gagal. Sebaliknya, pada kondisi malam hari dengan cahaya sangat rendah (di bawah 15 LUX), aplikasi tetap berhasil menempatkan objek 3D secara akurat. Penilaian *usability* dari 24 responden memberikan skor *SUS* rata-rata 92,4, menempatkan aplikasi dalam kategori "Acceptable" dengan *Grade Scale* "A" dan *Adjective Rating* "Excellent". Temuan ini menegaskan bahwa aplikasi AR yang dikembangkan memiliki potensi signifikan sebagai media pembelajaran interaktif, memberikan visualisasi yang mendalam dan mendukung pemahaman konsep tata surya secara efektif.

Kata kunci: *Mid Air, Markerless, Augmented Reality, Tata surya, Usability*

Abstract

This research aims to develop and test an Augmented Reality (AR) application based on the markerless method with a mid-air approach to enhance the effectiveness of solar system learning. The application is designed to address the limitations of conventional AR applications, which often rely on flat surface detection, and to improve the realism and flexibility of interactions between virtual objects and the physical environment. The testing methodology includes four scenarios evaluating the accuracy of 3D space detection under various lighting conditions. The results show that the system can accurately detect 3D space under high outdoor light intensity (1007 LUX) and low indoor light intensity (20 LUX). However, when the camera is directed at a plain wall with a light intensity of 100 LUX, 3D space detection fails. Conversely, in shallow light conditions at night (below 15 LUX), the application still successfully places 3D objects accurately. Usability assessment from 24 respondents yielded an average SUS score of 92.4, putting the application in the "Acceptable" category with a Grade Scale of "A" and an Adjective Rating of "Excellent." These findings confirm that the developed AR application has significant potential as an interactive learning medium, providing in-depth visualization and effectively supporting the understanding of solar system concepts.

Keywords: *Mid Air, Markerless, Augmented Reality, Solar System, Usability*

1. PENDAHULUAN

Penggunaan teknologi canggih dalam pendidikan kini menjadi sebuah kebutuhan untuk mendukung dan meningkatkan efektivitas proses belajar mengajar. *Augmented reality (AR)* adalah salah satu teknologi yang sangat potensial [1], yang dapat memperkaya pengalaman belajar akademik. AR berperan dalam meningkatkan partisipasi siswa terhadap materi pembelajaran dengan menyediakan pendekatan yang lebih interaktif. Dalam ilmu pengetahuan, khususnya, penerapan AR memungkinkan visualisasi topik-topik kompleks seperti astronomi menjadi lebih menarik dan mudah dipahami.

Augmented Reality (AR) merupakan teknologi yang terus berkembang, menggabungkan objek *virtual* baik dalam bentuk 2D maupun 3D ke dalam lingkungan nyata, serta memproyeksikannya secara *real-time* [2]. Teknologi AR telah mengalami perkembangan yang luas di berbagai bidang, termasuk pendidikan, kesehatan, pemasaran, bisnis, permainan, dan pariwisata. Dalam pendidikan, AR memiliki banyak potensi untuk memfasilitasi proses belajar mengajar dengan cara yang lebih jelas dan memungkinkan siswa untuk berinteraksi dengan objek nyata melalui simulasi 3D [3]. AR menyediakan beragam metode, seperti *Marker-based tracking* dan *Markerless*, di mana metode *Markerless* tengah menjadi perhatian utama [4].

Dua pendekatan umum dalam *Markerless AR* adalah *ground plane* dan *mid-air*, keduanya berperan penting dalam menghasilkan interaksi yang lebih alami dan fleksibel antara objek virtual dan lingkungan nyata, terutama dalam aplikasi AR yang dikembangkan dengan *Vuforia SDK*. *Ground plane* memungkinkan aplikasi AR untuk mendeteksi dan melacak permukaan *horizontal*, seperti lantai dan meja, tanpa menggunakan penanda fisik. Dalam *Vuforia*, metode ini memanfaatkan algoritma pendeteksian permukaan untuk mengidentifikasi bidang datar di lingkungan nyata, sehingga objek *virtual* dapat ditempatkan secara stabil dan realistis pada permukaan tersebut. Teknologi ini sangat bermanfaat dalam aplikasi AR untuk visualisasi furnitur. Di sisi lain, *Mid Air* memungkinkan objek virtual untuk ditempatkan di ruang tiga dimensi tanpa memerlukan permukaan fisik sebagai dasar. Dalam *Vuforia*, teknologi ini menggunakan *anchor point* untuk menahan objek *virtual* di udara, yang sering dimanfaatkan dalam aplikasi simulasi dan permainan interaktif di mana pengguna berinteraksi dengan objek virtual yang tampak melayang di sekitarnya.

Penelitian terkait telah dilakukan sebelumnya di mana [5] menerapkan metode *Markerless* dengan *ground plane* sebagai penanda untuk menempatkan objek 3D planet. Teknologi ini memungkinkan aplikasi mendeteksi permukaan datar di sekitar pengguna dan menampilkan planet-planet dalam tata surya, menciptakan pengalaman belajar yang imersif. Hasil penelitian menunjukkan keberhasilan implementasi aplikasi AR dengan antarmuka pengguna yang ramah dan fitur interaktif yang mendukung pembelajaran tata surya. Namun, penelitian ini mencatat beberapa keterbatasan, antara lain keberhasilan aplikasi yang sangat bergantung pada kemampuan deteksi permukaan datar yang tepat, yang dapat mempengaruhi kualitas pengalaman AR di lingkungan tertentu. Selain itu, meskipun objek 3D planet dapat ditampilkan, detail dan kompleksitas objek mungkin terbatas, karena model planet ditampilkan pada bidang datar, yang seharusnya melayang untuk merepresentasikan orbit alami akibat gravitasi. Keterbatasan ini dapat mengurangi tingkat *realisme* pengalaman belajar.

Studi lain yang dilakukan oleh [6] membahas penerapan teknologi *Augmented Reality (AR)* dengan metode *Markerless*, khususnya teknik *Mid-Air*, untuk pelestarian dan pengenalan bangunan bersejarah di Medan, Indonesia. Aplikasi AR ini dikembangkan untuk perangkat seluler Android, memungkinkan pengguna mengakses informasi tanpa ketergantungan pada *marker* fisik. Hal ini penting dalam konteks pariwisata, di mana *marker* fisik mungkin tidak selalu tersedia. Teknologi *Mid-Air* yang digunakan juga memberikan interaksi yang lebih intuitif dan alami, meningkatkan pengalaman pengguna, terutama bagi wisatawan yang ingin memperoleh informasi langsung di lokasi bersejarah. Hasil penelitian menunjukkan bahwa AR dengan pendekatan ini efektif dalam meningkatkan minat masyarakat terhadap sejarah serta memperkaya pemahaman mereka mengenai bangunan bersejarah melalui interaksi dengan objek 3D di lingkungan nyata.

Penelitian selanjutnya yang dilakukan oleh [7] meneliti aplikasi *Markerless AR* dalam promosi produk variasi mobil melalui *e-katalog* dengan menggunakan *Natural Feature Tracking* pada *Vuforia SDK* dan deteksi permukaan *ground plane*. Pendekatan ini memungkinkan deteksi akurat permukaan *horizontal* sebagai dasar untuk menampilkan objek 3D, yang meningkatkan akurasi penempatan objek *virtual* serta menyediakan pengalaman imersif secara *real-time*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa implementasi *AR* pada *e-katalog* mobil dapat meningkatkan minat dan kepuasan pengguna, dengan tingkat kepuasan mencapai 88,9%, menunjukkan bahwa *AR* dapat meningkatkan daya tarik visual dan pengalaman interaktif, khususnya dalam promosi produk yang belum dikenal luas.

Penelitian berikutnya oleh [8] mengkaji penggunaan teknologi *Augmented Reality (AR)* dalam desain interior, khususnya untuk memvisualisasikan furnitur 3D di ruang nyata tanpa perlu mengubah posisi fisik furnitur. Penelitian ini menggunakan teknologi *markerless tracking plane detection*, yang memungkinkan deteksi akurat permukaan seperti dinding, lantai, dan langit-langit. Dengan teknologi ini, objek 3D dapat ditempatkan secara tepat dan realistis dalam lingkungan fisik, sehingga desainer dapat merancang tata letak interior dengan tingkat presisi yang tinggi. Penelitian ini menegaskan pentingnya teknologi *plane detection* untuk membantu proses desain interior berbasis *AR*, memberikan pengalaman interaktif yang lebih imersif dan membantu pelanggan membuat pilihan desain yang lebih cerdas.

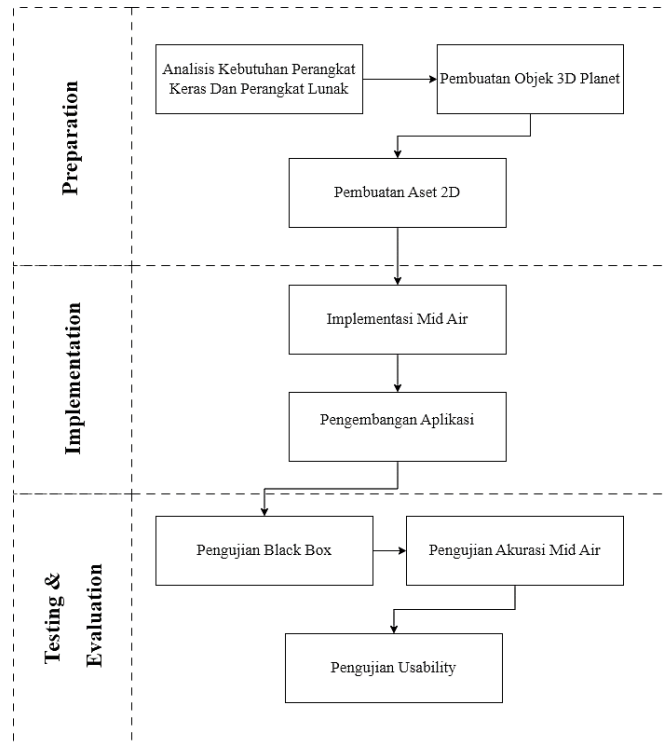
Berbeda dengan studi sebelumnya, penelitian oleh [9] berkonsentrasi pada pembuatan dan penerapan fitur pelacakan wajah berbasis *Augmented Reality (AR)* pada situs *web e-commerce* yang menggunakan kacamata. Tujuan penelitian ini adalah untuk meningkatkan pengalaman belanja online pelanggan dengan memungkinkan mereka untuk mencoba kacamata secara *virtual* sebelum membeli produk fisik. Menggunakan teknologi seperti *Zappar SDK* untuk deteksi wajah dan pelacakan objek 3D *real-time*, serta *A-Frame* untuk membuat pengalaman interaktif yang dapat diakses melalui berbagai perangkat, fitur pelacakan wajah ini dikembangkan. Studi ini menunjukkan bahwa pelacakan wajah *AR* dapat digunakan secara efektif dan meningkatkan pengalaman belanja online secara *substansial* dengan mengintegrasikan fitur tersebut dengan platform *e-commerce*.

Pada penelitian [10] yang berfokus pada pengembangan dan pengujian model *marker 3D printed* untuk aplikasi *Augmented Reality (AR)* yang berkaitan dengan tata surya, dengan tujuan mengevaluasi efektivitas penggunaan marker berbasis 3D *printed* dalam konteks *AR*, terutama dalam mengenali planet-planet yang memiliki karakteristik dasar yang serupa. Studi ini menilai akurasi deteksi *marker* dengan mempertimbangkan variabel jarak dan sudut. Hasil penelitian ini mengungkapkan bahwa aplikasi *AR* hanya mampu mengenali *marker 3D printed* dengan baik, asalkan *marker* tersebut dibuat dengan ukuran dan resolusi yang memadai. *Marker* dengan ukuran tertentu, seperti 64x100px dan 96x150px, terbukti dapat dideteksi dengan baik oleh sistem. Selain itu, jarak dan sudut kamera memiliki pengaruh signifikan terhadap kemampuan aplikasi dalam mengenali *marker*. Penelitian ini juga berhasil mengidentifikasi jarak maksimum dan minimum di mana *marker* masih dapat dikenali.

Dengan mempertimbangkan latar belakang yang diuraikan sebelumnya, Fokus penelitian ini adalah membuat aplikasi *Augmented Reality (AR)* menggunakan metode *markerless* dengan pendekatan *mid air* untuk pembelajaran interaktif dalam mengenalkan planet tata surya. Penelitian ini dilakukan untuk mengatasi keterbatasan yang dihadapi dalam aplikasi *AR* sebelumnya, seperti ketergantungan pada deteksi permukaan datar dan keterbatasan dalam menampilkan objek yang lebih realistis sesuai dengan kondisi sebenarnya. Dengan memanfaatkan teknologi *markerless* ini, diharapkan aplikasi yang dikembangkan memiliki kemampuan untuk memberikan pengalaman belajar yang lebih menarik dan mendalam bagi siswa. Selain itu, aplikasi ini juga bertujuan untuk menciptakan interaksi yang lebih fleksibel antara objek virtual dan lingkungan nyata, sehingga mendukung proses pembelajaran yang lebih efektif dan menyenangkan. Diharapkan penelitian ini akan memberikan kontribusi yang signifikan untuk kemajuan dalam pengembangan media pembelajaran berbasis teknologi *AR* di bidang pendidikan.

2. METODE PENELITIAN

Pengembangan aplikasi ini dilakukan dengan tiga fase utama, yaitu *Preparation*, *Implementation* serta *Testing & Evaluation* dengan beberapa kegiatan yang ada didalamnya guna memastikan hasil yang optimal.



Gambar 1 Alur penelitian

Pada gambar 1 menjelaskan urutan pengembangan yang mulai dari tahap *Preparation*, yang dimana pada tahap ini dilakukan analisis mendalam terhadap kebutuhan perangkat keras dan lunak, serta pembuatan objek 3D dan aset 2D yang diperlukan untuk aplikasi, dengan tujuan memastikan seluruh persyaratan teknis dipenuhi. Selanjutnya akan masuk tahap ke dua yaitu tahap *Implementation* yang mencakup proses pengembangan aplikasi, termasuk penulisan *coding* dan penerapan teknologi *Mid Air* pada objek 3D, yang memungkinkan objek tersebut ditampilkan dan berinteraksi di udara tanpa memerlukan *marker* fisik. Dan setelah aplikasi telah selesai dibuat maka selanjutnya akan masuk dalam tahap terakhir yaitu tahap *Testing & Evaluation*.

Pada tahap *Testing & Evaluation* peneliti akan melakukan pengujian menyeluruh seperti pengujian *black box* dengan skenario pengujian fungsional terhadap tombol-tombol yang ada dalam aplikasi untuk memastikan apakah aplikasi dan sistem telah sesuai dengan alur sistem yang telah dibuat dan ditentukan. Selanjutnya peneliti akan melakukan pengujian akurasi *mid air*, yang akan dilakukan dengan empat skenario berbeda. Pengujian ini akan menguji bagaimana sistem dapat mendeteksi lingkungan sekitar baik saat intensitas cahaya tinggi maupun rendah. Pengukuran intensitas cahaya ini menggunakan alat pengukur cahaya dengan satuan hitung *LUX* untuk menilai ketepatan dan stabilitas objek 3D. Serta pada bagian *Evaluation*, peneliti menggunakan pengujian *usability* yang berfokus untuk mengetahui kenyamanan dan kepuasan pengguna dalam menggunakan aplikasi, hal ini memungkinkan pengukuran yang lebih representatif tentang pengalaman pengguna dalam situasi penggunaan nyata dengan menitikberatkan pada perspektif pengguna akhir. Melalui ketiga tahapan ini, diharapkan aplikasi yang dikembangkan memiliki kualitas yang unggul dan mampu mencapai tujuan yang telah direncanakan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Preparation

3.1.1 Analisis Kebutuhan Perangkat Keras Dan Perangkat Lunak

Kebutuhan perangkat keras yang digunakan dalam membangun aplikasi ini ditunjukkan dalam tabel 1 berikut:

Tabel 1 Kebutuhan perangkat keras

perangkat keras	Spesifikasi
<i>Processor</i>	Intel(R) Core (TM) i7 10750H
<i>CPU</i>	2.60GHz
<i>Installed memory</i>	(RAM) 16 GB
<i>GPU</i>	NVIDIA geforce gtx 1650 ti
<i>SSD</i>	Ruang penyimpanan yang tersedia minimal 20 GB
<i>Monitor</i>	1920 x 1080 pixel

Kebutuhan perangkat keras (*smartphone*) yang digunakan untuk uji coba aplikasi ini ditunjukkan dalam tabel 2 berikut:

Tabel 2 Kebutuhan perangkat keras (*smartphone*)

perangkat keras	Spesifikasi
<i>Brand</i>	Xiaomi Poco F3
<i>OS</i>	Android 13
<i>Camera</i>	48 Megapixel
<i>Ram</i>	8 GB

Adapun Kebutuhan perangkat lunak yang digunakan dalam membangun aplikasi ini ditunjukkan dalam tabel 3 berikut:

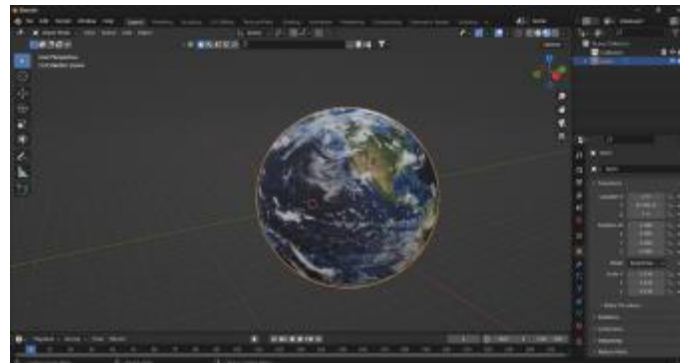
Tabel 3 Kebutuhan Perangkat Lunak

Perangkat Lunak	Versi
<i>Operating System Windows</i>	11 64 bit
Unity Hub	2021.3.20f1 Personal 64 bit
Canva	2.233.0
Blender 3D	3.6

Tujuan dari analisis kebutuhan perangkat keras dan perangkat lunak ini adalah untuk memastikan efisiensi dalam pengembangan aplikasi. Perangkat keras terdiri dari GPU NVIDIA GeForce GTX 1650 Ti untuk rendering grafis 3D, prosesor Intel Core i7 10750H, dan RAM 16GB, serta SSD minimal 20 GB untuk penyimpanan, dan monitor beresolusi 1920 x 1080 piksel untuk tampilan terbaik. Aplikasi diuji pada *smartphone* Xiaomi Poco F3, yang dilengkapi dengan OS Android 13, RAM 8GB, dan kamera 48 megapixel, untuk memaksimalkan potensinya. Untuk perangkat lunak, pengembangan dilakukan menggunakan Windows 11 64-bit, Unity Hub versi 2021.3.20f1 untuk pengembangan AR/VR lintas platform, Blender 3D versi 3.6 untuk model 3D, dan Canva versi 2.233.0 untuk desain visual.

3.1.2 Pembuatan Objek 3D Planet

Proses pemodelan menggunakan perangkat lunak Blender dimulai dengan pembuatan model 3D untuk digunakan sebagai objek *virtual* dalam aplikasi *Augmented Reality* (AR). Perangkat lunak *open-source* yang kuat dan serbaguna ini memungkinkan pembuatan model 3D dengan tingkat detail yang tinggi, dari geometri dasar hingga tekstur yang kompleks dan realistis.

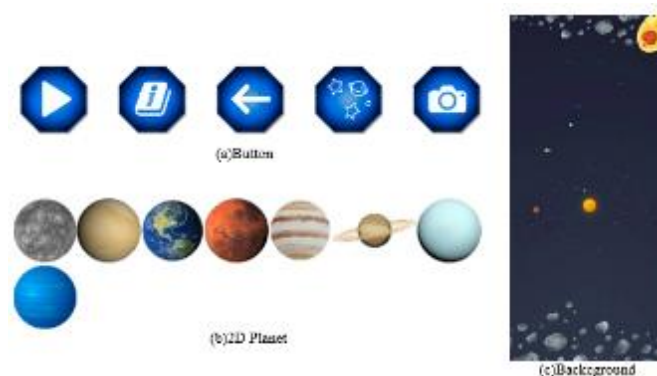


Gambar 2 Pemodelan 3D objek planet

Seperti yang ditunjukkan pada gambar 2, model 3D Bumi ini adalah contoh objek 3D yang telah dibuat. Untuk menciptakan representasi permukaan Bumi yang realistis, objek dasar bola (*sfera*) digunakan sebagai bentuk planet dan kemudian dilapisi dengan tekstur peta dunia beresolusi tinggi. *Shader Principled BSDF* digunakan untuk meniru pengaruh cahaya alami pada permukaan dan atmosfer. Model ini fleksibel untuk berbagai aplikasi simulasi ilmiah dan visualisasi karena pengaturan transformasi memungkinkan perubahan skala, rotasi, dan posisi. Model ini menunjukkan cara objek 3D dapat digunakan dalam pendidikan. Setelah proses pemodelan selesai, objek 3D akan diekspor ke format yang kompatibel dengan *platform unity*.

3.1.3 Pembuatan Aset 2D

Dan beberapa komponen visual utama yang dirancang untuk membuat aplikasi pendidikan tata surya lebih interaktif dan menarik dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar 3 Pembuatan Aset 2D

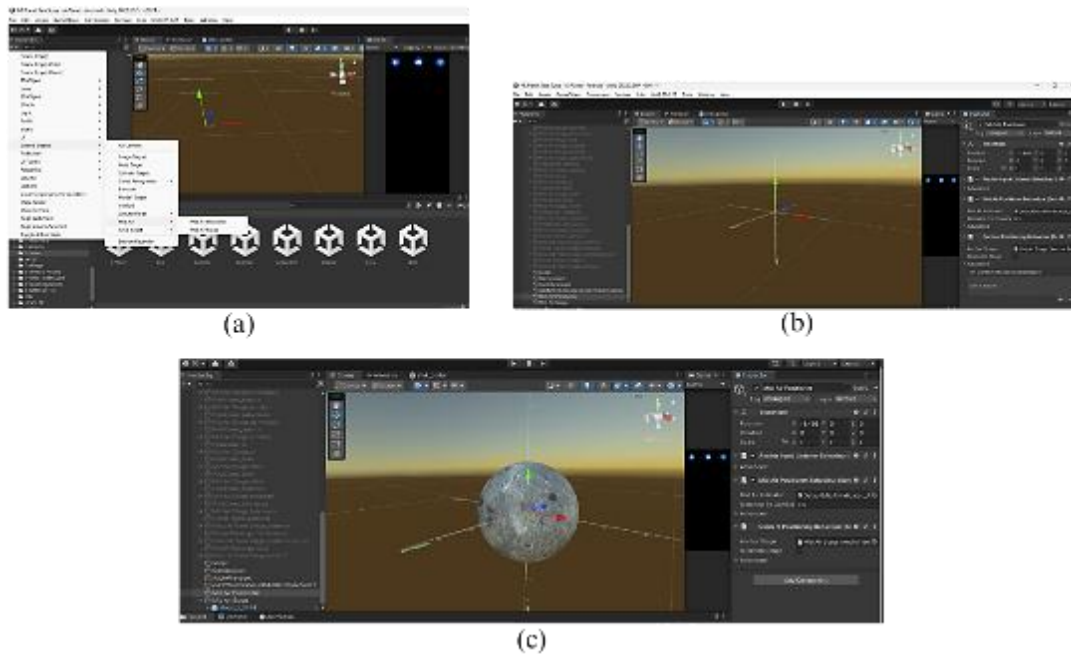
Dengan menggunakan *software Canva*, pembuatan tombol-tombol ini meliputi *navigasi* dan berbagai fungsi penting, seperti memulai aplikasi, menampilkan informasi, dan menangkap layar. Lalu desain 2d dari planet-planet untuk memungkinkan pengguna mempelajari lebih lanjut tentang tata surya. Dan latar belakang ruang angkasa, yang juga dibuat menggunakan *Canva*, meningkatkan tema aplikasi dan menciptakan lingkungan pembelajaran yang imersif. Secara keseluruhan, komponen ini dimaksudkan untuk meningkatkan pengalaman pengguna saat belajar. Setelah proses desain selesai, seluruh objek 3d akan diekspor ke format yang kompatibel dengan *platform unity*.

3.2 Implementation

3.2.1 Implementasi Mid Air

Implementasi fitur *Mid Air* dalam *Unity* dengan *Vuforia* mencakup serangkaian prosedur teknis yang dirancang untuk memfasilitasi penempatan objek 3D secara presisi dalam ruang tiga dimensi, memberikan ilusi bahwa objek tersebut mengapung di udara. *Unity 3D* adalah mesin

pengembangan yang mendukung pembuatan aplikasi interaktif untuk berbagai platform, termasuk komputer, konsol, dan perangkat seluler [11]. Unity 3D memungkinkan pembuatan game dan aplikasi baik dalam format 2D maupun 3D [12]. Sedangkan, *Vuforia* merupakan perangkat pengembangan perangkat lunak (*SDK*) untuk *Augmented Reality* (*AR*) yang dikembangkan oleh Qualcomm, memungkinkan pengembangan berbagai aplikasi *AR*, termasuk pengenalan dan pelacakan lingkungan untuk menempatkan objek 3D secara *real-time*[13]. *SDK* ini memungkinkan objek virtual ditempatkan dalam tampilan kamera dan kemudian secara dinamis menyesuaikan posisinya sesuai dengan latar belakang dan objek yang terdeteksi di depan lensa. Proses implementasi ini dimulai dengan tahap integrasi *Vuforia* ke dalam lingkungan pengembangan Unity.



Gambar 4 Implementasi *Mid Air*

Pada gambar 4 (a) ditunjukkan bagaimana cara menambahkan *Mid Air* kedalam project. Dalam implementasi ini, langkah pertama adalah menambahkan komponen *AR Camera* ke dalam aplikasi. *AR Camera* berfungsi sebagai komponen utama yang menangkap dan memproses gambar dari dunia nyata, yang memungkinkan aplikasi menampilkan konten *Augmented Reality* (*AR*) secara *real-time*. Setelah *AR Camera* ditambahkan, langkah berikutnya adalah menambahkan komponen *Mid Air Positioner* untuk menentukan di mana objek 3D akan ditempatkan dalam ruang tiga dimensi dan komponen *Mid Air Stage*.

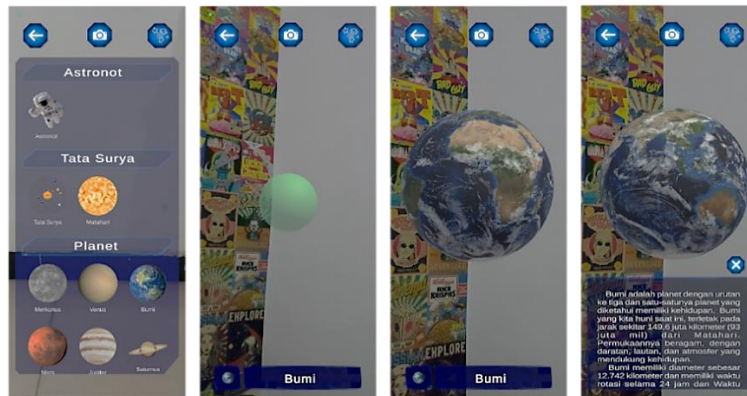
Selanjutnya pada gambar 4 (b) akan dilakukan *setting* parameter seperti *Mid Air Indicator* dan *Distance to Camera*. *Mid Air Indicator* berfungsi sebagai panduan visual untuk membantu pengguna menentukan di mana objek akan muncul pada lingkungan nyata, sementara *Distance to Camera* mengatur jarak antara kamera dan objek. Dan pastikan komponen *anchor stage* pada *Mid Air Positioner* telah diisi dengan dengan komponen *Mid Air Stage*, hal ini dilakukan agar komponen *Mid Air Positioner* dan *Mid Air Stage* saling terhubung satu sama lain.

Dan gambar 4 (c) merupakan tahap terakhir ini peneliti akan memasukkan objek 3D planet kedalam komponen *Mid Air Stage* sebagai wadah penampung sementara. Penggandaan objek juga dapat dilakukan dengan komponen ini, yang memberikan fleksibilitas lebih untuk menampilkan beberapa objek sekaligus.

3.2.2 Pengembangan Aplikasi

Setelah Implementasi *Mid Air* telah diterapkan ke dalam semua objek 3D planet, tahap selanjutnya adalah membangun *interface* dari aplikasi dan pembuatan alur aplikasi agar dapat

berjalan dengan baik.



Gambar 5 Interface aplikasi

Pada gambar 5 dapat dilihat bahwa tampilan dari aplikasi ini telah selesai dibuat dan fitur *tracking mid air* telah terkonfigurasi dengan aplikasi. Selanjutnya aplikasi akan di *build* ke dalam format .apk agar dapat di instal ke dalam *smartphone* dan siap didistribusikan kepada pengguna. Namun sebelum dapat didistribusikan, aplikasi akan melalui tatap *testing* dan evaluasi terlebih dahulu untuk memastikan bahwa aplikasi berjalan dengan seharusnya.

3.3 Testing & Evaluation

3.3.1 Pengujian Black Box

Metode pengujian perangkat lunak yang dikenal sebagai pengujian *black box* hanya memeriksa elemen fungsional dan antarmuka pengguna aplikasi tanpa mempertimbangkan struktur internal atau kode sumber, dengan tujuan untuk memastikan bahwa fungsionalitas aplikasi telah memenuhi spesifikasi dan kebutuhan yang ditetapkan [14]. Metode ini membantu menemukan kesalahan atau ketidaksesuaian yang mungkin. Ini memungkinkan perbaikan cepat untuk memastikan kualitas dan keandalan aplikasi sesuai dengan standar. Tabel 4 menunjukkan hasil pengujian *black box*.

Tabel 4 Hasil Pengujian Black Box

No	Skenario	Hasil yang seharusnya didapat	Hasil
1	Menekan tombol list planet di AR Planet	Menampilkan panel pop up daftar planet	berhasil
2	Pelacakan <i>mid air</i>	Menampilkan bola <i>Mid Air</i>	berhasil
3	Menekan bola Mid Air	Menampilkan objek planet 3D	berhasil
4	Menekan nama planet di AR Planet	Menampilkan panel pop up deskripsi planet	berhasil
5	Menekan tombol kamera	Menangkap gambar di layar dan menyimpan langsung ke galeri	berhasil

Pada pengujian *black box* ini peneliti menguji tombol tombol yang berada pada halaman AR yang di mana hal ini meliputi tombol list planet, tombol planet, tombol kamera, dan tombol deskripsi. Dari semua skenario pengujian yang dilakukan mendapatkan hasil yang sukses tanda ada kendala atau masalah teknis yang terjadi. Maka dari itu pengujian akan masuk ke tahap berikutnya yaitu pengujian terhadap akurasi *mid air*.

3.3.2 Pengujian Akurasi Mid Air

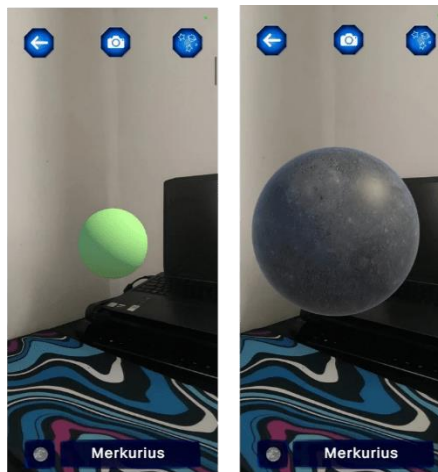
Pada tahap Pengujian *Akurasi Mid Air* ini peneliti melakukan pengujian menggunakan 4 skenario yang berbeda, dimana setiap skenario di akan dilakukan pengecekan intensitas cahaya

sebagai bahan pengukuran akurasi menggunakan *Lux Light Meter*.



Gambar 6 Hasil skenario pertama pengujian akurasi

Skenario pertama dapat dilihat pada gambar 6, dimana skenario yang diuji adalah pengetesan *mid air* pada siang hari dengan intensitas cahaya yang diperoleh dari pengukuran menggunakan *Lux Light Meter* sebesar 1007 LUX dan pengujian ini dilakukan di luar ruangan. Hasil menunjukkan bahwa pendeteksian lingkungan *mid air* berhasil terdeteksi yang mana hal ini ditandai dengan munculnya bola berwarna hijau atau dapat disebut dengan *placeholder*. Apabila *placeholder* telah muncul maka pengguna dapat menampilkan objek 3D dari planet dengan cara menekan bola hijau tersebut.



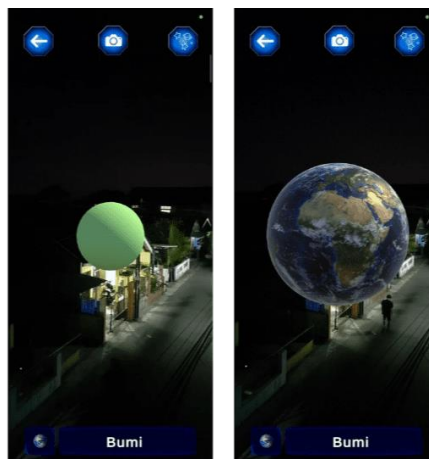
Gambar 7 Hasil skenario kedua pengujian akurasi

Selanjutnya gambar 7 yang merupakan hasil pengujian dari skenario pengetesan *mid air* dalam ruangan dengan intensitas cahaya yang diperoleh dari pengukuran menggunakan *Lux Light Meter* sebesar 20 LUX, intensitas cahaya ini dapat diartikan bahwa area tersebut memiliki intensitas cahaya yang rendah. Hasil pengujian menunjukkan bahwa *mid air* berhasil terdeteksi dengan baik, yang mana ditandai dengan munculnya bola berwarna hijau atau *placeholder* objek.



Gambar 8 Hasil skenario ketiga pengujian akurasi

Pada gambar 8 Skenario ketiga dilakukan masih dalam ruangan dengan intensitas cahaya yang lebih tinggi dari pada skenario sebelumnya yaitu sebesar 100 LUX, Namun berbeda dengan pengujian sebelumnya yang memposisikan kamera dalam ruang 3D. Pada pengujian ini peneliti melakukan pengujian dengan cara mengarahkan kamera ke arah tembok polos tanpa ruang. Hasil yang didapat menyatakan bahwa *mid air* tidak berhasil mendeteksi ruang 3D untuk menempatkan objek 3D. Hal ini ditandai dengan tidak munculnya bola berwarna hijau atau *placeholder* pada kamera AR.



Gambar 9 Hasil skenario terakhir pengujian akurasi

Skenario pengujian terakhir yang dilakukan adalah pengujian pada malam hari di luar ruangan yang dapat dilihat pada gambar 9 pengujian ini dilakukan pada malam hari dengan intensitas cahaya di bawah 15 LUX, pengujian ini dilakukan sebagai bentuk perbandingan apakah fitur *mid air* ini sangat bergantung pada cahaya atau pada ruang 3D. Hasil menunjukkan bahwa dengan intensitas cahaya yang sangat rendah tersebut *mid air* dapat mendeteksi ruang 3D dengan baik, ditandai dengan munculnya *placeholder* pada kamera AR dan objek 3D planet berhasil di tempat dalam lingkungan *virtual* secara *real time*.

3.3.3 Pengujian Usability

Metode evaluasi *usability* yang disebut *System Usability Scale (SUS)* dirancang untuk menyediakan penilaian *usability* yang cepat, mudah, dan memiliki reliabilitas tinggi dengan menggunakan sepuluh pernyataan skala untuk mengukur persepsi pengguna terhadap kegunaan suatu aplikasi secara keseluruhan [15]. Pendekatan *SUS* memungkinkan pengukuran yang lebih *representatif* tentang pengalaman pengguna dalam situasi penggunaan nyata dengan menitikberatkan pada perspektif pengguna akhir[16]. Keunggulan utama metode ini adalah kemudahannya untuk dipahami oleh responden, yang memungkinkan pengumpulan data yang valid dan informatif tentang tingkat kebergunaan aplikasi serta memberikan gambaran yang jelas

tentang apakah aplikasi tersebut memiliki nilai kegunaan yang memadai. Tabel 5 menunjukkan hasil tes *usability* aplikasi ini.

Tabel 5 Hasil Kuesioner

Hasil Kuesioner										Jumlah	Skor (jumlah x 2.5)
Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	Q9	Q10		
4	4	4	3	3	4	4	3	4	3	36	90
4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	40	100
4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	40	100
4	2	3	1	4	4	3	4	3	4	32	80
4	3	4	3	4	3	4	4	4	4	37	93
4	3	3	3	3	4	4	4	4	4	37	93
4	3	3	4	4	3	3	4	3	4	35	88
4	3	4	4	4	4	4	4	3	4	38	95
3	4	4	4	4	3	4	4	3	3	36	90
4	4	3	3	4	4	4	4	4	4	38	95
4	4	4	4	3	4	4	3	4	3	37	93
4	4	4	3	4	4	4	3	4	3	37	93
3	4	4	4	3	4	4	4	4	4	38	95
4	4	4	3	4	4	3	3	4	3	36	90
3	3	3	4	4	4	4	4	3	3	36	90
4	4	4	3	4	4	4	3	4	4	37	93
4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	40	100
4	4	3	3	4	4	3	4	4	3	36	90
3	3	3	4	4	4	3	4	4	4	36	90
3	4	4	4	4	3	3	4	3	3	35	88
3	4	3	4	4	4	3	4	4	4	37	93
4	4	4	3	3	4	4	4	4	4	38	95
3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	38	95
4	3	4	4	4	4	4	3	4	2	36	90
Skor Rata-rata (Hasil Akhir)											92

Setelah melakukan pengujian kepada responden, tahapan selanjutnya yaitu menghitung hasil kuesioner menggunakan rumus *SUS*.

$$\bar{x} = \frac{\sum x}{n} \quad (1)$$

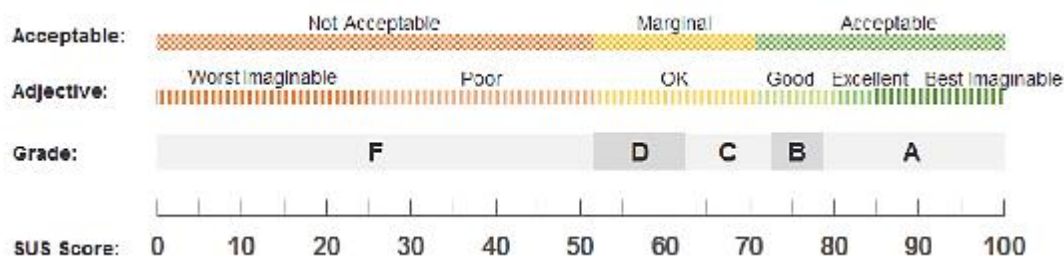
Informasi:

\bar{x} : Skor rata-rata

$\sum x$: Total skor *SUS*

n : Jumlah responden

Hasil penilaian dari 24 responden menghasilkan nilai Skor *SUS* dengan total 2,219, dengan nilai rata-rata sebesar 92,4. Setelah mengetahui hasil akhir dari penilaian, langkah selanjutnya adalah menentukan kelas hasil penilaian dengan berdasarkan tingkat *Acceptability*, *Grade Scale*, dan *Adjective Rating*.



Gambar 10 skor SUS

Berdasarkan Penentuan hasil penilaian yaitu Tingkat pengguna terhadap aplikasi ini termasuk ke dalam kategori *Acceptable*, dan tingkat pengguna masuk ke dalam kategori A, dan untuk tingkat pengguna termasuk kedalam kategori *Excellent*. Hal ini menandakan bahwa aplikasi yang dibuat telah memenuhi kebutuhan dari pengguna. Hal ini menunjukkan hasil penilaian bahwa *Acceptability Range* pengguna terhadap aplikasi ini termasuk dalam kategori *Acceptable*, *Grade Scale* pengguna termasuk dalam kategori A, dan *Adjective Rating* pengguna termasuk dalam kategori *Excellent*. Ini menunjukkan bahwa aplikasi ini telah memenuhi kebutuhan pengguna dan objek 3D planet yang ditempatkan dapat menginterpretasikan planet yang mengorbit atau mengambang di udara hal ini membantu proses belajar mengajar kepada siswa dalam pemahaman mengenai objek planet.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa akurasi deteksi ruang 3D di bawah intensitas cahaya yang berbeda yang diukur melalui pengujian *Mid Air Accuracy* yang dilakukan dalam empat skenario berbeda. Hasilnya menunjukkan bahwa sistem mendeteksi ruang 3D dengan baik pada kondisi cahaya tinggi di luar ruangan (1007 LUX) dan rendah di dalam ruangan (20 LUX). Namun, ketika kamera diarahkan ke tembok polos dengan intensitas cahaya 100 LUX, sistem gagal mendeteksi ruang 3D. Namun, pada malam hari dengan cahaya sangat rendah (di bawah 15 LUX), sistem tetap dapat mendeteksi dan menempatkan objek 3D dengan baik, menunjukkan bahwa keberhasilan deteksi lebih dipengaruhi oleh kejelasan ruang fisik daripada intensitas cahaya. Selain itu, hasil penilaian *usability* dari 24 orang yang disurvei memberikan skor SUS rata-rata 92,4, menempatkan aplikasi ini dalam kategori "Acceptable" dengan *Grade Scale* "A" dan *Adjective Rating* "Excellent".

Berbeda dengan penelitian oleh [5] yang menggunakan metode *ground plane* untuk mendeteksi objek yang mana hal tersebut mengurangi kualitas pengalaman belajar tata surya karena penerapan konsep tata surya yang seharusnya objek-objek planet tersebut melayang atau mengambang menjadi harus terikat pada suatu bidang datar. Namun dengan menggunakan metode *Mid Air* penelitian yang dilakukan peneliti kali ini menunjukkan bahwa aplikasi AR ini sangat diterima oleh pengguna dan efektif dalam mendukung pembelajaran, terutama dalam memvisualisasikan konsep planet yang mengorbit di ruang 3D. Secara keseluruhan, aplikasi ini menunjukkan akurasi yang baik dalam berbagai kondisi pencahayaan dan mendapatkan penerimaan yang positif dari pengguna, menegaskan potensi AR menggunakan metode *Mid Air* sebagai alat pembelajaran yang interaktif dan efektif. Dan saran untuk penelitian selanjutnya adalah penggunaan metode pengukuran lain seperti pengujian performa dari aplikasi atau kompatibilitas aplikasi pada berbagai perangkat.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. R. Ramadhani and F. S. Limin, "IMPROVING LEARNING MOTIVATION BY APPLYING USER-CENTRED DESIGN AND AUGMENTED REALITY ON 3D INTERACTIVE APPLICATION," *JITK (Jurnal Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Komputer)*, vol. 9, no. 1, pp. 8–16, Aug. 2023, doi: 10.33480/jitk.v9i1.4124.

- [2] A. Ihsan, N. Fadillah, and C. R. Gunawan, "Acehnese traditional clothing recognition based on augmented reality using hybrid tracking method," *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, vol. 20, no. 2, pp. 1030–1036, Nov. 2020, doi: 10.11591/ijeecs.v20.i2.pp1030-1036.
- [3] N. H. Adi, A. L. Lubis, A. Basriadi, I. P. Dewi, and Y. W. Wahdi, "Augmented Reality Learning Media Application In Computer Networking Courses," *sinkron*, vol. 8, no. 3, pp. 1641–1650, Jul. 2024, doi: 10.33395/sinkron.v8i3.13707.
- [4] M. Arifin and M. Fahrizal, "PENGENALAN JENIS-JENIS FAUNA SEBAGAI MEDIA PEMBELAJARAN DENGAN METODE AR (AUGMENTED REALITY)."
- [5] B. A. Harchristanto and W. S. Utami, "Solar System Education Application Using Markerless Augmented Reality (AR) on The Android Platform," *International Journal Software Engineering and Computer Science (IJSECS)*, vol. 3, no. 3, pp. 377–385, Dec. 2023, doi: 10.35870/ijsecs.v3i3.1844.
- [6] M. F. Syahputra, A. Umaya, and R. F. Rahmat, "Utilization of Augmented Reality to Showcase Historical Buildings in Medan City," in *Journal of Physics: Conference Series*, Institute of Physics Publishing, Jul. 2020. doi: 10.1088/1742-6596/1566/1/012064.
- [7] S. Khouw and Edy, "Application of Markerless Augmented Reality on E-Catalog of Car Variations Using Natural Feature Tracking," *bit-Tech*, vol. 6, no. 2, pp. 144–151, Dec. 2023, doi: 10.32877/bt.v6i2.941.
- [8] J. Khatib Sulaiman, A. Taufiqur Rohman, M. Ali Romli, and U. Teknologi Yogyakarta, "Penerapan Visualisasi 3D Furniture Pada Desain Interior Rumah dengan Pemanfaatan Fitur Plane Detection Augmented Reality," *Indonesian Journal of Computer Science Attribution*, vol. 12, no. 6, pp. 2023–4144.
- [9] I. A. Astuti, W. S. Putra, and M. A. Hasan, "Development of Augmented Reality Face Tracking Features on Glasses E-Commerce Websites." [Online]. Available: <https://aframe.io/releases/1.0.4/aframe.min>
- [10] I. A. Astuti and A. G. Mahardika, "SISTEMASI: Jurnal Sistem Informasi Pengembangan dan Testing Marker 3D Printed Model pada Aplikasi Augmented Reality Planet Tata Surya." [Online]. Available: <http://sistemasi.ftik.unisi.ac.id>
- [11] G. K. Sepulveda, N. Romero, C. Vidal-Silva, F. Besoain, and N. A. Barriga, "Semi-Automatic Building Layout Generation for Virtual Environments," *IEEE Access*, vol. 12, pp. 87014–87022, 2024, doi: 10.1109/ACCESS.2024.3416848.
- [12] P. Vostinar and P. Ferienc, "Merge Cube as a New Teaching Tool for Augmented Reality," *IEEE Access*, vol. 11, pp. 81092–81100, 2023, doi: 10.1109/ACCESS.2023.3301399.
- [13] G. K. Upadhyay, D. Aggarwal, A. Bansal, and G. Bhola, "Augmented Reality and Machine Learning based Product Identification in Retail using Vuforia and MobileNets," in *Proceedings of the 5th International Conference on Inventive Computation Technologies, ICICT 2020*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., Feb. 2020, pp. 479–485. doi: 10.1109/ICICT48043.2020.9112490.
- [14] G. S. Mahendra and I. K. A. Asmarajaya, "Evaluation Using Black Box Testing and System Usability Scale in the Kidung Sekar Madya Application," *Sinkron*, vol. 7, no. 4, pp. 2292–2302, Oct. 2022, doi: 10.33395/sinkron.v7i4.11755.
- [15] K. T. Nugroho, B. Julianto, and D. F. Nur MS, "Usability Testing pada Sistem Informasi Manajemen AKN Pacitan Menggunakan Metode System Usability Scale," *Jurnal Nasional Pendidikan Teknik Informatika (JANAPATI)*, vol. 11, no. 1, p. 74, Apr. 2022, doi: 10.23887/janapati.v11i1.43209.
- [16] G. W. Sasmito, L. O. M. Zulfiqar, and M. Nishom, *2019 International Seminar on Research of Information Technology and Intelligent Systems (ISRITI)*. IEEE, 2019.