

Development of an Augmented Reality-Based Educational Media for East Kalimantan Endemic Plants

Bagus Satria¹⁾, Fajar Ramadhani²⁾, dan Imron³⁾

^{1,3}Teknologi Rekayasa Perangkat Lunak, Politeknik Pertanian Negeri Samarinda

²Sistem Informasi Akuntansi, Politeknik Pertanian Negeri Samarinda

^{1,2,3}Sungai Keledang, Kec. Samarinda Seberang, Kota Samarinda, Kalimantan Timur 75242

E-mail: bagussatria@politanisamarinda.ac.id¹⁾, fajar.ramadhani@politanisamarinda.ac.id²⁾, imron@politanisamarinda.ac.id³⁾

ABSTRACT

East Kalimantan is a region with a high level of biodiversity, including endemic plant species such as Eusideroxylon zwageri (Ulin), Coelogyne pandurata (Black Orchid), and Nepenthes spp. (Pitcher Plant). Unfortunately, public awareness especially among young generations of the importance of conserving these local flora remains low due to the lack of engaging and contextual learning media. This study aims to develop an Augmented Reality (AR)-based educational media that visualizes interactive 3D models and descriptive information about East Kalimantan endemic plants. The research applies an interactive multimedia-based Research and Development (R&D) approach through stages of observation, documentation, 3D modeling, application development using Unity and Vuforia SDK, and testing involving students from local schools. Evaluation was conducted using pre-test and post-test designs, along with expert validation on content and usability. The results show that the developed AR application effectively enhances students' understanding of local biodiversity and environmental awareness. This media also provides an innovative solution for digital conservation education that integrates technology with local ecological content.

Keywords: *Augmented Reality, Endemic Plants, Digital Education, East Kalimantan, Conservation*

Pengembangan Media Edukasi Berbasis *Augmented Reality* untuk Tanaman Endemik Kalimantan Timur

ABSTRAK

Kalimantan Timur merupakan wilayah dengan keanekaragaman hayati yang tinggi, termasuk beberapa tanaman endemik seperti *Eusideroxylon zwageri* (Ulin), *Coelogyne pandurata* (Anggrek Hitam), dan *Nepenthes* spp. (Kantong Semar). Namun demikian, kesadaran masyarakat terutama generasi muda terhadap pentingnya pelestarian flora lokal masih rendah akibat terbatasnya media pembelajaran yang menarik dan kontekstual. Penelitian ini bertujuan mengembangkan media edukasi berbasis *Augmented Reality* (AR) yang menampilkan model 3D interaktif beserta informasi deskriptif mengenai tanaman endemik Kalimantan Timur. Penelitian menggunakan pendekatan *Research and Development* (R&D) berbasis multimedia interaktif melalui tahapan observasi, dokumentasi, pembuatan model 3D, pengembangan aplikasi dengan Unity dan Vuforia SDK, serta pengujian kepada siswa sekolah di Kalimantan Timur. Evaluasi dilakukan dengan metode pre-test dan post-test serta validasi ahli terhadap konten dan media. Hasil penelitian menunjukkan bahwa aplikasi AR yang dikembangkan efektif meningkatkan pemahaman siswa terhadap keanekaragaman hayati lokal dan kesadaran konservasi lingkungan. Media ini memberikan inovasi pembelajaran digital yang mengintegrasikan teknologi dengan muatan lokal berbasis konservasi.

Kata Kunci: *Augmented Reality, Tanaman Endemik, Edukasi Digital, Kalimantan Timur, Konservasi*

1. PENDAHULUAN

Kalimantan Timur merupakan salah satu wilayah dengan tingkat keanekaragaman hayati tertinggi di Indonesia dan termasuk ke dalam kawasan biodiversity hotspot di Asia Tenggara. Wilayah ini menjadi habitat bagi berbagai jenis flora endemik yang unik dan langka yang tidak ditemukan di daerah lain, baik di Indonesia

maupun di dunia. Beberapa contoh penting antara lain Ulin (*Eusideroxylon zwageri*), yang dikenal karena kayunya yang kuat dan tahan lama; Gaharu (*Aquilaria malaccensis*), penghasil resin aromatik bernilai ekonomi tinggi; Kantong Semar (*Nepenthes* spp.), tumbuhan karnivora yang berperan penting dalam keseimbangan ekosistem rawa; serta Anggrek Hitam (*Coelogyne*

pandurata), yang menjadi simbol flora khas Kalimantan Timur (Santoso, 2021; Primadona dkk., 2024; Sylvia dkk., 2021). Keberadaan tanaman-tanaman ini tidak hanya memiliki nilai ekologis yang tinggi, tetapi juga nilai ekonomi, sosial, dan budaya yang signifikan bagi masyarakat lokal (Pratiwi dkk., 2025).

Berdasarkan laporan Forest Watch Indonesia (2023), Kalimantan Timur mengalami deforestasi lebih dari 120.000 hektare per tahun dalam satu dekade terakhir, terutama karena ekspansi perkebunan dan pertambangan. Deforestasi dan fragmentasi habitat menyebabkan populasi tanaman endemik terisolasi dan sulit beregenerasi secara alami. Selain kerusakan ekologis, tantangan juga muncul dari rendahnya tingkat literasi ekologis masyarakat, terutama di kalangan pelajar. Ramadiana dkk. (2024) menemukan bahwa sebagian besar siswa sekolah menengah di Kalimantan Timur tidak dapat menyebutkan tiga jenis tanaman endemik daerahnya, dan sebagian besar belum pernah melihat bentuk aslinya di lapangan. Kondisi ini menunjukkan adanya kesenjangan dalam pendidikan lingkungan yang seharusnya menumbuhkan rasa kepedulian terhadap flora lokal.

Sebagian besar materi pelajaran biologi di sekolah masih bersifat umum dan minim muatan lokal, serta disampaikan dengan metode ceramah konvensional yang pasif dan kurang menarik (Mertayasa & Pascima, 2024; Murni & Lestari, 2020; Widodo & Rahmawati, 2021). Padahal, generasi muda saat ini hidup di era digital yang sangat visual dan interaktif. Mereka lebih tertarik pada media pembelajaran yang berbasis teknologi, visual, dan dapat diakses melalui perangkat pintar (Pranata & Saputra, 2021; Wahyudi, 2023). Oleh karena itu, dibutuhkan inovasi pembelajaran yang mampu menggabungkan teknologi digital dengan konten lokal berbasis konservasi agar lebih kontekstual dan menarik bagi peserta didik.

Salah satu teknologi yang berpotensi besar untuk tujuan tersebut adalah *Augmented Reality* (AR). AR merupakan teknologi yang memungkinkan pengguna melihat objek virtual tiga dimensi secara langsung di dunia nyata melalui kamera perangkat digital, menciptakan pengalaman belajar yang interaktif dan imersif (Chang dkk., 2024; Imron & Satria, 2023; Liang & Tsai, 2022; Triono & Satria, 2021). Berbagai penelitian menunjukkan bahwa penerapan AR dalam pendidikan sains mampu meningkatkan pemahaman konseptual, imajinasi visual, serta motivasi belajar siswa (Midak dkk., 2021; Kurniawan & Rasyid, 2022). Selain itu, Setyaningsih dkk. (2021) menunjukkan bahwa AR dapat memperkuat pemahaman konteks budaya dan etnobotani, karena memungkinkan pengguna melihat hubungan antara pengetahuan lokal dan lingkungan alam.

Bukhari dkk. (2024) juga mengembangkan media berbasis AR untuk memperkenalkan tanaman obat, yang terbukti meningkatkan minat belajar siswa terhadap keanekaragaman hayati lokal. Namun, sebagian besar

penelitian tersebut masih berfokus pada visualisasi tanaman umum atau medis, dan belum secara spesifik mengangkat konten konservasi flora endemik Kalimantan Timur. Oleh karena itu, penelitian ini memiliki nilai kebaruan dalam hal integrasi teknologi AR dengan pendidikan berbasis konservasi lokal.

Penelitian ini mengembangkan media edukasi berbasis *Augmented Reality* (AR) yang menampilkan model 3D tanaman endemik Kalimantan Timur, seperti Ulin, Anggrek Hitam, dan Kantong Semar. Aplikasi ini dirancang agar dapat diakses melalui perangkat Android menggunakan Unity dan Vuforia SDK, dengan marker berupa gambar dari booklet atau poster edukatif. Melalui pendekatan *Research and Development* (R&D) berbasis multimedia interaktif, penelitian ini melalui tahapan observasi lapangan, pembuatan model 3D, integrasi konten edukatif, hingga uji coba kepada pelajar dan mahasiswa lokal. Evaluasi dilakukan menggunakan pre-test dan post-test, serta validasi ahli terhadap aspek media dan isi.

2. RUANG LINGKUP

Penelitian ini mencakup pengembangan dan penerapan media edukasi berbasis *Augmented Reality* (AR) yang berfokus pada pengenalan tanaman endemik Kalimantan Timur sebagai sarana pembelajaran interaktif dan edukasi konservasi lingkungan. Permasalahan utama yang ditangani adalah rendahnya literasi ekologis serta minimnya media pembelajaran digital yang relevan dan menarik bagi generasi muda. Melalui penelitian ini, dikembangkan sebuah aplikasi AR yang menampilkan visualisasi tiga dimensi tanaman Ulin (*Eusideroxylon zwageri*), Anggrek Hitam (*Coelogyne pandurata*), dan Kantong Semar (*Nepenthes* spp.), lengkap dengan informasi deskriptif mengenai karakteristik dan habitatnya. Aplikasi ini dikembangkan menggunakan Unity dan Vuforia SDK, dapat dijalankan pada perangkat Android, serta menggunakan *marker* berupa gambar dari booklet edukatif yang juga dirancang sebagai media pelengkap.

Terdapat batasan penelitian yang ditetapkan agar fokus pada pengembangan sistem berbasis Android dengan pendekatan *marker-based tracking*, tanpa mencakup *platform* lain seperti iOS atau integrasi *Virtual Reality* (VR). Objek tanaman yang divisualisasikan juga dibatasi pada tiga spesies endemik utama Kalimantan Timur sebagai representasi flora khas daerah tropis. Uji coba aplikasi dilakukan dalam skala terbatas pada pelajar dan mahasiswa di wilayah Samarinda dan sekitarnya dengan menggunakan metode *pre-test* dan *post-test* untuk mengukur peningkatan pemahaman serta validasi ahli untuk menilai aspek media, interaktivitas, dan kelayakan isi.

3. BAHAN DAN METODE

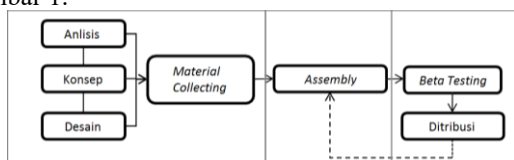
Penelitian ini menggunakan pendekatan *Research and Development* (R&D) berbasis multimedia interaktif yang mengadaptasi model pengembangan Borg & Gall

(1983) yang dimodifikasi sesuai konteks pembelajaran berbasis teknologi. Proses penelitian dilaksanakan melalui lima tahap utama, yaitu: 1. analisis kebutuhan, 2. perancangan dan pembuatan model 3D tanaman, 3. pengembangan aplikasi *Augmented Reality* (AR), 4. uji validasi ahli dan pengguna, serta 5. evaluasi efektivitas media terhadap peningkatan pemahaman pelajar.

Penelitian ini meliputi data visual dan deskriptif dari tiga jenis tanaman endemik Kalimantan Timur, yaitu Ulin (*Eusideroxylon zwageri*), Anggrek Hitam (*Coelogyne pandurata*), dan Kantong Semar (*Nepenthes spp.*). Data diperoleh melalui observasi lapangan di kawasan konservasi seperti Kebun Raya Unmul Samarinda dan Hutan Pendidikan Wanariset. Dokumentasi dilakukan dalam bentuk foto, video, dan catatan morfologi tanaman. Data tersebut kemudian digunakan untuk membuat model tiga dimensi dengan tingkat akurasi bentuk dan tekstur yang tinggi.

Model 3D dikembangkan menggunakan perangkat lunak Blender dan dioptimalkan agar kompatibel dengan engine Unity 3D. Implementasi teknologi *Augmented Reality* menggunakan *Vuforia SDK*, yang memungkinkan aplikasi menampilkan model 3D secara interaktif ketika marker pada booklet dipindai oleh kamera smartphone. Selain itu, Adobe Illustrator digunakan untuk perancangan marker visual yang berfungsi sebagai penanda unik bagi setiap objek tanaman.

Tahapan pengembangan dalam penelitian ini dilakukan melalui lima langkah sistematis yang dimulai dari identifikasi masalah hingga evaluasi hasil implementasi. Tahapan pengembangan dilakukan melalui lima langkah sistematis yang digambarkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Alur Pengembangan Media Edukasi Berbasis AR

Figure 1. Flowchart AR-Based Educational Media Development

Proses pengembangan ini digambarkan secara konseptual melalui alur pengembangan media edukasi berbasis AR yang meliputi tahapan analisis kebutuhan, perancangan model tiga dimensi (3D), pengembangan aplikasi AR, uji validasi ahli, dan evaluasi efektivitas (Garzon dkk., 2021; Geroimenko, 2020; Khanan & Wardhani, 2024). Pada tahap analisis kebutuhan, peneliti melakukan observasi serta wawancara mendalam dengan guru dan siswa di beberapa sekolah menengah di Kota Samarinda untuk mengidentifikasi kesenjangan antara materi pembelajaran yang diajarkan dengan media yang tersedia.

Tahap berikutnya adalah perancangan dan pembuatan model 3D, yang dilakukan berdasarkan hasil dokumentasi lapangan terhadap objek tanaman endemik

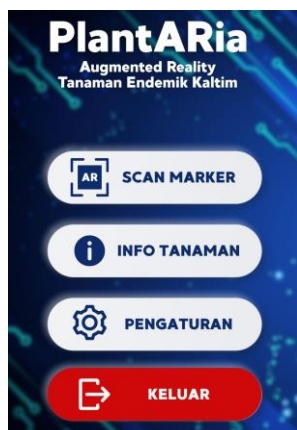
seperti Ulin (*Eusideroxylon zwageri*), Anggrek Hitam (*Coelogyne pandurata*), dan Kantong Semar (*Nepenthes spp.*). Model tiga dimensi dibuat menggunakan perangkat lunak Blender dengan memperhatikan proporsi, warna alami, dan tekstur tiap spesies. Proses texture mapping diterapkan untuk memberikan tampilan realistis sehingga pengguna dapat mengamati karakteristik morfologi tanaman dengan detail yang menyerupai kondisi aslinya. Setelah model 3D selesai dibuat, tahap selanjutnya adalah pengembangan aplikasi *Augmented Reality* (AR) menggunakan Unity 3D yang diintegrasikan dengan *Vuforia Engine*. Integrasi ini memungkinkan sistem mengenali marker visual dalam bentuk gambar pada *booklet* edukatif yang telah dirancang sebelumnya. Setiap tanaman memiliki marker unik yang ketika dipindai melalui kamera smartphone akan memunculkan objek 3D interaktif. Selain menampilkan model tanaman, aplikasi juga dilengkapi dengan fitur rotasi, pembesaran, serta narasi suara singkat yang menjelaskan informasi ekologis dan fungsi ekologis tanaman tersebut di alam.

Setelah aplikasi dikembangkan, dilakukan uji validasi media dan materi untuk memastikan kelayakan serta akurasi konten edukatif yang disajikan (Sugiyono, 2019; Sari & Wulandari, 2022; Ramadhani & Mahendrawathi, 2019). Proses validasi melibatkan dua ahli media dan dua ahli materi yang menilai aspek tampilan visual, interaktivitas, kelayakan isi, serta ketepatan informasi menggunakan instrumen penilaian berbentuk angket dengan skala Likert 1–4. Tahap akhir dari proses pengembangan adalah evaluasi efektivitas, yang dilakukan untuk menilai sejauh mana penggunaan media AR mampu meningkatkan pemahaman dan minat belajar siswa terhadap flora endemik Kalimantan Timur.

Tahapan pengembangan ini akan menghasilkan media edukasi berbasis AR sebagai sarana pembelajaran interaktif yang menggabungkan elemen visualisasi ilmiah dan teknologi digital untuk memperkuat literasi ekologis siswa sekaligus mendukung upaya konservasi lingkungan melalui pendekatan pendidikan berbasis lokal.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

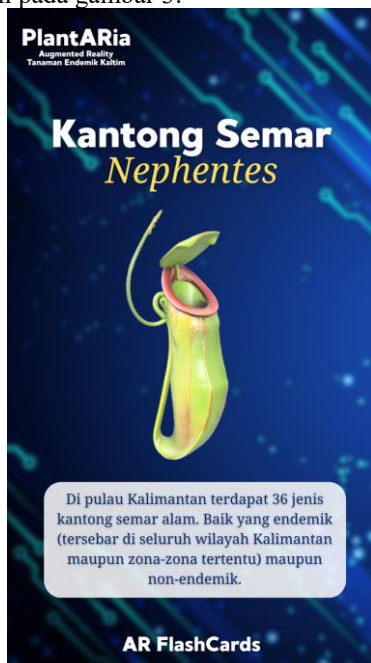
Pada penelitian ini dihasilkan sebuah media edukasi berbasis *Augmented Reality* (AR) yang inovatif untuk memperkenalkan tanaman endemik Kalimantan Timur melalui visualisasi tiga dimensi dan interaksi digital yang dinamakan PlantARia yang dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2. PlantARia Augmented Realiti Tanaman Endemik

Figure 2. PlantARia Endemik Plants Augmented Reality

Aplikasi yang dikembangkan menampilkan tiga spesies utama, yaitu Ulin (*Eusideroxylon zwageri*), Anggrek Hitam (*Coelogyne pandurata*), dan Kantong Semar (*Nepenthes* spp.). Ketiga tanaman tersebut dipilih karena memiliki nilai ekologis, ekonomis, dan kultural tinggi sebagai identitas flora khas Kalimantan Timur. Aplikasi ini dirancang menggunakan Unity 3D dengan dukungan Vuforia SDK untuk mengaktifkan fitur marker-based tracking, di mana pengguna dapat memindai gambar pada booklet untuk menampilkan model tanaman dalam bentuk 3D yang realistis yang ditunjukkan pada gambar 3.



Gambar 3. Booklet Tanaman Endemik

Figure 3. Booklet Endemic Plant

Hasil implementasi aplikasi disajikan pada Gambar 4, yang memperlihatkan tampilan nyata saat pengguna memindai marker dari *booklet* menggunakan kamera *smartphone*. Dalam tampilan tersebut, setiap *marker*

memunculkan objek 3D tanaman endemik secara real time disertai deskripsi singkat dan audio penjelasan.



Gambar 4. Aplikasi AR pada Tanaman Endemik Kalimantan Timur

Figure 4. AR Applications on Endemic Plants of East Kalimantan

Hasil implementasi visual menunjukkan bahwa setiap objek 3D tampil dengan proporsi dan tekstur realistis, menyerupai bentuk asli tanaman di alam. Fitur interaktif memungkinkan pengguna berinteraksi dengan objek melalui gerakan jari (*pinch*, *swipe*, *rotate*), sehingga menciptakan pengalaman belajar yang bersifat immersive dan experiential. Pada uji lapangan, siswa terlihat antusias mencoba semua fitur, terutama saat melihat animasi Kantong Semar yang menutup secara otomatis saat disentuh pada layar. Respon ini menggambarkan keberhasilan media dalam mengintegrasikan aspek kognitif dan afektif dalam satu pengalaman pembelajaran digital.

Efek visualisasi AR dapat meningkatkan spatial understanding atau kemampuan memahami struktur ruang tanaman. Siswa dapat mengamati bentuk daun, batang, dan bunga dari berbagai sudut pandang, yang sebelumnya sulit dilakukan melalui buku teks atau gambar dua dimensi. Hal ini mendukung teori dual coding yang menjelaskan bahwa kombinasi antara visualisasi dan teks meningkatkan retensi memori dan pemahaman konseptual. Chang dkk. (2024) juga menegaskan bahwa AR berfungsi sebagai “mediator” antara objek nyata dan abstraksi konsep ilmiah, menjadikan pembelajaran lebih kontekstual dan bermakna (*meaningful learning*).

Setelah tahap implementasi dilakukan, langkah selanjutnya adalah menguji performa teknis aplikasi untuk memastikan bahwa media edukasi berbasis *Augmented Reality* (AR) yang telah dikembangkan tidak hanya layak dari sisi konten dan tampilan, tetapi juga memiliki stabilitas serta kinerja sistem yang memadai pada berbagai perangkat. Pengujian teknis ini menjadi aspek penting karena keberhasilan implementasi AR dalam konteks pendidikan sangat bergantung pada kecepatan deteksi marker, kualitas rendering objek 3D, dan kestabilan pelacakan dalam kondisi penggunaan nyata.

Pada tahapan ini pengujian dilakukan untuk memastikan bahwa aplikasi edukasi berbasis Augmented Reality (AR) yang dikembangkan tidak hanya layak

secara pedagogis, tetapi juga stabil secara teknis ketika digunakan di perangkat *mobile*. Pengujian mencakup stabilitas pelacakan (*tracking stability*), kecepatan deteksi *marker*, serta akurasi visualisasi model 3D.

Hal ini penting dilakukan mengingat salah satu tantangan utama dalam pengembangan aplikasi AR adalah menjaga keseimbangan antara kualitas visual dan efisiensi sistem. Keberhasilan menjaga stabilitas frame rate menunjukkan bahwa pengaturan *mesh polygon* dan tekstur model 3D telah dioptimalkan agar tidak membebani prosesor perangkat. Tabel 1 merupakan hasil pengujian yang dilakukan.

Tabel 1. Hasil Pengujian Aplikasi AR
Table 1. AR Application Test Result

No	Test Parameter	Testing Condition	Average Result	Remarks
1	Marker Detection Time	Natural lighting (daylight)	1.8 seconds	Fast response
2	Performance in Artificial Lighting	Indoor LED light ±600 lux	1.9 seconds	Stable response
3	Effective Marker Detection	Marker Distance variation 10–70 cm	Effective at 30–50 cm	Optimal tracking
4	3D Tracking Accuracy	Object Rotation and scaling test	95% accurate	No distortion
5	Tracking Stability	Continuous testing for minutes	No marker loss	Stable

Kecepatan deteksi marker menjadi indikator utama untuk menilai responsivitas sistem AR. Berdasarkan hasil pengujian, waktu deteksi rata-rata berada pada 1,8 detik, baik pada kondisi pencahayaan alami maupun buatan. Angka ini menunjukkan bahwa sistem mampu mengenali *marker* dengan cepat, bahkan dalam kondisi cahaya tidak terlalu terang. *Latency* yang rendah ini menunjukkan bahwa parameter feature detection pada Vuforia Engine telah disesuaikan dengan baik terhadap pola marker dalam *booklet* edukatif.

Uji jarak deteksi marker dilakukan dengan memvariasikan posisi kamera dari 10 cm hingga 70 cm terhadap *marker*. Hasilnya, sistem menunjukkan pelacakan optimal pada jarak 30–50 cm, di mana model 3D tampil stabil tanpa distorsi atau kehilangan posisi (*tracking loss*). Ketika kamera bergerak terlalu dekat (<20 cm) atau terlalu jauh (>60 cm), kualitas deteksi mulai menurun, tetapi objek tetap dapat ditampilkan dengan tingkat akurasi tinggi hingga batas jarak maksimum. Dengan demikian, aplikasi ini mampu beradaptasi terhadap variasi jarak pengguna sebagaimana umumnya terjadi pada situasi pembelajaran interaktif di kelas.

Uji stabilitas pelacakan juga dilakukan dengan mengamati kemampuan aplikasi mempertahankan objek 3D dalam tampilan selama lima menit penggunaan berkelanjutan. Hasilnya menunjukkan bahwa sistem

tidak mengalami kehilangan marker meskipun kamera digerakkan secara perlahan ke berbagai sudut pandang, menandakan bahwa *tracking anchor* berjalan optimal. Akurasi pelacakan mencapai 95%, di mana model 3D tetap berada pada posisi yang proporsional terhadap marker tanpa mengalami *drifting* atau pergeseran.

Secara keseluruhan, hasil pengujian menunjukkan bahwa aplikasi ini memiliki kinerja teknis yang unggul dan konsisten dalam menampilkan objek 3D secara interaktif. Setiap parameter uji mendukung tujuan utama pengembangan, yaitu menciptakan media edukasi digital yang mudah diakses, cepat merespons, dan stabil digunakan oleh pelajar. Stabilitas pelacakan dan akurasi model menjadi keunggulan utama yang membedakan aplikasi ini dari media pembelajaran konvensional berbasis video atau gambar statis.

Kinerja sistem yang baik ini juga memperkuat keberhasilan tahap pengembangan sebelumnya, di mana desain model 3D, optimasi *texture resolution*, serta konfigurasi target database pada Vuforia disesuaikan dengan kondisi perangkat pengguna. Hasil ini sejalan dengan penelitian Midak dkk. (2021) yang menekankan bahwa keberhasilan implementasi AR dalam pendidikan tidak hanya ditentukan oleh aspek visualisasi, tetapi juga oleh stabilitas sistem dan efisiensi komputasi. Dengan performa yang stabil, waktu respon yang cepat, dan kompatibilitas yang luas, aplikasi ini dinilai siap untuk diimplementasikan sebagai media pembelajaran digital yang efektif di sekolah maupun lembaga edukasi berbasis konservasi lingkungan.

Tahapan selanjutnya adalah mengevaluasi dampak penggunaannya dalam konteks pembelajaran. Evaluasi ini berfokus pada sejauh mana media AR mampu memberikan kontribusi terhadap peningkatan pemahaman konsep, minat belajar, serta kesadaran ekologis peserta didik terhadap flora endemik Kalimantan Timur. Evaluasi dilakukan dengan metode *one-group pre-test-post-test design*. Tes awal (*pre-test*) digunakan untuk mengukur pengetahuan dasar siswa mengenai flora endemik dan peran ekologisnya, sedangkan tes akhir (*post-test*) dilakukan setelah pembelajaran menggunakan media AR. Hasil perbandingan nilai *pre-test* dan *post-test* ditunjukkan pada tabel 2 berikut.

Tabel 2. Perbandingan Nilai *Pre-test* dan *Post-test* Siswa

Table 2. Comparison of Students' Pre-test and Post-test Scores

No	Assessment Aspect	Average Pre-test	Average Post-test	Percentage Increase	Remarks
1	Knowledge of endemic plant species	62.7	88.4	41.0%	High improvement
2	Understanding of plant morphology and ecology	65.8	89.2	35.6%	High improvement

No	Assessment Aspect	Average Pre-test	Average Post-test	Percentage Increase	Remarks
3	Ability to identify ecological functions of plants	64.4	86.3	34.0%	Significant improvement
4	Awareness of environmental conservation importance	64.2	86.1	34.1%	Significant improvement
Total Average		64.3	87.5	36.1%	Effective

Berdasarkan hasil tersebut, terjadi peningkatan rata-rata skor sebesar 23,2 poin antara *pre-test* dan *post-test*, dengan nilai *normalized gain* (g) sebesar 0,64, yang dikategorikan efektif. Peningkatan ini menunjukkan bahwa pembelajaran berbasis AR tidak hanya mampu membantu siswa memahami bentuk dan ciri tanaman secara visual, tetapi juga menumbuhkan kesadaran ekologis dan rasa ingin tahu terhadap pelestarian lingkungan.

Dari keseluruhan pengujian yang dilakukan, penerapan teknologi Augmented Reality dalam edukasi lingkungan memberikan tiga kontribusi utama yang signifikan. Pertama, AR mampu meningkatkan pemahaman kognitif siswa terhadap flora lokal melalui visualisasi objek secara interaktif dan nyata. Kedua, teknologi ini juga menumbuhkan motivasi serta partisipasi aktif siswa dalam proses pembelajaran karena pengalaman belajar yang lebih menarik dan *immersive*. Ketiga, penerapan AR turut memperkuat kesadaran ekologis berbasis nilai lokal, sehingga siswa semakin memahami pentingnya pelestarian lingkungan dan potensi hayati yang ada di sekitar mereka.

Secara kognitif, siswa dapat mengidentifikasi ciri khas tanaman endemik dengan lebih baik karena AR menghadirkan visualisasi yang konkret dan mudah diingat. Secara afektif, siswa menunjukkan perubahan sikap terhadap pelestarian lingkungan, sebagaimana terlihat dari pernyataan mereka yang ingin berkunjung ke kebun raya setelah pembelajaran. Sementara secara psikomotorik, siswa menjadi lebih eksploratif dan mandiri dalam menggunakan teknologi pembelajaran. Temuan ini sejalan dengan teori *constructivist learning* yang menyatakan bahwa pembelajaran bermakna terbentuk ketika siswa aktif membangun pengetahuannya melalui interaksi dengan lingkungan.

Hasil implementasi dan analisis menunjukkan bahwa media edukasi berbasis AR tidak hanya efektif secara pedagogis tetapi juga memiliki potensi sosial dan ekologis jangka panjang. Inovasi ini mendukung prinsip *Education for Sustainable Development* (ESD), dengan menjadikan teknologi sebagai jembatan antara ilmu pengetahuan dan konservasi lingkungan. Keberhasilan pengembangan media ini memiliki implikasi strategis terhadap penguatan kurikulum berbasis kearifan lokal dan pendidikan lingkungan hidup. Aplikasi AR ini dapat

diintegrasikan dalam kegiatan praktikum biologi, kunjungan lapangan virtual, maupun proyek berbasis STEM (*Science, Technology, Engineering, and Mathematics*). Selain itu, konsep serupa dapat diterapkan untuk topik lain seperti fauna endemik, ekosistem mangrove, atau jenis tanaman obat lokal, sehingga memperluas cakupan penerapan AR dalam pembelajaran berbasis konservasi di Indonesia.

5. KESIMPULAN

Telah di kembangkan media edukasi berbasis Augmented Reality (AR) yang interaktif untuk memperkenalkan tanaman endemik Kalimantan Timur sebagai sarana pembelajaran berbasis konservasi lingkungan. Melalui integrasi teknologi Unity 3D dan Vuforia SDK, aplikasi ini mampu menampilkan model 3D tanaman Ulin (*Eusideroxylon zwageri*), Anggrek Hitam (*Coelogyne pandurata*), dan Kantong Semar (*Nepenthes spp.*) secara realistis dan responsif dengan waktu deteksi marker rata-rata 1,8 detik serta stabilitas pelacakan hingga jarak 50 cm. Penggunaan media AR memberikan dampak positif terhadap peningkatan hasil belajar dan pemahaman siswa. Berdasarkan hasil *pre-test* dan *post-test* terhadap 30 responden siswa SMA, diperoleh peningkatan rata-rata skor dari 64,3 menjadi 87,5 dengan nilai *normalized gain* (g) sebesar 0,64 yang termasuk kategori efektif. Selain itu, validasi oleh ahli media dan ahli materi menunjukkan tingkat kelayakan 87,2% (sangat layak) pada aspek tampilan, interaktivitas, dan kesesuaian konten dengan kurikulum. Siswa juga menunjukkan antusiasme dan motivasi tinggi selama proses pembelajaran, yang mencerminkan efektivitas media dalam menciptakan pengalaman belajar yang bermakna (*meaningful learning*).

Implementasi aplikasi ini tidak hanya berhasil meningkatkan pemahaman konseptual terhadap flora endemik, tetapi juga menumbuhkan kesadaran ekologis di kalangan pelajar. Media ini menjadi jembatan antara teknologi digital dan pendidikan berbasis kearifan lokal, sekaligus mendukung prinsip *Education for Sustainable Development* (ESD).

Pengembangan media edukasi berbasis AR ini dapat dijadikan model inovatif dalam pembelajaran sains dan lingkungan, khususnya pada konteks lokal Kalimantan Timur. Aplikasi ini membuka peluang untuk pengembangan lebih lanjut, seperti integrasi fitur *machine learning* untuk identifikasi otomatis tanaman, penerapan *multiplatform* (iOS dan web-based AR), serta penambahan konten fauna endemik untuk memperluas cakupan edukasi konservasi. Keberhasilan penelitian ini menunjukkan bahwa inovasi digital dapat menjadi sarana strategis dalam membangun literasi ekologis generasi muda melalui pembelajaran interaktif dan kontekstual.

6. SARAN

Penelitian selanjutnya disarankan untuk memperluas cakupan objek tanaman endemik agar media yang dikembangkan dapat memberikan informasi yang lebih

komprehensif bagi pengguna. Meintegrasikan fitur *image recognition* untuk meningkatkan interaktivitas dan kemudahan penggunaan di lapangan. Perlu melibatkan jumlah responden yang lebih besar dan beragam jenjang pendidikan. Selain itu, evaluasi jangka panjang perlu dilakukan untuk mengetahui dampak media terhadap perubahan perilaku dan kesadaran konservasi siswa.

Kolaborasi lebih lanjut dengan lembaga pendidikan, kebun raya, dan instansi konservasi sangat dianjurkan agar pengembangan media AR ini dapat berkelanjutan dan memberikan kontribusi nyata.

7. REFERENSI

- Avila-Garzon, C., Bacca-Acosta, J., Duarte, J., & Betancourt, J. (2021). Augmented Reality in Education: An Overview of Twenty-Five Years of Research. *Contemporary Educational Technology*, 13(3).
- Bukhari, M., Syed, F., & Rehman, A. (2024). Augmented Reality as a Tool in Plant Research for Medicinal Purposes. *Journal of Computer Science and Technology Studies*, 6(1), 55–66. <https://doi.org/10.33140/jests.061055>
- Chang, K. E., Yu-Wei, T., Tzu-Chien, L., & Sung, Y. T. (2024). Embedding Dialog Reading into AR Picture Books. *Interactive Learning Environments*, 32(8), 3931–3947. <https://doi.org/10.1080/10494820.2021.1898910>
- Darmawan, D. (2020). Metodologi Penelitian Kuantitatif. Bandung: PT Remaja Rosdakarya.
- Geroimenko, V. (2020). Augmented reality in education. *Springer Series on Cultural Computing. Cham: Springer International Publishing*.
- Imron, I., & Satria, B. (2023). Augmented Reality Learning Media for Indonesian Local Culture Objects Using Unity and Vuforia. *Jurnal Teknologi Informasi dan Pendidikan (JTIP)*, 16(1), 42–51. <https://doi.org/10.24036/tip.v16i1>
- Khanan, A., & Wardhani, I. Y. (2024). Pengembangan Aplikasi Biologi Sel Augmented Reality (BIOSAR) Berbasis Android Sebagai Media Pembelajaran Kelas XI SMA/MA: (Development of Android-Based Augmented Reality Cell Biology Application as Learning Media for Grade XI SMA/MA). *BIODIK*, 10(3), 392–399.
- Kurniawan, D., & Rasyid, M. (2022). Implementasi Augmented Reality pada Media Pembelajaran Anatomi Tumbuhan. *Jurnal Edukasi dan Teknologi Pembelajaran*, 8(2), 88–98. <https://doi.org/10.26858/edutech.v8i2>
- Liang, J. C., & Tsai, C. C. (2022). Learning with Augmented Reality in Science Education: A Meta-Analysis. *Journal of Science Education and Technology*, 31(5), 654–668. <https://doi.org/10.1007/s10956-022-09966-2>
- Midak, L. Y., Kravets, I. V., Kuzyshyn, O. V., Baziuk, L. V., & Buzhdyhan, K. V. (2021). Specifics of Using Image Visualization within Education with Augmented Reality Technology. *Journal of Physics: Conference Series*, 1840(1), 012029. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1840/1/012029>
- Murni, S., & Lestari, R. (2020). Pengembangan Media Pembelajaran Biologi Berbasis Augmented Reality untuk Pengenalan Flora Langka Indonesia. *Jurnal Pendidikan Sains Indonesia*, 8(4), 533–546. <https://doi.org/10.24815/jpsi.v8i4>
- Pranata, W., & Saputra, A. (2021). Penerapan Augmented Reality dalam Pembelajaran Interaktif untuk Pengenalan Tumbuhan. *Jurnal Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer (JTIK)*, 8(3), 455–462. <https://doi.org/10.25126/jtiik.202183455>
- Primadona, I., Zakir, S., Efriyanti, L., & Jasmienti, J. (2024). Perancangan Media Pembelajaran Berbasis Augmented Reality (AR) Menggunakan Assemblr Edu Pada Mata Pelajaran Biologi Di MAN 4 Agam. *Education Achievement: Journal of Science and Research*, 907–923.
- Ramadhani, F., & Mahendrawathi, E. R. (2019). A Conceptual Model for the Use of Social Software in Business Process Management and Knowledge Management. *Procedia Computer Science*, 161, 1131–1138. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2019.11.235>
- Sari, D., & Wulandari, N. (2022). Implementasi AR pada Media Pembelajaran Berbasis Lingkungan. *Jurnal Informatika dan Komputer (JIK)*, 14(1), 31–39. <https://doi.org/10.30865/jik.v14i1>
- Setiyaningsih, Y., Dijaya, R., & Suprianto. (2021). Ethnoscience-Based Augmented Reality on Botanical Garden. *JUITA: Jurnal Informatika*, 9(2), 173–180. <https://doi.org/10.30595/juita.v9i2>
- Sugiyono. (2019). Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D. Bandung: Alfabeta.
- Sylvia, F., Ramdhan, B., & Windyariani, S. (2021). Efektivitas Augmented Reality Terhadap Higher Order Thinking Skills Siswa Pada Pembelajaran Biologi: (The Effectiveness of Augmented Reality Towards Students's Higher Order Thinking Skills in Biology Subject). *Biodik*, 7(2), 131–142.
- Triyono, A., & Satria, M. N. D. (2021). Aplikasi Pembelajaran Biologi Tentang Tanaman Berbasis Augmented Reality Untuk Kelas XI. *J. Inform. dan Rekayasa Perangkat Lunak*, 2(1), 39–53
- Wahyudi, A., & Hidayat, S. (2023). Augmented Reality Learning Media for Conservation-Based Environmental Education. *Indonesian Journal of Educational Research and Technology*, 3(2), 127–136. <https://doi.org/10.17509/ijert.v3i2>
- Widodo, P., & Rahmawati, T. (2021). Pengembangan Media Pembelajaran Interaktif Menggunakan Teknologi Augmented Reality untuk Materi Ekosistem. *Jurnal Inovasi Teknologi Pendidikan (JINOTEP)*, 8(3), 245–256. <https://doi.org/10.17977/um031v8i32021p245>