

ANALISIS WAKTU RESPONS PENDETEKSIAN MARKER BUAH PADA AUGMENTED REALITY BERDASARKAN KEMIRIPAN WARNA

Nanda Saputri^{1*}, Radhiyattammardhiyyah², Sucy Indriyani³

Politeknik Negeri Lhokseumawe, Lhokseumawe

e-mail: ¹nandasaputri@pnl.ac.id

Abstract: *This study aims to analyze the response time of fruit marker detection in an Augmented Reality system based on the color similarity of the markers. The system was developed using Unity and Vuforia Engine, with fruit image markers used to display corresponding 3D objects. Testing was conducted under three scenarios: individual marker detection, switching between markers with different colors, and switching between markers with similar colors. A total of 95 tests were performed, consisting of 55 individual marker detection tests, 20 different-color marker switching tests, and 20 similar-color marker switching tests. The results showed that the average response times were 2.02 seconds for individual marker detection, 2.74 seconds for different-color marker switching, and 3.39 seconds for similar-color marker switching. All tests successfully detected the markers and displayed the corresponding 3D objects, with no misidentification observed and stable tracking performance. The ANOVA results indicated a significant difference in response time among the three testing groups ($p=0.0016$), which was also supported by the Kruskal-Wallis test ($p<0.001$). However, pairwise comparison showed that the difference in response time between different-color and similar-color marker switching was not statistically significant ($p=0.3086$). Therefore, although similar-color markers descriptively exhibited a higher average response time, the results are insufficient to conclude that color similarity directly causes an increase in marker detection response time.*

Keywords: *Augmented Reality, fruit marker, response time, color similarity, Vuforia Engine.*

Abstrak: Penelitian ini bertujuan menganalisis waktu respons pendeteksian marker buah pada sistem *Augmented Reality* berdasarkan kondisi kemiripan warna marker. Sistem dikembangkan menggunakan Unity dan Vuforia Engine dengan marker berupa gambar buah yang digunakan untuk menampilkan objek 3D yang sesuai. Pengujian dilakukan pada tiga skenario, yaitu pendeteksian individual marker, pertukaran marker dengan warna berbeda, dan pertukaran marker dengan warna serupa. Sebanyak 95 pengujian dilakukan, terdiri atas 55 pengujian individual marker, 20 pengujian pertukaran marker berbeda warna, dan 20 pengujian pertukaran marker warna serupa. Hasil pengujian menunjukkan rata-rata waktu respons masing-masing sebesar 2,02 detik pada pendeteksian individual marker, 2,74 detik pada pertukaran marker berbeda warna, dan 3,39 detik pada pertukaran marker warna serupa. Seluruh pengujian berhasil mendeteksi marker dan menampilkan objek 3D yang sesuai, tanpa ditemukan *misidentification*, serta menunjukkan kondisi *tracking* yang stabil. Hasil analisis ANOVA menunjukkan terdapat perbedaan rata-rata waktu respons yang signifikan antar kelompok pengujian ($p=0,0016$), yang juga didukung oleh uji Kruskal-Wallis ($p<0,001$). Namun, hasil uji perbandingan berpasangan menunjukkan bahwa perbedaan waktu respons antara marker berbeda warna dan marker warna serupa tidak signifikan ($p=0,3086$). Dengan demikian, secara deskriptif marker dengan warna serupa menunjukkan rata-rata waktu respons yang lebih tinggi, tetapi hasil penelitian ini belum cukup untuk menyatakan bahwa kemiripan warna secara langsung menyebabkan peningkatan waktu respons pendeteksian.

Kata kunci: *Augmented Reality, marker buah, waktu respons, kemiripan warna, Vuforia*

Engine.

PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi Augmented Reality (AR) dalam beberapa tahun terakhir telah membuka peluang besar di berbagai bidang, khususnya pendidikan dan sistem pengenalan objek berbasis visual. AR merupakan teknologi yang menggabungkan elemen digital tiga dimensi (3D) ke dalam tampilan dunia nyata secara real-time melalui kamera perangkat smartphone atau tablet. Dalam konteks pembelajaran, AR terbukti mampu meningkatkan motivasi dan pemahaman pengguna karena menyajikan informasi secara interaktif dan visual (Maelani et al., 2021).

Di Indonesia, pemanfaatan teknologi AR sebagai media pembelajaran, termasuk pengenalan buah-buahan, telah banyak dikembangkan oleh para peneliti. Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa aplikasi AR berbasis Android mampu menampilkan objek 3D buah secara interaktif dan efektif sebagai media edukasi anak usia dini maupun sekolah dasar. Pendekatan yang paling umum digunakan adalah marker-based AR, di mana pengguna mengarahkan kamera ke sebuah gambar (marker) yang telah didaftarkan ke sistem, lalu objek 3D muncul di atas marker tersebut secara real-time (M. Agil dan S. Sitio, 2022).

Platform yang paling banyak digunakan untuk pengembangan aplikasi AR mobile adalah Unity Engine yang diintegrasikan dengan Vuforia Engine SDK. Unity menyediakan ekosistem pengembangan lintas platform yang kuat, sedangkan Vuforia menyediakan kemampuan *image target tracking* berbasis fitur visual yang stabil. Vuforia mendeteksi dan melacak marker dengan mengekstraksi natural feature points dari gambar semakin kaya tekstur dan kontras sebuah gambar, semakin tinggi kualitas pelacakannya (Sulistiyono, 2024).

Tantangan utama yang muncul dalam sistem AR berbasis marker adalah

ketika dua atau lebih marker memiliki kemiripan visual yang tinggi, seperti gambar buah dengan warna dominan yang serupa misalnya apel merah dengan tomat, atau jeruk dengan lemon. Kondisi ini berpotensi menyebabkan sistem mengalami *misidentification* (salah identifikasi) atau *tracking instability* (ketidakstabilan pelacakan), di mana objek 3D yang muncul tidak sesuai dengan marker yang sedang ditelusuri, atau sistem mengalami fluktuasi pengenalan secara tidak konsisten (Handoko et al., 2023).

Penelitian ini bertujuan merancang dan mengimplementasikan aplikasi AR pendeteksi buah berbasis marker menggunakan Unity dan Vuforia, sekaligus menguji secara sistematis performa sistem ketika dilakukan pertukaran antar marker, khususnya pada marker buah yang memiliki warna dominan serupa. Hasil pengujian ini diharapkan memberikan kontribusi berupa analisis mendalam mengenai keterbatasan sistem AR berbasis marker dalam skenario kesamaan warna, serta rekomendasi teknis desain marker yang lebih optimal.

METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan rekayasa perangkat lunak berbasis eksperimen (*experimental software engineering*). Pendekatan ini dipilih karena penelitian tidak hanya membangun sebuah artefak perangkat lunak (aplikasi AR), tetapi juga mengujikannya secara sistematis untuk mengamati dan mengukur perilaku sistem pada kondisi-kondisi tertentu yang telah dirancang sebelumnya khususnya pada skenario pertukaran marker buah berwarna serupa. Metode pengembangan yang digunakan adalah Multimedia Development Life Cycle (MDLC) versi Luther-Sutopo yang terdiri atas enam

tahap: *concept, design, material collecting, assembly, testing, dan distribution*. Model MDLC dipilih karena sesuai dengan karakteristik pengembangan aplikasi multimedia interaktif berbasis AR, yang mengintegrasikan elemen visual, audio, dan interaksi pengguna secara terpadu (W. Irma, 2024)

Variabel Penelitian

Variabel bebas (independent variable): Desain visual marker buah khususnya tingkat kemiripan warna dominan antar pasangan marker (identik vs. berbeda). Variabel terikat (dependent variable): Performa sistem AR Vuforia, diukur dari (a) konsistensi identifikasi marker (benar/salah), (b) waktu respons deteksi, dan (c) ada/tidaknya *misidentification* atau *tracking instability* saat pertukaran marker. Variabel kontrol: Kondisi pencahayaan ruangan, resolusi kamera, versi Unity/Vuforia, jarak pengujian (15–50 cm), dan ukuran serta kualitas cetak marker (A4, 300 dpi, matte).

Alat dan Bahan Penelitian

Perangkat Keras

1. Laptop/PC pengembangan dengan RAM minimal 8 GB, prosesor Intel Core i5/AMD Ryzen 5 atau setara.
2. Smartphone Android (minimal 2 unit) dengan kamera ≥ 8 MP, RAM ≥ 3 GB, Android 8.0 Oreo ke atas, mendukung ARCore.
3. Printer warna untuk mencetak marker buah di atas kertas A4 matte (resolusi cetak ≥ 300 dpi).

Perangkat Lunak

1. Unity Engine 2023 LTS, platform utama pengembangan aplikasi AR.
2. Vuforia Engine SDK (versi terkini kompatibel dengan Unity 2023 LTS) SDK untuk Image Target tracking.
3. Blender 3D (versi 4.2) pemodelan dan ekspor objek 3D buah dalam format .fbx.
4. Adobe Photoshop perancangan gambar marker buah berkualitas tinggi.

5. Android SDK + JDK diperlukan untuk proses build dan deploy APK ke perangkat Android.
6. Vuforia Target Manager (portal online developer.vuforia.com) — pendaftaran dan penilaian kualitas marker (Target Rating).

Pembuatan Marker Buah-buahan

Penelitian Media utama untuk menampilkan materi 3D dalam aplikasi *Augmented Reality* adalah penanda (*marker*) berbentuk gambar. Pada aplikasi *Augmented Reality* pembelajaran buah-buahan multibahasa memakai Vuforia sebagai *Augmented Reality Software Development Kit* (SDK). Biasanya penanda berwarna hitam agar kamera lebih mudah mengidentifikasinya, namun dalam kasus ini, penanda memiliki warna yang lebih beragam, *marker* didesain sesuai dengan kebutuhan dari aplikasi yang dibangun.

Pada tahap pertama yang dilakukan dalam pembuatan *marker* adalah mendesain penanda dengan ukuran 15 cm x 15 cm. Setelah *marker* didesain, langkah selanjutnya mengupload gambar penanda dalam format *.jpg ke situs web Vuforia Developer. Langkah Terakhir penanda harus diunduh sebagai paket unity untuk *device*. Contoh *marker* dapat dilihat pada gambar 2.1.



Gambar 1 Marker

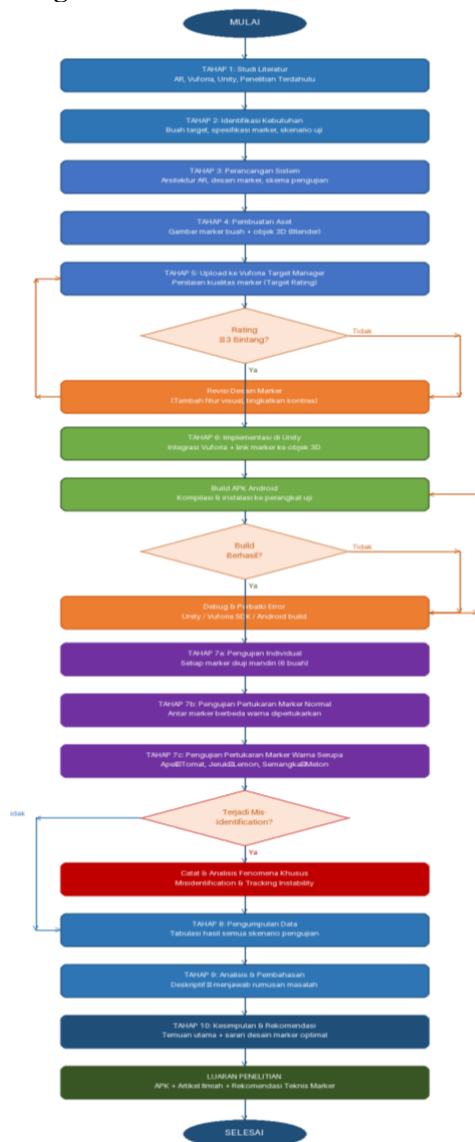
Tahapan Metode Penelitian (MDLC)

Penelitian ini dilaksanakan melalui 10 tahap yang mengikuti alur MDLC

yang telah dimodifikasi untuk kebutuhan riset eksperimental ini. Setiap tahap memiliki masukan, keluaran, dan indikator

1. Tahap 1 Concept (Studi Literatur & Identifikasi Kebutuhan)
2. Tahap 2 Design (Perancangan Sistem)
3. Tahap 3 *Material Collecting* (Pembuatan Aset)
4. Tahap 4 *Assembly* (Implementasi Aplikasi di Unity)
5. Tahap 5 *Testing* (Pengujian Sistem)
6. Tahap 6 *Distribution, Analisis & Pelaporan*

Diagram Alir Penelitian



Gambar 2 Diagram Alir Aplikasi AR Pendeteksi Buah Berbasis Marker

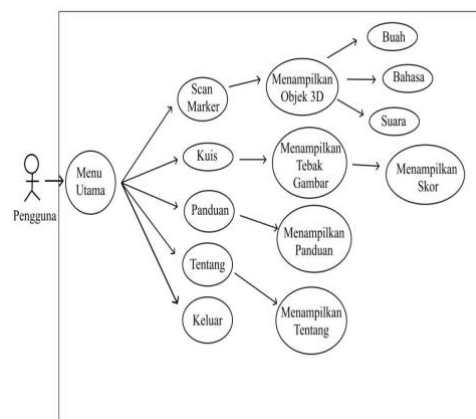
Gambar 2.2 menyajikan diagram alir lengkap penelitian dari tahap awal hingga keluaran akhir. Diagram ini menggambarkan seluruh proses yang telah dan akan dilaksanakan, termasuk titik keputusan (decision point) untuk validasi kualitas marker dan keberhasilan build APK.

Pemodelan Sistem

Aplikasi ini dikembangkan menggunakan pemodelan *Unified Modeling Language* (UML), yang merupakan sebuah model untuk visualisasi desain sistem. Terdapat dua rancangan dalam perancangan UML ini yaitu *use case* diagram dan *activity* diagram. Diharapkan dengan adanya perancangan sistem ini dapat memberikan gambaran secara umum bagaimana rancangan tersebut akan berfungsi dan dapat digunakan di kemudian hari.

Use Case Diagram

Use case diagram mendukung pengembang dapat lebih memahami bagaimana pengguna akan berinteraksi dengan sistem *Augmented Reality* dan apa yang akan direncanakan. Dengan demikian, implementasi sistem *Augmented Reality* dapat disesuaikan secara tepat untuk memenuhi tujuan dan kebutuhan pengguna. *Use case* Diagram ditampilkan pada gambar 2.3.



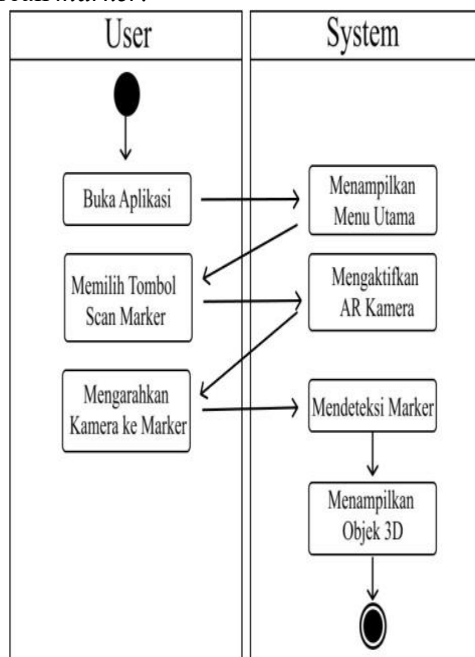
Gambar 3 Use Case Diagram

Berdasarkan Alur aplikasi, seperti ditunjukkan pada diagram *use case* di atas, membuat menu utama dapat diakses

oleh pengguna. Pada menu utama terdapat tombol scan *marker*, kuis, panduan, tentang, dan keluar. Jika pengguna menekan tombol panduan, panduan penggunaan aplikasi kemudian akan muncul. Namun jika pemain memilih pilihan scan *marker*, maka pengguna akan dibawa ke menu kamera untuk pengenalan *marker* buah dan akan ditampilkan item 3D. Pengenal buah, pilihan, bahasa, dan musik akan terlihat dalam bentuk tiga dimensi.

Activity Diagram

Dalam UML (*Unified Modeling Language*), diagram aktivitas adalah jenis diagram yang digunakan untuk menjelaskan aktivitas, alur kerja, atau tahapan proses bisnis suatu sistem. *Scan marker* merupakan fitur utama yang dapat diakses oleh *user* untuk dapat melihat objek 3D buah-buahan. Gambar 2.4 menunjukkan diagram aktivitas untuk scan *marker*.



Gambar 4 Activity Diagram Scan Marker

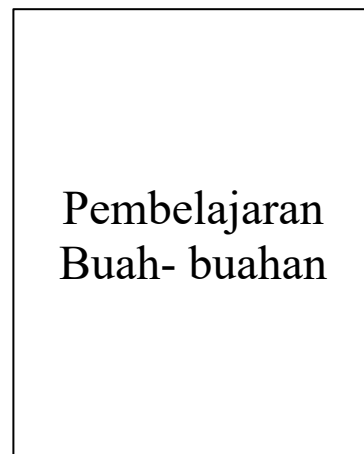
Perancangan Antarmuka

Desain antarmuka pengguna suatu sistem memberikan pratinjau tampilan perangkat lunak. Pengguna juga akan merasa nyaman dengan antarmuka yang

bagus. Desain antarmuka ditampilkan sebagai berikut.

Rancangan Antarmuka *Splash Screen*

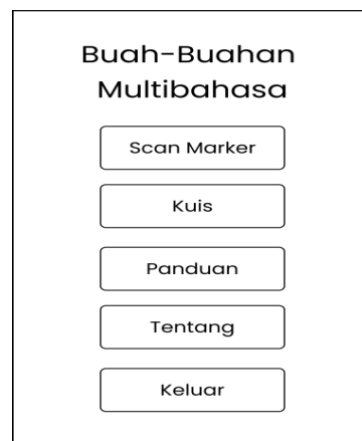
Tampilan halaman *splash screen* terdapat tulisan “Pembelajaran Buah-Buahan” yang bertujuan untuk memperkenalkan aplikasi kepada *user*, menu utama muncul setelah dua detik dari halaman layar pembuka. Perancangan halaman *splash screen* terlihat pada gambar 2.5.



Gambar 5 Tampilan *Splash Screen*

a. Rancangan Antarmuka Menu Utama

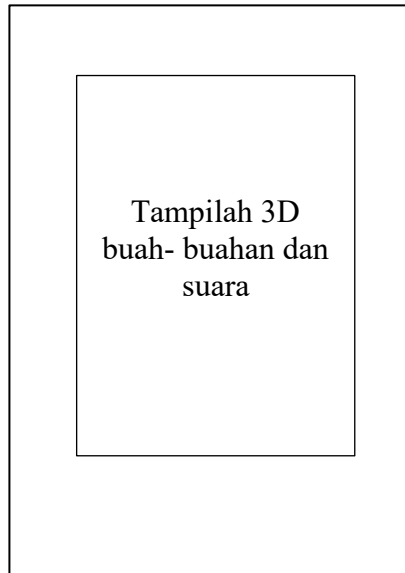
Pengguna program dapat memilih dari sejumlah tombol pada layar utama, termasuk tombol scan *marker*, kuis, panduan, tentang, dan keluar. Rancangan halaman menu dapat dilihat pada gambar 2.6.



Gambar 6 Tampilan Menu Utama

Rancangan Antarmuka *Scan Marker*

Halaman scan *marker* untuk menampilkan objek buah 3D Gambar 2.7 menunjukkan bagaimana halaman scan *marker* dirancang.



Gambar 7 Tampilan Scan Marker

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengujian Sistem

Pengujian dilakukan untuk menganalisis kemampuan sistem *Augmented Reality* (AR) dalam mendeteksi dan melakukan pertukaran *marker* objek 3D buah-buahan berdasarkan karakteristik warna. Sistem dikembangkan menggunakan Unity dan Vuforia Engine dengan *marker* berupa gambar buah yang dicetak pada kertas. Pengujian dilakukan pada kondisi pencahayaan yang mencukupi, posisi *marker* datar di atas meja, dan jarak kamera terhadap *marker* sebesar 40 cm. Pengujian terdiri atas tiga skenario, yaitu pengujian *individual marker*, pertukaran *marker* dengan warna berbeda, dan pertukaran *marker* dengan warna serupa. Sebanyak 95 percobaan dilakukan, terdiri atas 55 percobaan *individual marker*, 20 percobaan pertukaran *marker* beda warna, dan 20 percobaan pertukaran *marker* warna serupa. Parameter yang diamati meliputi waktu respons, kesesuaian hasil deteksi, *misidentification*, dan kestabilan *tracking*.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa seluruh percobaan menghasilkan objek 3D yang sesuai dengan *marker* yang digunakan. Tidak ditemukan *misidentification* pada 95 percobaan dan *tracking* berada dalam kondisi stabil selama pengujian. Hasil ini menunjukkan bahwa sistem mampu mempertahankan kesesuaian antara *marker* dan objek virtual pada kondisi eksperimen yang digunakan.

Analisis Waktu Respons

Analisis waktu respons dilakukan untuk mengetahui karakteristik kinerja sistem pada masing-masing skenario pengujian. Statistik deskriptif hasil pengujian ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1 Statistik Deskriptif Waktu Respons

Skenario Pengujian	n	Mean (s)	SD (s)	Median (s)	Min (s)	Max (s)
Individual Marker	55	2,02	0,97	1,79	1,31	7,30
Pertukaran Beda Warna	20	2,74	1,03	2,68	1,38	6,22
Pertukaran Warna Serupa	20	3,39	2,57	2,66	1,46	11,05

Tabel 1 menunjukkan bahwa *individual marker* memiliki rata-rata waktu respons paling rendah, yaitu 2,02 detik. Pada skenario pertukaran *marker* beda warna, rata-rata waktu respons meningkat menjadi 2,74 detik. Sementara itu, pertukaran *marker* warna serupa menghasilkan rata-rata waktu respons sebesar 3,39 detik. Secara deskriptif, waktu respons pada pertukaran *marker* warna serupa sekitar 23,4% lebih tinggi dibandingkan pertukaran *marker* beda warna. Selain itu, standar deviasi pada kelompok warna serupa sebesar 2,57 detik lebih tinggi dibandingkan kelompok beda warna sebesar 1,03 detik. Hal tersebut menunjukkan bahwa waktu respons pada skenario warna serupa memiliki variasi yang lebih besar. Nilai maksimum 11,05 detik pada kelompok warna serupa juga

menunjukkan adanya percobaan dengan waktu respons yang relatif tinggi. Meskipun demikian, nilai rata-rata yang lebih tinggi pada kelompok warna serupa belum dapat diinterpretasikan sebagai bukti bahwa kemiripan warna secara langsung menyebabkan peningkatan waktu deteksi. Oleh karena itu, dilakukan analisis statistik untuk mengetahui signifikansi perbedaan antar kelompok.

Analisis Uji Perbedaan

Uji perbedaan dilakukan menggunakan ANOVA satu arah dan Kruskal-Wallis. Kedua metode digunakan untuk melihat konsistensi hasil analisis dari pendekatan parametrik dan nonparametrik.

Tabel 2 Hasil Uji Perbedaan Antar Skenario

Metode	Statistik	p-value	Hasil
One-way ANOVA	$F = 6,922$	0,0016	Signifikan
Kruskal-Wallis	$H = 20,551$	$< 0,001$	Signifikan

Hasil ANOVA menunjukkan adanya perbedaan waktu respons yang signifikan secara keseluruhan antara ketiga skenario pengujian ($F = 6,922$; $p = 0,0016$). Hasil tersebut diperkuat oleh uji Kruskal-Wallis yang juga menunjukkan perbedaan signifikan ($H = 20,551$; $p < 0,001$). Dengan demikian, terdapat setidaknya satu kelompok pengujian yang memiliki karakteristik waktu respons berbeda dibandingkan kelompok lainnya.

Untuk mengetahui pasangan kelompok yang berkontribusi terhadap perbedaan tersebut, dilakukan uji *Welch t-test* secara berpasangan dengan koreksi Holm.

Tabel 3 Hasil Perbandingan Berpasangan

Perbandingan	t	p-value Holm	Keterangan
Individual vs Beda Warna	2,74	0,0298	Signifikan
Individual vs Warna Serupa	2,32	0,0605	Tidak signifikan

Beda Warna vs Warna Serupa	1,039	0,3086	Tidak signifikan
----------------------------	-------	--------	------------------

Hasil pada Tabel 3 menunjukkan bahwa perbedaan antara *individual marker* dan pertukaran *marker* beda warna signifikan setelah koreksi Holm ($p = 0,0298$). Sementara itu, perbedaan antara *individual marker* dan warna serupa tidak signifikan ($p = 0,0605$). Perbandingan langsung antara pertukaran *marker* beda warna dan warna serupa juga tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan ($p = 0,3086$). Temuan tersebut memberikan interpretasi penting terhadap hasil penelitian. Walaupun kelompok warna serupa memiliki rata-rata waktu respons paling tinggi, perbedaan antara kelompok beda warna dan warna serupa belum terbukti signifikan secara statistik. Oleh karena itu, hasil penelitian lebih tepat diinterpretasikan sebagai kecenderungan deskriptif peningkatan waktu respons pada *marker* dengan warna serupa, bukan sebagai bukti bahwa kemiripan warna merupakan penyebab langsung peningkatan waktu respons.

Analisis Misidentification dan Tracking

Dari 95 percobaan pengujian, tidak ditemukan *misidentification*. Setiap *marker* menghasilkan objek 3D yang sesuai dengan target yang telah ditentukan. Kondisi tersebut ditemukan baik pada pengujian individual maupun pada pengujian pertukaran *marker* beda warna dan warna serupa. Selain itu, *tracking* sistem berada dalam kondisi stabil selama seluruh pengujian. Sistem mampu mempertahankan objek virtual pada *marker* yang terdeteksi dan melakukan perpindahan target ketika terjadi pergantian *marker*. Dengan demikian, peningkatan waktu respons pada beberapa percobaan tidak disertai dengan kesalahan identifikasi atau ketidakstabilan *tracking*.

Hasil tersebut menunjukkan bahwa pada kondisi eksperimen yang digunakan, variasi waktu respons lebih terlihat sebagai perbedaan durasi proses deteksi atau perpindahan target daripada

kesalahan dalam menentukan objek virtual. Namun, hasil ini terbatas pada kondisi pengujian yang telah ditetapkan, yaitu jarak kamera 40 cm, *marker* dalam posisi datar, dan pencahayaan yang mencukupi.

Pembahasan

Hasil penelitian menunjukkan adanya perbedaan karakteristik waktu respons antara pengujian *individual marker* dan pengujian pertukaran *marker*. Rata-rata waktu respons meningkat dari 2,02 detik pada *individual marker* menjadi 2,74 detik pada pertukaran beda warna dan 3,39 detik pada pertukaran warna serupa. Peningkatan ini menunjukkan bahwa proses pertukaran target dapat menghasilkan waktu respons yang lebih panjang dibandingkan deteksi *marker* secara individual.

Pada pengujian warna serupa, rata-rata waktu respons merupakan yang tertinggi dan variasinya juga paling besar. Kondisi tersebut dapat menjadi indikasi bahwa karakteristik visual *marker* memiliki keterkaitan dengan performa proses deteksi. Akan tetapi, hasil uji statistik berpasangan menunjukkan bahwa perbedaan antara warna serupa dan beda warna tidak signifikan ($p = 0,3086$). Oleh karena itu, kemiripan warna tidak dapat dinyatakan sebagai satu-satunya faktor yang menentukan waktu respons berdasarkan data penelitian ini.

Hal tersebut juga berkaitan dengan karakteristik sistem pengenalan *image target*. Warna merupakan salah satu karakteristik visual pada citra, tetapi proses pengenalan *marker* juga melibatkan karakteristik visual lainnya. Perbedaan fitur, tepi, tekstur, pola, dan kompleksitas gambar dapat memengaruhi proses pengenalan target. Dengan demikian, dua *marker* yang memiliki warna serupa belum tentu memiliki tingkat kesulitan deteksi yang sama.

Keterbatasan penting penelitian ini adalah tingkat kemiripan warna belum dinyatakan dalam ukuran numerik. Pengelompokan *marker* masih didasarkan

pada kategori warna berbeda dan warna serupa. Oleh karena itu, penelitian lanjutan dapat mengukur kemiripan warna secara kuantitatif, misalnya menggunakan ruang warna CIELAB dan nilai ΔE^* . Nilai tersebut selanjutnya dapat dianalisis terhadap waktu respons sehingga hubungan antara tingkat kemiripan warna dan performa deteksi dapat diuji secara lebih terukur.

Selain itu, jumlah percobaan dan desain pengujian dapat dikembangkan dengan mengontrol pasangan *marker* berdasarkan tingkat kemiripan warna. Pengujian dengan variasi jarak kamera, sudut *marker*, intensitas pencahayaan, ukuran *marker*, dan kompleksitas visual juga dapat digunakan untuk mengidentifikasi faktor lain yang berpengaruh terhadap performa sistem. Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem AR yang dikembangkan mampu melakukan deteksi dan pertukaran *marker* secara tepat pada kondisi pengujian, dengan seluruh percobaan menghasilkan deteksi yang sesuai, tanpa *misidentification*, dan dengan *tracking* yang stabil. Perbedaan waktu respons antar skenario teridentifikasi secara keseluruhan, tetapi bukti statistik belum menunjukkan perbedaan langsung yang signifikan antara *marker* beda warna dan warna serupa. Temuan ini menjadi dasar untuk penelitian lanjutan yang mengukur kemiripan warna secara kuantitatif dan mengisolasi pengaruhnya dari karakteristik visual *marker* lainnya.

SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian mengenai analisis waktu respons pendeteksian *marker* buah pada sistem *Augmented Reality* berdasarkan kemiripan warna, dapat disimpulkan bahwa sistem yang dikembangkan menggunakan Unity dan Vuforia Engine mampu mendeteksi *marker* buah dan menampilkan objek 3D yang sesuai pada seluruh skenario pengujian. Dari 95 pengujian yang

dilakukan, terdiri atas 55 pengujian individual marker, 20 pengujian pertukaran marker berbeda warna, dan 20 pengujian pertukaran marker warna serupa, seluruh pengujian berhasil dilakukan tanpa ditemukan *misidentification* dan dengan kondisi *tracking* yang stabil.

Hasil pengukuran menunjukkan rata-rata waktu respons sebesar 2,02 detik pada pengujian individual marker, 2,74 detik pada pertukaran marker berbeda warna, dan 3,39 detik pada pertukaran marker warna serupa. Secara deskriptif, skenario marker dengan warna serupa memiliki rata-rata waktu respons paling tinggi dan variasi waktu respons yang lebih besar dibandingkan skenario lainnya.

Hasil analisis statistik menunjukkan adanya perbedaan waktu respons secara keseluruhan antara kelompok pengujian berdasarkan uji ANOVA ($p=0,0016$) dan Kruskal-Wallis ($p<0,001$). Namun, hasil perbandingan berpasangan menunjukkan bahwa perbedaan waktu respons antara marker berbeda warna dan marker warna serupa tidak signifikan secara statistik ($p=0,3086$). Dengan demikian, penelitian ini menunjukkan adanya kecenderungan waktu respons yang lebih tinggi pada skenario marker dengan warna serupa, tetapi belum dapat membuktikan bahwa kemiripan warna secara langsung menyebabkan peningkatan waktu respons pendeteksian marker.

DAFTAR PUSTAKA

- Agil, M., & Sitio, S. (2022). Implementasi metode markerless augmented reality untuk edukasi nama buah-buahan berbasis Android. *Dinamika Informatika: Jurnal Ilmiah Teknologi Informasi*, 14(2), 105–115. <https://doi.org/10.35315/informatika.v14i2.9199>
- Dharmalau, A., Hiswara, I., & Geovani, D. C. (2022). Pemanfaatan augmented reality sebagai media promosi menggunakan software Unity 3D dan Vuforia. *Jurnal Teknologi Technoscientia*, 15(1), 15–22. <https://doi.org/10.34151/technoscientia.v15i1.3833>
- Handoko, R., Prasetyo, B., & Hidayat, N. (2023). Leveraging Unity 3D and Vuforia Engine for augmented reality application development. In *Proceedings of the 2023 IEEE International Conference on Computing, Electronics and Communications Engineering (iCCECE)* (pp. 1–6). IEEE. <https://doi.org/10.1109/iCCECE58965.2023.10390072>
- Irma, W., Okra, R., Musril, H. A., & Derta, S. (2024). Perancangan media pembelajaran augmented reality (AR) pada mata pelajaran kimia menggunakan Unity di SMA Negeri 1 Bukittinggi. *Jurnal Manajemen Informatika (JAMIKA)*, 14(1), 54–67.
- Maelani, Y., Irawan, A. S. Y., & Suharso, A. (2021). Teknologi augmented reality sebagai media pembelajaran dalam pengenalan buah-buahan (kasus PAUD Hidayatul Burhan). *J-SAKTI (Jurnal Sains Komputer dan Informatika)*, 5(2), 793–803. <https://doi.org/10.30645/j-sakti.v5i2.380>
- Porsch, R., & Lehmann, M. A. (2023). Evaluation of marker-based AR-tracking with Vuforia in the context of rail vehicle maintenance. In *HCI International 2023 – Late Breaking Papers* (pp. 83–96). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-031-28076-4_7
- PTC Inc. (2024). Image targets optimization technique Vuforia Engine developer library. Vuforia Engine Developer Library. <https://developer.vuforia.com/library/vuforia-engine/images-and-objects/image-targets/best-practices/image-targets-optimization-techniques/>
- PTC Inc. (2024). Image targets—Vuforia Engine developer library. Vuforia

- Engine Developer Library.
<https://developer.vuforia.com/library/vuforia-engine/images-and-objects/image-targets/image-targets/>
- Riyanto, R., & Suharso, A. (2022). Implementasi augmented reality pengenalan hewan, buah, dan kendaraan untuk pendidikan usia dini. *Jutisi: Jurnal Teknik Informatika dan Sistem Informasi*, 8(2), 613–624. <https://doi.org/10.28932/jutisi.v8i2.4821>
- Simon, J. (2023). Augmented reality application development using Unity and Vuforia. *Interdisciplinary Description of Complex Systems*, 21(1), 69–77. <https://doi.org/10.7906/indecs.21.1.6>
- Sulistiyono, I. (2024). Comparative study of marker-based and markerless tracking in augmented reality under variable environmental conditions. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 15(11), 1–10. <https://doi.org/10.14569/IJACSA.2024.0151128>
- Unity Technologies. (2024). Getting started with Vuforia Engine in Unity. Vuforia Engine Developer Library. <https://developer.vuforia.com/library/vuforia-engine/getting-started/development-environments/getting-started-vuforia-engine-unity/>
- Unity Technologies. (2023). Unity User Manual 2023 LTS. <https://docs.unity3d.com/Manual/index.html>
- Sembiring, M. A., & Azhar, Z. (2017). Factors Analysis And Profit Achievement For Trading Company By Using Rough Set Method. *International Journal of Artificial Intelligence Research*. 1(1): 15 – 19
- Zulfiqar, F., et al. (2023). Augmented reality and its applications in education: A systematic survey. *IEEE Access*, 11, 143250–143271. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3331250>