

## Implementasi Augmented Reality dalam Pengembangan Media Pembelajaran Biologi di Tingkat Sekolah Menengah Pertama

Depni Novela<sup>\*1</sup>, AR Himamunanto<sup>2</sup>, Haeni Budiati<sup>3</sup>

Program Studi Informatika, Fakultas Sains dan Komputer, Universitas Kristen Immanuel

Email: <sup>\*1</sup>[depni.novela@mail.ukrim.ac.id](mailto:depni.novela@mail.ukrim.ac.id), <sup>2</sup>[rudatyo@ukrimuniversity.ac.id](mailto:rudatyo@ukrimuniversity.ac.id),

<sup>3</sup>[heni@ukrimuniversity.ac.id](mailto:heni@ukrimuniversity.ac.id)

(Naskah masuk: 1 Juni 2025, diterima untuk diterbitkan: 30 Desember 2025)

**Abstrak:** Kemajuan teknologi digital mendorong perluasan inovasi dalam proses pembelajaran, terutama untuk konsep-konsep abstrak seperti pembelajaran fotosintesis pada mata pelajaran Biologi. Pembelajaran fotosintesis ini menarik namun masih cukup banyak siswa yang belum memahaminya. Upaya alternatif dalam menangani permasalahan ini salah satunya adalah melalui proses perancangan dan pengembangan media pembelajaran berbasis Augmented Reality (AR). Teknologi AR memvisualisasikan proses fotosintesis dalam bentuk 3D yang interaktif dan mudah dipahami. Penelitian ini menggunakan pendekatan deskriptif dengan model pengembangan Multimedia Development Live Cycle (MDLC) yang terdiri dari lima tahapan: Konsep, Desain, Pengumpulan Bahan, Perakitan, dan Pengujian. Teknologi AR dikembangkan menggunakan Unity dan Vuforia, selanjutnya diujikan kepada murid kelas VIII di SMP Negeri 2 Ngemplak. Berdasarkan hasil angket siswa setelah menggunakan aplikasi Augmented Reality (AR), diperoleh respon positif pada tiga aspek utama. Aspek kemudahan penggunaan memperoleh skor 78,87%, ketertarikan terhadap konten sebesar 83,04%, dan pemahaman materi fotosintesis mencapai 85,99%. Rata-rata keseluruhan sebesar 82,64% menunjukkan bahwa aplikasi tergolong "Sangat Layak" digunakan sebagai media pembelajaran Biologi tingkat SMP. Teknologi AR memperoleh persentase kelayakan sebesar 82,64%, yang termasuk dalam kategori sangat layak. Selain itu, teknologi ini juga menerima umpan balik yang baik dari pengguna terkait fitur dan desain antarmuka. Dengan demikian, penelitian ini mengindikasikan bahwa teknologi AR dapat berfungsi sebagai alat edukasi biologi yang interaktif, inovatif dan menyenangkan.

**Kata Kunci** – Augmented Reality; Fotosintesis; Media Pembelajaran; MDLC; 3D

## Implementation of Augmented Reality in the Development of Biology Learning Media at the Junior High School

**Abstract:** The advancement of digital technology encourages the expansion of innovation in the learning process, especially for abstract concepts such as photosynthesis learning in Biology subjects. Learning about photosynthesis is fascinating, yet many students still struggle to grasp the concept. One alternative effort in addressing this problem is through the process of designing and developing Augmented Reality (AR) based learning media. AR technology visualizes the photosynthesis process in an interactive and easy-to-understand 3D form. This research employs a descriptive method utilizing the Multimedia Development Live Cycle (MDLC) model, which includes five phases: Concept, Design, Material Gathering, Assembly, and Testing. The AR application was created with Unity and Vuforia, and subsequently tested on eighth-grade students at SMP Negeri 2 Ngemplak. Based on the results of a student questionnaire after using the Augmented Reality (AR) application, positive responses were obtained in three main aspects. Ease of use scored 78.87%, interest in the content 83.04%, and understanding of photosynthesis reached 85.99%. The overall average of 82.64% indicates that the application is classified as "Very Suitable" for use as a learning medium for Biology at the junior high school level. Moreover, users have provided positive responses to the application's features and interface design. Therefore, this research suggests that AR technology can serve as an engaging, creative, and enjoyable tool for teaching biology.

**Keywords** – Augmented Reality; Photosynthesis; Learning Media; MDLC; 3D

## 1. PENDAHULUAN

Era revolusi industri 4.0 yang ditandai dengan kemajuan teknologi digital telah mengubah banyak aspek kehidupan, termasuk sektor pendidikan. Pemanfaatan revolusi industri 4.0 juga dianggap cukup layak untuk diimplementasikan pada proses pembelajaran dan juga untuk mengintegrasikan teknologi yang lebih efektif dan sesuai. Salah satu kendala utama dalam pembelajaran IPA, terutama pada mata pelajaran biologi, adalah penyampaian konsep yang bersifat abstrak seperti fotosintesis yang sulit dimengerti jika hanya disampaikan lewat teks dan gambar 2D. Temuan [1] sejalan dengan hal ini, yang menunjukkan bahwa tantangan dalam memahami materi yang abstrak bisa diatasi dengan pendekatan visual dan teknologi yang interaktif .

Fotosintesis adalah proses biologis yang rumit, terdiri dari dua tahap utama yaitu reaksi cahaya dan reaksi gelap, yang terjadi di dalam kloroplas. Karena proses ini berlangsung pada tingkat mikroskopis dan melibatkan reaksi kimia yang tidak terlihat, siswa sering mengalami kesulitan dalam memahami hal itu. Penelitian oleh [2] menunjukkan bahwa sebanyak 58,9% siswa SMP mengalami miskonsepsi dalam memahami konsep fotosintesis, sedangkan hanya 34,3% siswa yang benar-benar memahaminya. Temuan ini menegaskan bahwa tidak hanya pendekatan pengajaran, tetapi juga media pembelajaran yang kurang efektif turut berkontribusi terhadap rendahnya pemahaman konsep oleh siswa.

Augmented Reality (AR) muncul sebagai solusi inovatif untuk mengatasi kendala tersebut. Teknologi ini memungkinkan integrasi objek virtual tiga dimensi ke dalam dunia nyata melalui perangkat digital seperti smartphone. Penelitian [3] , mengangkat AR terhadap hasil belajar biologi siswa. Kemudian pada penelitian [4] memanfaatkan AR di bidang sains dan biologi [4]. Penelitian oleh [5] mengangkat aplikasi AR untuk materi sel [5]. Selanjutnya, studi dari [6] memanfaatkan AR dalam pembelajaran sistem pencernaan [6]. Dalam Penelitian ini keterlibatan AR akan diarahkan pada pembelajaran fotosintesis.

Efektivitas teknologi AR dalam pembelajaran biologi juga diperkuat oleh berbagai studi internasional. Penelitian [7] menyimpulkan bahwa AR mampu mengatasi kendala pembelajaran konsep biologi yang tidak dapat diamati langsung karena sifatnya yang mikroskopis. Dalam kajian meta-analisis [8] menemukan bahwa AR secara signifikan dapat meningkatkan hasil belajar dan motivasi siswa dalam mata pelajaran sains. Penelitian oleh [9] menyebutkan bahwa topik biologi seperti sistem peredaran darah dan jantung adalah materi yang paling banyak menggunakan AR karena sifatnya kompleks dan abstrak. Temuan ini diperkuat oleh hasil kajian sistematis [10] yang menunjukkan bahwa tren pemanfaatan AR dalam pembelajaran biologi meningkat pesat sejak 2019 . Sementara itu, [11] menggarisbawahi bahwa media berbasis AR untuk materi genetika sangat dibutuhkan, baik oleh siswa maupun guru, mengingat media konvensional dinilai kurang mendukung visualisasi konsep tersebut.

Berbagai studi di Indonesia turut menunjukkan pengalaman belajar. Penelitian oleh [12] menciptakan aplikasi AR untuk identifikasi hewan yang ditujukan bagi anak-anak prasekolah . Dan hasilnya peningkatan kemampuan mengingat dan pemahaman anak. Selanjutnya penelitian yang dilakukan oleh [13] menunjukkan bahwa penerapan AR berbasis marker dalam pengenalan buah untuk anak PAUD dapat meningkatkan pemahaman dan semangat belajar siswa dengan persentase respon positif mencapai 81 persen. Pada tingkat SMP, [14] menciptakan aplikasi AR yang memperlihatkan organ tubuh manusia dalam bentuk 3D, dan hasilnya menunjukkan peningkatan yang signifikan dalam pemahaman konsep serta respons positif dari siswa. Di tingkat SMA, oleh [15] membandingkan efektivitas AR dengan media cetak dan menemukan bahwa AR jauh lebih komunikatif dan menarik . Penelitian [16] juga mengungkapkan bahwa media pembelajaran AR yang mereka rancang untuk topik Tata Surya mendapat nilai kelayakan lebih dari 90% pada uji coba. Studi lain oleh [17], dalam konteks pembelajaran matematika menunjukkan bahwa penggunaan AR pada materi limas memberikan kontribusi besar terhadap peningkatan pemahaman konsep dan motivasi.

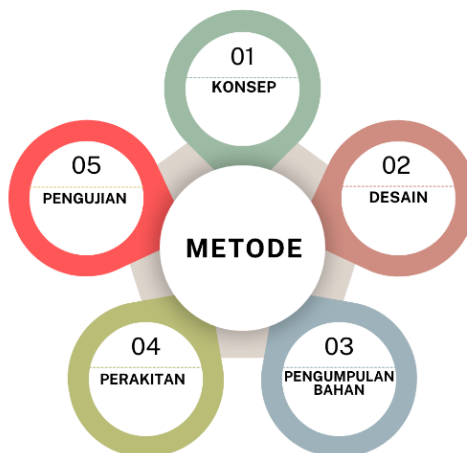
Meskipun banyak penelitian telah membuktikan efektivitas penggunaan AR dalam berbagai topik pembelajaran IPA maupun matematika, penelitian yang secara spesifik mengembangkan media AR untuk materi fotosintesis, khususnya reaksi terang dan reaksi gelap, masih sangat terbatas. Di sisi lain, pemahaman siswa terhadap proses fotosintesis sangat penting dalam

pembelajaran biologi tingkat SMP. Penelitian [4] juga menggarisbawahi pentingnya pemilihan media yang sesuai arakteristik materi sains, terutama untuk materi yang bersifat abstrak dan sulit dipahami tanpa bantuan visualisasi nyata seperti AR. Selain itu, temuan dari penelitian [6] mendukung bahwa penerapan teknologi AR dalam pembelajaran Biologi berbasis Android secara signifikan dapat meningkatkan pemahaman konsep serta motivasi belajar peserta didik.

Maka dari itu, studi ini dilaksanakan untuk menciptakan media pembelajaran berbasis AR dengan memanfaatkan perangkat Android, yang menampilkan proses fotosintesis dalam wujud objek 3D interaktif. Media ini dirancang dengan metode *Multimedia Development Life Cycle* (MDLC), yang memungkinkan tahapan pengembangan dilakukan secara sistematis dan terukur. Aplikasi ini ditujukan agar dapat mempermudah siswa dalam memahami proses fotosintesis dan meningkatkan minat belajar mereka melalui pengalaman belajar yang visual, interaktif, dan menyenangkan.

## 2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini termasuk dalam jenis penelitian deskriptif yang berfokus pada pengembangan media pembelajaran berbasis Augmented Reality (AR) untuk materi fotosintesis pada jenjang Sekolah Menengah Pertama (SMP). Proses pengembangan media dilakukan dengan menggunakan metode *Multimedia Development Life Cycle* (MDLC), yang dinilai efektif dalam pembuatan media AR [17]. Pemilihan model MDLC didasarkan pada kemampuannya dalam menyediakan tahapan kerja yang terstruktur, mulai dari perancangan awal hingga tahap pengujian aplikasi.



Gambar 1. Metode MDLC

### 2.1. Konsep

Tahap untuk menentukan target pengguna aplikasi ini adalah siswa kelas VIII. Tujuan utamanya adalah menyajikan proses fotosintesis dalam bentuk visual interaktif untuk membantu siswa memahami konsep-konsep abstrak secara lebih konkret.

### 2.2. Desain

Pada tahap ini, proses perancangan media pembelajaran dilaksanakan berdasarkan storyboard yang telah dibuat. Desain mencakup perencanaan tampilan pengguna, struktur navigasi aplikasi, dan alur interaksi siswa dengan fitur-fitur utama seperti menu MAIN, HELP, INFO, dan QUIT. Selain itu, ditentukan pula elemen-elemen visual yang akan ada dalam aplikasi, termasuk model 3D proses fotosintesis seperti reaksi terang dan reaksi gelap, panah energi, serta label teks dalam bahasa Indonesia. Seluruh komponen tersebut dirancang dengan cara yang sistematis agar dapat diterapkan secara efektif pada tahap implementasi, dan sesuai dengan kebutuhan siswa SMP sebagai pengguna sasaran.

### 2.2.1. Menu utama

Tampilan ini untuk menampilkan 5 tombol yang dimana setiap dari tombol memiliki fungsi dan kegunaannya masing-masing



Gambar 2. Menu Utama

### 2.2.2. Panduan

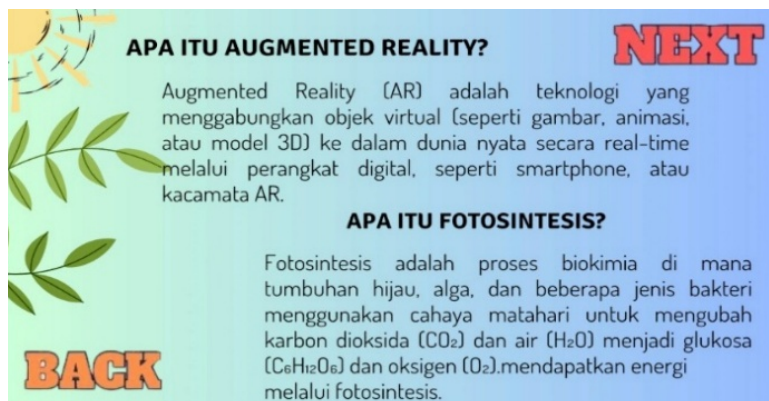
Halaman ini menjelaskan cara menggunakan aplikasi dengan benar, mulai dari proses instalasi hingga langkah-langkah penggunaannya. Informasi ini disajikan secara sistematis agar pengguna memahami setiap fitur yang tersedia. Panduan ini dirancang untuk memastikan bahwa aplikasi dapat dijalankan dan beroperasi dengan baik, serta meminimalkan kesalahan dalam penggunaan oleh siswa maupun guru.



Gambar 3. Panduan

### 2.2.3. Tentang

Halaman ini menjelaskan tentang Augmented Reality dan juga menyajikan penjelasan mengenai topik yang diangkat dalam penelitian ini yaitu fotosintesis.



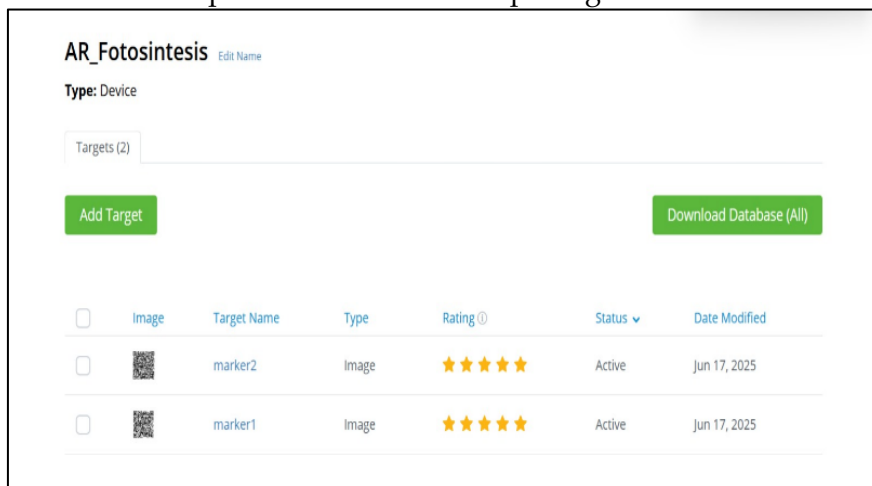
Gambar 4. Tentang

### 2.3. Pengumpulan data

Pengumpulan data visual dalam pengembangan aplikasi dilakukan melalui dua komponen utama, yaitu database Vuforia dan image target.

#### 2.3.1. Database dan Image Target

Database dibuat menggunakan platform Vuforia dan diberi nama "AR Fotosintesis", kemudian diunduh dalam format unitypackage dan diintegrasikan ke dalam Unity. Database ini berfungsi menyimpan data gambar yang akan dikenali oleh sistem sebagai marker. Sementara itu, image target berupa gambar dua dimensi yang merepresentasikan proses reaksi terang dan reaksi gelap dalam fotosintesis. Gambar dipilih berdasarkan kualitas deteksi tinggi agar dapat dikenali dengan baik oleh sistem saat dipindai melalui kamera perangkat Android.



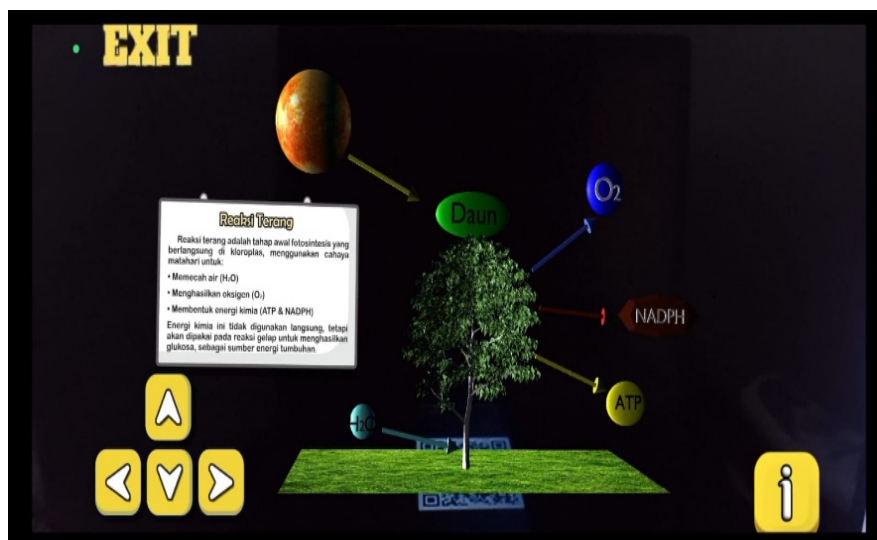
Gambar 5. Database Vuforia

#### 2.3.2. Objek 3D Proses Fotosintesis

Selain marker (penanda) sebagai pemicu visual, pengumpulan data visual juga melibatkan objek 3D yang menggambarkan proses fotosintesis. Model 3D dihasilkan melalui dua teknik: pembuatan menggunakan Blender dan pengunduhan aset tanpa lisensi dari Sketchfab. Objek yang digunakan mencakup matahari (sebagai sumber energi), daun/kloroplas, panah zat seperti  $H_2O$ ,  $CO_2$ ,  $O_2$ ,  $C_6H_{12}O_6$ , ATP, NADPH, serta label teks 3D seperti reaksi terang dan reaksi gelap. Seluruh elemen dirancang secara proporsional dan dilengkapi dengan animasi sederhana seperti rotasi dan pergerakan arah, sehingga tampilan visual menjadi interaktif, informatif, dan mudah dipahami oleh siswa.

### 2.4. Perakitan

Pada tahap ini semua komponen yang telah dirancang dan dipersiapkan sebelumnya mulai disatukan menjadi satu kesatuan sistem aplikasi. Proses ini mencakup penggabungan elemen-elemen multimedia seperti model objek fotosintesis 3D (matahari, kloroplas, molekul  $H_2O$ ,  $CO_2$ ,  $O_2$ , dan  $C_6H_{12}O_6$ ), panah arah aliran energi, label teks dalam bahasa Indonesia, serta tombol navigasi seperti PLAY, GUIDE, ABOUT, dan EXIT. Pembuatan aplikasi dengan menggunakan perangkat lunak Unity sebagai platform utama, dan Vuforia sebagai SDK pendukung untuk penerapan fitur Augmented Reality berbasis marker. Semua aset visual, audio (jika ada), dan skrip pemrograman disatukan di Unity sehingga menciptakan aplikasi pembelajaran yang interaktif dan responsif. Selain itu, marker dicocokkan dengan objek 3D agar saat dikenali kamera, objek dapat muncul secara tepat di atas marker. Tahap ini memastikan bahwa semua komponen berjalan sesuai dengan alur yang telah ditentukan dalam storyboard dan rancangan navigasi aplikasi.



Gambar 6. AR Camera

## 2.5. Pengujian

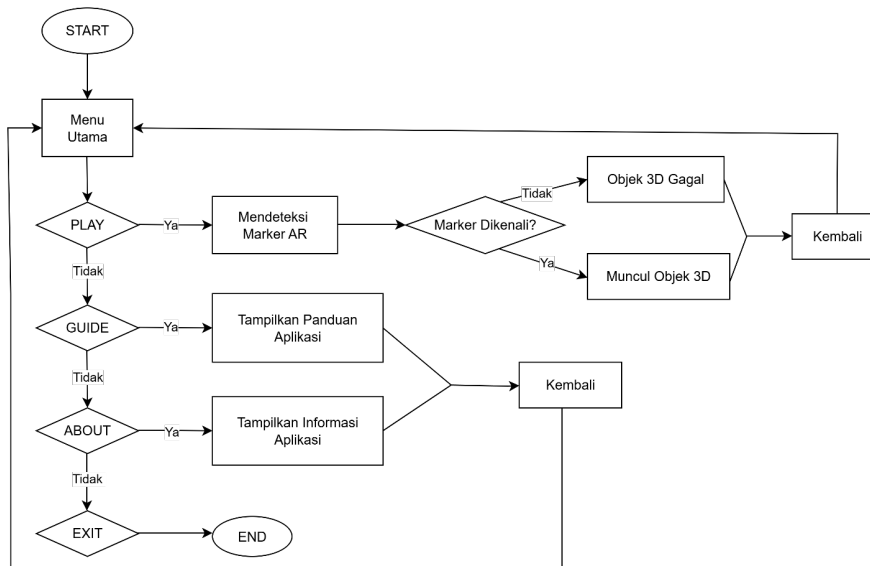
Pengujian aplikasi dilaksanakan secara langsung di SMP Negeri 2 Ngemplak dengan partisipasi siswa kelas VIII sebagai subjek pengguna. Aplikasi diuji pada 28 siswa menggunakan beberapa perangkat Android milik siswa dan peneliti, untuk memastikan bahwa aplikasi dapat berjalan dengan baik di berbagai tipe dan spesifikasi perangkat.

Spesifikasi perangkat Android yang digunakan dalam pengujian mencakup berbagai merek dari semua provider umum, seperti Xiaomi, Samsung, Oppo, Vivo, dan Realme. Salah satu perangkat utama yang digunakan dalam uji coba adalah Realme C12 dengan RAM 3 GB dan penyimpanan internal 32 GB, serta kamera belakang 13 MP. Sistem operasi minimal yang digunakan adalah Android 10. Hasil pengujian menunjukkan bahwa aplikasi dapat berjalan lancar meskipun pada perangkat dengan spesifikasi menengah. Sementara itu, proses pengembangan aplikasi dilakukan menggunakan perangkat laptop dengan spesifikasi VivoBook\_ASUSLaptop, prosesor AMD Ryzen 3, RAM 8 GB, dan sistem operasi Windows 10 64-bit. Perangkat lunak yang digunakan meliputi Unity Hub 2022, Vuforia Engine, serta Blender untuk objek 3D pendukung.

Pengujian difokuskan pada aspek fungsionalitas utama aplikasi, seperti kemampuan kamera dalam mengenali marker 2D, kemunculan objek 3D yang tepat di atas marker, keterbacaan teks penjelas, serta stabilitas tombol dan navigasi antarmuka. Hasil pengujian menunjukkan bahwa aplikasi dapat dijalankan tanpa kendala, semua fitur berjalan stabil, dan output visual muncul secara interaktif serta informatif sesuai dengan desain pembelajaran.

### 2.5.1. Flowchart

Flowchart merupakan representasi diagramatik yang menggambarkan alur kerja atau interaksi pengguna dengan aplikasi Augmented Reality (AR), mulai dari saat aplikasi dibuka hingga pengguna mengakses berbagai fitur yang tersedia. Desain alur yang disusun secara sederhana dan intuitif bertujuan untuk memastikan bahwa siswa SMP, sebagai target pengguna dapat menggunakan aplikasi ini dengan mudah dan tanpa kebingungan.



Gambar 7. Flowchart

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1. Hasil Perancangan Aplikasi Augmented Reality

Penelitian ini berhasil membuat sebuah aplikasi Augmented Reality (AR) berbasis marker yang dikembangkan menggunakan Unity 3D dan Vuforia/ARCore dengan bahasa pemrograman C# untuk memvisualisasikan proses fotosintesis, khususnya reaksi terang dan reaksi gelap. Aplikasi ini dirancang untuk digunakan pada perangkat Android dan ditujukan untuk mendukung pembelajaran biologi kelas VIII SMP Negeri 2 Ngemplak.

#### 3.2. Hasil Pengujian

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem Augmented Reality (AR) yang dikembangkan mampu menjalankan fungsi input dan output dengan baik. Input berupa marker 2D (Barcode) berhasil dikenali oleh kamera perangkat Android melalui pemrosesan database Vuforia yang terintegrasi dalam aplikasi. Sistem secara responsif memproses input visual tersebut dan menampilkan output yang sesuai.



Gambar 8. Hasil Pengujian

Output aplikasi terdiri dari dua komponen utama, yaitu objek 3D dan teks penjelasan. Objek 3D yang muncul meliputi elemen fotosintesis seperti matahari, daun/kloroplas, panah aliran senyawa ( $H_2O$ ,  $CO_2$ ,  $O_2$ , ATP, NADPH, dan  $C_6H_{12}O_6$ ), serta label visual Reaksi Terang dan Reaksi Gelap. Teks penjelasan singkat ditampilkan untuk memperkuat pemahaman siswa terhadap setiap tahapan proses. Secara keseluruhan, hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem dapat memproses input marker secara akurat dan menampilkan output visual secara interaktif serta informatif, sesuai dengan tujuan pengembangan media pembelajaran berbasis AR.

### 3.2.1. Hasil Pengujian Reaksi Terang

Pengujian pada marker Reaksi Terang menunjukkan bahwa sistem AR dapat mengenali marker dengan tepat dan akurat. Setelah pemindaian, aplikasi menampilkan objek 3D berupa matahari, daun/kloroplas, dan panah aliran senyawa seperti  $H_2O$ ,  $O_2$ , ATP, dan NADPH, lengkap dengan teks penjelasan singkat mengenai proses yang terjadi di tilakoid. Visual dan teks tampil secara interaktif dan stabil di layar perangkat Android.



Gambar 9. Pengujian Reaksi Terang

### 3.2.2. Hasil Pengujian Reaksi Gelap

Pada marker Reaksi Gelap, pengujian aplikasi berhasil menampilkan objek 3D yang merepresentasikan proses fiksasi  $CO_2$  di stroma, disertai dengan panah senyawa ATP, NADPH, dan hasil akhir berupa glukosa ( $C_6H_{12}O_6$ ). Teks pendamping menjelaskan peran senyawa tersebut secara ringkas. Proses pengenalan marker berlangsung lancar, dan output visual muncul secara tepat dan informatif sesuai tujuan pembelajaran.



Gambar 10. Pengujian Reaksi Gelap

### 3.3. Hasil Responden Pengguna

Penelitian ini sudah diujikan kepada siswa kelas VIII, dengan tujuan untuk mengetahui tanggapan mereka terhadap aplikasi pembelajaran interaktif berbasis Augmented Reality yang telah dirancang. Tanggapan siswa diberikan setelah mereka menyelesaikan sesi pembelajaran menggunakan aplikasi berbasis Augmented Reality pada materi fotosintesis, meliputi reaksi terang dan reaksi gelap. Data diperoleh dengan cara pengisian angket yang terdiri dari 9 pernyataan, mencakup tiga aspek penilaian utama, yaitu kemudahan penggunaan, minat terhadap konten, dan pemahaman materi. Berdasarkan hasil angket yang diberikan kepada siswa setelah menggunakan aplikasi Augmented Reality (AR), diperoleh respon positif terhadap tiga aspek utama penilaian. Aspek kemudahan penggunaan memperoleh skor sebesar 78,87%, menunjukkan bahwa aplikasi cukup mudah dioperasikan. Pada aspek ketertarikan terhadap konten, aplikasi meraih skor 83,04%, menandakan bahwa tampilan visual dan animasi yang ditampilkan dinilai menarik serta mampu meningkatkan minat belajar siswa. Sementara itu, aspek pemahaman materi fotosintesis memperoleh nilai tertinggi sebesar 85,99%, yang menunjukkan bahwa aplikasi efektif dalam membantu siswa memahami proses reaksi terang dan reaksi gelap melalui visualisasi 3D yang interaktif. Secara keseluruhan, rata-rata nilai dari ketiga aspek mencapai 82,64%, yang tergolong dalam kategori "Sangat Layak" sebagai media pembelajaran Biologi di tingkat SMP.

### 3.4. Pembahasan

Menurut hasil percobaan, Teknologi AR ini dapat menunjukkan proses fotosintesis dengan jelas dan interaktif. Pemanfaatan objek 3D mempermudah siswa dalam memahami konsep reaksi terang dan reaksi gelap yang biasanya sulit untuk dijelaskan hanya dengan gambar dua dimensi. Respon siswa yang sangat baik menunjukkan bahwa aplikasi ini berhasil meningkatkan pemahaman serta minat belajar mereka. Ini mendukung studi Indriani & Abidin serta Cahyaningrum *et al* yang menyebutkan bahwa media AR bisa menjadi pilihan efisien untuk

menyampaikan konten abstrak dalam bidang Biologi. Pemanfaatan perangkat Android juga mendukung penerapan aplikasi secara luas karena hampir semua siswa saat ini memiliki akses ke smartphone. Hal ini mendukung hasil penelitian Khanan & Wardhani yang menunjukkan bahwa media AR berbasis mobile sangat mudah diterapkan di sektor Pendidikan.

Penelitian ini berhasil mengimplemetasikan media pembelajaran berbasis Augmented Reality (AR) untuk topik fotosintesis (reaksi terang dan reaksi gelap) bagi siswa kelas VIII SMP Negeri 2 Ngemplak, dengan pendekatan *Multimedia Development Life Cycle* (MDLC). Aplikasi dibuat dengan menggunakan platform Unity 3D, Vuforia, serta Bahasa pemrograman C#, dan hanya ditujukan untuk perangkat android. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem AR yang dikembangkan mampu menjalankan fungsi input dan output dengan baik. Input berupa marker 2D (barcode gambar reaksi terang dan reaksi gelap) berhasil dikenali secara akurat oleh kamera perangkat Android melalui pemrosesan database Vuforia. Selanjutnya, sistem memproses input tersebut dan menghasilkan output berupa objek 3D interaktif yang menampilkan elemen-elemen fotosintesis (matahari, kloroplas, aliran senyawa seperti H<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, ATP, NADPH, dan glukosa), dilengkapi dengan teks penjelasan untuk memperkuat pemahaman konsep pada setiap proses.

#### 4. KESIMPULAN

Secara keseluruhan, sistem berjalan dengan respon yang stabil dan antarmuka yang lancar, serta mampu menyajikan materi fotosintesis secara visual dan informatif sesuai tujuan pembelajaran. Objek 3D muncul tepat di atas marker saat dipindai, dan semua navigasi dalam aplikasi berjalan tanpa hambatan. Berdasarkan hasil angket siswa setelah menggunakan aplikasi Augmented Reality (AR), diperoleh respon positif pada tiga aspek utama. Aspek kemudahan penggunaan memperoleh skor 78,87%, ketertarikan terhadap konten sebesar 83,04%, dan pemahaman materi fotosintesis mencapai 85,99%. Rata-rata keseluruhan sebesar 82,64% menunjukkan bahwa aplikasi tergolong "Sangat Layak" digunakan sebagai media pembelajaran Biologi tingkat SMP.

Media pembelajaran berbasis AR ini efektif menciptakan pengalaman belajar yang interaktif, serta mempermudah siswa dalam menguasai materi yang bersifat abstrak, serta mendorong motivasi belajar Biologi. Namun demikian, aplikasi ini masih memiliki beberapa kekurangan, seperti belum adanya fitur evaluasi berupa kuis interaktif dan ketergantungan pada kualitas pemindaian marker. Oleh karena itu, pengembangan lebih lanjut dapat diarahkan pada integrasi fitur evaluasi, perluasan materi, dan peningkatan kualitas visual agar pengalaman belajar siswa semakin optimal.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] H. Y. Chang *et al.*, "Ten years of augmented reality in education: A meta-analysis of (quasi-) experimental studies to investigate the impact," *Comput Educ*, vol. 191, Dec. 2022, doi: [10.1016/j.compedu.2022.104641](https://doi.org/10.1016/j.compedu.2022.104641).
- [2] S. Amiliah Alvionita, N. Efendi, F. Eka Wulandari, P. Pendidikan IPA, and F. Psikologi dan Ilmu Pendidikan, "Eduproxima: Jurnal Ilmiah Pendidikan IPA IDENTIFIKASI MISKONSEPSI SISWA SMP MENGGUNAKAN FOUR-TIER DIAGNOSTIC TEST PADA MATERI FOTOSINTESIS," 2025. [Online]. Available: <http://jurnal.stkipppgritulungagung.ac.id/index.php/eduproxima>
- [3] Mansur S, "Nomor 2 Tahun 2023 | 160 JOTE Volume 5 Nomor 2 Tahun 2023 Halaman 160-166 JOURNAL ON TEACHER EDUCATION Research & Learning in Faculty of Education," vol. 5.
- [4] R. Indriani and Z. Abidin, "https://jurnal.unigal.ac.id/index.php/jwp LITERATURE REVIEW : PENGEMBANGAN MEDIA PEMBELAJARAN AUGMENTED REALITY PADA MATA PELAJARAN BIOLOGI," *Jurnal Wahana Pendidikan*, vol. 9, no. 2, pp. 139-148, 2022, [Online]. Available: <https://jurnal.unigal.ac.id/index.php/jwp>

- [5] A. Khanan and I. Y. Wardhani, "Pengembangan Aplikasi Biologi Sel Augmented Reality (BIOSAR) Berbasis Android Sebagai Media Pembelajaran Kelas XI SMA/MA," *BIODIK*, vol. 10, no. 3, pp. 392–399, Sep. 2024, doi: [10.22437/biodik.v10i3.34384](https://doi.org/10.22437/biodik.v10i3.34384).
- [6] R. Cahyaningrum, I. Junaedi, and H. Ichwan, "Implementasi Augmented Reality Pada Media Pembelajaran Animasi 3D Sistem Pencernaan Manusia Berbasis Android," *Jurnal Manajemen Informatika Jayakarta*, vol. 2, no. 4, p. 337, Sep. 2022, doi: [10.52362/jmijayakarta.v2i4.918](https://doi.org/10.52362/jmijayakarta.v2i4.918).
- [7] Wazim Rafeek Sharif, Lydia Narain, and Abraham Abiodun Ogowewo, "Impact of virtual reality and augmented reality technologies on biology education: A review," *GSC Advanced Research and Reviews*, vol. 22, no. 3, pp. 159–167, Mar. 2025, doi: [10.30574/gscarr.2025.22.3.0078](https://doi.org/10.30574/gscarr.2025.22.3.0078).
- [8] A. Faria and G. L. Miranda, "Augmented Reality in Natural Sciences and Biology Teaching: Systematic Literature Review and Meta-Analysis," Aug. 01, 2024, *Ital Publication*. doi: [10.28991/ESJ-2024-08-04-025](https://doi.org/10.28991/ESJ-2024-08-04-025).
- [9] M. Muhfahroyin and H. Santoso, "Augmented Reality as Biology Learning Media Based-on Artificial Intelligence Technology: A Systematic Literature Review," *JURNAL BIOEDUKATIKA*, vol. 12, no. 1, pp. 1–10, Mar. 2024, doi: [10.26555/bioedukatika.v12i1.26992](https://doi.org/10.26555/bioedukatika.v12i1.26992).
- [10] T. Indria Permana, H. Husamah, M. Irfan Nurhamdani, A. Zaskia, A. Savitri, and D. Aulia Salsabila, "Augmented reality in biology education: A systematic literature review," 2024, doi: [10.22219/raden.v4i1.3](https://doi.org/10.22219/raden.v4i1.3).
- [11] E. P. Azrai, Y. R. Dewahrani, A. Suryanda, D. S. Rini, and Z. Hamam, "The urgency of developing augmented reality-based biology learning media on genetic substance material," *JPBIO (Jurnal Pendidikan Biologi)*, vol. 9, no. 1, pp. 01–10, Apr. 2024, doi: [10.31932/jpbio.v9i1.2950](https://doi.org/10.31932/jpbio.v9i1.2950).
- [12] D. Nourman Chrisdyanto, A. Rudatyo Himamunanto, and el Pieter Sumihar, "Implementasi dan Analisis Performa Pembelajaran Pengenalan Hewan Pada Anak-Anak Usia 5 Tahun Berbasis Augmented Reality," 2024.
- [13] A. R. Himamunanto, D. A. F. Waruwu, and G. C. Setyawan, "Image Tracking Berbasis AR Untuk Peningkatan Pembelajaran Buah Pada Pendidikan Anak Usia Dini (PAUD)," *Infotek: Jurnal Informatika dan Teknologi*, vol. 6, no. 2, pp. 381–389, Jul. 2023, doi: [10.29408/jit.v6i2.16830](https://doi.org/10.29408/jit.v6i2.16830).
- [14] F. M. Faatih and M. Zakariyah, "Aplikasi Pembelajaran Pengenalan Organ Pernapasan dan Pencernaan Manusia Berbasis Mobile Augmented Reality," *Smart Comp: Jurnalnya Orang Pintar Komputer*, vol. 13, no. 1, Jan. 2024, doi: [10.30591/smartcomp.v13i1.6063](https://doi.org/10.30591/smartcomp.v13i1.6063).
- [15] F. Marston, B. Arifitama, S. Dian, H. Permana, I. A. Abstrak, and K. Kunci, "Penerapan Augmented Reality dalam Pembelajaran Sistem Pencernaan Manusia Pada Pembelajaran Biologi Menggunakan Metode Marker-Based Tracking di SMA Mardi Yuana."
- [16] V. P. Defrian Ardianto Putro Fadhlullah Toha1, "Pengembangan Media Pembelajaran Berbasis Augmented Reality (AR) pada Mata Pelajaran IPA Kelas VII," *BIOS: Jurnal Teknologi Informasi dan Rekayasa Komputer*, vol. 5, no. 2, pp. 95–103, Aug. 2024, doi: [10.37148/bios.v5i2.125](https://doi.org/10.37148/bios.v5i2.125).
- [17] S. Sungkono *et al.*, "Mosharafa: Jurnal Pendidikan Matematika Media Pembelajaran Berbasis Teknologi Augmented Reality," vol. 11, no. 3, 2022, [Online]. Available: <http://journal.institutpendidikan.ac.id/index.php/mosharafa>