

APLIKASI AUGMENTED REALITY UNTUK VISUALISASI PERANCANGAN GREEN CITY

Mufaddal Al Baqir ¹, Muhammad Kunta Biddinika ², Herman ^{*3}, Suwanti ⁴

^{1,2,3} Magister Informatika, Universitas Ahmad Dahlan

Jl. Prof. DR. Soepomo S.H., Yogyakarta, Indonesia

⁴ Informatika, Universitas Muhammdiyah Maumere

Jl. Jenderal Sudirman, Waioti, Indonesia

hermankaha@mti.uad.ac.id

ABSTRAK

Pengembangan Green City menghadapi tantangan dalam menciptakan kawasan perkotaan yang ramah lingkungan. Teknologi Augmented Reality (AR) memungkinkan visualisasi interaktif elemen kota hijau dengan menggabungkan objek virtual dan fisik. Permasalahan perkotaan seperti polusi udara dan berkurangnya ruang hijau berdampak negatif pada kualitas hidup. Reboisasi menjadi elemen utama Green City dengan menanam pohon untuk meningkatkan kualitas udara dan mengurangi suhu. Penelitian ini merancang aplikasi AR markerless untuk mendukung reboisasi melalui visualisasi model 3D pohon tanpa marker. Tahapan penelitian meliputi analisis jenis pohon, akuisisi model 3D, serta implementasi pada smartphone Android. Pengujian aplikasi melibatkan 10 partisipan dengan total 50 uji coba, menunjukkan tingkat keberhasilan 80% dalam menampilkan model pohon secara akurat di lingkungan nyata. Namun, beberapa kendala teknis seperti pencahayaan kurang optimal dan sudut pandang yang tidak tepat memengaruhi deteksi bidang datar. Hasil penelitian menunjukkan keberhasilan aplikasi dalam memproyeksikan pohon secara realistis, meningkatkan kesadaran akan ruang hijau. Pengembangan lanjutan direkomendasikan untuk menambahkan simulasi pertumbuhan pohon, perhitungan manfaat ekologi, dan integrasi data lingkungan real-time guna mendukung pembangunan kota berkelanjutan.

Kata kunci : *Augmented Reality Markerless, Green City, Model 3D Pohon, Reboisasi, Smartphone.*

1. PENDAHULUAN

Augmented Reality (AR) adalah teknologi yang menggabungkan objek virtual dengan dunia nyata secara real-time menciptakan pengalaman interaktif di mana elemen digital seperti gambar, suara, atau informasi lainnya ditambahkan ke dalam tampilan dunia fisik. Teknologi ini memanfaatkan perangkat seperti smartphone, tablet, dan headset AR untuk menampilkan objek digital yang terintegrasi dengan lingkungan pengguna, memberikan pengalaman yang lebih imersif dan informatif [1].

Perkembangan teknologi AR saat ini menunjukkan kemajuan pesat didorong oleh peningkatan kekuatan perangkat keras seperti prosesor yang lebih kuat, sensor canggih, dan kamera resolusi tinggi yang memungkinkan aplikasi AR berjalan lebih lancar dan dengan akurasi lebih tinggi. AR telah menciptakan pengalaman interaktif yang bermanfaat di berbagai bidang seperti pendidikan, hiburan, periklanan, dan industri [2], [3].

Dalam pendidikan AR memperkaya pembelajaran dengan konten interaktif yang meningkatkan pemahaman dalam hiburan AR menawarkan cara baru menikmati permainan, media dan di industri AR mempermudah pemeliharaan dan perbaikan mesin melalui panduan visual [4], [5].

Teknologi AR Marker dan Markerless adalah dua pendekatan utama dalam pengembangan aplikasi Augmented Reality (AR). AR Marker menggunakan gambar atau simbol khusus sebagai referensi untuk menempatkan objek virtual dengan perangkat

memindai marker tersebut untuk mendeteksi posisi dan orientasi objek [6].

Sebaliknya, AR Markerless tidak memerlukan marker fisik melainkan menggunakan teknik pelacakan visual pengenalan objek, dan Simultaneous Localization and Mapping (SLAM) untuk mendeteksi permukaan dan orientasi di dunia nyata memungkinkan objek virtual ditempatkan dilokasi mana pun [7].

Keunggulan AR Markerless dibandingkan AR Marker antara lain fleksibilitas lokasi karena objek virtual dapat ditempatkan di berbagai permukaan tanpa marker pengalaman yang lebih realistis karena objek dapat disatukan dengan dunia nyata tanpa gangguan visual dari marker kemudahan penggunaan di mana pengguna tidak perlu menyiapkan marker dan kompatibilitas yang lebih luas dengan berbagai jenis permukaan dan lingkungan. Secara keseluruhan AR Markerless menawarkan pengalaman yang lebih dinamis dan bebas dari keterbatasan memberikan kebebasan lebih bagi pengguna untuk berinteraksi dengan objek virtual di lingkungan yang lebih luas dan variatif.

Unity merupakan salah satu platform pengembangan aplikasi Augmented Reality (AR) yang paling populer dan menawarkan fleksibilitas tinggi dalam membangun pengalaman AR secara efektif [8].

Dengan dukungan framework seperti AR Foundation Unity memungkinkan integrasi antara ARKit dan ARCore sehingga mendukung pengembangan aplikasi lintas platform untuk perangkat Android dan iOS [9]. Selain itu Unity

dilengkapi dengan berbagai fitur canggih seperti manajemen aset 3D simulasi pencahayaan, dan pengelolaan scene yang intuitif yang mendukung visualisasi objek virtual secara realistis [10].

Kemampuan Unity dalam mengelola objek dinamis dan interaktif menjadikannya pilihan utama bagi pengembang untuk mengimplementasikan teknologi markerless AR dengan presisi dan efisiensi tinggi. AR telah banyak diimplementasikan diberbagai perangkat salah satunya perangkat mobile. Aplikasi mobile AR adalah perangkat lunak yang menggabungkan elemen digital dengan dunia nyata melalui perangkat mobile seperti smartphone dan tablet memberikan pengalaman interaktif yang mudah diakses oleh banyak orang [11], [12].

Berdasarkan Teori *Diffusion of Innovations* oleh Everett Rogers adopsi teknologi AR dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti keunggulan relatif, kompatibilitas, kompleksitas, trialability, dan observabilitas. Untuk mempercepat adopsi teknologi AR ini maka aplikasi mobile AR harus memberikan manfaat yang jelas mudah digunakan dan menawarkan kesempatan bagi pengguna untuk mencoba sebelum diadopsi secara penuh [13], [14].

Komponen utama dalam aplikasi mobile AR mencakup kamera dan sensor untuk melacak lingkungan fisik prosesor untuk mengolah data dan mengintegrasikan objek virtual serta display untuk menampilkan hasil augmentasi [15], [16].

Selain itu penggunaan Software Development Kit (SDK) seperti ARKit dan ARCore memudahkan pengembangan aplikasi AR terutama dalam penerapan markerless AR yang kompatibel dengan berbagai platform [17].

Penerapan aplikasi AR markerless pada perancangan Green City memungkinkan visualisasi elemen hijau seperti pohon, taman, dan jalur hijau langsung ke dunia nyata tanpa memerlukan penanda fisik. Green City adalah konsep tata kota berkelanjutan yang mengintegrasikan elemen lingkungan, seperti ruang hijau, energi terbarukan, dan pengelolaan limbah yang efisien untuk menciptakan kota yang nyaman, sehat, dan ramah lingkungan. Tujuan utamanya adalah mengurangi polusi, memperbaiki kualitas udara, dan mendukung mitigasi perubahan iklim. Manfaatnya mencakup peningkatan kualitas hidup masyarakat pengurangan emisi gas rumah kaca dan mendorong gaya hidup yang lebih sehat dan berkelanjutan di lingkungan perkotaan.

Saat ini lingkungan perkotaan menghadapi berbagai permasalahan, seperti polusi udara, berkurangnya ruang terbuka hijau, emisi gas rumah kaca, penumpukan limbah, dan ketergantungan pada energi fosil, yang berdampak negatif terhadap kualitas hidup, kesehatan masyarakat, dan keseimbangan ekosistem. Urbanisasi yang tidak terkendali memperparah kondisi ini dengan menyempitkan ruang hijau dan meningkatkan suhu permukaan melalui efek *urban heat island*. Sebagai solusi konsep Green City hadir dengan mengintegrasikan elemen ramah

lingkungan dalam perencanaan kota seperti pengelolaan ruang hijau, energi terbarukan, transportasi berkelanjutan, dan pengelolaan limbah. Salah satu elemen utama dalam Green City adalah reboisasi yang berfokus pada penanaman pohon untuk meningkatkan kualitas udara, mengurangi suhu, dan menyediakan ruang hijau yang bermanfaat. Dalam mendukung reboisasi, aplikasi AR markerless menawarkan inovasi teknologi dengan memvisualisasikan elemen hijau dalam bentuk 3D secara langsung di lokasi nyata menggunakan teknologi pelacakan visual dan SLAM. Aplikasi ini membantu perencana kota dan pemerintah merancang tata kota yang berkelanjutan serta meningkatkan kesadaran masyarakat tentang pentingnya ruang hijau menjadikannya alat yang efektif dalam implementasi konsep Green City secara inovatif dan efisien.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Beberapa penelitian terdahulu memberikan wawasan yang mendukung penerapan teknologi Augmented Reality (AR) dalam perancangan Green City. Penelitian oleh Koutromanos et al. (2024) tentang penerimaan Mobile Augmented Reality (MAR) oleh guru dan calon guru menunjukkan bahwa penerimaan teknologi AR dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti kegunaan yang dirasakan, kemudahan penggunaan, dan kondisi fasilitas yang juga relevan dengan penggunaan AR dalam visualisasi Green City di mana penerimaan positif dari pengguna sangat penting [18].

Penelitian oleh Pereira et al. (2024) yang mengembangkan aplikasi AR untuk mempromosikan tempat wisata di Barcelos Portugal menunjukkan bagaimana AR dapat meningkatkan pengalaman pengguna dalam berinteraksi dengan objek-objek penting di sekitarnya konsep yang serupa dapat diterapkan dalam visualisasi elemen hijau di ruang perkotaan [19].

Sementara itu penelitian oleh Haris et al. (2024) yang membahas penerapan AR dalam pembelajaran medan magnet menunjukkan potensi AR untuk menjelaskan konsep-konsep abstrak dan mendalam seperti pengurangan polusi atau estimasi penyerapan karbon oleh pohon dalam perancangan Green City [20]. Secara keseluruhan ketiga penelitian ini mendukung penerapan AR dalam visualisasi dan evaluasi perancangan Green City memungkinkan pemahaman yang lebih baik tentang manfaat ekologis dan memperkuat keputusan berbasis data untuk menciptakan kota yang lebih hijau dan berkelanjutan.

Penelitian ini bertujuan untuk merancang aplikasi AR yang memadukan visualisasi model 3D pohon untuk perancangan Green City. Aplikasi ini memungkinkan pengguna untuk melihat dampak potensial dari penerapan elemen-elemen hijau tersebut dalam menciptakan lingkungan yang lebih bersih dan nyaman. Harapan dari penelitian ini adalah agar aplikasi Augmented Reality (AR) yang dirancang dapat menjadi alat edukatif dan interaktif yang efektif

dalam memperkenalkan konsep Green City kepada masyarakat luas. Selain itu aplikasi ini diharapkan menjadi contoh penerapan teknologi AR dalam perencanaan tata kota yang berkelanjutan, serta menjadi referensi bagi pengembang dan pemerintah daerah dalam upaya membangun kota yang ramah lingkungan.

3. METODE PENELITIAN

Metode penelitian meliputi penentuan objek penelitian dan penyusunan kerangka kerja penelitian.

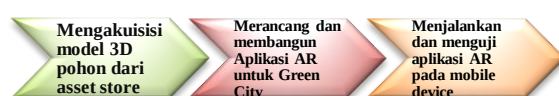
3.1. Analisis Objek Penelitian

Objek penelitian ini adalah perancangan Green City menggunakan teknologi AR Markerless. Perancangan ini akan divisualisasikan dalam bentuk model 3D pohon pada konsep kota hijau (Green City). Tujuan dari perancangan ini yaitu membantu penerapan reboisasi dengan menampilkan berbagai jenis pohon untuk mengurangi dampak negatif dari lingkungan perkotaan dan mendukung simulasi tata ruang hijau. Jenis pohon yang sering digunakan untuk perancangan Green City meliputi trembesi, mahoni, ketapang kencana, tusam dan beringin. Lima jenis pohon ini memiliki masing-masing kelebihan untuk mengurangi dampak tersebut sehingga cocok untuk program reboisasi. Lima Jenis pohon ini juga sebagai referensi perancangan 3D model yang akan digunakan dalam pembuatan aplikasi AR pada Green City di lingkungan perkotaan. Lingkungan perkotaan yang membutuhkan penanaman pohon untuk mendukung Green City berdasarkan aspek seperti ruang hijau terbatas, kepadatan bangunan tinggi, polusi udara, kenaikan suhu, kurangnya resapan air, dan kebutuhan estetika. Solusinya meliputi penanaman pohon di taman, sekitar trotoar, atap gedung, atau area strategis dengan jenis pohon yang disesuaikan fungsinya, seperti penyerap polutan atau peneduh.

Penelitian ini akan memilih lokasi di sekitar trotoar untuk mengimplementasikan aplikasi AR markerless sebagai lingkungan perkotaan yang memerlukan perancangan Green City. Trotoar adalah bagian penting transportasi kota yang minim vegetasi membuat pejalan kaki terpapar panas, debu, dan polusi. Penanaman pohon di trotoar menciptakan kenyamanan dan mendukung pola hidup sehat. Lokasi ini paling efektif untuk Green City karena berdampak langsung pada kualitas hidup masyarakat.

3.2. Kerangka Penelitian

Untuk mencapai tujuan penelitian ini setiap langkah akan dilakukan secara bertahap sesuai kerangka kerja yang ditampilkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Kerangka kerja penelitian

Tahapan pertama dari penelitian ini yaitu analisis dan pemilihan jenis pohon sebagai referensi model 3D yang akan diimplementasikan pada perancangan Green City. Selanjutnya jenis pohon yang terpilih akan dicari bentuk model 3D yang sesuai pada asset store lalu mengakuisisinya. Model 3D tersebut akan diimpor sebagai asset pada aplikasi Unity.

Akuisisi model 3D pohon dari asset store memastikan kualitas profesional dan kompatibilitas tinggi untuk integrasi pada Unity serta performa optimal untuk aplikasi AR di perangkat mobile. Model yang teroptimasi menjaga kinerja aplikasi lancar meningkatkan akurasi visualisasi, dan mendukung implementasi konsep Green City.

Setelah model 3D pohon diakuisi, selanjutnya merancang dan membangun aplikasi AR Markerless untuk Green City menggunakan hierarchy di Unity. Langkah awal tahapan ini yaitu menambahkan model 3D pohon pada AR session di Unity. Unity memiliki kerangka kerja AR Foundation yang berfungsi untuk mengintegrasikan teknologi AR ke dalam aplikasi native mobile (iOS dan Android). Kerangka kerja AR mendukung aplikasi AR tanpa marker (Markerless AR). Penelitian ini menggunakan kerangka kerja AR untuk mendeteksi permukaan di dunia nyata seperti bidang datar sebagai lokasi untuk meletakkan objek virtual tanpa memerlukan penanda (Markerless).

Setelah model 3D dan pengaturan AR selesai langkah berikutnya adalah melakukan *build* and *run* pada Unity dengan *ARCore* agar aplikasi dapat dijalankan pada perangkat Android yang mendukung *augmented reality*. Tujuan dari proses ini berfungsi untuk mengatur aplikasi dapat berfungsi dengan baik pada perangkat *mobile* dengan mensinkronisasikan perangkat *mobile* ketika proses *build*. Proses ini dimulai dengan melakukan pengaturan untuk perangkat tujuan, kemudian memastikan perangkat yang dituju sudah memiliki dukungan untuk memanfaatkan fitur Augmented Reality. Proses *build* akan menghasilkan file apk untuk diinstal pada perangkat mobile Android.

Tahap terakhir yaitu menjalankan dan menguji aplikasi AR Markerless pada dunia nyata (*real world*). Proses ini bertujuan untuk menguji aplikasi dapat berjalan dengan baik dari segi fungsi dan antarmuka pengguna. Aplikasi ini akan diimplementasikan pada trotoar sebagai lingkungan perkotaan yang membutuhkan penanaman pohon guna meningkatkan pola hidup sehat masyarakat.

Implementasi aplikasi AR pada pengguna dengan mengaktifkan aplikasi AR melalui smartphone android. Ketika kamera diarahkan ke trotoar yang kosong aplikasi akan memproyeksikan visualisasi pohon pada area tersebut memberikan simulasi pohon secara langsung dan gambaran nyata tentang manfaat penanaman pohon di lokasi tersebut. Selain itu aplikasi ini dirancang untuk mempertimbangkan implementasi di dunia nyata dimana sebagian bidang trotoar dapat dialokasikan sebagai area penanaman pohon tanpa mengurangi fungsionalitas trotoar bagi pejalan kaki.

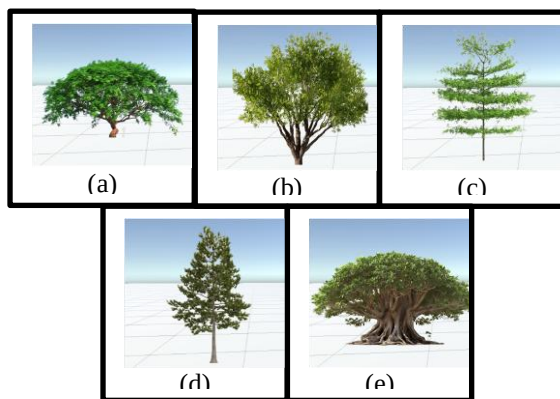
Pendekatan ini tidak hanya memberikan pengalaman interaktif tetapi juga menawarkan solusi konkret untuk mengintegrasikan ruang hijau di lingkungan perkotaan. Dengan cara ini, aplikasi dapat membantu meningkatkan kesadaran masyarakat akan pentingnya ruang hijau sekaligus memberikan ide desain tata kota yang ramah lingkungan dan berkelanjutan.

Dalam pengujian aplikasi, metode pengujian dilakukan dengan uji kinerja (*performance testing*) akurasi keberhasilan deteksi AR markerless. Pengujian ini bertujuan untuk menilai sejauh mana sistem dapat mendeteksi permukaan dan menampilkan objek virtual secara andal dalam berbagai kondisi.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Analisis Objek Penelitian

Perancangan Green City dalam bentuk model 3D pohon dibuat sesuai referensi jenis pohon yang telah ditentukan untuk mengurangi dampak negatif di perkotaan. Gambar 2 menampilkan beberapa jenis pohon sebagai referensi untuk model 3D pohon pada perancangan Green City.



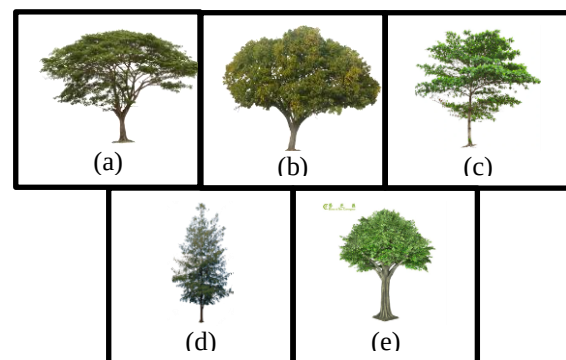
Gambar 2. Jenis pohon untuk model 3D pada Green City

Lima jenis pohon yang ditunjukkan pada Gambar 2 terdiri dari trembesi (*samanea saman*) pada Gambar 2(a), Gambar 2(b) pohon mahoni (*swietenia mahagoni*), ketapang kencana (*terminalia mantaly*) pada Gambar 2(c), Gambar 2(d) pohon tusam (*pinus merkusii*), dan beringin (*ficus benjamina*) pada Gambar 2(e) memiliki karakteristik khas yang efektif dalam mengurangi dampak negatif lingkungan perkotaan sehingga sangat cocok untuk program reboisasi. Trembesi dikenal dengan kanopinya yang lebar dan akar yang kuat, mampu menyerap karbon dioksida dalam jumlah besar serta memberikan keteduhan yang optimal untuk menurunkan suhu dan mengurangi efek pulau panas. Mahoni memiliki daun rapat yang efektif menyaring polusi udara dan memperkuat struktur tanah sehingga dapat membantu mengurangi erosi di perkotaan. Ketapang Kencana dengan kanopi berlapis dan akar yang kokoh berfungsi sebagai peneduh alami dan pencegah erosi sekaligus menyaring debu dan polutan. Sementara itu Pinus dengan daun jarumnya mampu menyerap partikel

polusi udara dan karbon dioksida serta akarnya yang dalam efektif dalam mencegah erosi di daerah berbukit. Beringin unggul dengan kemampuannya mengikat nitrogen untuk memperbaiki kesuburan tanah, memiliki pertumbuhan cepat, dan tahan terhadap kondisi lingkungan ekstrem. Kombinasi kelima pohon ini tidak hanya mampu memperbaiki kualitas udara dan mengurangi risiko bencana lingkungan, tetapi juga menciptakan ruang hijau yang lebih sejuk, asri, dan berkelanjutan di kawasan perkotaan.

4.2. Akuisisi Model 3D Pohon

Tahap selanjutnya dalam penelitian ini adalah mengakuisisi model 3D pohon yang cocok diterapkan pada konsep Green City. Model 3D pohon diakuisisi dari Asset Store Unity sesuai hasil analisis objek yang telah ditentukan sebelumnya. Proses ini melibatkan pencarian dan pengunduhan aset pohon dengan tingkat detail yang sesuai untuk aplikasi AR. Setiap model dipilih berdasarkan karakteristiknya yang cocok untuk visualisasi konsep Green City seperti ukuran, bentuk, dan warna. Gambar 3 menampilkan hasil model 3D yang telah diakuisisi.



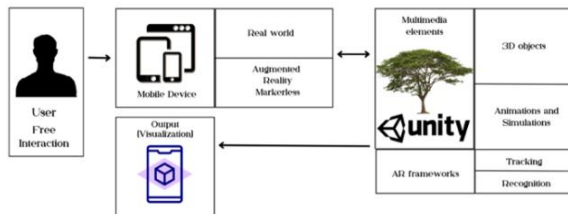
Gambar 3. Hasil model 3D pohon

Gambar 3 menunjukkan hasil akuisisi model 3D pohon yang digunakan dalam penelitian ini. Gambar 3(a) pohon Trembesi (*Samanea saman*). Gambar 3(b) pohon Mahoni (*Swietenia mahagoni*), Gambar 3(c) pohon Ketapang Kencana (*Terminalia mantaly*), Gambar 3(d) pohon Tusam (*Pinus merkusii*), dan Gambar 3(e) pohon Beringin (*Ficus benjamina*).

Setelah model 3D pohon diunduh langkah berikutnya adalah mengimpor model ke Asset Unity. Proses ini meliputi pengaturan tekstur, penyesuaian material, dan konfigurasi pencahayaan untuk memastikan model tampak realistis dan menarik dalam aplikasi AR. Pengaturan ini dirancang agar setiap model pohon dapat memberikan tampilan yang akurat dan imersif saat ditempatkan pada lokasi *real world* melalui AR.

4.3. Perancangan dan Perubahan Aplikasi AR markerless

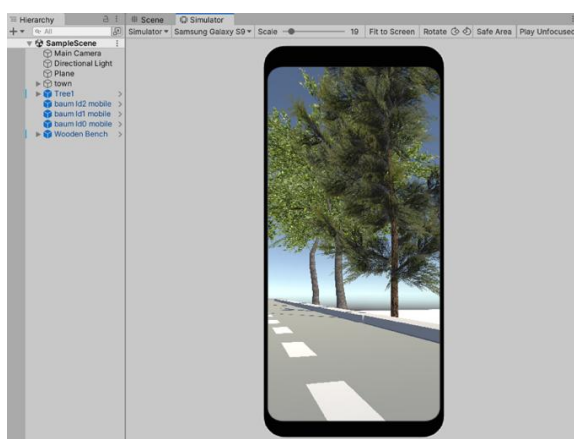
Tahap selanjutnya adalah mendesain dan membuat aplikasi AR tanpa Marker (Markerless) di Unity yang bertujuan untuk menampilkan model 3D pohon pada dunia nyata (*real world*). Perancangan arsitektur aplikasi ini diilustrasikan pada Gambar 4.



Gambar 4. Arsitektur dari aplikasi augmented reality

Gambar 4 menunjukkan arsitektur desain aplikasi AR dari interaksi pengguna sampai dengan menampilkan *output* visualisasi. Pada arsitektur ini *user* berinteraksi dengan *mobile device* dalam lingkungan *real world* dan AR Markerless. AR Markerless dirancang pada Unity dengan AR Frameworks (*tracking* dan *recognition*) yang menghasilkan elemen 3D *objects*, *animations*, dan *simulations*. AR ini kemudian ditampilkan visualisasinya pada smartphone.

Langkah awal mendesain aplikasi AR Markerless pada Unity yaitu penambahan objek pada Hierarchy. Proses ini dilakukan penambahan aset, pengaturan plane, dan AR camera. Tujuan dari proses ini adalah untuk menciptakan pengalaman visual yang realistis, imersif, dan interaktif. Aset model pohon disediakan sebagai elemen utama pengaturan plane memastikan model dapat ditempatkan akurat di permukaan nyata dan AR camera mengintegrasikan model dengan lingkungan pengguna. Hasil desain hierarchy Unity ditampilkan pada Gambar 5.

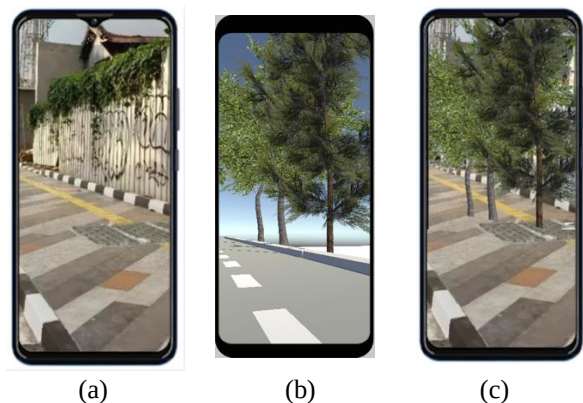


Gambar 5. Tampilan hasil desain AR pada simulator unity

Gambar 5 menampilkan hasil AR pada simulator Unity untuk dilakukan simulasi virtual smartphone. Selanjutnya dilakukan proses *Build and Run* pada Unity untuk perangkat smartphone Android. Tahap ini memproses semua elemen proyek seperti model 3D, script, dan fitur AR menjadi file aplikasi yang dapat dijalankan seperti APK untuk Android. Proses ini mencakup kompilasi optimasi agar sesuai dengan perangkat target dan pengujian langsung untuk memastikan aplikasi berjalan lancar. Hasil akhirnya adalah aplikasi AR Markerless yang siap digunakan dengan fitur deteksi permukaan.

4.4. Implementasi Aplikasi AR pada *real world*

Tahap terakhir dari penelitian ini adalah menjalankan aplikasi AR Markerless di smartphone dan mengevaluasi aplikasi setelah dijalankan pada *real world*. Sebelum menjalankan aplikasi AR terlebih dahulu dilakukan penginstalan file APK pada smartphone Android. Aplikasi dijalankan dengan membuka *shortcut* aplikasi AR pada *desktop* smartphone Android. Proses dimulai dengan membuka aplikasi dan mengarahkan kamera smartphone ke sekitar permukaan trotoar yang difokuskan pada posisi pohon. Ilustrasi aplikasi AR yang dijalankan pada *real world* disajikan pada Gambar 6.



Gambar 6. Tampilan augmented reality markerless

Gambar 6 menunjukkan hasil aplikasi AR Markerless yang diuji pada sekitar trotoar. Pada Gambar 6(a) terdapat bidang trotoar (*Physical Reality*) sebagai objek *real world* yang akan menampilkan Gambar 6(b) berupa model 3D pohon (*Virtual Reality*). Visualisasi AR secara keseluruhan ditampilkan pada Gambar 6(c) di mana pada sekitar trotoar Nampak model 3D pohon. Pengujian ini untuk memastikan bahwa objek 3D ditampilkan secara akurat dan interaksi dengan pengguna berjalan lancar. Berdasarkan hasil pengujian, aplikasi AR Markerless telah berhasil menampilkan objek model 3D pohon pada sekitar trotoar dan juga implementasinya pada gambar 7.



Gambar 7. Implementasi hasil AR

Gambar 7 hasil Implementasi AR ditampilkan pada lokasi trotoar lain untuk memastikan objek pohon bisa ditampilkan pada trotoar. Penelitian ini memberikan kontribusi signifikan dengan mengembangkan aplikasi AR Markerless yang berhasil memvisualisasikan model 3D pohon secara tepat di atas permukaan trotoar (objek *real world*). Solusi ini menawarkan inovasi dalam simulasi konsep Green City di mana pengguna dapat mengeksplorasi desain tata kota yang ramah lingkungan secara interaktif, imersif, dan realistis tanpa memerlukan Marker. Aplikasi ini juga membuka peluang untuk memanfaatkan teknologi AR seperti perencanaan reboisasi, tata kota, pendidikan lingkungan, dan visualisasi konsep keberlanjutan.

Pengembangan selanjutnya disarankan menambahkan fitur interaktif yang lebih canggih seperti simulasi pertumbuhan pohon atau perhitungan manfaat ekologi seperti penyerapan karbon guna meningkatkan pengalaman pengguna. Selain itu integrasi teknologi sensorik seperti deteksi posisi pengguna atau data lingkungan real-time dapat meningkatkan akurasi dan penerapan dalam skenario perencanaan kota. Uji coba aplikasi di berbagai kondisi lingkungan dan perangkat juga perlu dilakukan untuk memastikan performa yang stabil dan kompatibilitas yang lebih luas. Penelitian lanjutan ini akan memperkuat pemanfaatan aplikasi AR dalam mendukung pengembangan kota berkelanjutan dan pendidikan lingkungan.

4.5. Pengujian dan hasil AR markerless

Pengujian terhadap teknologi AR Markerless dilakukan dengan melibatkan 10 partisipan, di mana masing-masing partisipan menjalankan aplikasi sebanyak 5 kali, sehingga total pengujian mencapai 50 kali. Proses pengujian diawali dengan instalasi file APK pada perangkat Android, diikuti dengan menjalankan aplikasi untuk mendeteksi bidang datar sebagai lokasi penempatan objek virtual.

Selama pengujian, partisipan diminta untuk mengarahkan kamera perangkat ke permukaan datar yang telah ditentukan, kemudian mengamati munculnya model 3D jantung manusia dalam tampilan AR. Dari total 50 pengujian, sebanyak 40 uji coba berhasil menampilkan objek virtual secara akurat, menghasilkan tingkat keberhasilan sebesar 80%. Keberhasilan ini menunjukkan bahwa teknologi AR Markerless memiliki potensi yang signifikan dalam mendukung interaksi objek virtual tanpa memerlukan marker.

Namun, dalam 10 pengujian yang tidak berhasil, ditemukan beberapa kendala teknis, seperti kondisi pencahayaan yang tidak optimal, sudut pandang yang kurang tepat, serta jenis permukaan yang memengaruhi proses deteksi bidang datar. Faktor-faktor ini menjadi tantangan dalam implementasi teknologi AR Markerless di berbagai lingkungan.

Hasil pengujian ini mengindikasikan bahwa meskipun teknologi AR Markerless telah menunjukkan performa yang baik, diperlukan penelitian lebih lanjut untuk meningkatkan akurasi dan keandalannya dalam berbagai kondisi pencahayaan, sudut pandang, serta variasi permukaan guna memastikan pengalaman pengguna yang lebih optimal.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Penelitian ini telah berhasil membuat aplikasi AR pada Green City dengan menerapkan fitur plan yang dapat menampilkan 3D model pohon (Virtual reality) di permukaan sekitar trotoar (Physical reality) bertujuan untuk mengembangkan aplikasi Augmented Reality (AR) yang mampu menampilkan model 3D pohon secara tepat di atas permukaan trotoar tanpa memerlukan marker sebagai solusi inovatif untuk simulasi konsep green city. Hasil penelitian menunjukkan keberhasilan aplikasi dalam memvisualisasikan model pohon 3D dengan memberikan pengalaman eksplorasi yang interaktif, imersif, dan realistis terhadap desain tata kota ramah lingkungan. Temuan ini menegaskan potensi teknologi AR sebagai alat visualisasi yang efektif dalam perencanaan kota, pendidikan lingkungan, dan penyampaian ide keberlanjutan kepada masyarakat. Aplikasi ini memberikan kontribusi nyata dalam meningkatkan kesadaran publik terhadap pentingnya tata kota berkelanjutan serta membuka peluang penerapan pada skenario seperti perencanaan reboisasi dan simulasi tata kota.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa teknologi AR Markerless memiliki tingkat keberhasilan 80% dalam menampilkan model 3D pohon secara akurat di atas permukaan trotoar. Namun, beberapa tantangan teknis ditemukan selama pengujian, seperti kondisi pencahayaan yang tidak optimal, sudut pandang yang kurang tepat, serta jenis permukaan yang memengaruhi proses deteksi bidang datar. Pengembangan lebih lanjut disarankan untuk menambahkan fitur interaktif canggih seperti simulasi

pertumbuhan pohon atau perhitungan manfaat ekologi seperti penyerapan karbon untuk memberikan edukasi lingkungan tentang pentingnya pohon dalam mendukung ekosistem dan keberlanjutannya. Diperlukan integrasi teknologi untuk deteksi posisi pengguna dan data lingkungan real-time guna meningkatkan akurasi dan relevansi aplikasi. Selain itu diperlukan uji coba di berbagai kondisi lingkungan dan perangkat untuk memastikan performa yang stabil dan kompatibilitas yang lebih luas. Penelitian lanjutan ini diharapkan dapat memperkuat pemanfaatan teknologi AR dalam mendukung pengembangan kota berkelanjutan dan pendidikan lingkungan secara global.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] W. Du and Z. Yan, "Application and development of augmented reality in the medical field," *Int. J. Front. Med.*, vol. 5, no. 6, 2023, doi: 10.25236/IJFM.2023.050611.
- [2] K.-Y. Lin and T. K. Huang, "Shopping in the digital world: How augmented reality mobile applications trigger customer engagement," *Technol. Soc.*, vol. 77, p. 102540, Jun. 2024, doi: 10.1016/j.techsoc.2024.102540.
- [3] S. Criollo-C, A. Guerrero-Arias, J. Guaña-Moya, A. Samala, and S. Luján-Mora, "Towards Sustainable Education with the Use of Mobile Augmented Reality in Early Childhood and Primary Education: A Systematic Mapping," *Sustainability*, vol. 16, no. 3, p. 1192, Jan. 2024, doi: 10.3390/su16031192.
- [4] F. Erwis, C. Jixiong, N. Rahayu, A. R. Raharja, and R. S. Y. Zebua, "Use of Augmented Reality (AR) in Mobile Learning for Natural Science Lessons," *J. Soc. Sci. Util. Technol.*, vol. 2, no. 1, pp. 376–386, Apr. 2024, doi: 10.70177/jssut.v2i1.784.
- [5] J. Jacobe, L. Jacobo, K. Salinas, P. Castaneda, and N. Moggiano, "Mobile Application Based on Augmented Reality to Encourage Tourism at the Wari Willka Museum," in *2021 International Conference on Information Systems and Advanced Technologies (ICISAT)*, IEEE, Dec. 2021, pp. 1–7, doi: 10.1109/ICISAT54145.2021.9678465.
- [6] P. Stavropoulos, A. Papacharalampopoulos, V. Siatras, and D. Mourtzis, "An AR based Digital Twin for Laser based manufacturing process monitoring," *Procedia CIRP*, vol. 102, pp. 258–263, 2021, doi: 10.1016/j.procir.2021.09.044.
- [7] Norshahidatul Hasana Ishak, Muhamad Abdul Hakim Mat Nang, Hazrati Zaini, Nur Nabilah Abu Mangshor, and Zuhri Arafah Zulkifli, "Implementation of Augmented Reality in a Mobile Application for In-Flight Emergency Equipment and Evacuation Procedure," *J. Adv. Res. Appl. Sci. Eng. Technol.*, vol. 46, no. 2, pp. 108–123, Jun. 2024, doi: 10.37934/araset.46.2.108123.
- [8] Adedoyin Tolulope Oyewole, Omotayo Bukola Adeoye, Wilhelmina Afua Addy, Chinwe Chinazo Okoye, Onyeka Chrisanctus Ofodile, and Chinonye Esther Ugochukwu, "Augmented and virtual reality in financial services: A review of emerging applications," *World J. Adv. Res. Rev.*, vol. 21, no. 3, pp. 551–567, Mar. 2024, doi: 10.30574/wjarr.2024.21.3.0623.
- [9] J. Eves, A. Sudarsanam, J. Shalhoub, and D. Amiras, "Augmented Reality in Vascular and Endovascular Surgery: Scoping Review," *JMIR Serious Games*, vol. 10, no. 3, p. e34501, Sep. 2022, doi: 10.2196/34501.
- [10] P. D. Mehta, H. Karanth, H. Yang, T. C. Slesnick, F. Shaw, and D. H. Chau, "ARCollab: Towards Multi-User Interactive Cardiovascular Surgical Planning in Mobile Augmented Reality," in *Extended Abstracts of the CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, New York, NY, USA: ACM, May 2024, pp. 1–6, doi: 10.1145/3613905.3651091.
- [11] P. Wongklang and J. Wipatsopakron, "Development of Problem-Based Mobile Augmented Reality Application to Enhance Creative Problem-Solving Skills for Undergraduate Students," *Int. J. Interact. Mob. Technol.*, vol. 18, no. 07, pp. 53–67, Apr. 2024, doi: 10.3991/ijim.v18i07.42261.
- [12] U. Cahyana, I. Lestari, I. Irwanto, and J. Suroso, "Development of a mobile learning network for science with augmented reality and its impact on students' literacy and numeracy," *Int. J. Innov. Res. Sci. Stud.*, vol. 7, no. 2, pp. 576–586, Feb. 2024, doi: 10.53894/ijirss.v7i2.2685.
- [13] J. Munkberg *et al.*, "Extracting Triangular 3D Models, Materials, and Lighting From Images," *Proc. IEEE Comput. Soc. Conf. Comput. Vis. Pattern Recognit.*, vol. 2022-June, pp. 8270–8280, 2022, doi: 10.1109/CVPR52688.2022.00810.
- [14] R. Solmaz and Y. Pekerşen, "Evaluation of Augmented Reality and Consumer Perceptions in Traditional Dishes," *J. Culin. Sci. Technol.*, vol. 22, no. 3, pp. 512–532, May 2024, doi: 10.1080/15428052.2022.2060889.
- [15] M. L. Amado and L. Andrade-Arenas, "Mobile Application for Children with Asperger's Syndrome that Improves Social Interaction with Augmented Reality," *Int. J. Eng. Trends Technol.*, vol. 72, no. 3, pp. 55–64, Mar. 2024, doi: 10.14445/22315381/IJETT-V72I3P106.
- [16] C. Kaewrat, C. Khundam, and M. Thu, "Enhancing Exercise Monitoring and Guidance Through Mobile Augmented Reality: A Comparative Study of RGB and LiDAR," *IEEE Access*, vol. 12, pp. 95447–95460, 2024, doi: 10.1109/ACCESS.2024.3425163.
- [17] F. N. Abdeen, R. N. Gunatilaka, S. M. E. Sepasgozar, and D. J. Edwards, "The usability of a novel mobile augmented reality application for

- excavation process considering safety and productivity in construction,” *Constr. Innov.*, vol. 24, no. 4, pp. 892–911, Jun. 2024, doi: 10.1108/CI-07-2022-0168.
- [18] G. Koutromanos, A. T. Mikropoulos, D. Mavridis, and C. Christogiannis, “The mobile augmented reality acceptance model for teachers and future teachers,” *Educ. Inf. Technol.*, vol. 29, no. 7, pp. 7855–7893, May 2024, doi: 10.1007/s10639-023-12116-6.
- [19] M. Pereira, J. C. Silva, M. Pinheiro, S. Carvalho, and G. Santos, “Points of interest in the city of Barcelos in Portugal through augmented reality,” *Internet Things Cyber-Physical Syst.*, vol. 4, pp. 40–48, 2024, doi: 10.1016/j.iotcps.2023.07.002.
- [20] V. Haris, S. N. Alias, and S. K. Ayop, “Integrating Augmented Reality Technology in Magnetic Field Learning: A Systematic Literature Review,” *JIPF (Jurnal Ilmu Pendidik. Fis.*, vol. 9, no. 2, p. 161, Jul. 2024, doi: 10.26737/jipf.v9i2.5159.