

Implementasi Sistem Interaksi *Multi-touch* untuk Manipulasi Objek 3D Berbasis *Augmented Reality*

Yoseph Satria Praka¹, Ananda Maria¹, Candi Rahayu Tri Prameswari¹, Nurul Wahyuni¹, Indah Sari Mukkarammah¹

¹Program Studi Teknik Multimedia Digital, Politeknik Negeri Jakarta, Indonesia.

Artikel Info

Kata Kunci:

Augmented Reality;
Manipulasi Objek 3D;
Multisentuh.

Keywords:

Augmented Reality;
3D Object Manipulation;
Multi-touch.

Riwayat Artikel:

Submitted: 4 Mei 2026
Accepted: 20 Juni 2026
Published: 30 Juni 2026

Abstrak: Teknologi *Augmented Reality* (AR) memungkinkan penggabungan objek digital dengan lingkungan fisik secara langsung melalui proses pelacakan secara waktu nyata (*real-time*), sehingga mampu menghadirkan pengalaman visual yang lebih menarik dan interaktif. Seiring perkembangannya, kebutuhan interaksi pengguna terhadap objek virtual juga semakin meningkat, terutama untuk mendukung eksplorasi objek tiga dimensi secara lebih fleksibel. Penelitian ini bertujuan mengimplementasikan sistem interaksi *multi-touch* untuk manipulasi objek 3D pada aplikasi *augmented reality* berbasis android. Pengembangan aplikasi dilakukan menggunakan pendekatan *Multimedia Development Life Cycle* (MDLC) dengan pembahasan penelitian difokuskan pada proses implementasi dan pengujian sistem. Aplikasi dikembangkan menggunakan Unity dan Vuforia dengan menerapkan mekanisme rotasi melalui *single-touch gesture* dan perubahan ukuran objek menggunakan *pinch gesture* pada *image target*. Evaluasi sistem dilakukan melalui metode *black box testing* pada perangkat Redmi 13 dengan 50 skenario pengujian. Hasil pengujian menunjukkan bahwa seluruh fungsi aplikasi berjalan sesuai rancangan dengan tingkat keberhasilan sebesar 100%. Temuan penelitian menunjukkan bahwa mekanisme interaksi *multi-touch* yang dikembangkan mampu mendukung manipulasi objek 3D secara responsif dan intuitif serta dapat menjadi alternatif implementasi interaksi berbasis *gesture* pada pengembangan aplikasi *augmented reality* berbasis android.

Abstract: *Augmented Reality* (AR) technology enables digital objects to be overlaid onto physical environments through real-time tracking, thereby creating a more engaging and interactive visual experience. Along with the advancement of AR applications, providing users with intuitive interactions for exploring virtual objects has become increasingly important. This study aims to implement a *multi-touch* interaction system for 3D object manipulation in an android-based *augmented reality* application. The application was developed using the *Multimedia Development Life Cycle* (MDLC) approach, while the present study concentrates on the implementation and testing phases. Unity and Vuforia were employed to develop the application by integrating object rotation through a *single-touch gesture* and object scaling through a *pinch gesture* on *image targets*. System evaluation was conducted using the *black box testing* method on a Redmi 13 smartphone with a total of 50 test scenarios. The findings indicate that all scenarios were executed successfully, resulting in a success rate of 100%. Furthermore, the proposed *multi-touch* interaction mechanism provides responsive and intuitive 3D object manipulation and may serve as an

alternative gesture-based interaction approach for android-based augmented reality applications.

This is an open access article under the [CC BY-SA](#) license



Corresponding Author:

Yoseph Satria Praka

Email: yoseph.satria.praka.tik23@stu.pnj.ac.id

PENDAHULUAN

Perkembangan *Augmented Reality* (AR) memberikan peluang baru dalam penyajian informasi dan visualisasi objek tiga dimensi secara interaktif. Teknologi ini memungkinkan objek virtual diproyeksikan dan dipadukan dengan lingkungan nyata secara *real-time* melalui perangkat bergerak, seperti *smartphone* (Jabbar et al., 2026). Pemanfaatan AR juga semakin meluas di berbagai bidang, di antaranya pendidikan, pelatihan, pemasaran, dan hiburan, karena kemampuannya dalam menyajikan pengalaman visual yang lebih menarik dan imersif dibandingkan dengan media konvensional (Al-Ansi et al., 2023; Chiang et al., 2022; Massa & Ladhari, 2023; Dargan et al., 2023). Tidak hanya berfungsi sebagai media visualisasi, AR juga mendukung interaksi langsung antara pengguna dan objek virtual. Aspek interaksi tersebut menjadi komponen penting dalam pengembangan aplikasi AR karena mampu menciptakan pengalaman penggunaan yang lebih aktif, intuitif, dan fleksibel. Salah satu bentuk interaksi yang dapat diterapkan adalah manipulasi objek 3D, seperti melakukan rotasi dan mengubah skala objek, sehingga pengguna dapat mengamati dan mengeksplorasi objek dari berbagai sudut pandang dan ukuran sesuai kebutuhannya (Christianingrum et al., 2024).

Berbagai penelitian sebelumnya telah memanfaatkan *gesture* sentuhan sebagai metode interaksi pada perangkat bergerak karena didukung oleh teknologi layar sentuh yang tersedia pada sebagian besar *smartphone*. Penggunaan *gesture* sentuhan memungkinkan pengguna berinteraksi secara langsung dengan objek virtual tanpa memerlukan perangkat tambahan (Imani & Sutarman, 2025; Norhaifa, 2025). Salah satu pendekatan yang umum digunakan adalah sistem *multi-touch* yang mampu mengenali lebih dari satu titik sentuhan secara bersamaan untuk menghasilkan berbagai jenis interaksi terhadap objek digital (Boboc et al., 2022). Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini mengusulkan implementasi sistem interaksi *multi-touch* untuk manipulasi objek tiga dimensi pada lingkungan *augmented reality* berbasis android. Sistem yang dikembangkan memanfaatkan *gesture* sentuhan untuk melakukan rotasi objek menggunakan satu jari serta perubahan skala objek menggunakan dua jari melalui teknik *pinch gesture*. Selain itu, proses pemilihan objek dilakukan menggunakan metode *raycast* sehingga interaksi hanya diterapkan pada objek yang dipilih oleh pengguna.

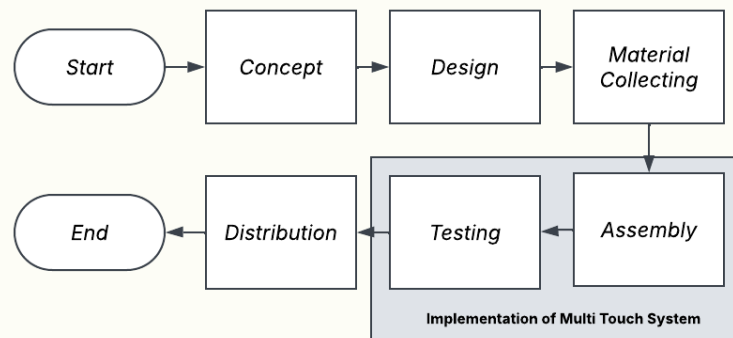
Nilai kebaruan penelitian ini terletak pada pengembangan mekanisme interaksi *multi-touch* berbasis *gesture* yang diimplementasikan secara mandiri tanpa memanfaatkan *framework* interaksi pihak ketiga. Sistem yang dikembangkan mengintegrasikan seleksi objek berbasis *raycast*, rotasi menggunakan *gesture single touch*, dan perubahan skala menggunakan *pinch gesture* dalam lingkungan *augmented reality* berbasis *marker* pada perangkat android. Pendekatan ini menghasilkan mekanisme interaksi yang ringan, mudah diintegrasikan ke berbagai objek 3D, serta tidak bergantung pada aset atau pustaka tambahan di luar fitur bawaan Unity. Dengan demikian, sistem yang dihasilkan dapat menjadi alternatif untuk implementasi manipulasi objek 3D pada aplikasi *augmented reality* berbasis unity yang memerlukan interaksi sentuhan secara langsung dan responsif. Penelitian ini bertujuan mengimplementasikan sekaligus menguji sistem interaksi *multi-touch* pada objek tiga dimensi dalam aplikasi *augmented reality* berbasis android. Hasil penelitian diharapkan dapat menjadi rujukan bagi peneliti maupun pengembang dalam merancang mekanisme manipulasi objek 3D berbasis *touch gesture*, khususnya rotasi menggunakan *single-touch gesture* dan perubahan ukuran melalui *pinch*

gesture. Selain itu, penelitian ini diharapkan dapat menjadi landasan bagi pengembangan fitur interaksi yang lebih beragam dan kompleks pada aplikasi *augmented reality* di masa mendatang.

METODE

Penelitian ini menerapkan metode *Multimedia Development Life Cycle* (MDLC) sebagai pendekatan dalam pengembangan aplikasi. Pemilihan metode ini didasarkan pada kemampuannya dalam menyediakan alur pengembangan multimedia yang terstruktur dan sistematis, mulai dari tahap perencanaan hingga proses distribusi aplikasi. Secara umum, MDLC terdiri atas enam tahapan, yaitu konsep, desain, pengumpulan bahan, perakitan, pengujian, dan distribusi. Metode ini banyak digunakan dalam pengembangan aplikasi multimedia karena mampu mengintegrasikan berbagai kebutuhan, seperti pengolahan media visual serta perancangan interaksi pengguna dalam satu kerangka pengembangan yang terpadu (Fatimah et al., 2022; Lee & Herman, 2023; Solehatin et al., 2023).

Secara umum, tahapan penelitian dimulai dari identifikasi masalah dan penentuan tujuan penelitian, dilanjutkan dengan studi pustaka untuk memperoleh landasan teori yang mendukung penelitian. Setelah itu dilakukan proses pengembangan aplikasi menggunakan metode MDLC (Kurniasari et al., 2023; Yudhanto et al., 2023). Alur penelitian yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 1. Pada tahap konsep dilakukan identifikasi masalah, penentuan tujuan penelitian, sasaran pengguna, serta kebutuhan fungsional aplikasi. Tahap desain dilakukan dengan merancang alur sistem, mekanisme interaksi *multi-touch*, serta antarmuka pengguna. Tahap pengumpulan bahan meliputi pengumpulan seluruh aset yang dibutuhkan, seperti model objek 3D, marker (*Image Target*), tekstur, dan komponen antarmuka. Selanjutnya, tahap perakitan dilakukan dengan mengimplementasikan seluruh rancangan ke dalam Unity dan Vuforia, termasuk pengembangan fitur manipulasi objek 3D berupa rotasi (*single-touch*) dan perubahan skala (*pinch gesture*). Pada tahap pengujian, aplikasi diuji menggunakan metode *Black Box Testing* untuk memastikan seluruh fungsi berjalan sesuai dengan kebutuhan yang telah ditetapkan. Tahap terakhir, yaitu distribusi, dilakukan dengan membangun (*build*) aplikasi ke dalam format *Android Package Kit* (APK) dan mendistribusikannya pada perangkat android.



Gambar 1. Tahapan Penelitian

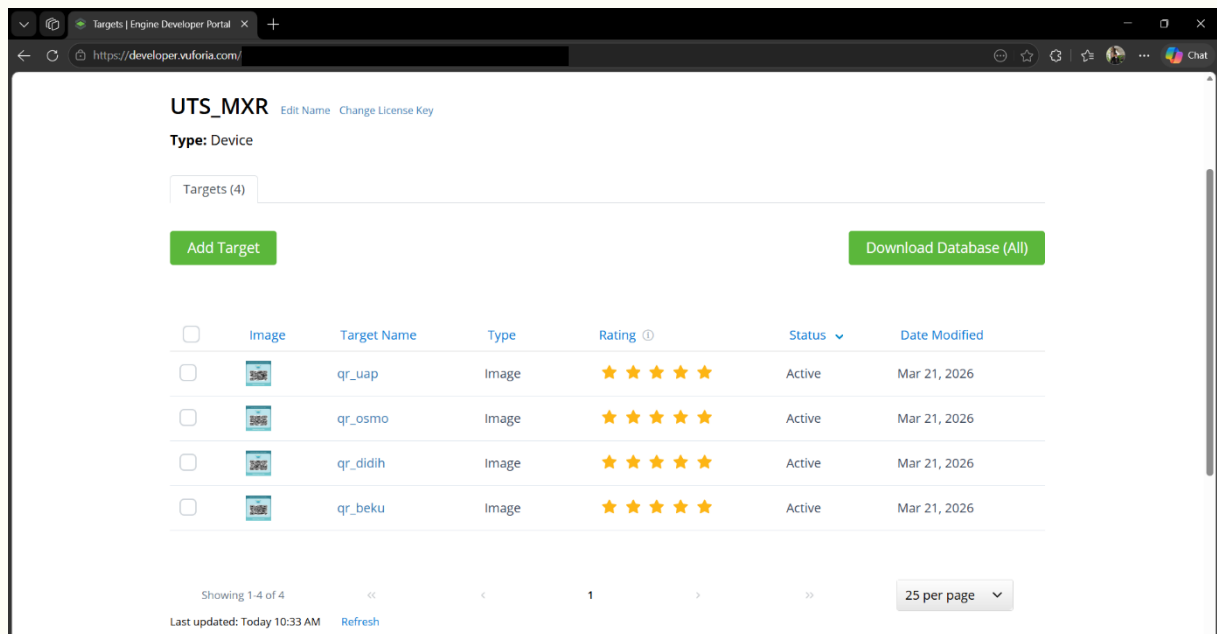
HASIL DAN PEMBAHASAN

Bagian hasil dan pembahasan menyajikan proses implementasi serta pengujian sistem interaksi *multi-touch* untuk manipulasi objek 3D pada aplikasi *augmented reality* berbasis android. Pembahasan diawali dengan implementasi objek 3D pada lingkungan *augmented reality* menggunakan vuforia dan *image target*, dilanjutkan dengan implementasi mekanisme interaksi *multi-touch* berupa rotasi menggunakan *single-touch gesture* dan perubahan skala menggunakan *pinch gesture*. Selanjutnya, dilakukan pengujian menggunakan metode *black box testing* untuk mengevaluasi kesesuaian fungsi sistem yang telah diimplementasikan. Melalui tahapan tersebut, bagian ini bertujuan untuk

menunjukkan bagaimana sistem dikembangkan dan sejauh mana fitur manipulasi objek 3D dapat berjalan sesuai dengan tujuan penelitian.

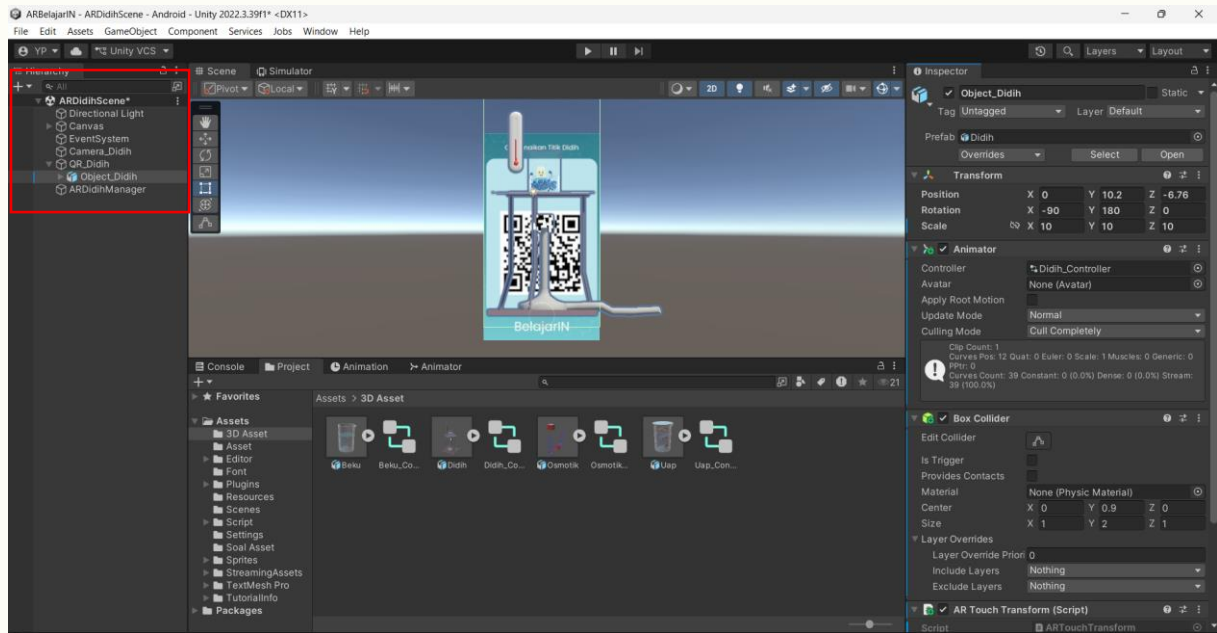
1. Implementasi Objek 3D

Implementasi objek 3D pada aplikasi *augmented reality* diawali dengan penggunaan *package* Vuforia sebagai *Software Development Kit (SDK)* untuk mendukung proses pelacakan (*tracking*) objek berbasis *marker*. Setelah Vuforia terintegrasi ke dalam Unity, dilakukan pembuatan *license key* melalui portal pengembang Vuforia yang kemudian digunakan untuk mengaktifkan layanan Vuforia pada proyek yang dikembangkan. Selanjutnya dilakukan pembuatan *database marker* yang berfungsi sebagai tempat penyimpanan citra yang akan digunakan sebagai *Image target*. Pada tahap ini, gambar yang digunakan sebagai *marker* diunggah ke dalam *database* Vuforia dan dilakukan evaluasi kualitas *marker* berdasarkan nilai *rating* yang diberikan oleh sistem. Untuk memperoleh proses pelacakan yang lebih stabil dan akurat, gambar yang digunakan sebagai *Image target* dipilih yang memiliki nilai kualitas maksimal atau *rating* lima bintang. Proses pembuatan *license key* dan *database* Vuforia ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Pembuatan *Database* di Vuforia

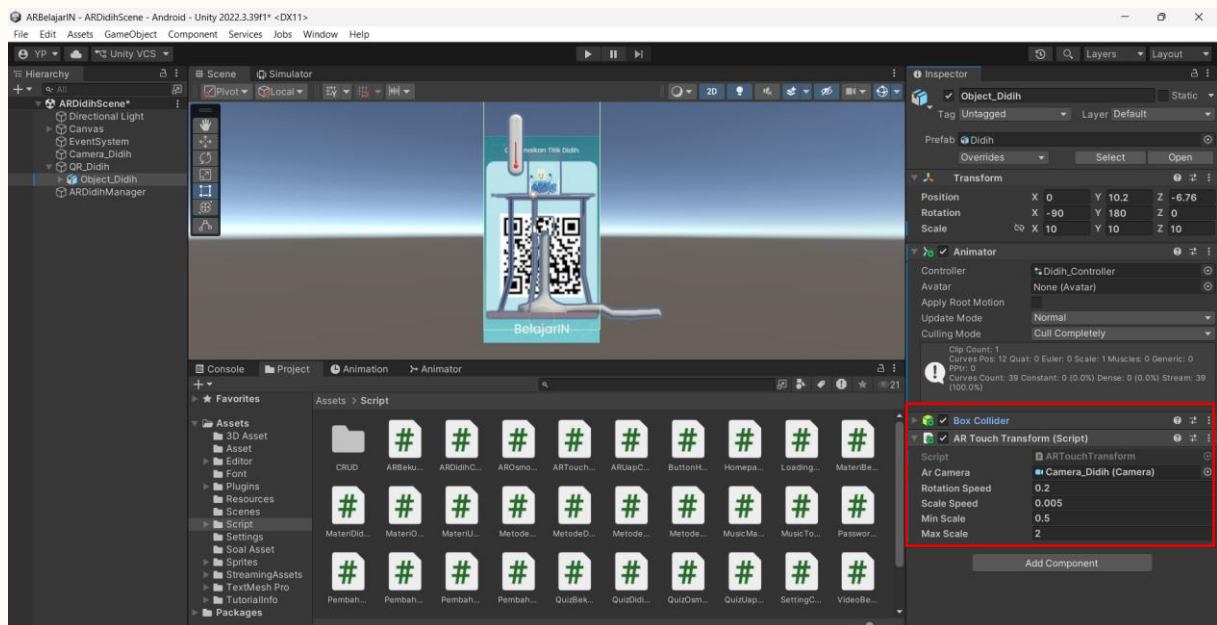
Setelah *database* berhasil dibuat dan diimpor ke dalam unity, tahap berikutnya adalah menambahkan komponen *AR Camera* dan *Image target* ke dalam *scene*. *AR Camera* berfungsi sebagai kamera yang bertugas melakukan proses pelacakan *marker* dan menampilkan objek virtual pada lingkungan nyata. Sementara itu, *Image target* dikonfigurasi menggunakan *marker* yang telah ditambahkan sebelumnya ke dalam *database* Vuforia. Objek 3D kemudian ditempatkan sebagai *child object* dari *Image target* sehingga posisi, rotasi, dan skala objek akan mengikuti *marker* yang terdeteksi oleh kamera. Dengan konfigurasi tersebut, objek 3D akan muncul secara otomatis ketika *Image target* berhasil dikenali oleh sistem *augmented reality*. Selain itu, pada setiap objek 3D ditambahkan komponen *Collider* yang berfungsi untuk mendukung proses deteksi sentuhan (*touch interaction*) melalui mekanisme *raycast*. Jenis *collider* yang digunakan dapat disesuaikan dengan bentuk objek, seperti *Box Collider* untuk objek berbentuk sederhana atau *Mesh Collider* untuk objek dengan bentuk yang lebih kompleks. Penambahan *collider* memungkinkan sistem mengenali objek yang disentuh pengguna sehingga fitur manipulasi berupa rotasi dan perubahan skala dapat diterapkan dengan tepat. Implementasi *AR Camera*, *Image target*, objek 3D, dan *collider* ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Implementasi AR Camera, Image target, Objek 3D, dan Collider

2. Implementasi Rotate dan Scale untuk Objek 3D

Implementasi fitur manipulasi objek 3D dilakukan dengan membuat skrip ARTouchTransform menggunakan bahasa pemrograman C# pada Unity. Skrip ini dirancang agar dapat ditempelkan (*attach*) pada objek 3D apapun yang akan dimanipulasi oleh pengguna. Sebelum proses manipulasi dilakukan, sistem terlebih dahulu melakukan seleksi objek menggunakan metode *raycast* berdasarkan posisi sentuhan pengguna pada layar. Ketika pengguna menyentuh objek yang memiliki *collider*, sistem akan mengubah status objek menjadi terpilih (*selected*) sehingga objek tersebut dapat menerima interaksi lebih lanjut berupa rotasi maupun perubahan skala. Selain itu, skrip juga dilengkapi dengan mekanisme deteksi elemen antarmuka (UI) untuk mencegah konflik antara interaksi objek 3D dan interaksi tombol pada aplikasi. Implementasi skrip ARTouchTransform ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Implementasi Skrip ARTouchTransform

Fitur rotasi objek diimplementasikan melalui *gesture single touch* atau satu jari. Ketika pengguna menyentuh dan menggeser jari pada layar, sistem akan membaca perubahan posisi sentuhan menggunakan nilai *deltaPosition*. Nilai tersebut kemudian dikalikan dengan parameter *rotationSpeed* untuk menghasilkan besar rotasi yang akan diterapkan pada objek. Rotasi dilakukan pada sumbu Y menggunakan fungsi *transform.Rotate()*, sehingga pengguna dapat melihat objek dari berbagai sudut pandang hanya dengan menggeser jari ke kiri atau ke kanan pada layar. Proses ini hanya dijalankan ketika objek berada dalam kondisi terpilih (*isSelected = true*) sehingga manipulasi tidak akan memengaruhi objek lain yang tidak dipilih. Implementasi rotasi pada perangkat android dilakukan pada fungsi *HandleTouch()*. Saat jumlah sentuhan yang terdeteksi hanya satu (*Input.touchCount == 1*), sistem akan memeriksa status sentuhan pengguna. Jika sentuhan baru dimulai (*TouchPhase.Began*), fungsi *SelectObject()* akan dijalankan untuk menentukan apakah objek berhasil dipilih. Selanjutnya, ketika pengguna menggeser jari (*TouchPhase.Moved*), sistem menghitung besar pergerakan *horizontal* sentuhan dan menerapkannya sebagai nilai rotasi objek. Dengan mekanisme ini, objek dapat diputar secara langsung dan responsif mengikuti pergerakan jari pengguna.

Fitur *scaling* diimplementasikan menggunakan *gesture multi-touch* berupa *pinch gesture* yang memanfaatkan dua titik sentuhan secara bersamaan. Ketika dua jari menyentuh layar, sistem menghitung jarak antar kedua titik sentuhan menggunakan fungsi *Vector2.Distance()*. Pada awal proses *pinch*, jarak antar jari disimpan ke dalam variabel *initialPinchDistance*, sedangkan ukuran awal objek disimpan ke dalam variabel *initialScale*. Selanjutnya sistem akan terus menghitung perubahan jarak antar kedua jari untuk memperoleh faktor perubahan ukuran (*scale factor*). Jika jarak kedua jari semakin jauh maka objek akan diperbesar, sedangkan jika jarak kedua jari semakin dekat maka objek akan diperkecil. Proses perubahan ukuran objek dilakukan dengan mengalikan ukuran awal objek (*initialScale*) dengan nilai faktor perubahan (*factor*) yang diperoleh dari perbandingan jarak sentuhan saat ini terhadap jarak sentuhan awal. Hasil perhitungan tersebut kemudian diterapkan pada properti *transform.localScale* sehingga ukuran objek berubah secara *real-time* sesuai pergerakan pengguna. Untuk menjaga stabilitas interaksi, sistem menerapkan batas minimum dan maksimum ukuran objek melalui fungsi *ClampScale()*. Pada penelitian ini nilai minimum skala ditetapkan sebesar 0,5 dan nilai maksimum sebesar 2,0 sehingga objek tidak dapat menjadi terlalu kecil maupun terlalu besar selama proses manipulasi berlangsung.

3. Pengujian Black Box

Setelah seluruh proses pengembangan aplikasi diselesaikan, sistem dibangun (*build*) ke dalam format *Android Package Kit* (APK) dan diinstal pada perangkat Redmi 13 untuk keperluan pengujian. Tahap evaluasi sistem dilakukan menggunakan metode *Black Box Testing*, yaitu pendekatan pengujian yang berfokus pada pemeriksaan keluaran dan fungsionalitas sistem tanpa meninjau implementasi kode program di dalamnya (Cahyono & Saputra, 2023; Sukmawardani et al., 2025). Pengujian ini bertujuan untuk memverifikasi bahwa setiap fitur pada aplikasi *augmented reality* telah beroperasi sesuai dengan kebutuhan fungsional yang ditetapkan, terutama pada fitur manipulasi objek 3D melalui interaksi berbasis *touch gesture*, yaitu rotasi dan perubahan skala (*scaling*). Pada penelitian ini, evaluasi dilakukan melalui 50 skenario pengujian yang merepresentasikan fungsi-fungsi utama aplikasi. Skenario tersebut meliputi proses pendeteksian *Image Target*, penampilan objek 3D pada lingkungan AR, seleksi objek melalui sentuhan, manipulasi rotasi dan *scaling*, pengoperasian antarmuka pengguna, serta pengujian terhadap batas minimum dan maksimum ukuran objek. Rekapitulasi hasil pengujian *Black Box Testing* disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Pengujian *Black Box*

No	Skenario Pengujian	Hasil yang Diharapkan	Hasil yang Didapat	Kesimpulan
1	Membuka aplikasi	Halaman utama tampil	Halaman utama tampil	Valid
2	Menampilkan <i>splash screen</i>	<i>Splash screen</i> tampil	<i>Splash screen</i> tampil	Valid
3	Masuk ke menu utama	Menu utama terbuka	Menu utama terbuka	Valid
4	Menekan tombol menu AR	Scene AR terbuka	Scene AR terbuka	Valid
5	Izin kamera diberikan	Kamera aktif	Kamera aktif	Valid
6	Kamera membaca <i>marker</i>	<i>Marker</i> terdeteksi	<i>Marker</i> terdeteksi	Valid
7	<i>Marker</i> tidak terdeteksi	Objek tidak tampil	Objek tidak tampil	Valid
8	<i>Marker</i> terdeteksi kembali	Objek tampil kembali	Objek tampil kembali	Valid
9	Menampilkan objek 3D	Objek tampil pada <i>marker</i>	Objek tampil pada <i>marker</i>	Valid
10	Posisi objek mengikuti <i>marker</i>	Objek mengikuti <i>marker</i>	Objek mengikuti <i>marker</i>	Valid
11	Rotasi <i>marker</i>	Objek mengikuti rotasi <i>marker</i>	Objek mengikuti rotasi <i>marker</i>	Valid
12	Perubahan jarak <i>marker</i>	Objek mengikuti posisi <i>marker</i>	Objek mengikuti posisi <i>marker</i>	Valid
13	Menyentuh objek 3D	Objek terseleksi	Objek terseleksi	Valid
14	Menyentuh area selain objek	Objek tidak terseleksi	Objek tidak terseleksi	Valid
15	<i>Raycast</i> mengenai <i>collider</i> objek	Objek terdeteksi	Objek terdeteksi	Valid
16	<i>Raycast</i> tidak mengenai <i>collider</i>	Objek tidak dipilih	Objek tidak dipilih	Valid
17	<i>Drag</i> satu jari ke kanan	Objek berotasi	Objek berotasi	Valid
18	<i>Drag</i> satu jari ke kiri	Objek berotasi	Objek berotasi	Valid
19	<i>Drag</i> berulang	Rotasi tetap berjalan	Rotasi tetap berjalan	Valid
20	Lepas sentuhan setelah rotasi	Rotasi berhenti	Rotasi berhenti	Valid
21	<i>Pinch</i> out	Objek membesar	Objek membesar	Valid
22	<i>Pinch</i> in	Objek mengecil	Objek mengecil	Valid
23	<i>Pinch</i> out berulang	Ukuran bertambah	Ukuran bertambah	Valid
24	<i>Pinch</i> in berulang	Ukuran berkurang	Ukuran berkurang	Valid
25	<i>Scaling</i> saat objek terpilih	<i>Scaling</i> berjalan	<i>Scaling</i> berjalan	Valid
26	<i>Scaling</i> saat objek tidak terpilih	<i>Scaling</i> tidak berjalan	<i>Scaling</i> tidak berjalan	Valid
27	Mencapai batas minimum skala	Skala dibatasi	Skala dibatasi	Valid
28	Mencapai batas maksimum skala	Skala dibatasi	Skala dibatasi	Valid
29	<i>Scaling</i> setelah rotasi	<i>Scaling</i> tetap berjalan	<i>Scaling</i> tetap berjalan	Valid
30	Rotasi setelah <i>scaling</i>	Rotasi tetap berjalan	Rotasi tetap berjalan	Valid
31	Menekan tombol replay	Animasi diputar ulang	Animasi diputar ulang	Valid
32	Tombol replay saat <i>marker</i> hilang	Tombol tidak aktif	Tombol tidak aktif	Valid
33	<i>Marker</i> muncul kembali	Tombol aktif	Tombol aktif	Valid
34	Menekan tombol kembali	Kembali ke scene sebelumnya	Scene berubah	Valid
35	Menyentuh tombol UI	Fungsi tombol berjalan	Fungsi tombol berjalan	Valid
36	Menyentuh UI saat objek tampil	Objek tidak terpengaruh	Objek tidak terpengaruh	Valid
37	Sentuhan UI tidak memicu rotasi	Rotasi tidak terjadi	Rotasi tidak terjadi	Valid
38	Sentuhan UI tidak memicu <i>scaling</i>	<i>Scaling</i> tidak terjadi	<i>Scaling</i> tidak terjadi	Valid
39	<i>Marker</i> digerakkan perlahan	Tracking stabil	Tracking stabil	Valid
40	<i>Marker</i> digerakkan cepat	Tracking tetap berjalan	Tracking tetap berjalan	Valid

No	Skenario Pengujian	Hasil yang Diharapkan	Hasil yang Didapat	Kesimpulan
41	Marker dimiringkan	Objek tetap tampil	Objek tetap tampil	Valid
42	Marker diputar	Objek mengikuti <i>marker</i>	Objek mengikuti <i>marker</i>	Valid
43	Menjalankan aplikasi ulang	Aplikasi berjalan normal	Aplikasi berjalan normal	Valid
44	Menutup aplikasi	Aplikasi tertutup normal	Aplikasi tertutup normal	Valid
45	Membuka aplikasi kembali	Aplikasi dapat dibuka	Aplikasi dapat dibuka	Valid
46	Pengujian rotasi berulang	Tidak terjadi <i>error</i>	Tidak terjadi <i>error</i>	Valid
47	Pengujian <i>scaling</i> berulang	Tidak terjadi <i>error</i>	Tidak terjadi <i>error</i>	Valid
48	Pengujian <i>multi-touch</i> berulang	Interaksi tetap responsif	Interaksi tetap responsif	Valid
49	Penggunaan selama beberapa menit	Aplikasi tetap stabil	Aplikasi tetap stabil	Valid
50	Seluruh fitur dijalankan bersamaan	Seluruh fitur berfungsi	Seluruh fitur berfungsi	Valid

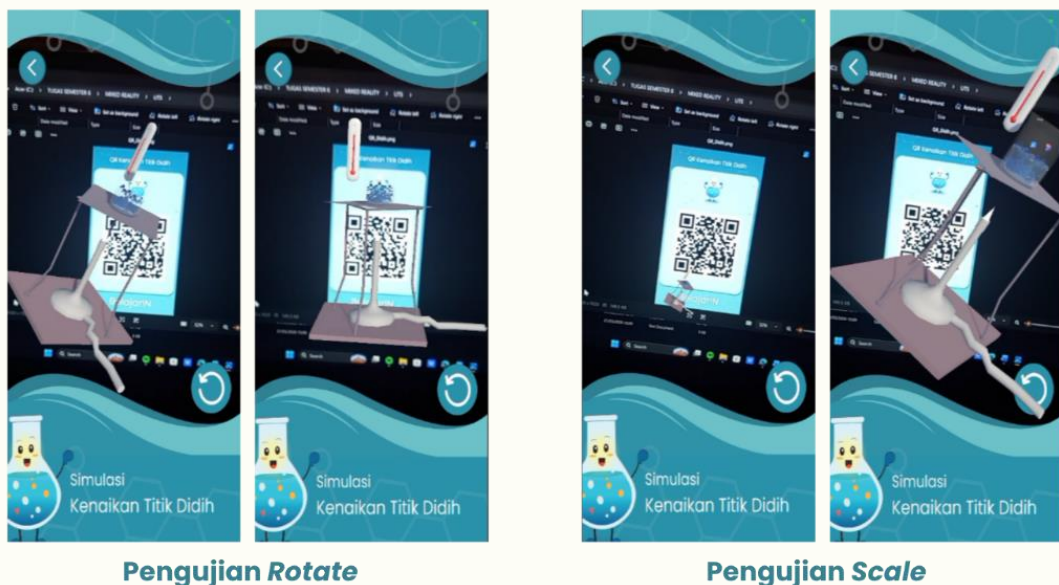
Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 1, seluruh skenario yang diujikan dapat berjalan sesuai dengan hasil yang diharapkan. Sistem berhasil mendeteksi *marker*, menampilkan objek 3D, melakukan seleksi objek menggunakan *raycast*, serta menjalankan fitur manipulasi berupa rotasi dan *scaling* tanpa ditemukan kesalahan fungsi selama proses pengujian. Selain itu, pembatasan ukuran objek melalui mekanisme *clamp scale* juga berjalan sesuai rancangan sehingga objek tidak dapat diperbesar maupun diperkecil melebihi batas yang telah ditentukan. Tingkat keberhasilan pengujian dihitung menggunakan persamaan (Irawan et al., 2025):

$$\text{Presentase Keberhasilan} = \frac{\text{Jumlah Skenario Berhasil}}{\text{Jumlah Seluruh Skenario}} \times 100\% \quad (1)$$

Berdasarkan hasil pengujian yang diperoleh, seluruh 50 skenario dinyatakan berhasil sehingga diperoleh nilai:

$$\text{Presentase Keberhasilan} = \frac{50}{50} \times 100\%$$

Hasil tersebut menunjukkan bahwa implementasi sistem interaksi *multi-touch* pada aplikasi *augmented reality* berbasis android telah berfungsi dengan baik dengan tingkat keberhasilan pengujian sebesar 100%. *Gesture* satu sentuhan berhasil digunakan untuk melakukan rotasi objek, sedangkan *gesture* dua sentuhan (*pinch gesture*) berhasil digunakan untuk melakukan perubahan ukuran objek secara responsif. Dokumentasi pelaksanaan pengujian *Black Box* menggunakan perangkat Redmi 13 ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Dokumentasi Pengujian

KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil mengimplementasikan sistem interaksi multi-touch untuk manipulasi objek 3D pada aplikasi *augmented reality* berbasis android. Implementasi dilakukan dengan memanfaatkan *gesture* sentuhan sebagai media interaksi utama, yaitu satu sentuhan (*single touch*) untuk melakukan rotasi objek dan dua sentuhan (*pinch gesture*) untuk melakukan perubahan skala objek. Sistem yang dikembangkan juga memanfaatkan metode *raycast* untuk proses seleksi objek sehingga manipulasi hanya diterapkan pada objek yang dipilih oleh pengguna. Dengan adanya mekanisme tersebut, pengguna dapat berinteraksi secara langsung dengan objek virtual yang ditampilkan pada lingkungan *augmented reality* secara lebih intuitif. Hasil pengujian menunjukkan bahwa fitur-fitur yang diimplementasikan mampu berfungsi sesuai dengan tujuan penelitian, yaitu memberikan kemampuan manipulasi objek 3D melalui interaksi *multi-touch* pada perangkat android. Hasil penelitian ini juga menunjukkan bahwa implementasi interaksi *multi-touch* berbasis *gesture* dapat menjadi alternatif solusi yang ringan dan mudah diterapkan untuk mendukung manipulasi objek 3D pada aplikasi *augmented reality* yang dikembangkan menggunakan Unity tanpa memerlukan framework interaksi tambahan. Pengembangan lebih lanjut dapat dilakukan dengan menambahkan jenis manipulasi objek lainnya, seperti translasi (*translation*), rotasi pada beberapa sumbu, maupun kombinasi berbagai *gesture* yang lebih kompleks. Selain itu, penelitian berikutnya dapat mengimplementasikan teknologi *markerless augmented reality* sehingga interaksi tidak lagi bergantung pada *Image target*. Dengan pengembangan tersebut, sistem interaksi yang dihasilkan diharapkan mampu mendukung berbagai kebutuhan aplikasi *augmented reality* pada bidang pendidikan, pelatihan, visualisasi produk, maupun bidang lainnya yang memerlukan eksplorasi objek tiga dimensi secara interaktif.

DAFTAR PUSTAKA

- Al-Ansi, A. M., Jabooob, M., Garad, A., & Al-Ansi, A. (2023). Analyzing augmented reality (AR) and virtual reality (VR) recent development in education. *Social Sciences & Humanities Open*, 8(1), 100532. <https://doi.org/10.1016/j.ssaho.2023.100532>
- Boboc, R. G., Băutu, E., Gîrbacia, F., Popovici, N., & Popovici, D.-M. (2022). Augmented Reality in Cultural Heritage: An Overview of the Last Decade of Applications. *Applied Sciences*, 12(19), 9859. <https://doi.org/10.3390/app12199859>
- Cahyono, N., & Saputra, R. B. (2023). Pengujian Device dan Blackbox pada Aplikasi Augmented Reality Alat Musik Tradisional Yogyakarta. *Journal of Information System Research (JOSH)*, 4(3), 767–774. <https://doi.org/10.47065/josh.v4i3.3148>
- Chiang, F.-K., Shang, X., & Qiao, L. (2022). Augmented Reality in Vocational Training: A Systematic Review of Research and Applications. *Computers in Human Behavior*, 129, 107125. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2021.107125>
- Christianingrum, Sumar, Saptadi, N. T. S., Sari, D. Y., Suparman, A., Arfianto, A. Z., Maulani, G., Irwansyah, M. A., Riananda, D. P., & Pardosi, V. B. A. (2024). *Augmented and Virtual Reality*. CV. REY MEDIA GRAFIKA.
- Dargan, S., Bansal, S., Kumar, M., Mittal, A., & Kumar, K. (2023). Augmented Reality: A Comprehensive Review. *Archives of Computational Methods in Engineering*, 30(2), 1057–1080. <https://doi.org/10.1007/s11831-022-09831-7>
- Fatimah, D. D. S., Latifah, A., & Haniyah, H. (2022). Implementasi Augmented Reality Sebagai Media Pembelajaran Kata Benda Bahasa Arab pada Siswa Sekolah Dasar Islam Terpadu. *Jurnal Algoritma*, 19(2), 781–789. <https://doi.org/10.33364/algoritma/v.19-2.1209>
- Imani, D. S. H., & Sutarman. (2025). AR EduKids: Media Pembelajaran Pengenalan Hewan, Angka, dan Huruf Berbasis Augmented Reality untuk Anak Taman Kanak-Kanak. *Bulletin Of Computer Science Research*, 6(1), 85–94. <https://doi.org/10.47065/bulletincsr.v6i1.845>
- Irawan, D., Ruliyanti, A. D., Zulfikar, M. F., Fu'adhi, M. Z., Rozi, M. F., Kholifah, M., & Thoib, I. (2025). Functional Testing of Nganjuk Runners Website Using Black Box Testing Method. *Jurnal Ilmiah*

- Sistem Informasi*, 4(3), 959–972. <https://doi.org/10.51903/ht6zeq23>
- Jabbar, A. A., Marlina, & Wahyuddin. (2026). *Teknologi Masa Depan Aplikasi dan Inovasi AR/VR dalam Berbagai Bidang*. PT Penamuda Media.
- Kurniasari, A. A., Puspitasari, T. D., & Mutiara, A. D. S. (2023). Penerapan Metode Multimedia Development Life Cycle (MDLC) pada A Magical Augmented Reality Book Berbasis Android. *Antivirus : Jurnal Ilmiah Teknik Informatika*, 17(1), 19–31. <https://doi.org/10.35457/antivirus.v17i1.2801>
- Lee, K., & Herman, H. (2023). Penerapan Metode MDLC dalam Pengembangan Media Pembelajaran Augmented Reality untuk Mengenal Jenis-Jenis Sambal Indonesia. *Jurnal Pendidikan Teknologi Informasi (JUKANTI)*, 6(2), 272–284. <https://doi.org/10.37792/jukanti.v6i2.1034>
- Massa, E., & Ladhari, R. (2023). Augmented Reality in Marketing: Conceptualization and Systematic Review. *International Journal of Consumer Studies*, 47(6), 2335–2366. <https://doi.org/10.1111/ijcs.12930>
- Norhaifa. (2025). Dari Panggung Ke Layar: Augmented Reality Sebagai Gerbang Menuju Wisata Virtual Kesenian Banjar Di Metaverse. *Interdisciplinary Explorations in Research Journal*, 3(2), 548–552. <https://doi.org/10.62976/ierj.v3i2.1214>
- Solehatin, S., Aslamiyah, S., Pertiwi, D. A. A., & Santosa, K. (2023). Augmented reality development using multimedia development life cycle (MDLC) method in learning media. *Journal of Soft Computing Exploration*, 4(1). <https://doi.org/10.52465/joscex.v4i1.118>
- Sukmawardani, R., Fahriah, S., & Thohari, A. N. A. (2025). RAILFUN : Aplikasi Multimedia On Demand Berbasis Chat Bot Sebagai Layanan Hiburan Pada Kereta API. *Coding: Journal of Computing and Software Engineering*, 1(2), 57–65.
- Yudhanto, Y., Putranto, D. S., Purnomo, F. A., Hidayat, T. N., & Pratisto, E. H. (2023). Rancang Bangun Aplikasi Pembelajaran berbasis Augmented Reality (AR) dengan Metode MDLC (Multimedia Development Life Cycle). *Indonesian Journal of Applied Informatics*, 8(1), 1. <https://doi.org/10.20961/ijai.v8i1.73006>