

RANCANG BANGUN MULTIMEDIA INTERAKTIF EDUKASI PENGELOLAAN SAMPAH DENGAN TEKNOLOGI AUGMENTED REALITY UNTUK SISWA SEKOLAH DASAR BERBASIS ANDROID

Muhammad Rizal Asri^{1*}, Farandika Metandi², Muchamad Zainul Rohman³

^{1,2,3}Program Studi Teknik Informatika Multimedia, Jurusan Teknologi Informasi, Politeknik Negeri Samarinda; Jl. Dr. Cipto Mangunkusumo Kampus Gunung Panjang Samarinda 75131

Keywords:

Augmented Reality; Multimedia Interaktif; MDLC; Pengelolaan Sampah; Android

Correspondent Email:

muhammadrizalasri10@gmail.com

Abstrak. Permasalahan sampah di Indonesia masih kompleks karena 67,8% sampah nasional belum terkelola dengan baik (SIPSN, 2024). Rendahnya literasi sejak dini dan kurangnya media edukasi interaktif di Sekolah Dasar (SD) menjadi penyebab utama. Penelitian ini bertujuan merancang aplikasi edukasi Android "EcoEtam Pilah" berbasis Augmented Reality (AR) untuk mengenalkan konsep 3R (Reduce, Reuse, Recycle). Pengembangan menerapkan metode Multimedia Development Life Cycle (MDLC) dengan Unity 3D dan Vuforia Engine. Pengujian meliputi black box testing oleh 8 mahasiswa, validasi ahli oleh guru, dan uji perceived ease of use pada 27 siswa SD. Hasilnya, fungsi aplikasi berjalan tanpa kendala. Validasi materi memperoleh skor 84%, validasi bahasa 90%, dan kemudahan penggunaan mencapai 91,48%. Semuanya berkategori sangat layak. Disimpulkan bahwa aplikasi EcoEtam Pilah sangat efektif sebagai media pembelajaran alternatif yang imersif dan interaktif bagi siswa SD.

Abstract. Waste management in Indonesia remains a complex issue, with 67.8% of national waste unmanaged (2024 SIPSN data). Low early-age literacy and the lack of interactive educational media in elementary schools are primary causes. This study aims to design "EcoEtam Pilah," an Android-based educational application utilizing Augmented Reality (AR) to introduce the 3R concept (Reduce, Reuse, Recycle). The development applied the Multimedia Development Life Cycle (MDLC) method using Unity 3D and Vuforia Engine. Evaluations included black-box testing by 8 IT students, expert validation by teachers, and a perceived ease of use test on 27 students. The results showed flawless application functionality. Content validation scored 84%, language validation 90%, and ease of use reached 91.48%. All aspects are categorized as highly feasible. In conclusion, the EcoEtam Pilah application is highly effective as an immersive and interactive alternative learning medium for elementary students.



Copyright © 2026 The Author(s), Published by Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License (CC BY-NC 4.0).

1. PENDAHULUAN

Permasalahan sampah di Indonesia hingga saat ini masih menjadi isu lingkungan yang kompleks dan belum tertangani secara optimal. Peningkatan jumlah penduduk, pola konsumsi yang tidak berkelanjutan, serta rendahnya

literasi masyarakat dalam pengelolaan sampah menyebabkan volume sampah terus meningkat setiap tahun. Berdasarkan Capaian Kinerja Pengelolaan Sampah Tahun 2024 yang dirilis oleh Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional (SIPSN) Kementerian Lingkungan

Hidup dan Kehutanan, sebanyak 342 kabupaten/kota telah melaporkan data pengelolaan sampah sepanjang tahun 2024, dengan total timbunan sampah nasional mencapai 37.311.750,55 ton per tahun [1].

Dari jumlah tersebut, upaya pengurangan sampah baru mencapai 1,33% atau 497.733,45 ton, sedangkan penanganan sampah mencapai 30,87% atau 11.516.746,46 ton. Secara keseluruhan, sampah yang berhasil dikelola hanya sebesar 32,2%, yaitu 12.014.479,91 ton per tahun, sementara 67,8% atau 25.297.270,65 ton per tahun masih belum terkelola dengan baik [1]. Kondisi ini menunjukkan bahwa sebagian besar sampah di Indonesia masih berpotensi menimbulkan pencemaran lingkungan, baik terhadap kesehatan masyarakat, kualitas tanah, sumber air, maupun udara. Berbagai kebijakan pemerintah seperti pengadaan tempat sampah dan penyuluhan prinsip 4R (*Reduce, Reuse, Recycle, Replace*) masih kurang maksimal, karena pola pikir masyarakat yang masih memandang sampah sekadar barang sisa yang harus dibuang tanpa memikirkan cara mengelolanya.

Penanaman rasa peduli lingkungan seharusnya ditanamkan sejak usia dini, terutama melalui pendidikan formal, sejalan dengan amanat Undang-Undang No. 32 Tahun 2009 Pasal 65 ayat (2) tentang hak setiap orang atas pendidikan lingkungan hidup [30]. Secara psikologis, anak usia 7-12 tahun berada pada tahap operasional konkret menurut teori perkembangan kognitif Piaget, yaitu anak sudah mampu berpikir logis namun masih terbatas pada hal-hal yang bersifat nyata dan konkret [7]. Implikasinya, media pembelajaran bagi siswa Sekolah Dasar perlu mampu mengkonkretkan konsep abstrak agar lebih mudah dipahami, menarik minat belajar, serta mendorong keterlibatan aktif siswa.

Beberapa penelitian terdahulu telah mengembangkan media edukasi pengelolaan sampah berbasis digital dengan pendekatan yang beragam. Atmodjo dkk. mengembangkan game edukasi pengelolaan sampah berbasis Android menggunakan MDLC dengan skor kelayakan usability 88,3% [23]. Fairuza dkk. mengembangkan game edukatif *Fitraman Adventure* untuk anak usia dini dengan karakter superhero dan misi lingkungan [24]. Dewi &

Alfian mengembangkan media interaktif berbasis Flash di SDN Margahayu XVII untuk pengenalan klasifikasi sampah [25]. Fitri dkk. mengembangkan game *PILAS* untuk anak usia 5-6 tahun dengan fitur drag-and-drop [26], sementara Febrianti & Ferga Prasetyo mengembangkan game daur ulang berbasis Android menggunakan Construct 2, dengan 86% responden menyatakan terbantu memahami praktik daur ulang [27]. Keenam penelitian tersebut membuktikan bahwa media interaktif efektif meningkatkan pengetahuan anak-anak mengenai pengelolaan sampah, namun sebagian besar masih terbatas pada media dua dimensi konvensional dan belum mengintegrasikan teknologi Augmented Reality (AR) yang mampu menghadirkan objek virtual ke dunia nyata secara lebih imersif.

Kesenjangan tersebut menjadi dasar penelitian ini, yang berfokus pada rancang bangun aplikasi multimedia interaktif edukasi pengelolaan sampah berbasis Android dengan teknologi AR untuk siswa Sekolah Dasar. Aplikasi memuat fitur pengenalan aplikasi, materi edukatif, video pembelajaran, latihan soal, mini game, serta visualisasi objek 3D melalui AR untuk konsep 3R (*Reduce, Reuse, Recycle*). Pengembangan menggunakan pendekatan *Multimedia Development Life Cycle* (MDLC) dan diimplementasikan pada platform Unity dengan integrasi SDK Vuforia. Penelitian dilaksanakan di SD Islam Al Hikmah Samarinda dengan melibatkan siswa sebagai subjek uji coba, dengan harapan aplikasi mampu meningkatkan kepedulian siswa terhadap pengelolaan sampah sejak dini serta mendorong perilaku yang lebih ramah lingkungan.

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini merumuskan dua permasalahan: (1) bagaimana penerapan metode MDLC dalam merancang dan mengembangkan aplikasi multimedia interaktif berbasis Android untuk edukasi pengelolaan sampah di Sekolah Dasar; dan (2) bagaimana hasil pengujian terhadap fungsionalitas, validasi materi, validasi bahasa, dan kemudahan penggunaan (*perceived ease of use*) pada aplikasi yang telah dikembangkan. Sejalan dengan rumusan masalah tersebut, penelitian ini bertujuan untuk merancang aplikasi multimedia interaktif edukasi pengelolaan sampah berbasis Android

menggunakan MDLC, serta melakukan pengujian aplikasi berdasarkan aspek fungsionalitas, validitas materi, validitas bahasa, dan kemudahan penggunaan guna menilai efektivitas aplikasi dalam meningkatkan pemahaman siswa Sekolah Dasar terhadap konsep pengelolaan sampah.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Rancang Bangun dan Multimedia Interaktif

Rancang bangun merupakan suatu proses sistematis yang bertujuan untuk menciptakan atau memperbaiki sebuah sistem atau aplikasi berdasarkan hasil analisis terhadap suatu objek, sehingga menghasilkan solusi yang dapat digunakan sesuai kebutuhan pengguna [3], [4]. Multimedia merupakan gabungan teks, gambar, audio, video, dan animasi yang diintegrasikan untuk membentuk pesan informasi dengan nilai komunikasi tinggi [5]. Multimedia interaktif adalah bentuk lanjutan dari multimedia yang memungkinkan pengguna berinteraksi langsung, misalnya melalui pemilihan menu atau pengendalian navigasi, sehingga meningkatkan keterlibatan, pemahaman, dan pengalaman belajar yang lebih personal dan adaptif [6].

2.2 Augmented Reality dan Perangkat Pendukung

Augmented Reality (AR) pertama kali diperkenalkan oleh Thomas P. Caudell pada tahun 1990 dan didefinisikan sebagai teknologi yang menggabungkan benda maya dua atau tiga dimensi ke dalam lingkungan nyata secara *real time* [8]. Suatu teknologi dikategorikan AR apabila memenuhi tiga karakteristik, yaitu kombinasi nyata dengan maya, interaktif dalam waktu nyata, dan disajikan dalam bentuk tiga dimensi. Metode AR terbagi menjadi *Marker Based Tracking*, yang mengenali penanda berupa ilustrasi persegi hitam-putih, dan *Markerless Augmented Reality*, yang tidak memerlukan penanda khusus [8]. Pengembangan aplikasi AR pada penelitian ini memanfaatkan Unity sebagai *game engine* [9] dan Vuforia sebagai SDK AR berbasis *Image Target* dan *Ground Plane* [10], dilengkapi SketchUp untuk pemodelan objek 3D [11] dan CorelDRAW untuk aset grafis vektor [12].

2.3 Multimedia Development Life Cycle

Multimedia Development Life Cycle (MDLC) model Luther-Sutopo terdiri atas enam tahapan, yaitu *Concept*, *Design*, *Material Collecting*, *Assembly*, *Testing*, dan *Distribution* [15]. Keunggulan model ini terletak pada tahap *material collecting* dan *assembly* yang memungkinkan penggunaan aset multimedia yang telah tersedia sehingga mempercepat proses pengembangan, dan tetap relevan baik untuk produk linear seperti video maupun non-linear seperti aplikasi AR dan *game* edukasi [15]. Media pembelajaran berbasis Android dinilai strategis karena menyesuaikan proses pendidikan dengan kebiasaan peserta didik yang telah terbiasa menggunakan teknologi sejak usia dini, serta terbukti meningkatkan motivasi dan hasil belajar siswa [13], [14].

2.4 Pengujian Perangkat Lunak dan Perceived Ease of Use

Pengujian perangkat lunak bertujuan mengidentifikasi kesalahan sebelum sistem diserahkan kepada pengguna [16]. *Black box testing* berfokus pada pengujian fungsionalitas tanpa memperhatikan struktur kode program, sehingga penguji hanya mengevaluasi kesesuaian keluaran dengan spesifikasi yang ditetapkan [16], [17]. Selain aspek fungsional, kemudahan penggunaan atau *perceived ease of use* (PEU) didefinisikan sebagai sejauh mana pengguna percaya bahwa penggunaan suatu teknologi akan bebas dari usaha yang berat [18]. PEU terbukti berpengaruh positif terhadap *perceived usefulness* serta niat berkelanjutan pengguna terhadap suatu sistem [19], [20], dengan indikator meliputi kemudahan mempelajari, kemudahan menyelesaikan tugas, peningkatan minat, dan kemudahan pengoperasian.

2.5 Pengelolaan Sampah dan Penelitian Terkait

Pengelolaan sampah mencakup rangkaian proses sistematis mulai dari timbulan hingga pemanfaatan akhir, meliputi tahap pengangkutan, pemilahan, pemadatan, distribusi ke fasilitas daur ulang, serta edukasi dan evaluasi [22]. Edukasi pemilahan sampah di lingkungan sekolah, dengan pengkategorian sampah organik, anorganik, dan residu, terbukti efektif mendukung kebiasaan memilah sejak

dini [22]. Beberapa penelitian terkait yang dipublikasikan pada *Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan* (JITET) turut menegaskan efektivitas AR sebagai media pembelajaran berbasis Android bagi siswa Sekolah Dasar [28], serta penerapan *black box testing* sebagai metode pengujian fungsionalitas aplikasi mobile [29], yang keduanya relevan dan menjadi acuan metodologis dalam penelitian ini.

3. METODE PENELITIAN

3.1 Tempat, Waktu, dan Objek Penelitian

Penelitian dilaksanakan di SD Islam Al Hikmah Samarinda, yang beralamat di Jl. Tj. Jone No. 89, Kelurahan Mesjid, Kecamatan Samarinda Seberang, Kota Samarinda, Provinsi Kalimantan Timur, pada periode Mei hingga November 2025. Objek penelitian adalah aplikasi multimedia interaktif berbasis Android yang dirancang untuk meningkatkan pemahaman siswa Sekolah Dasar terhadap pengelolaan sampah, khususnya konsep 3R (*Reduce, Reuse, Recycle*), dengan pemanfaatan teknologi AR agar pengalaman belajar lebih menarik, imersif, dan interaktif. Aplikasi dikembangkan menggunakan Unity 3D dan Vuforia Engine dengan bahasa pemrograman C#, serta dirancang kompatibel dengan perangkat Android versi 10.0 (*Marshmallow*) ke atas.

3.2 Bahan dan Alat Penelitian

Bahan penelitian meliputi tinjauan pustaka terkait pengelolaan sampah, edukasi lingkungan, dan multimedia interaktif berbasis Android. Alat pendukung yang digunakan meliputi perangkat keras berupa laptop (prosesor AMD Ryzen 5, RAM 16 GB, SSD 512 GB) dan *smartphone* Android (RAM 8 GB, penyimpanan 256 GB), serta perangkat lunak Unity 3D, Vuforia, SketchUp, CorelDRAW, dan Balsamiq Wireframes untuk perancangan wireframe aplikasi.

3.3 Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian mengikuti model MDLC yang terdiri atas enam tahap [15]. Tahap *Concept* menentukan tujuan aplikasi, target pengguna, dan kebutuhan fungsional maupun non-fungsional berdasarkan hasil wawancara

dengan guru IPAS. Tahap *Design* merancang *storyboard*, struktur navigasi, *use case diagram*, dan antarmuka pengguna. Tahap *Material Collecting* mengumpulkan aset teks, gambar, objek 3D, dan audio. Tahap *Assembly* mengintegrasikan seluruh aset menggunakan Unity dan Vuforia menjadi aplikasi fungsional. Tahap *Testing* menguji aplikasi melalui *black box testing*, validasi materi, validasi bahasa, dan uji *perceived ease of use*, dengan kriteria kelayakan minimal 80%; apabila belum terpenuhi maka dilakukan revisi. Tahap *Distribution* mendistribusikan aplikasi dalam bentuk berkas APK melalui *platform* daring.

3.4 Teknik Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data dilakukan melalui studi literatur, wawancara dengan guru dan aktivis lingkungan mengenai kesesuaian materi dan bahasa, serta kuesioner untuk mengevaluasi fungsionalitas, validitas materi dan bahasa, serta kemudahan penggunaan. Pengujian *black box* melibatkan 8 mahasiswa Jurusan Teknologi Informasi yang memiliki kompetensi teknis memadai. Validasi materi dan bahasa dilakukan oleh guru pengampu mata pelajaran IPAS menggunakan skala Likert lima tingkat (Sangat Setuju, Setuju, Ragu-ragu, Tidak Setuju, Sangat Tidak Setuju), mengacu pada instrumen yang diadaptasi dari penelitian Kurniawan [21]. Uji *perceived ease of use* melibatkan 27 siswa SD Islam Al Hikmah Samarinda sebagai responden.

3.5 Teknik Analisis Data

Teknik analisis data menggunakan statistik deskriptif untuk memberikan gambaran umum hasil penelitian tanpa menguji hipotesis [2]. Skor rata-rata dihitung dengan rumus $\bar{X} = \Sigma x / N$, dengan Σx adalah total skor yang diberikan dan N adalah jumlah penilai. Skor rata-rata selanjutnya dikonversi menjadi persentase kelayakan dengan rumus $P (\%) = (\text{skor rata-rata} / \text{skor maksimum}) \times 100\%$. Hasil konversi diinterpretasikan menggunakan kategori kelayakan pada Tabel 1.

Tabel 1. Skala Persentase Kelayakan

No.	Kategori	Nilai
1	Sangat Layak	81%-100%
2	Layak	61%-80%
3	Cukup Layak	41%-60%

4	Tidak Layak	21%-40%
5	Sangat Tidak Layak	<20%

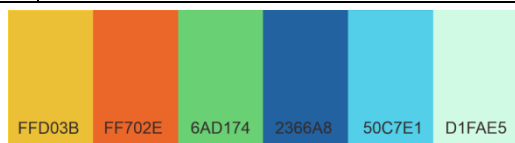
4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Concept

Aplikasi yang dikembangkan diberi nama *EcoEtam Pilah*, dioptimalkan untuk pengguna usia 8-15 tahun, namun dapat digunakan oleh masyarakat umum. Berdasarkan wawancara dengan guru pengampu IPAS, diperoleh kebutuhan bahwa belum tersedia media pembelajaran interaktif alternatif di sekolah, siswa telah mampu mengoperasikan smartphone, dan tampilan aplikasi disarankan menggunakan warna yang bervariasi dan cerah. Kebutuhan fungsional aplikasi dirangkum pada Tabel 2, sedangkan kebutuhan non-fungsional mencakup kompatibilitas Android versi 10 ke atas, resolusi 1080×1920 mode *landscape*, antarmuka minimalis dengan ikon sederhana, serta palet warna *soft* dan *colorful* seperti pada Gambar 1.

Tabel 2. Kebutuhan Fungsional Aplikasi

No.	Kebutuhan Fungsional
1	Menampilkan materi dalam bentuk teks, gambar, serta video dengan audio.
2	Menampilkan animasi/objek 3D berbasis Augmented Reality ketika kamera diarahkan ke marker.
3	Menampilkan kuis interaktif pilihan ganda untuk menguji pemahaman siswa.
4	Menyediakan mini game edukasi (game mencari objek).
5	Menampilkan profil pengembang aplikasi.



Gambar 1. Palet Warna Aplikasi EcoEtam Pilah

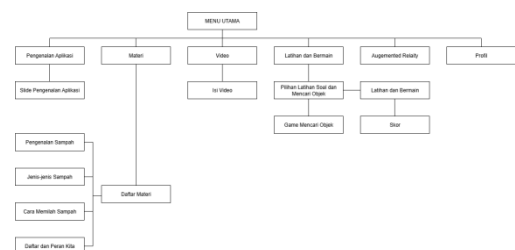
4.2 Design

Perancangan aplikasi diawali dengan penyusunan *storyboard* yang menggambarkan alur penggunaan aplikasi mulai dari halaman *loading*, halaman utama (Gambar 2), pengenalan aplikasi, materi, video, latihan dan permainan, hingga profil pengembang. Halaman utama menyediakan tombol Pengenalan Aplikasi, Materi, Video, Latihan & Bermain, Augmented Reality, Profil

Pengembang, dan Keluar. Struktur navigasi antarhalaman aplikasi ditunjukkan pada Gambar 3, yang memperlihatkan alur perpindahan antarhalaman secara menyeluruh.



Gambar 2. Tampilan Halaman Utama Aplikasi



Gambar 3. Struktur Navigasi Aplikasi

Perancangan dilanjutkan dengan *use case diagram* yang menggambarkan interaksi antara pengguna (*user*) dengan sistem, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4. Aplikasi mencakup sepuluh *use case* utama, yaitu pengenalan aplikasi, materi, isi materi, video, isi video, latihan dan bermain, latihan soal, skor, game mencari objek, Augmented Reality, dan profil. Fitur AR memungkinkan pengguna melihat objek 3D sampah beserta informasi pendukungnya secara interaktif melalui kamera perangkat.



Gambar 4. Use Case Diagram Aplikasi

4.3 Material Collecting dan Assembly

Bahan yang dikumpulkan meliputi aset teks dengan huruf *Doubbledecker* yang tebal dan bergaya *doodle* agar menarik bagi siswa Sekolah Dasar, gambar ikon dan tombol yang dibuat menggunakan CorelDRAW, dua belas

objek 3D (seperti kaleng, botol kaca, kompos, dan kerajinan daur ulang) yang dimodelkan menggunakan SketchUp, serta lima berkas audio narasi yang dihasilkan melalui *text-to-speech*. Pada tahap *assembly*, seluruh aset diintegrasikan menggunakan Unity sebagai *game engine* utama dengan Vuforia untuk fitur AR berbasis *Image Target*. Objek 3D disusun ke dalam larik bertahap dan diaktifkan secara berurutan menggunakan animasi *scale-in* ketika pengguna menekan tombol Mulai, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 5, sehingga kemunculan objek terlihat halus dan interaktif. Antarmuka AR dilengkapi *Canvas Unity* berisi teks instruksi, tombol Mulai dengan status aktif/tidak aktif sesuai deteksi *marker*, narasi audio melalui *AudioSource*, serta efek partikel visual untuk memperkuat pengalaman belajar.



Gambar 5. Tampilan Augmented Reality dengan Objek 3D

4.4 Testing

Pengujian aplikasi meliputi empat aspek, yaitu *black box testing* untuk fungsi sistem, validasi materi dan validasi bahasa oleh guru, serta uji *perceived ease of use* oleh siswa. Hasil *black box testing* terhadap 17 skenario pengujian yang dilakukan oleh 8 mahasiswa Teknologi Informasi menunjukkan seluruh fitur, mulai dari navigasi menu, pemutaran video, kuis interaktif, permainan mencari objek, hingga fitur Augmented Reality, berjalan sesuai spesifikasi tanpa ditemukan kesalahan, sebagaimana dirangkum pada Tabel 3.

Tabel 3. Ringkasan Hasil Black Box Testing

Kelompok Fitur yang Diuji	Jumlah Skenario	Berhasil
Navigasi menu utama dan antarhalaman	5	5/5
Materi, video, dan audio pembelajaran	3	3/3
Kuis dan latihan soal pilihan ganda	2	2/2
Game mencari objek	2	2/2

Fitur Augmented Reality	3	3/3
Profil pengembang	2	2/2
Total	17	17/17

Uji *perceived ease of use* melibatkan 27 siswa SD Islam Al Hikmah Samarinda menggunakan instrumen skala Likert yang diadaptasi dari Kurniawan [21]. Dari total skor 1.235 terhadap skor maksimum 1.350 (10 pertanyaan $\times$ 5 skala $\times$ 27 responden), diperoleh persentase kelayakan sebesar 91,48%, termasuk kategori Sangat Layak. Validasi materi oleh guru pengampu IPAS terhadap 10 pertanyaan menghasilkan skor 42 dari skor maksimum 50, atau 84% (Sangat Layak), sedangkan validasi bahasa menghasilkan skor 45 dari 50, atau 90% (Sangat Layak). Ketiga hasil pengujian tersebut dirangkum pada Tabel 4.

Tabel 4. Rekapitulasi Hasil Pengujian Kelayakan

Aspek	Skor	Maks.	Persentase	Kategori
Validasi Materi	42	50	84%	S. Layak
Validasi Bahasa	45	50	90%	S. Layak
<i>Perceived Ease of Use</i>	1235	1350	91,48%	S. Layak

Perhitungan persentase kelayakan validasi bahasa sebagai contoh dilakukan menggunakan rumus $P(\%) = (\text{skor rata-rata} / \text{skor maksimum}) \times 100\% = (45 / 50) \times 100\% = 90\%$, yang menempatkannya pada kategori Sangat Layak sesuai Tabel 1. Karena seluruh aspek pengujian mencapai persentase kelayakan $\geq 80\%$, aplikasi dinyatakan layak untuk didistribusikan sesuai kriteria yang ditetapkan pada tahap *Testing MDLC*.

4.5 Distribution

Setelah dinyatakan layak, aplikasi *EcoEtam Pilah* diekspor ke dalam format APK menggunakan Unity dan didistribusikan melalui platform *itch.io* pada tautan <https://ecoetam.itch.io/ecoetam-pilah>, sehingga pengguna dapat mengunduh dan menginstal aplikasi dengan mudah pada perangkat Android yang mendukung kamera untuk menjalankan fitur AR.

4.6 Pembahasan

Hasil implementasi menunjukkan bahwa seluruh komponen aplikasi berjalan baik pada perangkat Android yang mendukung AR. Fitur

AR menampilkan objek tiga dimensi dari berbagai jenis sampah melalui kamera perangkat, memberikan pengalaman belajar yang lebih nyata sehingga siswa lebih mudah memahami perbedaan dan karakteristik setiap jenis sampah dibandingkan media dua dimensi konvensional yang digunakan pada penelitian-penelitian terdahulu [24]-[27]. Hasil *black box testing* yang mencapai 100% keberhasilan menegaskan bahwa aplikasi telah memenuhi kebutuhan fungsional yang dirancang, sejalan dengan penerapan metode serupa pada penelitian yang dipublikasikan di JITET [29].

Dibandingkan dengan penelitian Atmodjo dkk. yang memperoleh skor usability 88,3% pada game edukasi sampah berbasis MDLC tanpa AR [23], aplikasi *EcoEtam Pilah* memperoleh persentase kemudahan penggunaan yang lebih tinggi, yaitu 91,48%, yang mengindikasikan bahwa integrasi AR tidak mengurangi kemudahan penggunaan, bahkan turut mendukung pengalaman belajar yang lebih menarik. Skor validasi materi dan bahasa pada penelitian ini (84% dan 90%) juga sejalan dengan skor validasi pada penelitian Kurniawan yang mengembangkan multimedia interaktif serupa dengan skor 94,28% dan 85,71% [21], menunjukkan bahwa instrumen validasi yang diadaptasi konsisten digunakan pada konteks pengembangan media pembelajaran berbasis Android.

Rata-rata keseluruhan dari ketiga aspek pengujian (validasi materi, validasi bahasa, dan *perceived ease of use*) mencapai 88,49%, yang menegaskan bahwa aplikasi berhasil menggabungkan unsur edukatif dan teknologi AR dengan sangat baik. Secara teoretis, temuan ini memperkuat relevansi model MDLC untuk pengembangan media pembelajaran non-linear berbasis AR sebagaimana dikemukakan oleh Roedavan dkk. [15], sekaligus memberikan bukti empiris bahwa penerapan AR pada jenjang Sekolah Dasar dapat meningkatkan motivasi belajar dan pemahaman konsep secara konkret, sesuai dengan karakteristik kognitif anak usia operasional konkret [7]. Secara praktis, aplikasi ini dapat menjadi media pembelajaran pendukung yang mudah diakses oleh guru maupun siswa tanpa memerlukan perangkat tambahan selain smartphone Android.

Penelitian ini memiliki keterbatasan pada cakupan uji coba yang hanya melibatkan satu sekolah dengan 27 responden siswa, sehingga generalisasi hasil pada populasi yang lebih luas perlu dilakukan dengan hati-hati. Selain itu, aplikasi saat ini hanya tersedia pada platform Android dan berfokus pada materi 3R, sehingga pengembangan lebih lanjut dengan cakupan materi dan platform yang lebih luas akan memberikan manfaat yang lebih besar bagi dunia pendidikan lingkungan hidup.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pengujian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

- a. Aplikasi multimedia interaktif edukasi pengelolaan sampah berbasis Android bernama *EcoEtam Pilah* berhasil dikembangkan menggunakan model *Multimedia Development Life Cycle* (MDLC) melalui tahap *Concept, Design, Material Collecting, Assembly, Testing*, dan *Distribution*, dengan memanfaatkan Unity 3D dan Vuforia Engine untuk menghadirkan visualisasi objek 3D berbasis *Augmented Reality* pada materi 3R (*Reduce, Reuse, Recycle*).
- b. Hasil pengujian *black box* menunjukkan seluruh 17 skenario fungsi aplikasi berjalan sesuai spesifikasi tanpa kesalahan. Hasil validasi materi oleh guru mencapai 84%, validasi bahasa mencapai 90%, dan uji *perceived ease of use* terhadap 27 siswa mencapai 91,48%, dengan rata-rata keseluruhan 88,49%, seluruhnya berkategori Sangat Layak.
- c. Aplikasi *EcoEtam Pilah* terbukti layak digunakan sebagai media pembelajaran alternatif yang interaktif, menarik, dan mudah digunakan bagi siswa Sekolah Dasar dalam memahami konsep pengelolaan sampah sejak dini.

Pengembangan selanjutnya disarankan untuk memperluas dukungan aplikasi pada platform iOS, menambah cakupan materi lingkungan seperti konservasi energi dan pengurangan emisi karbon, serta menambahkan sistem evaluasi otomatis atau skor permainan agar guru dapat menilai pemahaman siswa secara langsung.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada SD Islam Al Hikmah Samarinda atas izin dan dukungan pelaksanaan uji coba aplikasi, kepada dosen pembimbing Program Studi Teknik Informatika Multimedia Politeknik Negeri Samarinda atas bimbingan selama penelitian, serta kepada seluruh pihak yang telah membantu proses validasi dan pengujian aplikasi ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, "Capaian Kinerja Pengelolaan Sampah Tahun 2024 (SIPSN)," Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional, 2024. [Online]. Available: <https://sipsn.kemenvh.go.id/sipsn/>
- [2] S. Arikunto, *Prosedur Penelitian, Suatu Pendekatan Praktik*. Jakarta: PT Rineka Cipta, 2013.
- [3] T. N. Ratu, Y. Rindengan, and X. Najoan, "Rancang Bangun Pendataan Tamu Berbasis *Android* Menggunakan *QR Code*," *Jurnal Teknik Informatika*, 2022. [Online]. Available: <https://ejournal.unsrat.ac.id/index.php/informatika>
- [4] M. R. Maulani and R. Nursolihah, "Rancang bangun sistem informasi inventori furniture menggunakan metode mark up pricing pada toko xyz," *Jurnal Teknik Informatika*, vol. 14, no. 1, 2022.
- [5] S. Setiyanto, I. Cahyo Utomo, A. Mutia Dawis, T. Yulianti, N. Budi Nugraha, F. Natsir, H. Yuniarti Suhendi, and A. Rois Syujak, *Multimedia dan Sains: Penerapan Teknologi untuk Penelitian dan Penyampaian Informasi*. Bandung: Widina Media Utama, 2023.
- [6] N. Lestari, *Media Pembelajaran Berbasis Multimedia Interaktif*, Mainisya Pertiwi, Ed. Jakarta: PT Penamuda Media, 2023.
- [7] R. Imanulhaq and Ichsan, "Analisis teori perkembangan kognitif Piaget pada tahap anak usia operasional konkret 7-12 tahun sebagai dasar kebutuhan media pembelajaran," *Jurnal Waniambey: Journal of Islamic Education*, vol. 3, no. 2, 2022.
- [8] N. Nasution, Y. Darmayunata, and S. Wahyuni, *Augmented Reality dan Pembelajaran di Era Digital*, 1st ed., A. Bastian, Ed. Bandung: Penerbit Adab, 2022.
- [9] M. C. Wibowo and J. T. Santoso, *Membuat Video Game dengan 3D Unity*, M. C. Wibowo, Ed. Semarang: Universitas Sains & Teknologi Komputer, 2022.
- [10] PTC Inc., "Vuforia Features Overview." [Online]. Available: <https://developer.vuforia.com> (accessed Jul. 26, 2025).
- [11] T. A. A. Nugroho, Ruffi'i, and Suhari, "Pengembangan Media Belajar Berbasis Aplikasi *SketchUp* 3D Model ADDIE," *Edutech*, vol. 24, no. 1, pp. 422-440, 2025.
- [12] H. Nisa, Jumadi, and Mastur, "Pemanfaatan *CorelDRAW* untuk menunjang kreativitas mahasiswa dalam kegiatan pembelajaran mandiri," *Journal of Instructional Technology*, vol. 5, no. 1, pp. 104-116, 2024.
- [13] A. Malik, Y. Sutopo, A. Yuwono, B. Subali, and N. Widiarti, "Pengembangan media pembelajaran berbasis *android* di sekolah dasar periode 2020-2024," *Pendas: Jurnal Ilmiah Pendidikan Dasar*, vol. 9, no. 4, pp. 170-181, 2024.
- [14] D. Pratama, N. Kholis, P. W. Rusimamto, and M. S. Zuhrie, "Pengembangan media pembelajaran berbasis *android* untuk meningkatkan hasil belajar siswa pada mata pelajaran sistem kontrol elektronik," *Jurnal Pendidikan Teknik Elektro*, vol. 13, no. 3, pp. 215-222, 2024.
- [15] R. Roedavan, B. Pudjoatmodjo, and A. Putri Sujana, *Multimedia Development Life Cycle (MDLC)*. Bandung, 2022.
- [16] G. K. S. Tresnavitane, P. Mudjihartono, and Y. Harjoseputro, "Aplikasi Mobile untuk Lelang Mobil dengan Metode *Black Box* menggunakan *Automation Testing Tool*," *Jurnal Informatika Atma Jogja*, vol. 1, no. 1, 2020.
- [17] D. S. Sembiring, M. D. Irawan, and Y. H. Siregar, "Pengembangan Aplikasi Mobile Sistem Informasi Pengaduan Masyarakat dengan Pendekatan *Waterfall* dan Pengujian *Black Box*," *Jurnal Garuda Pengabdian Kepada Masyarakat*, vol. 2, no. 2, 2024.
- [18] I. P. Nuralam, N. Yudiono, M. R. A. Fahmi, E. S. Yuliji, and T. Hidayat, "Perceived ease of use, perceived usefulness, and customer satisfaction as driving factors on repurchase intention: the perspective of the e-commerce market in Indonesia," *Cogent Business and Management*, vol. 11, no. 1, 2024.
- [19] F. Sudirjo, M. R. Tawil, S. Imanirubiarko, L. Judijanto, and T. R. Fauzan, "The Influence of Insecurity, Perceived of Technology Innovativeness, Perceived Ease of Use and Perceived Usefulness on Consumers Intention to Use Electronic Toll Payment Cards," *Jurnal Informasi dan Teknologi*, pp. 92-97, 2023.
- [20] D. Jatimoyo, F. Rohman, and A. Djazuli, "The effect of perceived ease of use on continuance intention through perceived usefulness and trust," *International Journal of Research in Business and Social Science*, vol. 10, no. 4, pp. 430-437, 2021.
- [21] M. A. Kurniawan, "Pengembangan multimedia interaktif pengenalan software dan hardware bagi siswa sekolah dasar berbasis *android*," Universitas Jambi, 2023.
- [22] Y. E. Ine Dae, E. W. Asman, M. O. Dahut, and Ismilantari, "Analisis Pengelolaan Sampah Organik dan Anorganik oleh *Indonesian Waste Platform*, Labuan Bajo," *JPTM: Jurnal Penelitian Terapan Mahasiswa*, vol. 3, no. 1, 2025.
- [23] D. W. Atmodjo, A. Herdiansah, and I. Nanda, "Pengembangan Game Edukasi Interaktif Pengenalan dan Pengelolaan Sampah Menggunakan Pendekatan *Multimedia Development Life Cycle*," *Reputasi: Jurnal Rekayasa Perangkat Lunak*, vol. 5, no. 2, 2024.
- [24] M. F. H. Fairuza, R. E. Saputro, R. Ardianto, K. B. Maulidia, and S. Asmiatun, "Game Edukasi

- Pengenalan Kebersihan Lingkungan Untuk Anak Usia Dini," 2024.
- [25] P. Dewi and A. N. Alfian, "Media Pembelajaran Interaktif Pemilahan Sampah Berbasis *Flash* Pada SDN Margahayu XVII," vol. 5, no. 2, pp. 75-84, 2021.
- [26] M. Fitri, D. Hendriawan, and R. N. Arzaqi, "Pengembangan Game *PILAS* (Pilah Sampah) untuk Pengenalan Jenis Sampah pada Anak Usia 5-6 Tahun," vol. 12, no. 2, pp. 211-219, 2025.
- [27] W. N. Febrianti and T. Ferga Prasetyo, "Rancang Bangun Game Edukasi Pembuatan Daur Ulang Sampah Berbasis *Android* (Studi Kasus Pelajar di Desa Cibodas)," *Prapanca Jurnal Abdimas*, vol. 3, no. 1, 2023.
- [28] A. Aan, M. Muhallim, and H. Abduh, "*Augmented Reality* dalam Media Pembelajaran Sistem Anatomi Tumbuhan Kacang Tanah pada SDN 375 Lalong Selatan Sekolah Berbasis *Android*," *Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan*, vol. 13, no. 3, 2025, doi: 10.23960/jitet.v13i3.6560.
- [29] S. C. Mulyo Rachmanto, H. A. Agatha, T. Ramdani, A. Y. Ardiyansyah, I. A. Pratama, and A. Sholehudin, "Pengujian Aplikasi Sapawarga (Jabar Super Apps) Menggunakan Metode *Black Box Testing*," *Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan*, vol. 12, no. 3, 2024, doi: 10.23960/jitet.v12i3.4741.
- [30] Republik Indonesia, *Undang-Undang Nomor 32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup*. Jakarta: Sekretariat Negara, 2009. [Online]. Available: <https://jdih.kemenkeu.go.id/api/download/fulltext/2009/32TAHUN2009UU.htm>