MASALIQ
Jurnal Pendidikan dan Sains

e-ISSN: 2808-8115
p-ISSN: 2809-1051

Terindeks: Sinta 5, Copernicus, Dimensions, Scilit, Lens, Crossref, Garuda, Google Scholar, Base, etc

https://doi.org/10.58578/masaliq.v6i5.11601

RANCANG BANGUN *AUGMENTED REALITY BOOK* EDUKASI "APA YANG TIDAK BISA KULIHAT"

Design and Development of the Educational Augmented Reality Book "What I Cannot See"

Ranti Rahmadhani & Chintiya Larashati
Universitas Negeri Padang
rantirahmadhani7@gmail.com; hintiyalarashati1599@gmail.com

Article Info:

Submitted:	Revised:	Accepted:	Published:
Jun 17, 2026	Jul 15, 2026	Jul 27, 2026	Aug 1, 2026

Abstract

Although the use of augmented reality in early childhood education continues to develop, media that specifically visualize invisible phenomena through the integration of physical books, three-dimensional objects, animation, audio, and interaction remain limited. This study aimed to design and develop the educational Augmented Reality Book *Apa yang Tidak Bisa Kulihat* for children aged 3–6 years. The study employed a research and development approach with the stages of research, design, and development. A total of 25 respondents were selected using a purposive sampling technique. Data were collected through observation, Likert-scale questionnaires, open-ended questions, short interviews, and a literature review, and were then analyzed using descriptive quantitative and qualitative methods. The results of the study produced an interactive illustrated book with five features, namely AR Cover, AR Wind, AR Smell, AR Bacteria, and AR Sound. Alpha testing showed that six components, including navigation, functioned according to the design with a 100% success rate. The product was able to display three-dimensional objects, animation, audio, and interactive responses after the image target was recognized. These findings enrich the development of augmented reality-based early science learning media and

Masaliq Journal is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International License

demonstrate the potential of integrating physical books and digital technology as an interactive educational medium. Further testing involving children, parents, and teachers is needed to assess the learning effectiveness and ease of use of the product.

Keywords: Augmented Reality Book; Invisible Phenomena; Marker-Based Augmented Reality; Interactive Learning Media; Early Childhood Education

Abstrak: Meskipun pemanfaatan *augmented reality* dalam pendidikan anak usia dini terus berkembang, media yang secara khusus memvisualisasikan fenomena tak kasatmata melalui integrasi buku fisik, objek tiga dimensi, animasi, audio, dan interaksi masih terbatas. Penelitian ini bertujuan merancang dan mengembangkan *Augmented Reality Book* edukasi "Apa yang Tidak Bisa Kulihat" bagi anak usia 3–6 tahun. Penelitian menggunakan pendekatan *research and development* dengan tahapan *research*, *design*, dan *development*. Sebanyak 25 responden dipilih menggunakan teknik *purposive sampling*. Data dikumpulkan melalui observasi, kuesioner berskala Likert, pertanyaan terbuka, wawancara singkat, dan studi literatur, kemudian dianalisis secara deskriptif kuantitatif dan kualitatif. Hasil penelitian menghasilkan buku ilustrasi interaktif dengan lima fitur, yaitu *AR Cover*, *AR Wind*, *AR Smell*, *AR Bacteria*, dan *AR Sound*. Pengujian alfa menunjukkan bahwa enam komponen, termasuk navigasi, berfungsi sesuai rancangan dengan tingkat keberhasilan 100%. Produk mampu menampilkan objek tiga dimensi, animasi, audio, dan respons interaktif setelah *image target* dikenali. Temuan ini memperkaya pengembangan media pembelajaran sains awal berbasis *augmented reality* serta menunjukkan potensi integrasi buku fisik dan teknologi digital sebagai media edukatif yang interaktif. Pengujian lanjutan terhadap anak, orang tua, dan guru diperlukan untuk menilai efektivitas pembelajaran dan kemudahan penggunaan produk.

Kata Kunci: *Augmented Reality Book*; Fenomena Tak Kasatmata; *Marker-Based Augmented Reality*; Media Pembelajaran Interaktif; Pendidikan Anak Usia Dini

PENDAHULUAN

Pendidikan anak usia dini merupakan tahap penting bagi pembentukan kemampuan berpikir, berbahasa, berkomunikasi, dan membangun kebiasaan belajar anak. Usia 3–6 tahun ditandai oleh perkembangan kognitif, sosial, emosional, dan bahasa yang berlangsung pesat sehingga pengalaman belajar yang diperoleh pada periode ini turut memengaruhi kesiapan anak menghadapi jenjang pendidikan berikutnya. Anak pada rentang usia tersebut umumnya memiliki rasa ingin tahu yang tinggi, menyukai kegiatan bermain, tertarik pada gambar, serta belajar melalui interaksi langsung dengan benda dan lingkungan di sekitarnya (Andayani, 2021). Rasa ingin tahu perlu dipelihara melalui pembelajaran yang memberi ruang bagi anak untuk mengamati, bertanya, mencoba, dan menceritakan kembali pengalaman yang diperolehnya. Kegiatan semacam ini tidak hanya memperluas pengetahuan, tetapi juga menumbuhkan kemampuan komunikasi dan keberanian anak dalam mengekspresikan gagasan (Nurhidayah & Utami, 2023). Pembelajaran yang memberikan kesempatan

bereksplorasi juga dapat memperkuat rasa ingin tahu dan tanggung jawab anak terhadap proses belajarnya (Winarsih & Wahyuningsih, 2024).

Karakteristik kognitif anak usia 3–6 tahun menghadirkan tantangan ketika materi pembelajaran berkaitan dengan konsep yang tidak dapat diamati secara langsung. Anak pada tahap praoperasional telah mampu menggunakan kata, gambar, dan simbol untuk mewakili objek tertentu, tetapi kemampuan memahami hubungan sebab-akibat dan konsep abstrak masih berkembang. Penjelasan verbal mengenai mikroba, gelombang suara, udara, dan medan magnet berpotensi sulit dipahami karena objek atau proses tersebut tidak hadir secara nyata di hadapan anak. Fenomena tak kasat mata sebenarnya dekat dengan kehidupan sehari-hari, seperti mikroba yang menempel pada tangan, udara yang menggerakkan benda, suara yang merambat hingga terdengar oleh telinga, serta gaya magnet yang menarik benda tertentu. Pengenalan konsep sains kepada anak karenanya perlu mengandalkan visualisasi, percobaan sederhana, cerita, dan pengalaman sensoris yang sesuai dengan tahapan perkembangan mereka. Eksperimen sederhana dapat membantu anak menemukan sifat suatu fenomena melalui pengamatan langsung, tetapi tidak seluruh proses ilmiah dapat divisualisasikan hanya dengan alat peraga konvensional (Asy'ari & Rachmawati, 2022).

Persoalan literasi turut memperkuat kebutuhan terhadap media pembelajaran yang dekat dengan cara anak memahami informasi. Hasil Programme for International Student Assessment 2022 menunjukkan bahwa hanya sekitar 25% peserta didik Indonesia berusia 15 tahun yang mencapai tingkat kemahiran membaca minimum, sedangkan rata-rata skor membaca Indonesia masih berada di bawah rata-rata negara OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development [OECD], 2023). PISA memang tidak mengukur kemampuan anak usia dini, tetapi hasil tersebut menunjukkan bahwa penguatan kebiasaan membaca dan pemahaman bacaan perlu dibangun sejak tahap awal pendidikan. Kajian mengenai perilaku literasi dunia juga menempatkan Indonesia pada kelompok negara dengan tingkat literasi yang masih rendah apabila ditinjau berdasarkan kebiasaan membaca dan infrastruktur pendukungnya (Miller & McKenna, 2016). Media bacaan anak perlu dirancang dengan format yang mudah dibaca karena keterbacaan memengaruhi kecepatan membaca dan pemahaman informasi (Day et al., 2024). Ilustrasi yang menarik, komposisi halaman yang tidak padat, warna yang sesuai, dan cerita yang dekat dengan pengalaman anak dapat membantu menjaga perhatian sekaligus mendorong mereka menceritakan kembali informasi yang diperoleh (Ariyani, 2024; Sutanto et al., 2023).

Kehadiran perangkat digital pada kehidupan anak membawa peluang sekaligus risiko bagi proses pendidikan. Perangkat seluler sering digunakan untuk mengakses video hiburan atau permainan yang belum tentu sesuai dengan kebutuhan perkembangan anak. Penggunaan tanpa batas dan tanpa pendampingan dapat mengurangi aktivitas fisik, interaksi sosial, serta waktu yang seharusnya digunakan untuk bermain dan membaca. Organization (2019), menekankan pentingnya membatasi aktivitas sedentari berbasis layar pada anak usia di bawah lima tahun serta menyeimbangkannya dengan aktivitas fisik, tidur, dan interaksi langsung. Meskipun demikian, perangkat digital tidak selalu perlu diposisikan sebagai penghambat perkembangan. Nilai pendidikan suatu teknologi bergantung pada kualitas konten, kesesuaian usia, durasi penggunaan, bentuk interaksi, dan keterlibatan orang dewasa. Penelitian tentang buku bergambar berbasis AR menunjukkan bahwa sebagian anak prasekolah masih memerlukan bantuan orang tua ketika mengoperasikan perangkat, sehingga media digital untuk anak sebaiknya dirancang sederhana, aman, mudah digunakan, dan membuka kesempatan terjadinya interaksi antara anak dengan pendampingnya (Wang, 2022).

Teknologi *augmented reality* menawarkan alternatif untuk mempertemukan aktivitas membaca dengan pengalaman visual yang lebih konkret. AR menggabungkan lingkungan nyata dengan objek virtual yang ditampilkan secara waktu nyata melalui kamera dan layar perangkat digital (Billinghurst et al., 2015). Teknologi ini memungkinkan gambar pada buku dikembangkan menjadi objek tiga dimensi, animasi, suara, atau narasi tanpa menghilangkan keberadaan buku sebagai media fisik. Teknik *marker-based augmented reality* menggunakan gambar atau pola tertentu sebagai penanda yang dikenali kamera untuk memunculkan konten virtual. Anak dapat mengarahkan kamera perangkat ke ilustrasi pada halaman buku, kemudian mengamati representasi digital dari objek yang sedang dibaca. Karakteristik tersebut menjadikan AR relevan untuk pembelajaran sains karena mampu membantu memvisualisasikan proses yang terlalu kecil, terlalu cepat, tidak terlihat, atau sulit dihadirkan secara langsung. Pemanfaatan AR pada pembelajaran sains juga berpotensi meningkatkan visualisasi, interaksi, motivasi, dan pemahaman konsep, meskipun kualitas hasil belajar tetap dipengaruhi oleh desain konten serta kesiapan perangkat yang digunakan (Akçayır & Akçayır, 2017; Wu et al., 2013).

Sejumlah penelitian terdahulu telah menunjukkan potensi buku berbasis AR bagi pengalaman membaca anak. Danaei et al. (2020) menemukan bahwa anak yang membaca buku cerita berbasis AR memperoleh hasil pemahaman bacaan yang lebih baik dibandingkan anak yang menggunakan buku cetak biasa, terutama pada kemampuan menceritakan kembali

dan menjawab pertanyaan mengenai cerita. Hasil serupa diperoleh Şimşek (2024), yang menunjukkan adanya peningkatan pemahaman cerita dan kemampuan menceritakan kembali pada anak prasekolah setelah menggunakan buku cerita berbasis AR. Perspektif anak terhadap penggunaan AR juga memperlihatkan keterlibatan perilaku, kognitif, afektif, dan sosial yang muncul ketika fitur digital terintegrasi secara relevan dengan isi buku (Alhamad et al., 2024). Interaksi anak prasekolah dengan aplikasi AR, bagaimanapun, tidak selalu berlangsung secara otomatis. Kemudahan navigasi, kestabilan objek, respons aplikasi, keterbacaan tampilan, serta bantuan guru atau orang tua menentukan keberhasilan pengalaman belajar anak (Albayrak & Yılmaz, 2022). Temuan tersebut menegaskan bahwa teknologi perlu melayani kebutuhan belajar dan isi cerita, bukan sekadar menjadi unsur dekoratif yang menarik perhatian sesaat.

Kajian yang telah dilakukan masih menyisakan ruang pengembangan pada aspek sasaran pengguna, materi, dan integrasi medianya. Penelitian Wang (2022) lebih banyak membahas prinsip desain buku bergambar AR dan kebutuhan interaksi anak usia 4–5 tahun, sedangkan Şimşek (2024) menitikberatkan pengaruh AR terhadap pemahaman cerita. Penelitian Alhamad et al. (2024) mengkaji keterlibatan membaca anak berusia 8–10 tahun sehingga karakteristik penggunanya berbeda dari anak usia dini. Penelitian di Indonesia mengenai media anak juga lebih banyak berfokus pada poster dua dimensi, buku ilustrasi, atau eksperimen sederhana untuk meningkatkan kemampuan bercerita, mengenalkan perilaku tertentu, dan menumbuhkan rasa ingin tahu (Winarsih & Wahyuningsih, 2024). Kajian yang secara khusus menggabungkan buku fisik, ilustrasi ramah anak, animasi tiga dimensi, audio, narasi, dan *marker-based AR* untuk menjelaskan beberapa fenomena tak kasat mata kepada anak usia 3–6 tahun masih terbatas.

Kebaruan penelitian ini terletak pada perancangan AR Book Edukasi berjudul "Apa yang Tidak Bisa Kulihat" yang secara khusus mengangkat empat fenomena tak kasat mata, yaitu mikroba, gelombang suara, udara, dan medan magnet. Media dirancang bukan sekadar memindahkan isi buku cetak ke layar digital, melainkan membangun hubungan yang saling melengkapi antara narasi, ilustrasi, penanda visual, objek tiga dimensi, animasi, dan audio. Pendekatan tersebut berpijak pada karakteristik perkembangan kognitif anak yang membutuhkan representasi simbolis sekaligus pengalaman visual yang konkret. Prinsip keterbacaan, kesederhanaan tampilan, kemudahan pengoperasian, keamanan penggunaan, dan pendampingan orang dewasa juga menjadi dasar perancangan media (Wang, 2022). Integrasi dunia nyata dan objek virtual diharapkan membantu anak menghubungkan gambar

pada buku dengan proses ilmiah yang sebelumnya sulit dibayangkan, sedangkan penyajian cerita menjaga kegiatan belajar tetap dekat dengan pengalaman membaca yang hangat dan menyenangkan (Billinghurst et al., 2015).

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun Augmented Reality Book Edukasi "Apa yang Tidak Bisa Kulihat" berbasis *marker-based augmented reality* sebagai media pengenalan mikroba, gelombang suara, udara, dan medan magnet bagi anak usia 3–6 tahun. Penelitian juga diarahkan untuk menghasilkan media yang sesuai dengan karakteristik perkembangan anak melalui perpaduan buku bergambar, objek virtual, animasi, audio, dan narasi, serta menilai kelayakannya berdasarkan aspek fungsionalitas, tampilan visual, keterbacaan, kemudahan penggunaan, dan kesesuaian materi. Produk yang dihasilkan diharapkan dapat memperluas pengalaman literasi anak, mendukung pembelajaran sains awal, memelihara rasa ingin tahu, serta mengarahkan penggunaan perangkat digital menuju kegiatan edukatif yang lebih bermakna.

METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan *Research and Development* (R&D) yang diarahkan untuk menghasilkan media pembelajaran berupa Augmented Reality Book Edukasi "Apa yang Tidak Bisa Kulihat". Rancangan pengembangan meliputi tiga tahap utama, yaitu *research*, *design*, dan *development*. Tahap *research* dilakukan untuk mengidentifikasi kebutuhan pengguna, karakteristik anak usia 3–6 tahun, durasi interaksi yang sesuai, serta bentuk penyajian materi yang mudah dipahami. Tahap *design* mencakup penyusunan struktur isi, alur cerita, *storyboard*, karakter, ilustrasi, tipografi, warna, dan rancangan elemen interaktif. Tahap *development* meliputi pembuatan ilustrasi, model tiga dimensi, animasi, narasi, efek suara, dan integrasi seluruh elemen ke teknologi *marker-based augmented reality*. Produk dikembangkan sebagai ensiklopedia mini interaktif yang mengangkat empat fenomena tak kasat mata, yaitu udara, bau, suara, dan mikroba.

Partisipan penelitian berjumlah 25 responden yang terdiri atas mahasiswa, pekerja, dan ibu rumah tangga. Pemilihan responden menggunakan teknik *purposive sampling* dengan mengutamakan individu yang memiliki anak, adik, atau kerabat berusia 3–6 tahun. Sejumlah responden yang tidak memiliki kerabat pada rentang usia tersebut tetap dilibatkan sebagai sumber pandangan tambahan mengenai penggunaan media edukasi berbasis teknologi. Data dikumpulkan melalui observasi, kuesioner daring yang dibagikan melalui grup WhatsApp,

serta wawancara tatap muka singkat. Kuesioner memuat pernyataan berskala Likert untuk menilai daya tarik media, kemudahan penggunaan, potensi peningkatan perhatian, rasa ingin tahu, dan manfaat AR bagi anak. Pertanyaan terbuka digunakan untuk memperoleh informasi mengenai pengalaman responden, reaksi anak terhadap media digital, dan peran orang tua ketika mendampingi kegiatan belajar. Studi literatur terhadap 42 sumber berupa artikel ilmiah, buku, dan sumber pendukung juga dilakukan untuk memperkuat kajian tentang AR, animasi, audio, buku edukasi anak, ilustrasi, warna, dan tipografi.

Data kuantitatif dari kuesioner dianalisis secara deskriptif melalui pengelompokan jawaban berdasarkan pilihan skala Likert, kemudian digunakan untuk melihat kecenderungan persepsi responden terhadap kebutuhan dan kelayakan konsep media. Jawaban terbuka, catatan observasi, dan hasil wawancara dianalisis secara kualitatif melalui tahap reduksi data, pengelompokan berdasarkan tema, interpretasi, dan penarikan kesimpulan. Hasil analisis digunakan sebagai dasar penentuan konsep visual, struktur halaman, durasi interaksi, bentuk narasi, fitur audio, serta tingkat kompleksitas objek tiga dimensi. Analisis produk dilakukan secara formatif pada setiap tahap pengembangan dengan meninjau keterbacaan teks, konsistensi ilustrasi, kejelasan animasi, kualitas audio, kemudahan pemindaian marker, dan kesesuaian materi dengan karakteristik perkembangan anak usia dini. Prosedur tersebut dilakukan agar produk yang dihasilkan tidak hanya menarik secara visual, tetapi juga mudah digunakan, komunikatif, dan relevan sebagai media pengenalan fenomena tak kasat mata.

HASIL

1. Hasil Pengembangan Produk

Hasil penelitian berupa Augmented Reality Book Edukasi "Apa yang Tidak Bisa Kulihat" yang memadukan buku ilustrasi cetak dengan konten digital berbasis *marker-based augmented reality*. Produk dikembangkan untuk memperkenalkan empat fenomena tak kasat mata, yaitu udara atau angin, bau, bakteri, dan suara. Buku disusun ke dalam delapan *spread* yang menampilkan perjalanan seorang gadis kecil bersama tokoh itik pada lingkungan yang dekat dengan kehidupan anak, meliputi taman, halaman rumah, wastafel, dapur, dan ruang makan. Setiap ilustrasi pada halaman tertentu berfungsi sebagai *image target* yang dapat dipindai menggunakan kamera perangkat Android untuk menampilkan objek tiga dimensi, animasi, audio, dan bentuk interaksi yang sesuai dengan materi pada halaman tersebut.

Produk akhir terdiri atas ilustrasi buku dan lima fitur AR, yaitu AR Cover, AR Wind, AR Smell, AR Bacteria, dan AR Sound. Seluruh fitur dikembangkan melalui pengolahan aset dua dimensi dan tiga dimensi. Aset dua dimensi meliputi karakter, ekspresi, latar lingkungan, teks narasi, dan elemen halaman. Aset tiga dimensi meliputi model karakter, objek tangan, bakteri, pepohonan, taman, ruang dapur, peralatan rumah, serta objek pendukung lainnya. Animasi karakter yang dihasilkan mencakup gerakan berjalan, diam, dan melambai. Efek visual tambahan dibuat menggunakan *particle system* untuk menampilkan daun yang bergerak, busa sabun, bakteri, serta partikel yang merepresentasikan bau dan aroma.

Tabel 1. Hasil pengembangan komponen AR Book "Apa yang Tidak Bisa Kulihat"

No.	Komponen Produk	Hasil Pengembangan
1	Buku ilustrasi	Buku terdiri atas delapan spread yang memuat cerita mengenai udara, bau, bakteri, dan suara.
2	Karakter utama	Model gadis kecil dan itik dengan ekspresi ceria, penasaran, heran, kagum, dan memahami.
3	Lingkungan	Lingkungan yang dikembangkan meliputi taman, halaman rumah, dapur, wastafel, dan ruang makan.
4	Aset dua dimensi	Aset dua dimensi terdiri atas ilustrasi karakter, latar, dialog, narasi, warna, tipografi, dan elemen halaman.
5	Aset tiga dimensi	Aset tiga dimensi terdiri atas model karakter, tangan, bakteri, pohon, taman, dapur, kulkas, meja, wastafel, roti, tirai, dan objek pendukung.
6	Animasi	Animasi yang dikembangkan meliputi animasi idle, walking, wave, gerakan daun, proses mencuci tangan, dan gerakan objek pendukung.
7	Audio	Audio terdiri atas narasi, efek suara, dan suara yang diaktifkan sesuai dengan objek atau halaman.
8	Sistem AR	Sistem AR terdiri atas AR Camera, image target, model 3D, animasi, audio, tombol interaksi, dan navigasi.
9	Platform	Aplikasi dijalankan pada perangkat Android menggunakan Unity dan Vuforia.

Berdasarkan Tabel 1. Hasil Pengembangan Komponen AR Book "Apa yang Tidak Bisa Kulihat", produk yang dikembangkan tidak hanya berupa buku ilustrasi cetak, tetapi juga mencakup karakter, lingkungan, aset dua dimensi, aset tiga dimensi, animasi, audio, sistem augmented reality, dan platform aplikasi.

Buku terdiri atas delapan *spread* yang memuat empat materi utama. Karakter utama berupa seorang gadis kecil dan tokoh itik dirancang dengan beberapa ekspresi untuk mendukung penyampaian cerita. Lingkungan yang digunakan disesuaikan dengan kehidupan sehari-hari anak agar materi lebih mudah dipahami.

Komponen sistem augmented reality menggabungkan AR Camera, *image target*, model tiga dimensi, animasi, audio, tombol interaksi, dan navigasi. Seluruh komponen tersebut diintegrasikan menggunakan Unity dan Vuforia agar aplikasi dapat dijalankan pada perangkat Android.

2. Implementasi Fitur Augmented Reality

Fitur AR Cover menampilkan karakter tiga dimensi di atas sampul buku setelah kamera berhasil mengenali *image target*. Karakter dilengkapi dua bentuk interaksi, yaitu animasi berjalan dan melambai. Animasi dapat dijalankan melalui tombol yang tersedia pada antarmuka aplikasi. Fitur ini ditempatkan pada bagian awal sebagai tampilan pembuka sebelum pengguna mengakses materi utama buku.

Fitur AR Wind menampilkan lingkungan tiga dimensi berupa taman, pepohonan, dan jalur yang mengikuti komposisi ilustrasi pada halaman buku. Efek angin divisualisasikan melalui gerakan daun pada pohon dan partikel daun yang beterbangan. Gerakan tersebut dihasilkan melalui *shader*, skrip *Tree Sway*, serta *particle system*. Objek virtual muncul setelah kamera mengenali *image target* pada halaman bertema udara atau angin.

Fitur AR Smell menampilkan lingkungan tiga dimensi berupa ruang dapur yang dilengkapi beberapa objek sumber bau. Pengguna dapat memilih objek pada layar untuk mengaktifkan visualisasi partikel bau atau aroma. Skrip *Smell Object* digunakan untuk membedakan kategori aroma, sedangkan skrip keterangan objek menampilkan informasi mengenai objek yang dipilih. Hasil implementasi memperlihatkan bahwa objek dapur, partikel aroma, dan informasi pendukung dapat ditampilkan setelah marker dikenali oleh kamera.

Fitur AR Bacteria menampilkan model tiga dimensi berupa kedua tangan dengan sejumlah objek bakteri pada permukaannya. Pengguna dapat menyentuh bakteri yang muncul untuk menghilangkannya satu per satu. Skrip *Bacteria Pop* digunakan untuk mengatur respons bakteri ketika disentuh. Tombol mencuci tangan juga disediakan untuk mengaktifkan animasi pembersihan dan efek busa sabun. Tampilan fitur ini memperlihatkan perubahan kondisi tangan sebelum dan setelah interaksi dilakukan.

Fitur AR Sound menampilkan audio yang berkaitan dengan objek atau aktivitas pada halaman bertema suara. Aktivasi audio dilakukan setelah *image target* dikenali dan objek terkait dipilih. Materi suara pada buku juga diperkuat melalui narasi mengenai gerakan kedua tangan

yang menghasilkan bunyi tepukan. Seluruh fitur produk dan bentuk interaksinya dirangkum pada Tabel 2.

Tabel 2. Implementasi fitur Augmented Reality

No.	Fitur	Objek yang Ditampilkan	Bentuk Interaksi	Hasil Implementasi
1	AR Cover	Karakter gadis kecil tiga dimensi	Tombol animasi berjalan dan melambai	Karakter dan animasi berhasil ditampilkan.
2	AR Wind	Taman, pepohonan, jalur, dan daun	Aktivasi gerakan pohon dan efek daun beterbangan	Gerakan daun dan efek angin berhasil dijalankan.
3	AR Smell	Ruang dapur dan objek sumber aroma	Pemilihan objek sumber bau atau aroma	Partikel dan informasi aroma berhasil ditampilkan.
4	AR Bacteria	Model tangan, bakteri, busa, dan air	Menyentuh bakteri dan menekan tombol mencuci tangan	Bakteri dapat dihilangkan dan animasi pembersihan berhasil dijalankan.
5	AR Sound	Objek dan audio pada halaman suara	Pemilihan objek atau aktivasi audio	Audio berhasil diputar sesuai dengan objek.
6	Navigasi	Tombol perpindahan tampilan	Memilih halaman atau fitur yang akan digunakan	Perpindahan halaman berjalan sesuai dengan fungsinya.

Berdasarkan Tabel 2. Implementasi Fitur Augmented Reality, lima fitur utama dan satu fitur navigasi telah berhasil diterapkan. Fitur AR Cover menampilkan karakter tiga dimensi dengan animasi berjalan dan melambai. Fitur AR Wind berhasil menampilkan lingkungan taman, gerakan pohon, serta efek daun beterbangan sebagai representasi gerakan angin.

Fitur AR Smell berhasil menampilkan objek sumber aroma beserta partikel dan informasi pendukung. Fitur AR Bacteria memungkinkan pengguna menghilangkan bakteri dengan menyentuh objek dan mengaktifkan animasi mencuci tangan. Sementara itu, fitur AR Sound berhasil memutar audio berdasarkan objek yang dipilih. Tombol navigasi juga dapat digunakan untuk memindahkan tampilan sesuai dengan halaman atau fitur yang akan diakses.

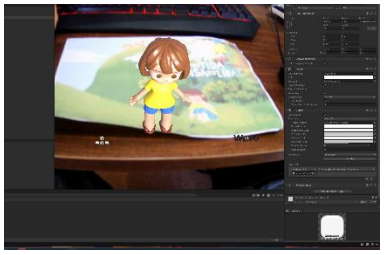
Dokumentasi visual produk dapat ditampilkan melalui gambar hasil implementasi setiap fitur. Gambar 1 dapat memuat tampilan buku dan sampul produk, sedangkan Gambar 2 sampai Gambar 5 dapat menampilkan hasil pemindaian AR Cover, AR Wind, AR Smell dan AR Bacteria.



Gambar 1. Tampilan Augmented Reality Book Edukasi "Apa yang Tidak Bisa Kulihat"

Gambar 1. Tampilan Augmented Reality Book Edukasi "Apa yang Tidak Bisa Kulihat" memperlihatkan bentuk fisik buku, desain sampul, dan ilustrasi yang digunakan pada bagian isi. Tampilan tersebut menunjukkan bahwa produk menggabungkan teks narasi, karakter, warna, dan ilustrasi lingkungan yang disesuaikan dengan karakteristik pengguna anak-anak.

Ilustrasi pada halaman buku tidak hanya berfungsi sebagai pendukung cerita, tetapi juga sebagai *image target* yang menghubungkan buku cetak dengan konten digital. Dengan demikian, halaman tertentu dapat dipindai menggunakan kamera aplikasi untuk menampilkan objek tiga dimensi dan animasi.



Gambar 2. Tampilan karakter tiga dimensi pada fitur AR Cover

Gambar 2. Tampilan Karakter Tiga Dimensi pada Fitur AR Cover memperlihatkan karakter gadis kecil yang muncul di atas sampul buku setelah kamera mengenali *image target*. Karakter ditampilkan dalam bentuk tiga dimensi dan dapat menjalankan animasi berjalan serta melambai melalui tombol interaksi pada layar.

Tampilan tersebut menunjukkan bahwa sampul buku dapat berfungsi sebagai marker sekaligus sebagai bagian pembuka aplikasi. Pengguna dapat mengaktifkan animasi untuk mengenal karakter utama sebelum memasuki materi mengenai udara, bau, bakteri, dan suara.



Gambar 3. Visualisasi lingkungan taman dan efek angin pada fitur AR Wind

Gambar 3. Visualisasi Lingkungan Taman dan Efek Angin pada Fitur AR Wind memperlihatkan lingkungan tiga dimensi berupa taman, pepohonan, jalur, dan partikel daun. Gerakan pohon dan daun yang beterbangan digunakan untuk menggambarkan keberadaan angin yang tidak dapat dilihat secara langsung.

Visualisasi tersebut membantu pengguna memahami bahwa angin dapat diketahui melalui pengaruhnya terhadap benda-benda di lingkungan. Pergerakan daun dan pohon menjadi tanda visual bahwa udara sedang bergerak meskipun udara itu sendiri tidak terlihat.

Penerapan materi bau diperlihatkan pada Gambar 4. Visualisasi Sumber Aroma pada Fitur AR Smell.



Gambar 4. Visualisasi sumber aroma pada fitur AR Smell

Gambar 4. Visualisasi Sumber Aroma pada Fitur AR Smell memperlihatkan lingkungan dapur beserta sejumlah objek yang dapat menghasilkan bau atau aroma. Pengguna dapat memilih salah satu objek untuk menampilkan partikel aroma dan informasi mengenai sumber bau tersebut.

Partikel digunakan sebagai simbol visual untuk merepresentasikan bau yang sebenarnya tidak dapat dilihat. Tampilan tersebut membantu pengguna menghubungkan objek tertentu dengan aroma yang dapat dikenali melalui indra penciuman.

Penerapan materi bakteri diperlihatkan pada Gambar 5. Visualisasi Bakteri dan Interaksi Mencuci Tangan pada Fitur AR Bacteria.



Gambar 5. Visualisasi bakteri dan interaksi mencuci tangan pada fitur AR Bacteria

Gambar 5. Visualisasi Bakteri dan Interaksi Mencuci Tangan pada Fitur AR Bacteria memperlihatkan model tangan yang memiliki sejumlah objek bakteri pada permukaannya. Pengguna dapat menyentuh objek bakteri untuk menghilangkannya atau menekan tombol mencuci tangan untuk mengaktifkan animasi pembersihan.

Tampilan sebelum dan sesudah proses mencuci tangan menunjukkan perubahan jumlah bakteri pada permukaan tangan. Interaksi tersebut digunakan untuk memperkenalkan keberadaan bakteri sekaligus menyampaikan pentingnya menjaga kebersihan tangan.

3. Hasil Pengujian Fungsional

Pengujian alfa dilakukan terhadap enam komponen aplikasi, yaitu AR Cover, AR Wind, AR Smell, AR Bacteria, AR Sound, dan navigasi. Pengujian berfokus pada kemampuan aplikasi mengenali *image target*, menampilkan objek virtual, menjalankan animasi, memunculkan efek visual, memutar audio, menerima input pengguna, dan memindahkan halaman. Hasil pengujian menunjukkan bahwa seluruh komponen dapat menjalankan fungsi yang telah ditetapkan. Enam dari enam komponen memperoleh status berhasil sehingga tingkat keberhasilan fungsional pada pengujian alfa mencapai 100%.

Tabel 3. Hasil alpha testing AR Book "Apa yang Tidak Bisa Kulihat"

No.	Fitur yang Diuji	Hasil yang Diharapkan	Hasil Pengujian	Status
1	AR Cover	Karakter muncul ketika sampul dipindai.	Karakter muncul setelah image target dikenali.	Berhasil
2	AR Wind	Lingkungan dan efek angin muncul ketika halaman dipindai.	Objek taman, pohon, dan efek daun dapat ditampilkan.	Berhasil
3	AR Smell	Objek dapat dipilih dan efek aroma muncul.	Objek dapat dipilih serta partikel aroma ditampilkan.	Berhasil
4	AR Bacteria	Bakteri dapat dibersihkan melalui interaksi.	Bakteri menghilang ketika disentuh dan animasi pembersihan dapat dijalankan.	Berhasil

No.	Fitur yang Diuji	Hasil yang Diharapkan	Hasil Pengujian	Status
5	AR Sound	Audio diputar sesuai dengan objek.	Audio dapat diputar setelah objek diaktifkan.	Berhasil
6	Navigasi	Perpindahan halaman berjalan secara normal.	Tombol navigasi memindahkan tampilan sesuai dengan perintah.	Berhasil

Berdasarkan Tabel 3. Hasil Alpha Testing AR Book "Apa yang Tidak Bisa Kulihat", seluruh fitur memperoleh status berhasil. Pada fitur AR Cover, karakter dapat muncul setelah kamera mengenali *image target* pada sampul. Pada fitur AR Wind, lingkungan taman, pohon, dan efek daun dapat ditampilkan sesuai dengan materi angin.

Pada fitur AR Smell, objek dapat dipilih dan partikel aroma dapat ditampilkan. Pada fitur AR Bacteria, objek bakteri dapat dihilangkan melalui sentuhan dan animasi mencuci tangan dapat dijalankan. Pada fitur AR Sound, audio dapat diputar sesuai dengan objek yang diaktifkan. Selain itu, tombol navigasi mampu memindahkan tampilan sesuai dengan perintah pengguna.

Hasil tersebut menunjukkan bahwa aplikasi telah memenuhi fungsi dasar yang dirancang. Meskipun seluruh fitur memperoleh status berhasil, pengujian fungsional tersebut belum menunjukkan bahwa aplikasi bebas dari kendala teknis pada seluruh kondisi penggunaan.

4. Data Negatif dan Kendala Teknis

Beberapa kondisi teknis yang tidak mengikuti pola keberhasilan umum ditemukan selama pengembangan dan pengujian. Objek tiga dimensi menjadi kurang stabil ketika kamera kehilangan fokus terhadap marker. Proses deteksi *image target* juga bergantung pada pencahayaan yang memadai. Ukuran model pada beberapa halaman perlu disesuaikan kembali karena skala awal belum sebanding dengan ukuran bidang buku. Jumlah poligon pada aset tiga dimensi turut memengaruhi kelancaran aplikasi ketika dijalankan pada perangkat Android.

Tabel 4. Kendala teknis dan tindakan penyempurnaan produk

No.	Aspek	Temuan	Tindakan Penyempurnaan
1	Pelacakan marker	Objek 3D kurang stabil ketika marker kehilangan fokus kamera.	Posisi objek dan parameter pelacakan pada Unity serta Vuforia disesuaikan kembali.
2	Pencahayaan	Image target lebih sulit dikenali pada kondisi pencahayaan yang tidak mencukupi.	Pengujian dilakukan pada kondisi pencahayaan yang memadai dan kualitas marker diperiksa kembali.
3	Skala objek	Beberapa model belum sesuai dengan ukuran halaman buku.	Skala dan posisi model disesuaikan dengan bidang image target.

No.	Aspek	Temuan	Tindakan Penyempurnaan
4	Kompleksitas aset	Aset dengan jumlah poligon tinggi memengaruhi kelancaran aplikasi.	Model 3D dioptimalkan melalui pengurangan kompleksitas geometri.
5	Integrasi visual	Posisi objek virtual belum selalu menyatu dengan ilustrasi halaman.	Orientasi, ukuran, dan titik pusat objek diperbaiki pada scene Unity.
6	Kinerja perangkat	Kelancaran aplikasi dipengaruhi oleh kemampuan perangkat Android.	Material, tekstur, animasi, dan efek partikel dioptimalkan.

Berdasarkan Tabel 4. Kendala Teknis dan Tindakan Penyempurnaan Produk, kendala utama terdapat pada pelacakan marker, pencahayaan, skala objek, kompleksitas aset, integrasi visual, dan kinerja perangkat.

Pada aspek pelacakan marker, objek tiga dimensi menjadi kurang stabil ketika kamera kehilangan fokus terhadap halaman. Perbaikan dilakukan dengan menyesuaikan posisi objek dan parameter pelacakan pada Unity serta Vuforia. Pada aspek pencahayaan, *image target* lebih sulit dikenali ketika kondisi ruangan terlalu gelap atau cahaya tidak merata.

Hasil penyempurnaan menunjukkan bahwa objek tiga dimensi, animasi, audio, efek partikel, dan tombol interaksi dapat dijalankan pada perangkat Android setelah penyesuaian dilakukan. Image target dapat dikenali ketika halaman berada pada jangkauan kamera dan memperoleh pencahayaan yang cukup. Data hasil tidak menggunakan persamaan matematika karena penelitian berfokus pada pengembangan produk, dokumentasi implementasi, dan pengujian fungsional aplikasi.

PEMBAHASAN

Pengembangan Augmented Reality Book Edukasi "Apa yang Tidak Bisa Kulihat" menghasilkan media pembelajaran yang menghubungkan buku ilustrasi dengan lima fitur digital, yaitu AR Cover, AR Wind, AR Smell, AR Bacteria, dan AR Sound. Keenam komponen yang diuji, termasuk fitur navigasi, dapat menjalankan fungsi yang telah dirancang pada tahap *alpha testing*. Hasil tersebut menunjukkan bahwa integrasi ilustrasi buku, *image target*, objek tiga dimensi, animasi, audio, dan sistem interaksi dapat diterapkan pada perangkat Android melalui Unity dan Vuforia. Keberhasilan fungsional ini menjawab tujuan pengembangan pada aspek perancangan dan pembangunan produk, khususnya untuk menghadirkan fenomena udara, bau, bakteri, dan suara melalui representasi visual yang dapat diamati anak. Meskipun demikian, keberhasilan seluruh fitur pada pengujian alfa harus

dipahami sebagai bukti kesiapan teknis awal, bukan sebagai bukti langsung bahwa media telah meningkatkan pemahaman, minat baca, atau hasil belajar anak.

Pemilihan teknologi *marker-based augmented reality* memungkinkan ilustrasi pada halaman buku berperan sebagai penghubung antara objek fisik dan informasi digital. Ketika halaman dipindai, anak tidak hanya melihat gambar dua dimensi, tetapi juga memperoleh representasi bergerak yang menunjukkan ciri atau akibat dari fenomena yang sedang dipelajari. Pola ini sesuai dengan karakteristik AR yang menggabungkan objek virtual dengan lingkungan nyata secara waktu nyata sehingga informasi digital dapat ditempatkan pada konteks fisik yang relevan (Billinghurst et al., 2015). Kajian Wu et al. (2013) juga menunjukkan bahwa AR berpotensi membantu pembelajaran sains melalui visualisasi konsep yang sulit diamati secara langsung. Kajian sistematis Akçayır & Akçayır (2017) menemukan bahwa kemampuan visualisasi dan interaksi merupakan dua manfaat yang sering dilaporkan pada penerapan AR di lingkungan pendidikan, meskipun teknologi tersebut tetap menghadapi tantangan teknis dan pedagogis.

Fitur AR Wind menerjemahkan keberadaan udara melalui gerakan daun, pepohonan, dan partikel yang tertiup angin. Pendekatan ini tidak berusaha menampilkan udara sebagai benda yang tampak, melainkan memperlihatkan pengaruhnya terhadap objek di lingkungan. Representasi tersebut memberikan jembatan visual antara konsep yang tidak terlihat dan perubahan yang dapat diamati. Fitur AR Smell menggunakan partikel digital untuk menunjukkan bahwa aroma berasal dari objek tertentu dan bergerak menuju indra penciuman. Fitur AR Sound menghubungkan gerakan tepukan tangan dengan bunyi yang didengar, sedangkan AR Bacteria memperlihatkan objek mikroskopis pada permukaan tangan serta menyediakan interaksi untuk membersihkannya. Keempat fitur tersebut memperlihatkan bahwa visualisasi AR tidak hanya digunakan sebagai hiasan, tetapi ditempatkan sebagai bagian dari penjelasan sebab-akibat pada setiap fenomena.

Penyajian konsep melalui alur cerita gadis kecil dan tokoh itik memperkuat hubungan antara informasi sains dengan pengalaman sehari-hari anak. Lingkungan taman, halaman rumah, wastafel, dapur, dan ruang makan membuat materi hadir melalui situasi yang mudah dikenali. Anak diperkenalkan pada udara ketika bermain di taman, bau ketika mencium aroma makanan, bakteri sebelum makan, serta suara melalui aktivitas bertepuk tangan. Penyusunan materi semacam ini membantu mengurangi jarak antara konsep ilmiah dan pengalaman konkret. Temuan Danaei et al. (2020) memperlihatkan bahwa anak yang menggunakan buku

cerita AR menunjukkan hasil pemahaman dan kemampuan menceritakan kembali yang lebih baik dibandingkan kelompok yang membaca versi cetak pada konteks penelitian mereka. Şimşek (2024) juga menemukan perbedaan pada kemampuan memahami dan menceritakan kembali cerita antara anak prasekolah yang menggunakan buku AR dan anak yang menggunakan buku cetak. Temuan terdahulu tersebut mendukung penggunaan cerita sebagai wadah penyampaian konten AR, tetapi pengaruh serupa belum dapat dinyatakan pada produk "Apa yang Tidak Bisa Kulihat" sebelum dilakukan pengujian langsung terhadap anak.

Desain visual produk menggunakan bentuk karakter yang disederhanakan, proporsi bergaya, ekspresi yang jelas, serta warna cerah dan lembut. Karakter gadis kecil berfungsi sebagai representasi rasa ingin tahu anak, sedangkan tokoh itik menjadi pendamping yang mengarahkan perhatian tanpa mendominasi cerita melalui dialog panjang. Pemilihan lingkungan dan warna juga dibedakan berdasarkan tema. Warna hijau dan biru digunakan untuk membangun suasana alam pada materi udara, warna hangat ditempatkan pada lingkungan rumah dan dapur, sementara warna kontras digunakan agar bakteri dapat dibedakan dari permukaan tangan. Strategi tersebut sejalan dengan pandangan bahwa ilustrasi, warna, komposisi, dan keterbacaan perlu dipertimbangkan secara terpadu ketika merancang media untuk anak (Ariyani, 2024; Sutanto et al., 2023). Wang (2022) menekankan bahwa desain buku bergambar AR untuk anak tidak cukup hanya menghadirkan teknologi baru, tetapi perlu memperhatikan perkembangan kognitif, kebutuhan interaksi, unsur estetika, serta kenyamanan orang tua ketika mendampingi penggunaannya.

Keberadaan fitur interaktif membedakan produk ini dari buku bergambar konvensional yang hanya menempatkan anak sebagai pembaca atau pengamat. Pengguna dapat mengaktifkan animasi karakter, memilih sumber aroma, menyentuh bakteri, menjalankan proses mencuci tangan, serta memutar audio sesuai dengan objek. Interaksi tersebut memberi kesempatan kepada anak untuk melakukan tindakan dan mengamati respons yang muncul pada layar. AR Bacteria menjadi contoh paling jelas karena anak memperoleh umpan balik langsung ketika bakteri disentuh dan dihilangkan. Hubungan antara tindakan dan perubahan visual dapat digunakan untuk mengenalkan pesan kebersihan tangan secara sederhana. Alhamad et al. (2024) menemukan bahwa penggunaan buku AR dapat melibatkan dimensi perilaku, kognitif, afektif, dan sosial anak ketika konten digital memiliki hubungan yang jelas dengan kegiatan membaca. Kajian tersebut juga menegaskan bahwa pengalaman membaca AR tidak hanya dipengaruhi oleh daya tarik visual, tetapi oleh cara fitur interaktif mendukung pemahaman dan keterlibatan pengguna.

Integrasi audio melengkapi visualisasi dengan narasi dan efek suara yang membantu menandai tindakan atau peristiwa. Bunyi tepukan, suara tokoh itik, efek angin, dan suara pendukung lainnya memberi petunjuk auditif yang dapat membantu anak mengikuti alur cerita. Audio juga memungkinkan isi buku tetap dapat diikuti oleh anak yang belum mampu membaca secara mandiri. Penggunaannya perlu diatur secara proporsional agar narasi, musik, dan efek suara tidak saling menutupi. Holman (2010); Katz (2014); Rumsey (2021) menjelaskan bahwa kejernihan, keseimbangan tingkat suara, dan ketepatan penempatan efek menjadi unsur penting dalam produksi audio. Produk ini telah memasukkan audio sebagai salah satu elemen media, tetapi kualitas kejelasan narasi dan respons anak terhadap setiap efek suara masih memerlukan pengujian bersama pengguna sasaran.

Hasil pengujian juga memperlihatkan sejumlah kendala yang lazim muncul pada pengembangan AR berbasis marker. Objek tiga dimensi menjadi kurang stabil ketika kamera kehilangan fokus terhadap *image target*, sedangkan kondisi pencahayaan yang tidak mencukupi memengaruhi kemampuan sistem mengenali halaman. Skala dan posisi beberapa model perlu diatur kembali agar objek virtual menyatu dengan ilustrasi buku. Kompleksitas geometri, material, tekstur, animasi, dan efek partikel juga harus dioptimalkan agar aplikasi tetap berjalan pada perangkat Android dengan kemampuan terbatas. Kondisi tersebut selaras dengan kajian Akçayır & Akçayır (2017), yang mencatat bahwa keterbatasan teknis, masalah penggunaan perangkat, dan kebutuhan pengembangan antarmuka menjadi tantangan dalam penerapan AR untuk pendidikan. Temuan ini memperlihatkan bahwa kualitas AR Book tidak hanya ditentukan oleh ketepatan materi dan daya tarik visual, tetapi juga oleh kestabilan pelacakan, kecepatan pemuatan, kesesuaian skala, dan efisiensi aset digital.

Kontribusi praktis penelitian ini terletak pada pengembangan media yang dapat digunakan untuk memperkenalkan sains awal tanpa melepaskan anak dari pengalaman membaca buku fisik. Teknologi tidak menggantikan buku, tetapi memperluas informasi pada halaman melalui visualisasi, gerakan, suara, dan aktivitas. Media ini juga membuka ruang bagi pembelajaran bersama orang tua atau guru karena anak usia 3–6 tahun tetap membutuhkan bantuan ketika memindai marker, mengoperasikan tombol, memahami narasi, dan menghubungkan representasi digital dengan pengalaman nyata. Wang (2022) menunjukkan bahwa perhatian terhadap interaksi orang tua dan anak merupakan salah satu pertimbangan penting pada desain buku bergambar AR. Produk ini dapat dimanfaatkan sebagai media pendamping untuk mengawali percakapan mengenai udara, sumber bau, kebersihan tangan,

dan suara, kemudian dilanjutkan dengan kegiatan konkret seperti meniup gelembung, mengamati gerakan daun, mencuci tangan, atau menghasilkan bunyi dari benda di sekitar.

Kontribusi konseptual penelitian terlihat pada upaya menyatukan empat fenomena tak kasat mata dalam satu alur cerita dan sistem AR yang saling berkaitan. Penelitian terdahulu banyak mengkaji AR sebagai sarana untuk meningkatkan pemahaman cerita, keterlibatan membaca, atau pengalaman menggunakan buku bergambar digital (Alhamad et al., 2024). Produk "Apa yang Tidak Bisa Kulihat" memperluas fungsi tersebut dengan menempatkan AR sebagai alat visualisasi sains awal sekaligus media penyampaian kebiasaan hidup bersih. Kebaruan produk tidak hanya terdapat pada penggunaan objek tiga dimensi, tetapi pada hubungan antara cerita, lingkungan keseharian, interaksi digital, dan pesan edukatif. Interaksi membersihkan bakteri, misalnya, menggabungkan pengenalan objek mikroskopis dengan tindakan menjaga kebersihan tangan. Visualisasi aroma dan angin juga mengubah fenomena yang semula sulit dijelaskan menjadi rangkaian perubahan visual yang dapat diamati.

Penelitian berikutnya perlu melibatkan anak usia 3–6 tahun, orang tua, guru PAUD, ahli materi, ahli media, dan ahli perkembangan anak melalui pengujian yang lebih terstruktur. Pengujian dapat mengukur ketepatan pemahaman anak sebelum dan setelah menggunakan media, lama perhatian, kemampuan menceritakan kembali, respons terhadap setiap fitur, kemudahan memindai marker, serta kebutuhan pendampingan. Perbandingan antara buku cetak biasa dan AR Book juga diperlukan untuk mengetahui kontribusi spesifik teknologi AR terhadap pembelajaran. Pengujian pada beberapa jenis perangkat, kondisi pencahayaan, jarak kamera, sudut pemindaian, dan spesifikasi sistem operasi dapat memperkuat bukti mengenai ketahanan teknis produk. Langkah tersebut diperlukan agar pengembangan berikutnya tidak hanya menghasilkan aplikasi yang berfungsi, tetapi juga media yang teruji layak, mudah digunakan, dan memberi manfaat nyata bagi proses belajar anak.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan, penelitian ini berhasil menghasilkan Augmented Reality Book Edukasi "Apa yang Tidak Bisa Kulihat" sebagai media pembelajaran interaktif bagi anak usia 3–6 tahun. Produk mengintegrasikan buku ilustrasi, objek tiga dimensi, animasi, audio, dan interaksi berbasis *marker-based augmented reality* untuk memperkenalkan empat fenomena tak kasat mata, yaitu angin, bau, bakteri, dan suara. Fitur AR Cover, AR Wind, AR Smell, AR Bacteria, AR Sound, dan navigasi dapat dijalankan sesuai

dengan rancangan setelah *image target* dikenali oleh kamera. Hasil *alpha testing* menunjukkan bahwa seluruh fungsi aplikasi, meliputi pendeteksian marker, pemunculan objek tiga dimensi, pemutaran animasi dan audio, serta respons interaksi, berjalan dengan baik. Hasil tersebut menunjukkan bahwa media yang dikembangkan telah memenuhi kelayakan awal pada aspek fungsional dan dapat digunakan untuk menyajikan fenomena abstrak melalui representasi yang lebih visual, konkret, dan dekat dengan pengalaman keseharian anak.

Kontribusi penelitian ini terletak pada pengembangan media yang menghubungkan aktivitas membaca buku fisik dengan pengalaman belajar digital tanpa menghilangkan peran pendampingan orang tua atau guru. Penggabungan narasi, ilustrasi, visualisasi tiga dimensi, audio, dan aktivitas interaktif memperluas bentuk penyajian materi sains awal sekaligus mengarahkan penggunaan perangkat digital menuju kegiatan edukatif. Penelitian selanjutnya disarankan melibatkan anak usia 3–6 tahun, orang tua, guru PAUD, ahli media, dan ahli materi melalui pengujian beta yang lebih luas dan terdokumentasi. Pengujian lanjutan perlu mengukur pemahaman konsep, minat membaca, rasa ingin tahu, lama perhatian, kemudahan penggunaan, serta perbedaan hasil belajar antara penggunaan buku konvensional dan AR Book. Pengujian pada berbagai spesifikasi perangkat, kondisi pencahayaan, sudut pemindaian, dan jarak kamera juga diperlukan untuk meningkatkan kestabilan, aksesibilitas, dan konsistensi kinerja produk.

DAFTAR PUSTAKA

Akçayır, M., & Akçayır, G. (2017). Advantages and challenges associated with augmented reality for education: A systematic review of the literature. *Educational Research Review, 20*, 1–11. https://doi.org/10.1016/j.edurev.2016.11.002

Albayrak, S., & Yılmaz, R. M. (2022). An investigation of pre-school children's interactions with augmented reality applications. *International Journal of Human–Computer Interaction, 38*(2), 165–184. https://doi.org/10.1080/10447318.2021.1926761

Alhamad, K., Manches, A., & McGeown, S. (2024). Augmented reality books: In-depth insights into children's reading engagement. *Frontiers in Psychology, 15*, Article 1423163. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2024.1423163

Andayani, S. (2021). Karakteristik Perkembangan Anak Usia Dini. *Jurnal An-Nur: Kajian Ilmu-Ilmu Pendidikan dan Keislaman, 7*(2), 199–212. https://www.journal.an-nur.ac.id/index.php/annur/article/view/130

Ariyani, A. (2024). Peran Media Poster Gambar Dua Dimensi dalam Meningkatkan Kemampuan Bercerita Anak Usia Dini. *JIIP: Jurnal Ilmiah Ilmu Pendidikan, 7*(12), 14150–14157. https://doi.org/10.54371/jiip.v7i12.6612

Asy'ari, S. M., & Rachmawati, Y. (2022). Discovering the properties of light through the ray of light learning in the Reggio Emilia approach in early childhood education. In

Proceedings of the 6th International Conference of Early Childhood Education (ICECE-6 2021) (pp. 67–73). Atlantis Press. https://doi.org/10.2991/assehr.k.220602.015

Billinghurst, M., Clark, A., & Lee, G. (2015). A survey of augmented reality. *Foundations and Trends in Human–Computer Interaction, 8*(2–3), 73–272. https://doi.org/10.1561/1100000049

Danaei, D., Jamali, H. R., Mansourian, Y., & Rastegarpour, H. (2020). Comparing reading comprehension between children reading augmented reality and print storybooks. *Computers & Education, 153*, Article 103900. https://doi.org/10.1016/j.compedu.2020.103900

Day, S. L., Atilgan, N., Giroux, A. E., & Sawyer, B. D. (2024). The influence of format readability on children's reading speed and comprehension. *Education Sciences, 14*(8), Article 854. https://doi.org/10.3390/educsci14080854

Holman, T. (2010). *Sound for film and television* (3rd ed.). Focal Press. https://www.routledge.com/Sound-for-Film-and-Television/Holman/p/book/9780240813301

Katz, B. (2014). *Mastering audio: The art and the science* (3rd ed.). Focal Press. https://www.routledge.com/Mastering-Audio-The-Art-and-the-Science/Katz/p/book/9780240818962

Mayer, R. E. (2020). *Multimedia learning* (3rd ed.). Cambridge University Press. https://doi.org/10.1017/9781316941355

Miller, J. W., & McKenna, M. C. (2016). *World literacy: How countries rank and why it matters*. Routledge. https://doi.org/10.4324/9781315693934

Nurhidayah, S., & Utami, F. (2023). Stimulasi Karakter Komunikatif dan Rasa Ingin Tahu Anak Usia 1–3 Tahun. *Jurnal Obsesi: Jurnal Pendidikan Anak Usia Dini, 7*(1), 527–535. https://doi.org/10.31004/obsesi.v7i1.3499

Rumsey, F. (2021). *Sound and recording: Applications and theory* (8th ed.). Routledge. https://doi.org/10.4324/9781003092919

Şimşek, E. E. (2024). The effect of augmented reality storybooks on the story comprehension and retelling of preschool children. *Frontiers in Psychology, 15*, Article 1459264. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2024.1459264

Sutanto, S. M., Wardaya, M., Pratomo, E. R., Adrianto, H., & Silitonga, H. T. H. (2023). Perancangan Buku Ilustrasi sebagai Media Edukatif untuk Anak tentang Kebersihan Sebelum Makan. *Jurnal Seni Nasional Cikini, 9*(2), 93–100. https://doi.org/10.52969/jsnc.v9i2.238

Wang, R. (2022). Application of augmented reality technology in children's picture books based on educational psychology. *Frontiers in Psychology, 13*, Article 782958. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2022.782958

Winarsih, E. D., & Wahyuningsih, R. (2024). Penerapan Metode Pembelajaran Eksperimen untuk Meningkatkan Rasa Ingin Tahu dan Tanggung Jawab Anak. *Jurnal Inovasi, Evaluasi dan Pengembangan Pembelajaran, 4*(1), 1–8. https://doi.org/10.54371/jiepp.v4i1.363

World Health Organization. (2019). *Guidelines on physical activity, sedentary behaviour and sleep for children under 5 years of age*. https://www.who.int/publications/i/item/9789241550536

Wu, H.-K., Lee, S. W.-Y., Chang, H.-Y., & Liang, J.-C. (2013). Current status, opportunities and challenges of augmented reality in education. *Computers & Education, 62*, 41–49. https://doi.org/10.1016/j.compedu.2012.10.024