

RANGKUMAN PENGGUNAAN METODE MARKER BASED TRACKING DAN MARKERLESS PADA APLIKASI AUGMENTED REALITY

Nurrizqa, Nurrisma, Anni Zulfia

¹ Department of Information Technology, Faculty of Science and Technology, UIN Ar-Raniry, Banda Aceh, Indonesia

² Department of Computer Systems, STMIK Indonesia Banda Aceh, Banda Aceh, Indonesia

³ Department of Informatics Engineering, Faculty of Engineering, Universitas Malikussaleh, Lhokseumawe, Indonesia

E-mail: ¹ nur.rizqa@ar-raniry.ac.id, ² rismaakashi@gmail.com,
³ annizulfia@unimal.ac.id

Abstract

Augmented Reality technology has experienced rapid development with two primary tracking approaches: *marker based tracking* and *markerless* methods. This literature review analyzes eleven research implementations published between 2020 and 2025 to evaluate performance characteristics, advantages, and limitations of both tracking methods across various application domains. The *marker based tracking* method demonstrates superior accuracy with error rates below three percent and optimal stability in controlled environments, achieving success rates of 72.2 to 77.8 percent across different devices. However, performance degradation occurs at extended distances and specific lighting conditions. Conversely, the *markerless* method offers exceptional flexibility with success rates reaching 94.4 percent and remarkable adaptability to diverse environmental conditions without requiring physical markers. This method proves highly effective for medical applications, interior design, anatomy education, and smart manufacturing. Principal challenges include hologram spatial instability in complex settings and higher computational requirements. Innovations combining *absolute pose regressor* with *visual-inertial odometry* have reduced errors by fifty percent with inference speeds of eighty milliseconds. Method selection should consider accuracy requirements, operational environmental conditions, hardware constraints, and implementation complexity to optimize AR application effectiveness.

Keywords: *augmented reality, marker based tracking, markerless tracking*

Abstrak

Teknologi Augmented Reality mengalami perkembangan pesat dengan dua pendekatan pelacakan utama yaitu metode marker based tracking dan markerless. Kajian literatur ini menganalisis sebelas implementasi penelitian yang dipublikasikan antara tahun 2020 hingga 2025 untuk mengevaluasi karakteristik performa, keunggulan, serta keterbatasan kedua metode pelacakan pada berbagai domain aplikasi. Metode marker based tracking mendemonstrasikan akurasi superior dengan tingkat kesalahan di bawah tiga persen dan stabilitas optimal pada lingkungan terkontrol, mencapai tingkat keberhasilan 72,2 hingga 77,8 persen pada berbagai perangkat. Namun terjadi degradasi performa pada jarak ekstensif dan kondisi pencahayaan spesifik. Sebaliknya, metode markerless menawarkan

RANGKUMAN PENGGUNAAN METODE MARKER BASED TRACKING DAN MARKERLESS PADA APLIKASI AUGMENTED REALITY

fleksibilitas eksepsional dengan tingkat keberhasilan mencapai 94,4 persen dan adaptabilitas luar biasa terhadap kondisi lingkungan beragam tanpa memerlukan penanda fisik. Metode ini terbukti sangat efektif untuk aplikasi medis, desain interior, pendidikan anatomi, dan manufaktur pintar. Tantangan utama meliputi ketidakstabilan spasial hologram pada pengaturan kompleks dan kebutuhan komputasi lebih tinggi. Inovasi yang mengombinasikan absolute pose regressor dengan visual-inertial odometry telah mereduksi kesalahan hingga lima puluh persen dengan kecepatan inferensi delapan puluh milidetik. Pemilihan metode harus mempertimbangkan kebutuhan akurasi, kondisi lingkungan operasional, keterbatasan perangkat keras, dan kompleksitas implementasi untuk mengoptimalkan efektivitas aplikasi AR.

Kata Kunci: *augmented reality, marker based tracking, markerless tracking example.*

1. Introduction

Perkembangan teknologi informasi dan komunikasi telah membawa transformasi signifikan dalam berbagai aspek kehidupan manusia, termasuk dalam bidang pendidikan, desain, manufaktur, dan pelayanan kesehatan. Salah satu teknologi yang mengalami pertumbuhan pesat adalah *Augmented Reality* (AR), yaitu teknologi yang memungkinkan integrasi objek virtual ke dalam lingkungan dunia nyata secara *real-time*. Teknologi AR menciptakan pengalaman interaktif yang memperkaya persepsi pengguna terhadap realitas dengan menambahkan elemen digital seperti gambar tiga dimensi, video, suara, maupun informasi tekstual ke dalam pandangan dunia nyata melalui perangkat digital. Menurut prediksi Statista, teknologi AR diperkirakan akan mencapai 1,7 miliar pengguna di seluruh dunia pada akhir tahun 2024, meningkat signifikan dari 200 juta pengguna pada tahun 2015, yang menunjukkan pertumbuhan luar biasa dalam adopsi teknologi ini di berbagai sektor [2]. Kemampuan AR dalam menyediakan visualisasi yang lebih realistis dan interaktif menjadikannya solusi inovatif untuk mengatasi berbagai tantangan dalam proses pembelajaran, perancangan produk, serta implementasi sistem informasi spasial.

Keunggulan utama teknologi AR terletak pada kemampuannya untuk meningkatkan pemahaman pengguna terhadap informasi kompleks melalui representasi visual tiga dimensi yang dapat dimanipulasi secara langsung. Berbeda dengan *Virtual Reality* (VR) yang menciptakan lingkungan sepenuhnya virtual, AR mempertahankan koneksi pengguna dengan dunia nyata sambil menambahkan lapisan informasi digital yang relevan. Hal ini memberikan konteks yang lebih baik dan memfasilitasi pembelajaran yang lebih efektif, terutama untuk konsep-konsep abstrak atau struktur kompleks yang sulit divisualisasikan melalui media konvensional. Dalam konteks pendidikan, AR telah terbukti meningkatkan motivasi dan keterlibatan siswa, mempercepat proses pemahaman materi, serta memberikan pengalaman belajar yang lebih menarik dan berkesan. Penelitian menunjukkan bahwa penggunaan AR dalam pendidikan dapat menciptakan lingkungan pembelajaran yang interaktif dan membuka kemungkinan baru dalam domain pendidikan [3].

Implementasi teknologi AR dalam aplikasi praktis memerlukan sistem pelacakan yang akurat untuk menentukan posisi dan orientasi objek virtual relatif terhadap lingkungan nyata. Terdapat dua pendekatan utama dalam pelacakan AR yang telah dikembangkan dan digunakan secara luas, yaitu metode *marker based tracking* dan metode *markerless*. Metode *marker based tracking* menggunakan penanda visual khusus

yang telah didefinisikan sebelumnya sebagai referensi untuk menempatkan objek virtual. Penanda ini biasanya berupa pola geometris dengan kontras tinggi yang mudah dikenali oleh sistem komputer visi. Ketika kamera mendeteksi penanda tersebut, sistem dapat menghitung posisi dan orientasi kamera relatif terhadap penanda, kemudian menampilkan objek virtual pada posisi yang sesuai. Metode ini menawarkan akurasi tinggi dan stabilitas yang baik dalam kondisi lingkungan yang terkontrol, sehingga banyak digunakan dalam aplikasi pendidikan dan pelatihan. Dalam perkembangannya, teknologi pelacakan AR telah mengalami evolusi yang signifikan dari sistem berbasis penanda menuju sistem yang lebih fleksibel tanpa penanda. Kajian komprehensif mengenai teknologi pelacakan AR mencakup berbagai aspek penting seperti teknologi pelacakan, alat pengembangan, tampilan AR, AR kolaboratif, dan masalah keamanan yang menjadi perhatian utama dalam pengembangan aplikasi AR [4]. Pemahaman mendalam terhadap berbagai komponen teknologi AR ini sangat penting untuk mengembangkan aplikasi yang efektif dan dapat diandalkan dalam berbagai konteks penggunaan.

Di sisi lain, metode *markerless* memanfaatkan fitur-fitur alami dari lingkungan sekitar sebagai acuan untuk penempatan objek virtual, tanpa memerlukan penanda khusus yang telah didefinisikan sebelumnya. Pendekatan ini menggunakan berbagai teknik seperti *face tracking*, *3D object tracking*, *motion tracking*, serta analisis permukaan dan pencahayaan lingkungan untuk menentukan posisi objek virtual. Metode *markerless* memberikan fleksibilitas yang lebih tinggi karena pengguna tidak perlu menyiapkan penanda fisik, sehingga aplikasi dapat digunakan di berbagai lokasi dan kondisi. Teknologi ini sangat relevan untuk aplikasi yang memerlukan mobilitas tinggi seperti desain interior, navigasi dalam ruangan, serta visualisasi arsitektur. Metode *markerless* menawarkan keserbagunaan yang lebih tinggi karena tidak memerlukan isyarat atau pola visual, melainkan mengumpulkan informasi dari lingkungan melalui kamera, GPS, akselerometer, dan kompas digital perangkat [5].

Penerapan teknologi AR dalam konteks pendidikan khususnya telah menunjukkan hasil yang sangat menjanjikan. Dalam pembelajaran kimia, pengembangan aplikasi AR *markerless* yang sederhana dan berbiaya rendah telah berhasil meningkatkan pemahaman siswa secara signifikan terhadap konsep-konsep molekuler yang kompleks [6]. Aplikasi ini dapat digunakan pada perangkat Android maupun iOS, sehingga memberikan aksesibilitas yang luas bagi para siswa. Keberhasilan implementasi AR dalam pembelajaran sains menunjukkan potensi besar teknologi ini untuk diterapkan pada berbagai disiplin ilmu lainnya, terutama yang memerlukan visualisasi tiga dimensi untuk memudahkan pemahaman konsep abstrak. Lebih lanjut, penelitian terhadap aplikasi AR *markerless* untuk pembelajaran bahasa pada komunitas suku terbelakang menunjukkan bahwa teknologi ini dapat memberikan pengalaman virtual tiga dimensi yang sangat bermanfaat dalam pendidikan modern [7]. Aplikasi yang dinamakan BodoRao ini dirancang khusus untuk membantu pembelajaran bahasa yang terancam punah, mendemonstrasikan bagaimana teknologi AR dapat dimanfaatkan tidak hanya untuk meningkatkan efektivitas pembelajaran, tetapi juga untuk pelestarian budaya dan bahasa. Hal ini membuka perspektif baru mengenai peran teknologi AR dalam mendukung inklusivitas pendidikan dan pelestarian warisan budaya.

Dalam sektor manufaktur dan industri, penerapan teknologi AR juga mengalami perkembangan yang pesat. Penggunaan AR *markerless* yang dikombinasikan dengan *machine vision* untuk pelacakan perangkat dalam lingkungan manufaktur pintar telah memungkinkan identifikasi dan deteksi komponen secara efisien tanpa pengetahuan sebelumnya tentang proses desain dan implementasi [8]. Sistem ini memfasilitasi

diagnosis perangkat dan pemeliharaan peralatan dengan menyediakan informasi waktu nyata mengenai posisi dan fitur elemen robotik dalam pabrik manufaktur dalam ruangan. Kemampuan untuk melacak dan mengidentifikasi perangkat secara otomatis sangat meningkatkan efisiensi operasional dan mengurangi waktu henti produksi. Meskipun telah banyak penelitian yang mengeksplorasi implementasi metode *marker based tracking* dan *markerless* dalam berbagai domain aplikasi, masih terdapat kesenjangan pengetahuan terkait dengan perbandingan komprehensif mengenai kelebihan, kekurangan, dan batasan masing-masing metode dalam konteks yang beragam. Dari perspektif pengembang, akurasi penanda dan kecepatan deteksi menjadi prioritas utama, di mana studi menunjukkan bahwa peningkatan waktu pengenalan hanya 0,5 detik dapat menyebabkan penurunan kepuasan pengguna hingga 30 persen [9]. Hal ini menggarisbawahi pentingnya optimalisasi sistem pelacakan AR untuk memastikan pengalaman pengguna yang memuaskan.

Penelitian ini bertujuan untuk melakukan kajian literatur sistematis terhadap aplikasi-aplikasi AR yang telah dikembangkan menggunakan kedua metode tersebut, dengan fokus pada analisis performa, akurasi, stabilitas, fleksibilitas, serta implikasi praktis dari penggunaan masing-masing metode. Melalui sintesis dari berbagai studi terkini yang diterbitkan antara tahun 2020 hingga 2025, penelitian ini berusaha memberikan panduan yang komprehensif bagi pengembang dan peneliti dalam memilih metode pelacakan AR yang paling sesuai dengan kebutuhan spesifik aplikasi mereka. Selain itu, penelitian ini juga bertujuan untuk mengidentifikasi area-area yang memerlukan pengembangan lebih lanjut untuk meningkatkan efektivitas teknologi AR dalam berbagai konteks penggunaan, mulai dari pendidikan, kesehatan, manufaktur, hingga pelestarian budaya. Dengan pemahaman yang lebih mendalam tentang karakteristik dan batasan masing-masing metode pelacakan AR, diharapkan dapat mendorong inovasi lebih lanjut dalam pengembangan aplikasi AR yang lebih canggih, efisien, dan dapat diandalkan untuk memenuhi kebutuhan masa depan.

2. Metode

Penelitian ini menggunakan metode studi literatur yang bersifat deskriptif analitis untuk mengkaji dan membandingkan penggunaan metode *marker based tracking* dan *markerless* dalam teknologi *Augmented Reality*. Studi literatur dipilih karena memungkinkan analisis komprehensif terhadap berbagai penelitian terdahulu yang telah dipublikasikan pada rentang waktu tahun 2020 hingga 2025. Proses pengumpulan data dilakukan melalui penelusuran artikel ilmiah, jurnal internasional, dan prosiding konferensi yang relevan dengan topik penelitian dari berbagai basis data akademik terpercaya. Kriteria seleksi literatur mencakup publikasi yang membahas implementasi aplikasi AR dengan kedua metode pelacakan, evaluasi performa sistem, serta analisis kelebihan dan kekurangan masing-masing pendekatan dalam konteks aplikasi yang beragam.

Analisis data dilakukan dengan mengidentifikasi karakteristik utama dari setiap metode pelacakan, membandingkan tingkat akurasi, stabilitas, fleksibilitas, dan efisiensi penggunaan dalam berbagai kondisi lingkungan dan domain aplikasi. Kajian teknologi pelacakan AR mencakup berbagai aspek penting seperti teknologi pelacakan, alat pengembangan, tampilan AR, serta masalah keamanan yang menjadi perhatian utama dalam pengembangan aplikasi [10]. Setiap aplikasi yang dikaji dievaluasi berdasarkan parameter teknis seperti jarak deteksi optimal, sudut pandang efektif, pengaruh pencahayaan, tingkat keberhasilan pengenalan objek, serta pengalaman pengguna yang

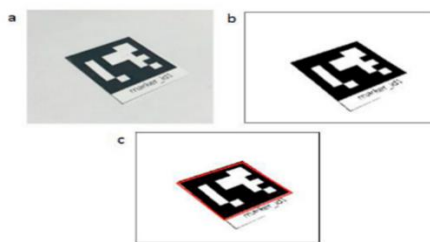
dihasilkan. Sintesis dari berbagai temuan literatur kemudian disusun secara sistematis untuk memberikan gambaran komprehensif mengenai perkembangan terkini teknologi AR dan implikasinya terhadap pemilihan metode pelacakan yang sesuai dengan kebutuhan spesifik aplikasi.

3. Hasil dan Pembahasan

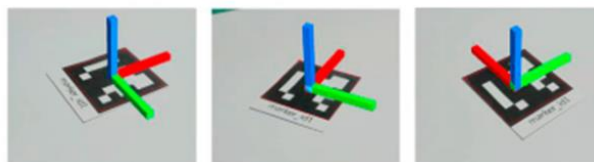
Berdasarkan kajian literatur terhadap berbagai penelitian yang telah dipublikasikan antara tahun 2020 hingga 2025, ditemukan bahwa implementasi teknologi *Augmented Reality* dengan metode *marker based tracking* dan *markerless* telah diterapkan dalam berbagai domain aplikasi dengan karakteristik dan performa yang beragam. Pembahasan berikut ini menguraikan secara komprehensif hasil analisis terhadap sebelas aplikasi AR yang merepresentasikan kedua metode pelacakan tersebut, lengkap dengan evaluasi teknis, kelebihan, keterbatasan, serta implikasi praktis dari setiap implementasi.

Metode Marker Based Tracking

Metode *marker based tracking* merupakan pendekatan pelacakan AR yang memanfaatkan penanda visual tertentu sebagai referensi untuk menempatkan objek virtual dalam lingkungan nyata. Penanda ini dapat berupa pola geometris sederhana maupun gambar kompleks yang telah didefinisikan sebelumnya dalam sistem. Ketika kamera perangkat AR mendeteksi penanda tersebut, sistem melakukan analisis pola dan menghitung posisi serta orientasi kamera relatif terhadap penanda, kemudian menampilkan konten digital yang sesuai pada lokasi yang tepat. Penelitian [11] mengembangkan aplikasi AR berbasis penanda untuk pengukuran dimensi ruangan dalam konteks manajemen fasilitas. Aplikasi ini dirancang menggunakan *Unity 3D game engine* dan pustaka *OpenCV*, dengan kemampuan untuk beroperasi pada berbagai sistem operasi termasuk Windows, OSX, iOS, dan Android. Implementasi dilakukan dengan menempatkan penanda pada titik-titik strategis dalam ruangan, kemudian sistem menghitung jarak antar penanda untuk menentukan volume ruang secara otomatis.



Gambar 1. Ilustrasi penempatan marker untuk pengukuran ruangan dengan AR.
Sumber: Boonbrahm et al., 2020}



Gambar 2. Hasil perhitungan volume ruangan menggunakan sistem AR berbasis marker.
Sumber: [11]

Evaluasi dilakukan pada tiga ruangan dengan ukuran berbeda, yaitu ruangan pertama bervolume 25,245 meter kubik, ruangan kedua bervolume 117,35 meter kubik, dan

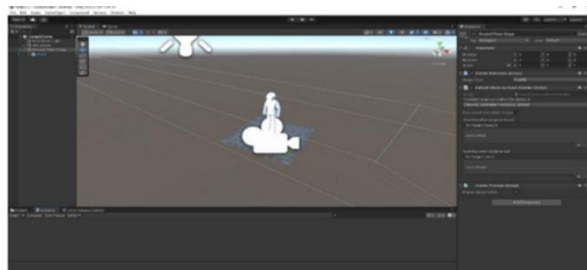
RANGKUMAN PENGGUNAAN METODE MARKER BASED TRACKING DAN MARKERLESS PADA APLIKASI AUGMENTED REALITY

ruangan ketiga bervolume 56,1 meter kubik. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa tingkat akurasi sistem sangat tinggi dengan selisih kurang dari tiga persen dibandingkan dengan pengukuran manual menggunakan alat konvensional. Temuan ini mengindikasikan bahwa metode *marker based tracking* mampu memberikan presisi yang memadai untuk aplikasi pengukuran praktis dalam manajemen fasilitas dan perencanaan tata ruang. Studi komparatif yang dilakukan oleh [12] memberikan analisis mendalam mengenai performa metode *marker based tracking* dalam berbagai kondisi lingkungan. Penelitian ini menggunakan metodologi *Multimedia Development Life Cycle* dengan menguji 72 kombinasi parameter yang berbeda, meliputi variasi jarak antara 5 hingga 120 sentimeter, sudut pandang pada 30, 45, dan 90 derajat, serta pencahayaan dengan empat warna berbeda yaitu merah, biru, hijau, dan kuning. Pengujian dilaksanakan menggunakan dua perangkat yang berbeda, yaitu Xiaomi Note 8 dan Google Pixel 4, untuk mengevaluasi konsistensi performa lintas perangkat.



Gambar 3. Perbandingan tingkat keberhasilan marker-based dan markerless tracking pada berbagai kondisi.

Sumber: (Sulistiyono et al., 2024)

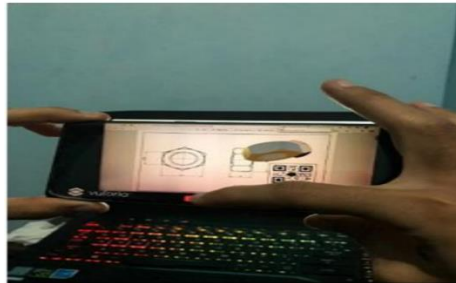


Gambar 4. Pengaruh jarak, sudut, dan pencahayaan terhadap akurasi tracking AR.

Sumber: (Sulistiyono et al., 2024)

Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode *marker based tracking* mencapai tingkat keberhasilan sebesar 72,2 persen pada perangkat Xiaomi Note 8 dan 77,8 persen pada Google Pixel 4. Performa optimal ditemukan pada jarak dekat hingga menengah, dengan degradasi signifikan terjadi pada jarak jauh dan kondisi pencahayaan merah. Temuan ini menggarisbawahi pentingnya pertimbangan faktor lingkungan dalam desain aplikasi AR berbasis penanda, khususnya untuk aplikasi yang digunakan dalam kondisi pencahayaan yang bervariasi atau memerlukan deteksi pada jarak yang lebih jauh. Implementasi AR dalam pendidikan gambar teknik mekanik diteliti oleh [13] melalui pengembangan aplikasi bernama ARPeGa (*Augmented Reality Penyederhanaan*

Gambar). Aplikasi ini dirancang khusus untuk membantu mahasiswa teknik mesin dalam memahami representasi sederhana berdasarkan standar ISO melalui visualisasi model tiga dimensi. Evaluasi pengalaman pengguna dilakukan menggunakan *User Experience Questionnaire* terhadap 38 mahasiswa teknik mesin sebagai subjek penelitian.

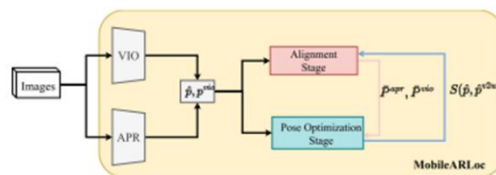


Gambar 5. Aplikasi ARPeGa untuk pembelajaran representasi sederhana dalam gambar mekanik.
Sumber: [13]

Hasil analisis menunjukkan bahwa aplikasi memperoleh kategori sangat baik untuk aspek daya tarik dengan skor 1,87, sementara aspek efisiensi, ketergantungan, stimulasi, dan kebaruan memperoleh kategori baik dengan skor masing-masing 1,63, 1,60, 1,63, dan 1,22. Aspek perspektifitas dikategorikan di atas rata-rata dengan skor 1,51. Temuan ini mendemonstrasikan bahwa penggunaan visualisasi model tiga dimensi dalam aplikasi AR berbasis penanda mampu memperkuat pengalaman pengguna dan meningkatkan pemahaman terhadap konsep representasi sederhana yang bersifat abstrak dalam gambar teknik.

Metode Markerless

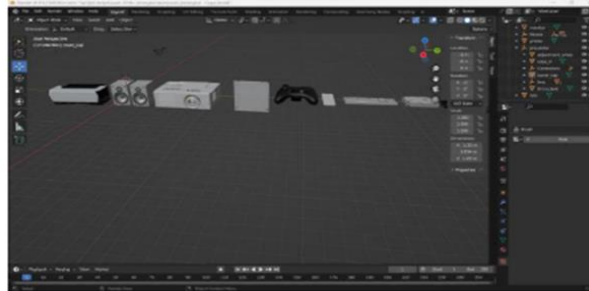
Metode *markerless* merepresentasikan evolusi teknologi AR yang tidak memerlukan penanda visual khusus untuk menempatkan objek virtual. Pendekatan ini memanfaatkan fitur-fitur alami lingkungan seperti permukaan datar, sudut ruangan, atau karakteristik visual lainnya sebagai referensi pelacakan. Sistem *markerless* menggunakan berbagai sensor dan algoritma canggih untuk memahami struktur tiga dimensi lingkungan dan mempertahankan posisi objek virtual secara konsisten. Penelitian [14] mengkaji stabilitas hologram dalam AR *markerless* pada platform *smartphone*. Peneliti mengembangkan metode pengukuran kesalahan posisi hologram dan mengimplementasikannya dalam aplikasi *open-source* bernama HoloMeasure. Temuan penelitian menunjukkan bahwa tingkat ketidakstabilan spasial hologram cukup signifikan terjadi pada hampir semua kondisi kecuali pada pengaturan yang paling sederhana. [15] mengusulkan kerangka kerja MobileARLoc yang mengombinasikan *absolute pose regressor* dengan sistem pelacakan *visual-inertial odometry* untuk AR *markerless* berskala besar pada perangkat bergerak. Pendekatan ini dirancang untuk mengatasi keterbatasan *absolute pose regressor* yang memiliki kecepatan tinggi namun akurasi terbatas, serta masalah drift pada sistem VIO yang memerlukan reposisi absolut secara berkala.



RANGKUMAN PENGGUNAAN METODE MARKER BASED TRACKING DAN MARKERLESS PADA APLIKASI AUGMENTED REALITY

Gambar 6. Arsitektur sistem MobileARLoc untuk AR markerless on-device.
Sumber: [15]

Sistem MobileARLoc menciptakan *loop feedback* di mana estimasi pose dari VIO digunakan untuk menyempurnakan prediksi APR, sementara VIO mengidentifikasi prediksi APR yang reliabel untuk mengompensasi drift. Evaluasi komprehensif melalui simulasi dataset menunjukkan bahwa MobileARLoc mampu mengurangi kesalahan hingga setengahnya dibandingkan dengan APR dasar, dengan kecepatan inferensi mencapai 80 milidetik pada perangkat. Inovasi ini memberikan solusi praktis untuk implementasi AR *markerless* yang memerlukan akurasi tinggi tanpa ketergantungan pada komputasi server eksternal. Dalam konteks medis, [16] mengembangkan sistem EasyREG yang menyediakan registrasi dan pelacakan *markerless* berbasis sensor kedalaman untuk panduan bedah menggunakan perangkat AR. Aplikasi ini juga menampilkan semua fitur yang mungkin dibutuhkan oleh desainer mekanik, desainer interior, dan arsitek dalam pekerjaan sehari-hari mereka. [17] mengembangkan aplikasi ARWONDERS untuk meningkatkan pengalaman pembelajaran perangkat keras komputer pada siswa sekolah menengah pertama menggunakan teknologi AR *markerless*. Penelitian ini bertujuan menentukan kelayakan dan dampak teknologi AR *markerless* dalam bidang pendidikan, khususnya untuk meningkatkan pemahaman siswa terhadap konsep perangkat keras komputer.



Gambar 7. Aplikasi ARWONDERS untuk pembelajaran perangkat keras komputer.
Sumber: [17]

Pengembangan aplikasi menggunakan model *waterfall* yang mencakup tahap kebutuhan, desain sistem dan perangkat lunak, implementasi, pengujian, dan pemeliharaan. Perangkat lunak yang digunakan meliputi *Blender* untuk pemodelan tiga dimensi dan *Unity* untuk implementasi AR secara keseluruhan. Validasi aplikasi dilakukan melalui penilaian ahli yang terdiri dari ahli media, ahli materi, dan siswa sekolah menengah pertama sebagai pengguna. Hasil penelitian menunjukkan bahwa aplikasi ARWONDERS sangat layak dan efektif, serta dapat meningkatkan pemahaman siswa sekolah menengah pertama terhadap perangkat keras komputer. Penilaian dari ahli dan pengguna sangat tinggi, mengindikasikan bahwa ARWONDERS unggul dibandingkan aplikasi lainnya. Aplikasi yang dikembangkan diuji di SMAN 1 Bulakamba dan menghasilkan peningkatan pemahaman dan minat siswa dalam mempelajari anatomi. Hasil evaluasi menunjukkan bahwa mayoritas siswa menyatakan memahami materi dengan sangat baik setelah menggunakan aplikasi AR ini, dengan skor rata-rata tinggi pada setiap indikator kuesioner. [18] melakukan kajian komprehensif terhadap teknologi

emerging dalam AR dan VR untuk aplikasi manufaktur. Penelitian ini mengeksplorasi kemajuan teknologi terkini dan aplikasi AR serta VR dalam konteks manufaktur, mencakup pemanfaatan teknologi ini di berbagai tahap proses manufaktur termasuk desain, pembuatan prototipe, perakitan, pelatihan, pemeliharaan, dan kontrol kualitas.



Gambar 8. Aplikasi AR dan VR dalam berbagai tahap proses manufaktur.
Sumber: [18]

Kajian ini juga menyoroti perkembangan terkini dalam komponen perangkat keras dan perangkat lunak yang telah memfasilitasi adopsi AR dan VR dalam lingkungan manufaktur. Teknologi emerging yang mendorong AR dan VR menuju kematangan teknologi untuk implementasi dalam aplikasi manufaktur diidentifikasi melalui tinjauan literatur komprehensif [19]. Namun demikian, penelitian ini juga mendiskusikan kesulitan utama dalam mengimplementasikan teknologi AR dan VR di sektor manufaktur, termasuk tantangan terkait biaya investasi awal, kebutuhan pelatihan tenaga kerja, integrasi dengan sistem yang ada, serta keterbatasan teknologi dalam kondisi lingkungan industri yang kompleks. [20] menyajikan survei komprehensif mengenai teknik pelacakan dan registrasi *markerless* untuk aplikasi kesehatan dan lingkungan dalam konteks AR dan sistem informasi geospasial ubikuitas. Penelitian ini menjelaskan bahwa sebagian besar aplikasi AR yang ada cocok untuk kasus di mana hanya sedikit entitas dunia nyata yang terlibat, seperti menampilkan karakter pada satu permukaan [21]. Namun, ketika aplikasi AR kesehatan atau lingkungan melibatkan hubungan satu-satu antara entitas di dunia nyata dan objek yang sesuai dalam model komputer dengan referensi geografis, diperlukan estimasi pose kamera dalam referensi ke sistem koordinat umum untuk registrasi objek yang lebih baik.

4. Kesimpulan

Berdasarkan analisis komprehensif terhadap sebelas penelitian implementasi teknologi *Augmented Reality* yang dipublikasikan antara tahun 2020 hingga 2025, dapat disimpulkan bahwa kedua metode pelacakan yaitu *marker based tracking* dan *markerless* memiliki karakteristik distingtif dengan kelebihan dan keterbatasan yang spesifik pada konteks aplikasi berbeda. Metode *marker based tracking* menunjukkan keunggulan signifikan dalam hal akurasi pengukuran dengan tingkat kesalahan di bawah tiga persen, stabilitas deteksi pada kondisi terkontrol, serta kemudahan implementasi untuk aplikasi pendidikan dan pelatihan. Namun, metode ini mengalami degradasi performa pada jarak jauh, sudut ekstrem, dan kondisi pencahayaan tertentu khususnya cahaya merah, dengan tingkat keberhasilan berkisar antara 72,2 hingga 77,8 persen pada berbagai perangkat. Ketergantungan pada penanda fisik juga membatasi fleksibilitas penggunaan dalam lingkungan dinamis dan aplikasi yang memerlukan mobilitas tinggi.

RANGKUMAN PENGGUNAAN METODE MARKER BASED TRACKING DAN MARKERLESS PADA APLIKASI AUGMENTED REALITY

Sebaliknya, metode *markerless* menawarkan fleksibilitas superior dengan tingkat keberhasilan mencapai 94,4 persen dan kemampuan adaptasi terhadap berbagai kondisi lingkungan tanpa memerlukan persiapan penanda khusus. Metode ini terbukti sangat efektif untuk aplikasi medis seperti panduan bedah, desain interior, pembelajaran anatomi, serta manufaktur pintar yang memerlukan interaksi langsung dengan lingkungan nyata. Meskipun demikian, tantangan utama yang dihadapi meliputi masalah stabilitas hologram dengan ketidakstabilan spasial signifikan pada kondisi kompleks, kebutuhan daya komputasi lebih tinggi, serta sensitivitas terhadap kondisi visual yang menantang dan gerakan perangkat cepat. Inovasi seperti kombinasi *absolute pose regressor* dengan *visual-inertial odometry* dan penggunaan sensor kedalaman telah menunjukkan kemajuan dalam mengatasi keterbatasan ini, dengan reduksi kesalahan hingga lima puluh persen dan kecepatan inferensi mencapai delapan puluh milidetik. Pemilihan metode pelacakan yang tepat harus mempertimbangkan faktor-faktor spesifik seperti kebutuhan akurasi, kondisi lingkungan operasional, keterbatasan perangkat keras, serta kompleksitas implementasi untuk memaksimalkan efektivitas aplikasi AR dalam domain yang ditargetkan.

5. Referensi

- [1] F. Yanti Sirait, M. Fitri, and M. Marliyah, "Islamic Financial Technology Dalam Penerapan Di Lembaga Keuangan Syariah," *Al-Sharf J. Ekon. Islam*, vol. 4, no. 3, pp. 211–227, 2023, doi: 10.56114/al-sharf.v4i3.11058.
- [2] Appinventiv, "AR in Education: Transforming Learning & Teaching Experience," 2025.
- [3] D. Basumatary and R. Maity, "Effects of Augmented Reality in Primary Education: A Literature Review," *Hum. Behav. Emerg. Technol.*, vol. 2023, 2023, doi: 10.1155/2023/4695759.
- [4] T. A. Syed *et al.*, "In-Depth Review of Augmented Reality: Tracking Technologies, Development Tools, AR Displays, Collaborative AR, and Security Concerns," 2023.
- [5] Financesonline, "Augmented Reality Technologies Today: 2024 AR Research & Applications," 2024.
- [6] M. Abdinejad, C. Ferrag, H. S. Qorbani, and S. Dalili, "Developing a Simple and Cost-Effective Markerless Augmented Reality Tool for Chemistry Education," *J. Chem. Educ.*, vol. 98, no. 5, pp. 1783–1788, 2021, doi: 10.1021/acs.jchemed.1c00173.
- [7] D. Basumatary and R. Maity, "Design, development and testing of BodoRao—A markerless augmented reality application for endangered language in primary education," *J. Comput. Assist. Learn.*, vol. 40, no. 6, pp. 3083–3097, Dec. 2024, doi: <https://doi.org/10.1111/jcal.13056>.
- [8] T. G. Kukuni, B. Kotze, and W. Hurst, "Machine Vision for Device Tracking in a Smart Manufacturing Environment Based on Augmented Reality," *Augment. Hum. Res.*, vol. 8, no. 1, pp. 1–12, 2023, doi: 10.1007/s41133-023-00060-6.
- [9] Moldstud, "A Beginner's Guide to Augmented Reality Marker Tracking - Concepts and Tools Explained," 2024.
- [10] M. R. Fadli, "Memahami desain metode penelitian kualitatif," *Humanika*, vol. 21, no. 1, pp. 33–54, 2021, doi: 10.21831/hum.v21i1.38075.
- [11] S. Boonbrahm, P. Boonbrahm, and C. Kaewrat, "The use of marker-based augmented reality in space measurement," *Procedia Manuf.*, vol. 42, no. 2019, pp.

- 337–343, 2020, doi: 10.1016/j.promfg.2020.02.081.
- [12] M. Sulistiyono, J. W. Hasyim, B. Bernadhed, F. Liantoni, and A. Sidauruk, “Comparative study of marker-based and markerless tracking in augmented reality under variable environmental conditions,” *J. Soft Comput. Explor.*, vol. 5, no. 4, pp. 413–422, 2024, doi: 10.52465/josce.v5i4.503.
 - [13] R. Wardhani, “Leveraging Marker-based Augmented Reality to Enhance Simplified Representation Learning in Mechanical Drawing : A Practical Studies in The Mechanical Engineering Curriculum,” *J. Kependidikan J. Has. Penelit. dan Kaji. Kepustakaan di Bid. Pendidikan, Pengajaran dan Pembelajaran*, vol. 10, no. 2, p. 782, 2024, doi: 10.33394/jk.v10i2.10727.
 - [14] T. Scargill, J. Chen, and M. Gorlatova, *Here To Stay: Measuring Hologram Stability in Markerless Smartphone Augmented Reality*, vol. 1, no. 1. Association for Computing Machinery, 2021.
 - [15] C. Liu, Y. Zhao, and T. Braud, “MobileARLoc: On-device Robust Absolute Localisation for Pervasive Markerless Mobile AR,” *2024 IEEE Int. Conf. Pervasive Comput. Commun. Work. other Affil. Events, PerCom Work. 2024*, pp. 544–549, 2024, doi: 10.1109/PerComWorkshops59983.2024.10503320.
 - [16] Y. Yang, C. Leuze, B. Hargreaves, B. Daniel, and F. Baik, “EasyREG: Easy Depth-Based Markerless Registration and Tracking using Augmented Reality Device for Surgical Guidance,” 2025.
 - [17] A. Setiawan, A. A. Ahmadi, Sukirman, and M. Koprari, *Enhancing Learning Experiences Using Markerless Augmented Reality in Computer Hardware Education*, no. Veic. Atlantis Press SARL, 2024. doi: 10.2991/978-2-38476-342-9_10.
 - [18] N. Saha, V. Gadow, and R. Harik, “Emerging Technologies in Augmented Reality (AR) and Virtual Reality (VR) for Manufacturing Applications : A Comprehensive Review,” pp. 1–38, 2025.
 - [19] S. Nasir, M. N. Zahid, T. A. Khan, K. Kadir, and S. Khan, “Augmented reality an economical solution for engineers and designers,” *Indones. J. Electr. Eng. Comput. Sci.*, vol. 17, no. 2, pp. 833–844, 2019, doi: 10.11591/ijeecs.v17.i2.pp834-844.
 - [20] A. Sadeghi-Niaraki and S. M. Choi, “A survey of marker-less tracking and registration techniques for health & environmental applications to augmented reality and ubiquitous geospatial information systems,” *Sensors (Switzerland)*, vol. 20, no. 10, 2020, doi: 10.3390/s20102997.
 - [21] A. Y. Almesta, O. S. Bachri, and N. A. Ramdhan, “Implementation of Markerless Augmented Reality For Human Anatomy Education,” vol. 6, no. 9, pp. 3032–3044, 2025.