

## Analisis Perbandingan Efektivitas Augmented Reality Marker-Based dan Markerless pada Media Pembelajaran Struktur Tumbuhan

Ketut Sepdyana Kartini<sup>1\*</sup>, Ni Luh Putu Labasariyani<sup>2</sup>, Made Irvan Sastra Abenk<sup>3</sup>, I Nyoman Tri Anindia Putra<sup>4</sup>

<sup>1,2,3</sup>Institut Bisnis dan Teknologi Indonesia; Jl. Tukad Pakerisan No 97 Denpasar

<sup>4</sup>Universitas Pendidikan Ganesha; Jl. Udayana No. 11 Singaraja

<sup>1</sup>[sepdyana@instiki.ac.id](mailto:sepdyana@instiki.ac.id), <sup>2</sup>[labasari@stiki-indonesia.ac.id](mailto:labasari@stiki-indonesia.ac.id), <sup>3</sup>[irvanabenk75@gmail.com](mailto:irvanabenk75@gmail.com),

<sup>4</sup>[tri.anindia@undiksha.ac.id](mailto:tri.anindia@undiksha.ac.id)



### Histori Artikel:

Diajukan: 3 Juli 2025

Disetujui: 10 Juli 2025

Dipublikasi: 13 Juli 2025

### Kata Kunci:

*Augmented Reality; Marker-Based; Markerless; Media Pembelajaran; Struktur Tumbuhan*

### Digital Transformation

*Technology (Digitech) is an Creative Commons License This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0).*

### Abstrak

Pendidikan Ilmu Pengetahuan Alam (IPA), khususnya materi pada struktur tumbuhan, seringkali menjadi tantangan bagi siswa sekolah dasar karena sifatnya yang abstrak dan tidak dapat diamati secara langsung. Penelitian ini dilatarbelakangi oleh kesulitan yang dihadapi siswa di SD No. 8 Jimbaran dalam memvisualisasikan konsep tersebut, yang di mana media pembelajaran konvensional belum mampu memberikan pengalaman interaktif yang memadai. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis secara komparatif efektivitas dua pendekatan teknologi *Augmented Reality* (AR), yaitu *Marker-Based* dan *Markerless*, sebagai media pembelajaran struktur tumbuhan. Penelitian ini memiliki implikasi praktis untuk memberikan rekomendasi berbasis bukti kepada pendidik dalam memilih teknologi AR yang paling efektif. Metode penelitian yang digunakan adalah komparatif kuantitatif dengan mengembangkan dua aplikasi AR identik yang diuji pada 18 skenario berbeda, mencakup variasi jarak, ketinggian, dan sudut. Hasil pengujian menunjukkan bahwa metode *Markerless* secara signifikan lebih unggul dengan tingkat akurasi deteksi mencapai 77.8%, dibandingkan dengan metode *Marker-Based* yang hanya mencapai 70.0%. Kinerja metode *Marker-Based* menurun drastis seiring bertambahnya jarak, sementara metode *Markerless* menunjukkan stabilitas dan konsistensi yang jauh lebih tinggi di berbagai kondisi. Disimpulkan bahwa AR dengan metode *Markerless* lebih efektif, andal, dan fleksibel untuk diterapkan sebagai media pembelajaran interaktif, sehingga lebih direkomendasikan untuk mendukung pembelajaran mandiri dan eksploratif siswa.

## PENDAHULUAN

Pendidikan memegang peranan esensial sebagai fondasi pembentukan sumber daya manusia yang berkualitas dan berdaya saing (Juhaeni dkk., 2022). Seiring dengan kemajuan zaman, perkembangan teknologi informasi dan komunikasi telah merambah ke berbagai sektor, termasuk sektor pendidikan yang kini menjadi salah satu fokus utama inovasi. Para tenaga pendidik kini memanfaatkan teknologi untuk menciptakan proses pembelajaran yang lebih efektif, dengan tujuan meningkatkan perhatian, motivasi, serta minat belajar siswa (Alenezi, 2020). Pemanfaatan teknologi yang tepat diharapkan dapat membantu siswa berpikir secara logis dalam menghadapi fenomena sehari-hari dan memecahkan masalah yang mereka temui.

Salah satu mata pelajaran yang menuntut pemahaman konsep mendalam adalah Ilmu Pengetahuan Alam (IPA), yang mempelajari gejala alam dan segala isinya (Susetya & Harjono, 2022). Di dalam IPA, terdapat materi-materi yang seringkali dianggap sulit oleh siswa, salah satunya adalah materi tentang struktur dan fungsi tumbuhan. Berdasarkan wawancara yang dilakukan dengan Ibu Ni Komang Ayu Indrayani, S.Pd., guru kelas di SD No. 8 Jimbaran, terungkap bahwa siswa menghadapi kesulitan dalam memahami materi ini. Kesulitan ini timbul karena beberapa faktor. Pertama, materi ini mencakup struktur internal tumbuhan yang bersifat abstrak dan tidak dapat dilihat secara langsung dengan mata telanjang (Kartini & Putra, 2020). Kedua, meskipun bisa diamati menggunakan mikroskop, pengoperasian alat tersebut terbilang sulit untuk siswa tingkat sekolah dasar. Akibatnya, guru memerlukan bahan acuan tambahan selain buku teks, dan saat ini sering memanfaatkan media seperti You Tube atau Kahoot. Meskipun bermanfaat, media tersebut belum sepenuhnya mampu memberikan visualisasi tiga dimensi yang interaktif dan nyata.

Untuk menjawab tantangan tersebut, penggunaan media pembelajaran yang dirancang secara tepat dan interaktif dapat memicu peningkatan motivasi belajar siswa serta menimbulkan efek positif secara psikologis (I. N. T. A. Putra dkk., 2024). Media pembelajaran adalah segala bentuk alat bantu teknis yang dapat menyalurkan pesan atau informasi untuk merangsang minat dan motivasi belajar siswa. Salah satu teknologi yang paling

menjanjikan untuk tujuan ini adalah *Augmented Reality*. *Augmented Reality* merupakan teknologi yang mampu memproyeksikan konten digital seperti model 3D, teks, atau animasi ke dalam lingkungan dunia nyata secara real-time melalui kamera perangkat (Garzón, 2021). Dengan AR, konsep abstrak seperti struktur internal akar atau batang dapat diubah menjadi objek visual tiga dimensi yang dapat dilihat dari berbagai sudut, sehingga menciptakan pengalaman belajar menarik yang jauh lebih jelas, interaktif, dan menyenangkan. Namun, dalam implementasinya, teknologi AR dapat diterapkan melalui dua pendekatan utama yaitu *Marker-Based Tracking* (pelacakan berbasis penanda) dan *Markerless Tracking* (pelacakan tanpa penanda). Pendekatan *Marker-Based* adalah metode di mana aplikasi menggunakan sebuah gambar penanda (marker) yang spesifik untuk dikenali oleh kamera. Ketika marker terdeteksi, objek 3D akan muncul dan tertanam di atasnya (Abdulghani & Sati, 2020). Pendekatan ini digunakan dalam aplikasi "Planta" yang menjadi dasar studi ini, di mana siswa harus memindai kartu bergambar untuk menampilkan objek. Sebaliknya, pendekatan *Markerless* tidak memerlukan penanda fisik. Teknologi ini menggunakan algoritma canggih untuk mengenali fitur lingkungan seperti bidang datar (lantai atau meja), memungkinkan pengguna untuk menempatkan objek 3D di mana saja secara fleksibel (Abdulghani & Sati, 2020).

Berbagai penelitian menunjukkan bahwa teknologi *Augmented Reality* (AR) dapat diterapkan dengan dua metode pelacakan utama, yaitu *Marker-Based* dan *Markerless*. Metode *Marker-Based* lebih stabil di lingkungan terkontrol, namun bergantung pada marker fisik. Sebaliknya, *Markerless* menawarkan fleksibilitas lebih tinggi tanpa memerlukan penanda, serta menunjukkan akurasi yang lebih baik dalam beberapa kondisi (Arifitama dkk., 2022). Beberapa studi juga menggabungkan kedua metode untuk meningkatkan efektivitas dan pengalaman pengguna, seperti dalam pengenalan budaya dan pembelajaran interaktif (Abdulghani & Sati, 2020; Abdurrahman & Gustalika, 2023). Hal ini menunjukkan pentingnya pemilihan metode tracking yang tepat sesuai kebutuhan aplikasi AR. Meskipun kedua pendekatan tersebut memiliki potensi besar dalam dunia pendidikan, belum banyak studi yang secara langsung membandingkan efektivitas keduanya dalam konteks pembelajaran yang sama. Pemilihan antara stabilitas dan kontrol yang ditawarkan oleh sistem *Marker-Based* dengan fleksibilitas dan kemudahan yang ditawarkan oleh sistem *Markerless* dapat memberikan dampak yang berbeda terhadap pengalaman belajar siswa (Arifitama dkk., 2022). Oleh karena itu, penelitian ini dianggap penting untuk menganalisis secara komparatif efektivitas dari kedua pendekatan tersebut. Penelitian ini akan mengevaluasi mana di antara pendekatan *Marker-Based* atau *Markerless* yang lebih efektif, mudah digunakan, dan diterima oleh siswa sebagai media pembelajaran struktur tumbuhan, sehingga dapat memberikan panduan berbasis bukti bagi para pendidik dan pengembang teknologi pendidikan.

## STUDI LITERATUR

### Kajian Teori

*Augmented Reality* (AR) adalah sebuah teknologi yang mengintegrasikan konten digital yang dihasilkan oleh komputer ke dalam lingkungan dunia nyata secara real-time (Bulowe dkk., 2020). Secara sederhana, AR merupakan perpaduan antara dunia nyata dan dunia maya, di mana objek virtual seperti teks, animasi, model 3D, atau video dapat ditampilkan dan berinteraksi dengan lingkungan nyata pengguna. Teknologi ini memperkaya persepsi pengguna dengan menambahkan lapisan informasi digital, yang dalam konteks pendidikan dapat mengubah materi abstrak menjadi visualisasi yang lebih jelas dan interaktif (Garzón, 2021).

*Marker-Based Tracking* adalah metode yang memerlukan sebuah penanda (marker) yang biasanya berupa gambar grafis berbentuk persegi dengan border hitam tebal dan latar belakang putih (Abdulghani & Sati, 2020). Sistem komputer akan mengenali posisi serta orientasi dari penanda tersebut untuk kemudian menempatkan objek 3D pada sistem koordinat yang presisi (sumbu X, Y, Z) di atas marker tersebut. Sederhananya, *Marker-Based Tracking* adalah teknik di mana kamera pada perangkat membaca sebuah penanda 2D berpola untuk kemudian menampilkan objek 3D virtual di atasnya.

*Markerless Tracking* adalah metode yang tidak memerlukan penanda fisik yang dirancang khusus. Teknologi ini memanfaatkan algoritma computer vision canggih untuk mengenali dan melacak fitur-fitur yang ada di lingkungan nyata, seperti bidang datar (lantai atau meja), titik-titik kontras, atau objek di sekitar (Abdulghani & Sati, 2020). Hal ini memungkinkan pengguna untuk menempatkan objek virtual secara lebih fleksibel di berbagai lokasi dalam dunia nyata, sehingga memberikan pengalaman yang lebih bebas dan imersif.

Media pembelajaran didefinisikan sebagai segala sesuatu yang dapat digunakan untuk menyampaikan pesan atau informasi dalam proses belajar-mengajar, yang dirancang untuk menarik perhatian dan minat belajar siswa (Agfary dkk., 2025). Penggunaan media, baik dalam bentuk grafis, visual, maupun elektronik, dapat meningkatkan motivasi dan memberikan efek positif terhadap hasil belajar siswa. Aplikasi AR yang dikembangkan dalam penelitian ini berfungsi sebagai media pembelajaran modern untuk mencapai tujuan tersebut.

Komparatif kuantitatif adalah metode penelitian yang bertujuan untuk membandingkan dua atau lebih kelompok, perlakuan, atau variabel dengan menggunakan data numerik (angka) dan analisis statistik untuk menemukan ada atau tidaknya perbedaan yang signifikan di antara mereka (Sugiyono, 2019).

### Penelitian Terdahulu

Berbagai penelitian telah dilakukan untuk mengevaluasi efektivitas dua pendekatan utama dalam teknologi *Augmented Reality* (AR), yakni *Marker-Based Tracking* dan *Markerless Tracking*. (Abdulghani & Sati, 2020) mengembangkan aplikasi AR berbasis Android sebagai media pembelajaran pengenalan rumah adat Indonesia menggunakan metode marker-based. Aplikasi ini memungkinkan pengguna, khususnya siswa, untuk melihat representasi 3D dari rumah adat melalui pemindaian marker visual. Penelitian ini menekankan bahwa metode *Marker-Based* memiliki keunggulan dari sisi kesederhanaan dalam implementasi dan kestabilan deteksi objek pada lingkungan yang terkendali, namun masih terbatas karena membutuhkan media cetak sebagai marker dan bergantung pada pencahayaan.

Sementara itu, (Arifitama dkk., 2022) melakukan analisis komparatif antara metode *Marker-Based* dan *Markerless Tracking* menggunakan parameter pengujian jarak, sudut, dan ketinggian. Hasilnya menunjukkan bahwa metode *Markerless* memiliki keunggulan dalam fleksibilitas pelacakan dan tingkat akurasi yang lebih tinggi, terutama pada jarak 150 cm dengan akurasi mencapai 93%, dibandingkan dengan metode *Marker-Based* yang hanya mencapai 83.3%. Hal ini mengindikasikan bahwa *Markerless Tracking* lebih efisien dalam konteks penggunaan di lingkungan nyata yang lebih dinamis, meskipun memerlukan perangkat dan pemrosesan yang lebih kompleks. Studi lainnya oleh (Abdurrahman & Gustalika, 2023) menggabungkan kedua metode dalam pengembangan aplikasi edukasi budaya Candi Mendut. Penelitian ini memperlihatkan bahwa kombinasi metode dapat meningkatkan pengalaman pengguna melalui penyajian informasi 3D yang interaktif, baik dengan maupun tanpa Marker. Aplikasi yang dikembangkan menunjukkan hasil usability yang tinggi, yakni sebesar 79,28%, mengindikasikan penerimaan yang baik dari sisi pengguna terhadap kedua pendekatan tersebut jika diintegrasikan dengan optimal.

Dari ketiga penelitian tersebut, dapat disimpulkan bahwa pemilihan metode pelacakan dalam teknologi AR sangat bergantung pada konteks penggunaan, ketersediaan perangkat, dan kebutuhan interaktivitas. *Marker-Based* cocok untuk lingkungan terkontrol seperti pembelajaran di kelas, sementara *Markerless* lebih sesuai untuk penggunaan yang lebih fleksibel di berbagai kondisi ruang nyata.

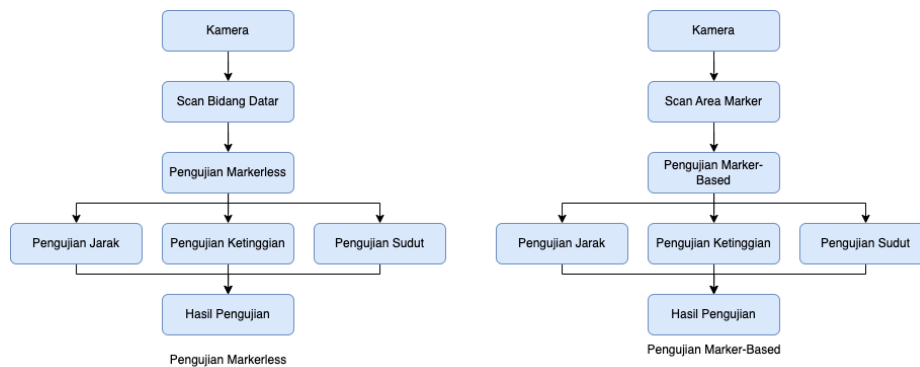
### METODE

Metode penelitian ini dilakukan dengan mengembangkan satu set objek 3D struktur tumbuhan yang identik, yang kemudian diimplementasikan ke dalam aplikasi media pembelajaran berbasis *Augmented Reality*, masing-masing menggunakan pendekatan *Marker-Based Tracking* dan *Markerless Tracking* (Arifitama dkk., 2022). Proses pengujian dilakukan selama dua hari, di mana pada hari pertama siswa menggunakan aplikasi dengan metode *Marker-Based*, dan pada hari kedua siswa menggunakan aplikasi dengan metode *Markerless*. Setelah kedua sesi uji coba selesai, dilakukan analisis perbandingan terhadap efektivitas masing-masing pendekatan berdasarkan hasil belajar siswa, kemudahan penggunaan, dan tingkat ketertarikan terhadap media pembelajaran yang digunakan.

Tabel 1. Perangkat Pengujian

No	Hardware	Spesifikasi
1	Smartphone Redmi Note 8 Pro	<ul style="list-style-type: none"> <li>• OS: Android</li> <li>• Storage: 128 GB</li> <li>• MIUI: 12.5.8</li> <li>• RAM: 8 GB</li> </ul>

Tabel 1 menjelaskan perangkat yang digunakan untuk pengujian *Marker-Based* dan *Markerless* yang terdiri dari Smartphone Redmi Note 8 Pro dengan spesifikasi sistem operasi Android, penyimpanan 128 GB, MIUI 12.5.8, dan RAM 8 GB.



Gambar 1. Metode Pengujian Marker-Based dan Markerless

Prosedur pengujian dalam penelitian ini dilakukan menggunakan dua pendekatan teknologi *Augmented Reality*, yaitu *Marker-Based Tracking* dan *Markerless Tracking*, yang masing-masing memiliki tahapan tersendiri namun bertujuan sama, yaitu menampilkan objek 3D struktur tumbuhan secara optimal (Arifitama dkk., 2022). Pada metode *Marker-Based Tracking*, kamera smartphone digunakan untuk memindai marker fisik berupa gambar pola tertentu yang berfungsi sebagai titik acuan kemunculan objek AR. Setelah marker dikenali, objek 3D muncul di atas marker dan dilakukan pengujian berdasarkan tiga parameter utama yaitu jarak, ketinggian, dan sudut pandang. Hasil dari setiap pengujian dicatat untuk dianalisis lebih lanjut. Sementara itu, pada metode *Markerless Tracking*, kamera digunakan untuk memindai permukaan datar di lingkungan sekitar tanpa memerlukan marker fisik. Sistem akan mendeteksi bidang datar sebagai acuan kemunculan objek 3D, lalu dilakukan pengujian dengan parameter yang sama seperti metode sebelumnya. Semua hasil pengujian, baik dari *Marker-Based* maupun *Markerless Tracking*, dikumpulkan untuk kemudian dibandingkan guna mengetahui metode mana yang lebih efektif dan stabil dalam konteks pembelajaran struktur tumbuhan bagi siswa sekolah dasar.

Tabel 2. Parameter Pengujian

Jarak (cm)	Tinggi (cm)	Sudut (°)
50	50, 100, 150	30°, 60°
100	50, 100, 150	30°, 60°
150	50, 100, 150	30°, 60°

Tabel 2 menyajikan parameter pengukuran yang digunakan untuk membandingkan kedua metode. Terdapat tiga parameter utama yang akan diuji, yaitu jarak, ketinggian, dan sudut (Arifitama dkk., 2022). Terdapat 18 pengujian yang dilakukan untuk menguji efektivitas *Marker-Based* dan *Markerless Augmented Reality* pada aplikasi struktur tumbuhan.

Tabel 3. Kriteria Skor Pengujian

No	Jarak (cm)	Skor	Kriteria Penilaian
1	Sangat Baik	5	Titik poin berhasil terdeteksi, objek 3D yang muncul sangat stabil, dan proses deteksi berlangsung cepat.
2	Baik	4	Titik poin berhasil terdeteksi, objek 3D yang muncul stabil, dan proses deteksi berlangsung cepat.
3	Cukup	3	Titik poin berhasil terdeteksi, objek 3D yang muncul cukup stabil, dan proses deteksi berlangsung dengan kecepatan normal.

No	Jarak (cm)	Skor	Kriteria Penilaian
4	Kurang Baik	2	Titik poin berhasil terdeteksi, namun objek 3D yang muncul tidak stabil dan proses deteksi berlangsung lambat.
5	Sangat Kurang	1	Titik poin gagal terdeteksi, objek 3D tidak jelas, atau objek 3D tidak muncul sama sekali.

Tabel 3 menjelaskan sistem penilaian yang digunakan untuk mengukur tingkat keberhasilan deteksi objek *Augmented Reality*. Parameter pengukuran untuk pengujian ini diadopsi dari penelitian sebelumnya, yang juga menguji aplikasi AR menggunakan marker (Arifitama dkk., 2022). Penilaian dilakukan menggunakan skala 1 hingga 5, di mana setiap angka memiliki keterangan kriteria masing-masing. Selanjutnya, setelah objek pada kedua jenis marker dideteksi, akurasi deteksi akan dihitung menggunakan rumus yang telah ditentukan seperti pada rumus (1).

$$Tn = \frac{\sum ob}{\sum n} \times 100 \quad (1)$$

Total akurasi didapatkan dengan membandingkan jumlah objek yang berhasil dideteksi secara optimal dengan total percobaan yang dilakukan pada setiap komponen. Tingkat akurasi ( $Tn$ ) merupakan representasi persentase dari efektivitas sistem secara keseluruhan, yang dihitung dengan cara membagi Total Skor Diperoleh ( $\sum ob$ ) yaitu jumlah akumulatif dari semua skor penilaian (skala 1-5) selama percobaan, dengan Total Skor Maksimal ( $\sum n$ ) yang merupakan skor ideal tertinggi dari seluruh skenario pengujian, kemudian hasilnya dikalikan 100.

### HASIL

Pengujian dilakukan terhadap kedua aplikasi AR dengan mengikuti 18 skenario pengujian untuk setiap metode, yang merupakan kombinasi dari 3 variasi jarak, 3 variasi ketinggian, dan 2 variasi sudut. Data kuantitatif yang diperoleh dari hasil uji coba disajikan secara lengkap dalam tabel skor di bawah ini.

#### Pengujian Marker-Based



Gambar 2. Pengujian Marker-Based

Pengujian *Marker-Based* dilakukan berdasarkan ketinggian, jarak dan sudut derajat. Eksperimen pertama dimulai dari jarak paling dekat dengan marker. Dimulai dari jarak 50 cm, ketinggian 50 cm, serta sudut 30 derajat hingga jarak maksimal yaitu berada pada jarak 150 cm, ketinggian 150 cm, dan sudut 60 derajat. Hasil pengujian *Marker-Based* dapat dilihat pada tabel 4.

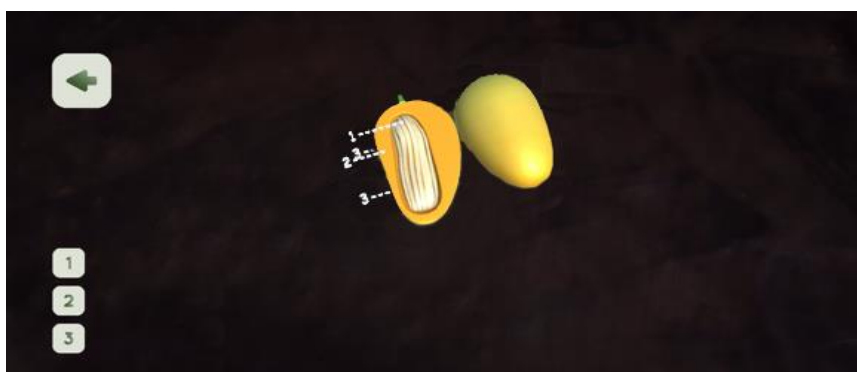
Tabel 4. Hasil Skor Pengujian Marker-Based

Jarak (cm)	Tinggi (cm)	Sudut (°)	Skor (1-5)	Keterangan Penilaian
50	50	30°	5	Sangat Baik.

Jarak (cm)	Tinggi (cm)	Sudut (°)	Skor (1-5)	Keterangan Penilaian
50	50	60°	5	Sangat Baik
50	100	30°	5	Sangat Baik
50	100	60°	5	Sangat Baik
50	150	30°	4	Baik
50	150	60°	4	Baik
100	50	30°	4	Baik
100	50	60°	4	Baik
100	100	30°	4	Baik
100	100	60°	4	Baik
100	150	30°	3	Cukup
100	150	60°	3	Cukup
150	50	30°	3	Cukup
150	50	60°	3	Cukup
150	100	30°	2	Kurang Baik
150	100	60°	2	Kurang Baik
150	150	30°	2	Kurang Baik.
150	150	60°	1	Sangat Kurang

Tabel 4 menunjukkan hasil skor kinerja sistem Augmented Reality dengan metode *Marker-Based* yang diuji berdasarkan tiga parameter utama yaitu jarak, ketinggian, dan sudut pandang. Hasil pengujian secara jelas menggambarkan bahwa efektivitas sistem ini sangat bergantung pada jarak antara kamera dan penanda (marker). Pada jarak 50 cm, sistem menunjukkan performa sangat baik hingga baik. Di hampir semua ketinggian, sistem mampu meraih skor tertinggi 5 (Sangat Baik), yang menandakan deteksi objek berjalan cepat dan stabil. Kinerja hanya sedikit menurun ke skor 4 (Baik) saat ketinggian mencapai 150 cm. Pada jarak 100 cm, performa sistem masih tergolong baik, dengan mayoritas skor adalah 4. Namun, pada jarak ini, mulai terlihat adanya penurunan kinerja saat ketinggian dan jarak dimaksimalkan, yang ditandai dengan turunnya skor menjadi 3 (Cukup). Pada jarak terjauh, yaitu 150 cm, terjadi penurunan efektivitas yang signifikan. Skor yang didapat mayoritas adalah 3 (Cukup) dan 2 (Kurang Baik). Hal ini menunjukkan bahwa deteksi mulai melambat dan objek 3D yang ditampilkan menjadi tidak stabil. Bahkan, pada skenario terburuk (jarak 150 cm, tinggi 150 cm, sudut 60°), sistem hanya mendapatkan skor 1 (Sangat Kurang), yang mengindikasikan kegagalan deteksi. Secara keseluruhan, tabel ini menyimpulkan bahwa metode *Marker-Based* sangat efektif pada jarak dekat, namun kinerjanya menurun drastis seiring bertambahnya jarak dari penanda.

### Pengujian Markerless



Gambar 3. Pengujian Markerless

Pengujian *Markerless* dilakukan juga berdasarkan ketinggian, jarak dan sudut derajat. Eksperimen pertama dimulai dari jarak paling dekat dengan area bidang datar. Dimulai dari jarak 50 cm, ketinggian 50 cm, serta sudut 30 derajat hingga jarak maksimal yaitu berada pada jarak 150 cm, ketinggian 150 cm, dan sudut 60 derajat. Hasil pengujian *Markerless* dapat dilihat pada tabel 5.

Tabel 5. Hasil Skor Pengujian Markerless

Jarak (cm)	Tinggi (cm)	Sudut (°)	Skor (1-5)	Keterangan Penilaian
50	50	30°	5	Sangat Baik
50	50	60°	5	Sangat Baik
50	100	30°	4	Baik
50	100	60°	4	Baik
50	150	30°	4	Baik
50	150	60°	4	Baik
100	50	30°	4	Baik
100	50	60°	4	Baik
100	100	30°	4	Baik
100	100	60°	4	Baik
100	150	30°	4	Baik
100	150	60°	4	Baik.
150	50	30°	4	Baik
150	50	60°	4	Baik
150	100	30°	4	Baik
150	100	60°	3	Cukup
150	150	30°	3	Cukup
150	150	60°	3	Cukup

Tabel 5 menyajikan data skor kinerja dari sistem Augmented Reality dengan metode *Markerless*. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem ini memiliki tingkat konsistensi dan keandalan yang sangat tinggi di berbagai kondisi pengujian, dengan performa yang tidak banyak terpengaruh oleh perubahan jarak. Pada jarak 50 cm, sistem menunjukkan performa terbaiknya. Sistem ini berhasil meraih skor tertinggi 5 (Sangat Baik) pada kondisi paling ideal dan secara konsisten mempertahankan skor 4 (Baik) pada ketinggian lainnya, menandakan deteksi yang sangat cepat dan stabil. Pada jarak 100 cm, performa sistem sangat stabil dan konsisten. Di semua variasi ketinggian dan sudut pada jarak ini, sistem secara solid mempertahankan skor 4 (Baik), menunjukkan keandalannya dalam menjaga kualitas deteksi objek. Pada jarak terjauh 150 cm, sistem *Markerless* tetap menunjukkan kinerja yang kuat. Mayoritas skor masih berada di level 4 (Baik), dan hanya menurun ke 3 (Cukup) pada kombinasi kondisi paling ekstrem. Perlu dicatat bahwa sistem tidak pernah mengalami kegagalan deteksi (skor 1 atau 2) pada jarak ini. Secara keseluruhan, tabel ini menyimpulkan bahwa metode *Markerless* memiliki karakter yang sangat robust dan andal. Efektivitasnya terjaga dengan baik di berbagai rentang jarak, menjadikannya teknologi yang lebih stabil untuk penggunaan yang fleksibel.

### Perhitungan Akurasi Deteksi

Tabel 6. Perhitungan Akurasi Deteksi

Metode AR	Total Skor Diperoleh	Total Skor Maksimal	Tinggi Akurasi
Marker-Based	63	90	70.0%
Markerless	70	90	77.8%

Memberikan gambaran akhir yang kuantitatif mengenai performa kedua metode *Augmented Reality* setelah melalui 18 skenario pengujian yang berbeda. Perhitungan ini menggunakan rumus (1) untuk mengubah skor total yang diperoleh menjadi persentase akurasi. Berdasarkan hasil perhitungan akhir, metode *Markerless* terbukti lebih unggul dengan tingkat akurasi keseluruhan sebesar 77.8%, dibandingkan dengan metode *Marker-Based* yang mencapai akurasi 70.0%.

## PEMBAHASAN

Data pengujian yang disajikan dengan skor bilangan bulat semakin memperjelas perbedaan karakteristik antara metode marker-based dan markerless. Berdasarkan Tabel 4 dan 5, metode markerless menunjukkan tingkat akurasi keseluruhan yang lebih tinggi dibandingkan *marker-based*.

### Analisis Kinerja Marker-Based

Metode *Marker-Based* menunjukkan kinerja yang polarisasi. Pada kondisi ideal, khususnya pada jarak 50 cm, metode ini berhasil mencapai skor sempurna "5" (Sangat Baik), yang mengonfirmasi kemampuannya dalam menyajikan objek 3D dengan sangat cepat dan stabil saat penanda terlihat jelas. Namun, kelemahannya sangat terlihat saat kondisi pengujian menjadi lebih sulit. Kinerja menurun secara signifikan seiring bertambahnya jarak dan ketinggian, dengan skor jatuh ke "3" (Cukup), "2" (Kurang Baik), dan bahkan "1" (Sangat Kurang) pada skenario paling ekstrem. Penurunan drastis ini menghasilkan tingkat akurasi total hanya 70.0%. Ini menegaskan bahwa efektivitasnya sangat bergantung pada kondisi visual yang optimal terhadap marker (Boonbrahm dkk., 2020).

### Analisis Kinerja Markerless

Metode *Markerless* menunjukkan kinerja yang jauh lebih konsisten dan andal di berbagai kondisi (Indriyani & Suryanto, 2021). Terlihat dari Tabel 4, mayoritas skor untuk markerless berada di angka "4" (Baik) dan "5" (Sangat Baik). Bahkan pada jarak dan ketinggian terjauh (150 cm), skor terendahnya adalah "3" (Cukup), tanpa pernah masuk ke kategori "Kurang Baik" atau "Sangat Kurang". Konsistensi inilah yang membuatnya unggul dalam perhitungan akurasi total dengan perolehan 77.8%. Ini membuktikan bahwa teknologi pelacakan bidang datar lebih tangguh terhadap variasi jarak dan sudut pandang, meskipun pada kondisi ideal tidak selalu lebih cepat dari deteksi marker.

### Perbandingan Efektivitas untuk Konteks Pembelajaran

Temuan ini memberikan panduan yang jelas bagi pendidik di SD No. 8 Jimbaran. Pada *Marker-Based*, meskipun memiliki akurasi total lebih rendah, performa puncaknya yang sempurna (skor 5) menjadikannya alat yang sangat baik untuk demonstrasi terpandu di kelas (G. N. A. D. Putra & Putra, 2025). Guru bisa memastikan siswa memindai dari jarak dekat untuk mendapatkan visualisasi yang paling stabil dan presisi. *Markerless* keunggulannya dalam konsistensi dan fleksibilitas menjadikannya pilihan superior untuk pembelajaran eksploratif dan mandiri (Prasetya & Anistyasari, 2020). Siswa tidak perlu khawatir dengan jarak atau sudut pandang, sehingga dapat dengan bebas menempatkan objek 3D di lingkungan belajar mereka sendiri. Hal ini sangat mendukung tujuan untuk menciptakan pengalaman belajar yang lebih interaktif dan menyenangkan, serta membantu mengatasi kesulitan siswa dalam memvisualisasikan materi abstrak (Maulana & Pramono, 2025).

## KESIMPULAN

Berdasarkan analisis komparatif yang telah dilakukan, penelitian ini menyimpulkan bahwa metode *Augmented Reality Markerless* terbukti lebih efektif dan andal dibandingkan metode *Marker-Based* untuk digunakan sebagai media pembelajaran struktur tumbuhan. Metode *Markerless* menunjukkan keunggulan signifikan dengan tingkat akurasi keseluruhan sebesar 77.8% dan menjaga kinerja yang konsisten di berbagai kondisi pengujian. Sebaliknya, meskipun metode *Marker-Based* mampu memberikan performa sangat baik pada jarak dekat, efektivitasnya menurun secara drastis seiring bertambahnya jarak, sehingga membatasi fleksibilitas penggunaannya. Dengan demikian, untuk tujuan pengembangan media pembelajaran yang interaktif, fleksibel, dan mendukung eksplorasi mandiri siswa, metode *Markerless* sangat direkomendasikan. Penelitian lebih lanjut dapat difokuskan pada pengujian di berbagai perangkat atau pengembangan metode hibrida untuk mengoptimalkan pengalaman belajar.

## REFERENSI

- Abdulghani, T., & Sati, B. P. (2020). Pengenalan Rumah Adat Indonesia Menggunakan Teknologi Augmented Reality Dengan Metode Marker Based Tracking Sebagai Media Pembelajaran. *Media Jurnal Informatika*, 11(1), 43–50.
- Abdurrahman, Y., & Gustalika, M. A. (2023). Aplikasi Augmented Reality Dengan Marker Based dan Markerless Tracking Sebagai Pengenalan Budaya Candi Mendut. *REMIK: Riset Dan E-Jurnal Manajemen Informatika Komputer*, 7(2), 859–871.
- Agfary, A., Muhallim, M., & Paembonan, S. (2025). Augmented Reality Media Pembelajaran Reproduksi Tumbuhan Pada Siswa Kelas IX Sekolah Menengah Pertama (SMP) di SMP Negeri 8 Kota Palopo. *Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan*, 13(1).
- Alenezi, A. (2020). The Role of E-Learning Materials in Enhancing Teaching and Learning Behaviors. *International Journal of Information and Education Technology*, 10(1), 48–56.
- Arifitama, B., Syahputra, A., & Bintoro, K. B. Y. (2022). Analisis Perbandingan Efektivitas Metode Marker dan Markerless Tracking pada Objek Augmented Reality. *Jurnal Integrasi*, 14(1), 1–7.

- Boonbrahm, S., Boonbrahm, P., & Kaewrat, C. (2020). The Use of Marker-Based Augmented Reality In Space Measurement. *Procedia Manufacturing*, 42, 337–343.
- Bulowe, Y. R., Yusuf, F. M., & Kandowangko, N. Y. (2020). Implementasi Perangkat Pembelajaran Menggunakan Inkuiri Terbimbing Terhadap Aktivitas Belajar Siswa Pada Materi Struktur dan Fungsi Jaringan Tumbuhan di SMP Negeri 12 Gorontalo Kelas VIII. *Assimilation: Indonesian Journal of Biology Education*, 3(2), 80–84.
- Garzón, J. (2021). An Overview of Twenty-Five Years of Augmented Reality in Education. *Multimodal Technologies and Interaction*, 5(7), 37.
- Indriyani, T. W., & Suryanto, A. (2021). Markerless Augmented Reality (AR) Pada Media Pembelajaran Pengenalan Komponen Transmisi Manual Mobil. *Edu Komputika Journal*, 8(1), 57–67.
- Juhaeni, J., Wiji, S., Wadud, A. J., Saputra, H., Azizah, I. N., & Safaruddin, S. (2022). Pengaruh Media Pembelajaran Teka Teki Silang Terhadap Hasil Belajar IPA Materi Perkembangbiakan Tumbuhan. *Journal of Instructional and Development Researches*, 2(6), 241–247.
- Kartini, K. S., & Putra, I. N. T. A. (2020). Respon Siswa Terhadap Pengembangan Media Pembelajaran Interaktif Berbasis Android. *Jurnal Pendidikan Kimia Indonesia*, 4, 12–19.
- Maulana, R., & Pramono, A. (2025). Aplikasi Media Pembelajaran 3D Tentang Bagan Tumbuhan Berbasis Augmented Reality Dengan Metode Marker-Based Untuk SDN Nginden Jangkungan 1 Surabaya. *JATI (Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika)*, 9(2), 3593–3599.
- Prasetya, S. D., & Anistyasari, Y. (2020). Studi Literatur Pengaruh Media Pembelajaran Berbasis Augmented Reality Markerless Terhadap Motivasi Belajar Siswa. *IT-Edu: Jurnal Information Technology and Education*, 5(01), 468–479.
- Putra, G. N. A. D., & Putra, I. N. T. A. (2025). Perancangan Aplikasi Pengenalan Tata Surya Berbasis Augmented Reality. *Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan*, 13(2).
- Putra, I. N. T. A., Kartini, K. S., & Abenk, M. I. S. (2024). Analisis Fungsional dan Pengalaman Pengguna Augmented Reality pada Pembelajaran Pengenalan Struktur Tumbuhan. *Seminar Nasional Riset Inovatif*, 9.
- Sugiyono, D. (2019). *Statistika untuk Penelitian*. Bandung: Cv Alfabeta.
- Susetya, B. E. F., & Harjono, N. (2022). Pengembangan Media Filter Instagram Berbasis Augmented Reality sebagai Media Pembelajaran IPA untuk Meningkatkan Hasil Belajar Siswa Sekolah Dasar. *Jurnal Basicedu*, 6(6), 10056–10072.