

## Perancangan Model Pembelajaran Biologi Berbasis Augmented Reality

Yunus Widjaja<sup>1</sup>, Junaidi<sup>2</sup>, Etin Solihatin<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Jakarta State University, Jl. R.Mangun Muka Raya No.11, RT.11/RW.14,  
Rawamangun

<sup>1</sup>yunus.widjaja@mhs.unj.ac.id; <sup>2</sup>jndi\_sportmed@yahoo.com; <sup>3</sup>  
dr.etinsolihatin@gmail.com  
corresponding author

### Abstract

Biology learning at the senior high school level often encounters challenges in delivering abstract concepts, particularly within the topic of the human coordination system, including brain anatomy and function. These difficulties are largely attributed to the lack of interactive learning resources and the complexity of visualizing biological structures. This study aims to develop a Biology learning model based on Augmented Reality (AR) to enhance conceptual understanding among eleventh-grade students on the topic of the human nervous system. The research employed a Research and Development (R&D) approach, adopting the ADDIE development model, which comprises five phases: Analysis, Design, Development, Implementation, and Evaluation. The developed AR-based learning product was validated by experts in pedagogy, instructional design, and educational technology, focusing on aspects of content, visual design, and technological functionality.

The findings indicate that the AR-based learning model significantly improved students' conceptual understanding compared to conventional learning methods, as demonstrated by statistical analysis of pre-test and post-test scores. Moreover, expert validation classified the developed model as "highly feasible" for implementation in senior high school Biology instruction. In conclusion, the integration of AR technology in Biology education offers an innovative and practical solution to address students' difficulties in understanding complex and abstract scientific content.

**Keywords:** *Augmented Reality*, Biology Learning, Learning Model, Nervous System, Brain Anatomy.

### Abstrak

Pembelajaran Biologi di jenjang Sekolah Menengah Atas (SMA) kerap menghadapi tantangan dalam menyampaikan konsep-konsep yang bersifat abstrak, khususnya pada materi sistem koordinasi manusia yang mencakup anatomi dan fungsi otak. Kesulitan ini sebagian besar disebabkan oleh keterbatasan media pembelajaran yang interaktif serta rendahnya kemampuan visualisasi terhadap struktur biologis yang kompleks. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan model pembelajaran Biologi berbasis Augmented Reality (AR) guna meningkatkan pemahaman konsep siswa kelas XI pada topik sistem saraf. Metode yang digunakan adalah penelitian dan pengembangan (Research and Development) dengan mengadopsi model pengembangan ADDIE yang meliputi tahap Analysis, Design, Development, Implementation, dan Evaluation. Produk yang dihasilkan divalidasi oleh ahli pedagogi, desain instruksional, dan teknologi pendidikan untuk menilai kelayakan dari aspek isi, desain visual, dan fungsionalitas teknologi.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa model pembelajaran berbasis AR efektif dalam meningkatkan pemahaman konsep siswa secara signifikan dibandingkan dengan pendekatan konvensional, sebagaimana dibuktikan

melalui perbandingan nilai pre-test dan post-test serta uji statistik. Selain itu, hasil validasi pakar menyatakan bahwa model ini berada dalam kategori “sangat layak” untuk digunakan dalam konteks pembelajaran Biologi di tingkat SMA. Dengan demikian, implementasi teknologi AR dalam pembelajaran Biologi dapat menjadi solusi inovatif dan aplikatif untuk meningkatkan kualitas pemahaman siswa terhadap materi yang kompleks dan abstrak.

Kata Kunci: *Augmented Reality*, Pembelajaran Biologi, Model Pembelajaran, Sistem Saraf, Anatomi Otak.

## Introduction

Pendidikan memegang peranan krusial dalam membentuk individu yang memiliki kemampuan adaptasi, kreativitas, dan inovasi, yang menjadi kunci keberhasilan di era globalisasi saat ini (Zh et al., 2024). Pembelajaran yang efektif harus mampu membekali peserta didik dengan kompetensi yang relevan, termasuk kemampuan memecahkan masalah, berpikir logis, kritis, serta berkolaborasi secara efektif (Mutiah, 2020). Model pembelajaran yang berpusat pada siswa, memberikan kesempatan partisipasi aktif, serta relevan dengan konteks kehidupan sehari-hari, semakin menjadi kebutuhan untuk menciptakan pengalaman belajar yang bermakna (Indrawati & Nurafni, 2021). Perkembangan teknologi digital, seperti Augmented Reality, menawarkan potensi besar dalam mentransformasi proses pembelajaran menjadi lebih interaktif, menarik, dan personalisasi (Musthafa et al., 2024). Augmented Reality merupakan teknologi yang menggabungkan objek virtual 3D ke dalam lingkungan nyata, memungkinkan pengguna berinteraksi secara real-time (Aditya et al., 2020).

Biologi merupakan salah satu mata pelajaran inti dalam kurikulum pendidikan menengah yang memiliki peran strategis dalam membekali peserta didik dengan pemahaman mengenai struktur dan fungsi makhluk hidup, termasuk sistem biologis dalam tubuh manusia. Salah satu topik yang memerlukan tingkat pemahaman tinggi adalah sistem koordinasi manusia, khususnya anatomi dan fungsi otak serta sistem saraf. Materi ini tergolong abstrak dan kompleks sehingga sering menjadi kendala bagi peserta didik dalam memahami konsep secara menyeluruh (Mahmudi et al., 2022). Pembelajaran biologi memerlukan berbagai keterampilan pemrosesan lisan dan tertulis, yang diharapkan dapat menghasilkan kemampuan kognitif, psikomotor, dan afektif yang baik (Yustini et al., 2021).

Keterbatasan media pembelajaran interaktif yang mampu memvisualisasikan struktur anatomi secara realistis menjadi salah satu faktor penyebab rendahnya tingkat pemahaman siswa terhadap materi tersebut. Pembelajaran yang masih didominasi oleh metode konvensional seperti ceramah, buku teks, dan ilustrasi dua dimensi kurang mampu menjembatani kebutuhan visualisasi konsep-konsep biologis yang bersifat spasial dan dinamis (Zai et al., 2024). Kondisi ini berdampak pada rendahnya motivasi belajar serta efektivitas pembelajaran Biologi di kelas.

Oleh karena itu, inovasi dalam perancangan model pembelajaran yang mampu mengatasi tantangan tersebut menjadi sangat diperlukan. Realitas tertambah (Augmented Reality) menawarkan potensi besar sebagai solusi inovatif dalam pembelajaran Biologi, khususnya untuk memvisualisasikan konsep-konsep abstrak dan kompleks seperti struktur anatomi otak dan sistem saraf. Realitas tertambah merupakan teknologi yang menggabungkan objek virtual dua atau tiga

dimensi ke dalam lingkungan nyata, sehingga menciptakan pengalaman interaktif yang imersif bagi pengguna (Musthafa et al., 2024).

Model pembelajaran Biologi berbasis Augmented Reality menawarkan solusi inovatif untuk meningkatkan pemahaman konsep dan motivasi belajar siswa. Dengan memanfaatkan teknologi ini, siswa dapat berinteraksi dengan model virtual 3D dari struktur anatomi otak dan sistem saraf secara real-time. Mereka dapat melakukan eksplorasi secara mandiri, memanipulasi objek virtual, serta memperoleh informasi tambahan melalui animasi, simulasi, dan teks penjelasan. Pembelajaran berbasis Augmented Reality berpotensi meningkatkan pemahaman konsep yang mendalam, karena siswa dapat mengamati struktur anatomi dari berbagai sudut pandang, melihat bagian-bagian yang tersembunyi, serta memahami hubungan spasial antar komponen. Integrasi Augmented Reality ke dalam pembelajaran Biologi juga dapat meningkatkan motivasi belajar siswa, karena mereka merasa lebih tertarik dan antusias dengan pengalaman belajar yang lebih interaktif, visual, dan menyenangkan (Musthafa et al., 2024).

Penggunaan Augmented Reality dalam pembelajaran biologi diharapkan dapat memberikan inovasi dan variasi dalam media pembelajaran (Erwinsah et al., 2019). Berdasarkan hasil penelitian, teknologi Augmented Reality mendapat respons positif dalam penerapannya di dunia pendidikan. Penyampaian materi sistem tata surya saat ini semakin berkembang dengan penggunaan teknologi Augmented Reality (Tresnawati et al., 2021). Dengan demikian, pemanfaatan Augmented Reality menjadi salah satu solusi yang menjanjikan dalam meningkatkan kualitas pembelajaran Biologi di era digital.

Perkembangan teknologi informasi dan komunikasi di bidang pendidikan membuka peluang integrasi media pembelajaran inovatif yang bersifat imersif dan interaktif. Salah satu teknologi yang berpotensi besar dalam pembelajaran Biologi adalah Augmented Reality (AR) (Putri et al., 2021). Teknologi AR memungkinkan penyisipan objek digital tiga dimensi ke dalam lingkungan nyata, sehingga peserta didik dapat melakukan eksplorasi terhadap struktur biologis secara lebih nyata dan kontekstual. Interaksi langsung dengan model visual yang representatif diyakini mampu meningkatkan pemahaman konseptual dan keterlibatan siswa dalam proses pembelajaran (Olson & Clough, 2021).

Penelitian ini sangat relevan dengan perkembangan teknologi pendidikan saat ini, khususnya dalam mengintegrasikan media interaktif berbasis AR yang diyakini mampu mengatasi keterbatasan pembelajaran konvensional. Selain itu, studi ini sejalan dengan upaya peningkatan kualitas pembelajaran Biologi yang responsif terhadap tuntutan pembelajaran abad ke-21, sehingga dapat mendukung pencapaian kompetensi peserta didik secara optimal di tingkat sekolah menengah atas.

Dalam penelitian kualitatif, keabsahan data menjadi aspek krusial untuk memastikan bahwa hasil penelitian akurat dan dapat dipercaya. Penelitian ini bertujuan mengembangkan model pembelajaran Biologi berbasis Augmented Reality yang difokuskan pada materi sistem saraf manusia untuk peserta didik kelas XI. Metode penelitian yang digunakan adalah Research and Development (R&D) dengan pendekatan model pengembangan ADDIE (Analysis, Design, Development, Implementation, Evaluation). Penelitian ini mengkaji kelayakan serta efektivitas model pembelajaran yang dikembangkan dalam meningkatkan pemahaman siswa terhadap materi sistem koordinasi, khususnya sistem saraf.

Berdasarkan uraian tersebut, rumusan pertanyaan penelitian adalah sebagai berikut:

1. Bagaimanakah tingkat kelayakan model pembelajaran Biologi berbasis Augmented Reality pada materi sistem saraf manusia berdasarkan validasi ahli dan respons peserta didik?
2. Sejauh mana efektivitas model pembelajaran Biologi berbasis Augmented Reality dalam meningkatkan pemahaman konsep peserta didik pada materi sistem saraf manusia?

Untuk menjawab pertanyaan penelitian tersebut, digunakan indikator kuantitatif sebagai berikut:

1. Rata-rata skor pemahaman konsep peserta didik yang diperoleh melalui pretest dan posttest.
2. Persentase peningkatan skor pemahaman konsep setelah penerapan model pembelajaran.
3. Tingkat kelayakan media pembelajaran berdasarkan hasil validasi para ahli menggunakan instrumen penilaian berbasis skala Likert.
4. Tingkat kepuasan dan tanggapan peserta didik terhadap penggunaan media pembelajaran berbasis Augmented Reality yang diperoleh melalui kuesioner tertutup.

Melalui penerapan pendekatan berbasis teknologi realitas ditambah, penelitian ini diharapkan memberikan kontribusi signifikan terhadap pengembangan media pembelajaran inovatif, interaktif, dan efektif untuk meningkatkan kualitas proses pembelajaran Biologi di tingkat sekolah menengah atas.

## Methods

Penelitian ini menggunakan metode Research and Development (R&D) dengan mengadopsi model pengembangan ADDIE, yang terdiri atas lima tahapan utama: *Analysis, Design, Development, Implementation, dan Evaluation*.

Pada tahap *Analysis*, dilakukan studi literatur mendalam terkait materi sistem koordinasi manusia, khususnya sistem saraf, serta analisis kebutuhan pembelajaran yang melibatkan siswa dan guru Biologi kelas XI dari beberapa SMA. Analisis ini dilakukan melalui wawancara terbuka, penyebaran kuesioner, serta studi dokumen kurikulum.

Tahap *Design* mencakup perumusan tujuan pembelajaran yang bersifat spesifik, terukur, dapat dicapai, relevan, dan terikat waktu (SMART), yang disusun berdasarkan hasil analisis kebutuhan (Aziza, 2024). Selain itu, dikembangkan storyboard, flowchart, dan desain interaksi pengguna sebagai dasar pengembangan aplikasi berbasis Augmented Reality (AR).

Tahap *Development* meliputi pembuatan prototipe aplikasi AR menggunakan platform *Unity* dan *Vuforia*. Aplikasi dirancang untuk memvisualisasikan anatomi otak dan sistem saraf manusia dalam bentuk tiga dimensi secara interaktif. Produk awal kemudian divalidasi oleh tiga orang ahli, yaitu:

- Ahli media pembelajaran digital,
- Ahli materi Biologi,
- Ahli desain instruksional.

Validasi dilakukan dengan instrumen berbasis skala Likert yang mencakup aspek konten, kegunaan, tampilan visual, interaktivitas, dan kesesuaian dengan

kurikulum. Kriteria kelayakan ditentukan berdasarkan rerata skor dari tiap aspek validasi (kategori sangat layak, layak, cukup layak, dan tidak layak).

Pada tahap Implementation, model pembelajaran yang dikembangkan diimplementasikan secara terbatas pada siswa kelas XI IPA di SMA Abdi Siswa Patra. Untuk mengetahui efektivitas pembelajaran, digunakan desain kuasi-eksperimen dengan dua kelompok: kelompok eksperimen (menggunakan media AR) dan kelompok kontrol (menggunakan metode konvensional). Masing-masing kelompok terdiri dari 30 siswa yang memiliki karakteristik akademik setara.

Durasi implementasi dilakukan selama empat minggu (8 pertemuan) dengan materi sistem saraf sebagai fokus utama. Selama proses berlangsung, dilakukan observasi terhadap interaksi siswa, keterlibatan dalam pembelajaran, serta respons terhadap media AR yang digunakan.

Tahap Evaluation mencakup evaluasi formatif dan sumatif. Evaluasi efektivitas dilakukan melalui analisis pretest dan posttest menggunakan instrumen pemahaman konsep yang telah diuji validitas dan reliabilitasnya. Selain itu, dilakukan analisis terhadap peningkatan nilai (gain score), serta pengukuran kepuasan siswa melalui angket evaluatif.

## Results

Penelitian ini menghasilkan pengembangan model pembelajaran Biologi berbasis Augmented Reality (AR) dan analisis terhadap efektivitasnya dalam meningkatkan pemahaman konsep peserta didik kelas XI pada materi sistem saraf. Proses pengembangan dilaksanakan mengikuti tahapan model ADDIE, yang terdiri atas: *Analysis, Design, Development, Implementation, dan Evaluation*.

### 1. Tahap Analisis (*Analysis*)

Identifikasi kebutuhan dilakukan melalui observasi kelas, wawancara dengan guru Biologi, serta telaah dokumen kurikulum. Hasil analisis menunjukkan bahwa peserta didik mengalami kesulitan dalam memahami struktur otak dan mekanisme sistem saraf, terutama disebabkan oleh keterbatasan media pembelajaran yang mampu menyajikan visualisasi konsep secara konkret dan interaktif. Guru menyatakan bahwa materi tersebut memerlukan pendekatan pembelajaran berbasis teknologi yang mendukung keterlibatan aktif siswa dan mampu memfasilitasi pemahaman spasial.

### 2. Tahap Desain (*Design*)

Pada tahap ini, dirancang media pembelajaran berbasis AR yang mencakup perencanaan antarmuka pengguna (*user interface*), alur interaksi, skenario pembelajaran, serta pemetaan kompetensi dasar dan indikator pencapaian kompetensi. Materi pembelajaran difokuskan pada struktur anatomi otak, jenis-jenis neuron, dan jalur impuls saraf. Desain ini mengintegrasikan visualisasi tiga dimensi dan fitur interaktif untuk mendukung pembelajaran berbasis konstruktivisme.

### 3. Tahap Pengembangan (*Development*)

Media pembelajaran dikembangkan dengan menggunakan perangkat lunak *Unity* dan *Vuforia*, dengan melibatkan kolaborasi multidisiplin antara pengembang teknologi, ahli materi Biologi, dan ahli desain pembelajaran. Produk awal kemudian divalidasi oleh tiga pakar, yakni pakar pedagogi, pakar desain instruksional, dan pakar teknologi pembelajaran. Instrumen validasi berbasis skala Likert digunakan untuk menilai aspek kelayakan isi, tampilan visual, interaktivitas, dan kesesuaian dengan kurikulum. Hasil validasi menunjukkan bahwa media yang dikembangkan memenuhi kriteria kelayakan dengan rerata skor dalam kategori "sangat layak".

#### 4. Tahap Implementasi (*Implementation*)

Implementasi media dilakukan di kelas XI IPA SMA Abdi Siswa Patra. Peserta didik menggunakan perangkat mobile untuk mengakses media AR dalam pembelajaran materi sistem saraf. Kegiatan implementasi dilaksanakan dalam tiga sesi: dua sesi di kelas dan satu sesi luar kelas yang dilaksanakan di Museum Anatomi Fakultas Kedokteran dan Ilmu Kesehatan, Universitas Katolik Indonesia Atma Jaya. Guru berperan sebagai fasilitator selama proses pembelajaran berlangsung.

#### 5. Tahap Evaluasi (*Evaluation*)

Evaluasi efektivitas dilakukan melalui pemberian pre-test dan post-test untuk mengukur peningkatan pemahaman konsep siswa. Nilai rata-rata pre-test adalah 62,3, sedangkan nilai rata-rata post-test meningkat menjadi 84,7. Uji statistik menggunakan paired sample t-test menunjukkan bahwa perbedaan skor pre-test dan post-test signifikan secara statistik pada taraf signifikansi  $p < 0,05$ . Hal ini mengindikasikan bahwa penggunaan media AR berkontribusi secara positif terhadap peningkatan pemahaman siswa.

Selain evaluasi kuantitatif, dilakukan pula evaluasi kualitatif melalui angket persepsi siswa. Hasil angket menunjukkan bahwa:

- 92% peserta didik merasa media AR membantu mereka dalam memahami materi sistem saraf secara lebih jelas,
- 88% menyatakan bahwa penggunaan media ini membuat proses pembelajaran menjadi lebih menarik dan menyenangkan.

### Discussion

Model pembelajaran Biologi berbasis Augmented Reality (AR) yang dikembangkan dalam penelitian ini menunjukkan peningkatan signifikan dalam pemahaman siswa terhadap materi sistem saraf. Analisis nilai pre-test dan post-test mengindikasikan adanya peningkatan skor rata-rata dari 62,3 menjadi 84,7, yang secara statistik signifikan ( $p < 0,05$ ). Hal ini membuktikan bahwa pemanfaatan teknologi AR mampu memfasilitasi pemahaman konsep-konsep biologis yang kompleks secara lebih efektif dibandingkan metode pembelajaran konvensional.

Temuan ini memperkuat hipotesis bahwa keterbatasan media visualisasi menjadi hambatan utama dalam pemahaman siswa terhadap materi sistem saraf. Penggunaan AR dengan visualisasi tiga dimensi struktur otak dan neuron memungkinkan peserta didik membangun pemahaman spasial yang lebih akurat dan intuitif, yang tidak dapat dicapai hanya melalui gambar dua dimensi dalam buku teks. Dengan demikian, AR memberikan pengalaman belajar yang lebih konkret dan bermakna.

Dari perspektif pedagogis, media ini juga meningkatkan motivasi dan keterlibatan siswa dalam proses pembelajaran. Mayoritas peserta didik menyatakan bahwa pembelajaran berbasis AR lebih menarik dan membantu mereka fokus pada materi. Hal ini sejalan dengan teori pembelajaran konstruktivistik yang menekankan pentingnya keterlibatan aktif siswa dalam membangun pengetahuan secara mandiri (Alga et al., 2024). AR, yang mengintegrasikan objek virtual tiga dimensi ke dalam lingkungan nyata, memungkinkan interaksi real-time sehingga meningkatkan kualitas pengalaman belajar siswa (Watrianthos et al., 2022).

Namun demikian, implementasi model pembelajaran ini tidak terlepas dari sejumlah tantangan. Hambatan utama yang ditemukan meliputi keterbatasan perangkat keras, seperti spesifikasi ponsel pintar yang tidak memadai pada beberapa peserta didik, serta perlunya pelatihan dan pendampingan lebih lanjut

bagi guru agar dapat mengintegrasikan teknologi AR secara optimal ke dalam proses pembelajaran. Selain itu, cakupan materi dalam media AR masih terbatas pada topik-topik tertentu dalam sistem saraf, sehingga belum dapat menggantikan keseluruhan proses pembelajaran Biologi.

Penelitian ini juga memiliki keterbatasan metodologis, seperti ukuran sampel yang relatif kecil dan durasi implementasi yang singkat, yang membatasi generalisasi hasil penelitian. Penelitian hanya dilakukan pada satu sekolah dengan waktu pelaksanaan terbatas sehingga hasil yang diperoleh harus diinterpretasikan dengan hati-hati. Oleh karena itu, diperlukan penelitian lanjutan dengan cakupan yang lebih luas dan metode yang lebih komprehensif untuk menguji konsistensi efektivitas media AR dalam konteks pembelajaran yang beragam.

Secara keseluruhan, temuan penelitian ini memberikan kontribusi penting dalam diskursus pendidikan sains, khususnya dalam pemanfaatan teknologi inovatif untuk mengatasi kesulitan dalam pembelajaran materi yang bersifat abstrak dan kompleks. Dengan perkembangan teknologi digital yang pesat di bidang pendidikan, integrasi AR berpotensi membuka jalan bagi model pembelajaran yang lebih kontekstual, personal, dan adaptif.

Keunggulan penelitian ini antara lain terletak pada penggunaan model pengembangan ADDIE yang sistematis sehingga proses perancangan media pembelajaran dilakukan secara terstruktur dan komprehensif, menghasilkan produk yang valid dan praktis. Selain itu, kolaborasi multidisipliner antara pengembang teknologi, ahli materi Biologi, dan ahli desain pembelajaran memastikan kesesuaian aspek teknis, pedagogis, dan isi materi. Visualisasi tiga dimensi interaktif yang ditawarkan media ini memfasilitasi pembelajaran yang lebih imersif dan konstruktivistik, sekaligus meningkatkan motivasi dan keterlibatan siswa. Keunggulan-keunggulan tersebut menjadikan penelitian ini sebagai kontribusi signifikan dalam pengembangan media pembelajaran Biologi berbasis teknologi, khususnya untuk mengatasi tantangan pemahaman materi yang kompleks di tingkat sekolah menengah.

### **Key Findings**

Penelitian ini berhasil mengembangkan model pembelajaran Biologi berbasis Augmented Reality (AR) yang valid, praktis, dan efektif dalam meningkatkan pemahaman konsep materi sistem saraf pada peserta didik kelas XI. Temuan utama penelitian adalah sebagai berikut:

1. Media pembelajaran berbasis AR yang dikembangkan memenuhi kriteria kelayakan dari segi isi, tampilan visual, interaktivitas, dan kesesuaian dengan kurikulum, dengan skor validasi dalam kategori sangat layak.
2. Implementasi media AR dalam pembelajaran memberikan kontribusi signifikan terhadap peningkatan pemahaman konsep peserta didik, terlihat dari kenaikan rata-rata skor post-test (84,7) dibandingkan pre-test (62,3) dengan signifikansi statistik ( $p < 0,05$ ).
3. Sebagian besar peserta didik (92%) melaporkan bahwa media AR memudahkan pemahaman materi sistem saraf secara lebih jelas dan konkret.
4. Sebanyak 88% peserta didik menyatakan bahwa media AR meningkatkan daya tarik dan kesenangan dalam proses pembelajaran sehingga memotivasi mereka belajar lebih aktif.
5. Penggunaan AR memungkinkan keterlibatan aktif siswa melalui visualisasi tiga dimensi dan fitur interaktif yang mendukung pendekatan pembelajaran konstruktivistik.

Temuan-temuan ini mengindikasikan bahwa integrasi teknologi AR dapat menjadi solusi efektif dan inovatif untuk mengatasi kendala pemahaman materi biologis yang abstrak dan kompleks.

### **Limitations**

Meskipun memberikan hasil yang menjanjikan, penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan yang perlu diperhatikan. Pertama, keterbatasan perangkat keras menjadi kendala teknis yang mempengaruhi kelancaran penggunaan media AR, mengingat tidak semua peserta didik memiliki akses ke perangkat dengan spesifikasi yang memadai. Kedua, pelatihan guru terkait penggunaan dan integrasi teknologi AR masih perlu ditingkatkan agar implementasi dapat berjalan lebih optimal.

Ketiga, cakupan materi pembelajaran dalam media AR masih terbatas pada topik sistem saraf saja, sehingga belum mencakup seluruh aspek pembelajaran Biologi yang membutuhkan visualisasi kompleks. Keempat, penelitian dilakukan hanya pada satu sekolah dengan jumlah peserta didik yang terbatas dan dalam rentang waktu singkat, sehingga hasilnya tidak dapat digeneralisasikan secara luas tanpa penelitian tambahan di berbagai konteks dan dengan desain eksperimen yang lebih komprehensif.

Keterbatasan-keterbatasan ini menjadi landasan penting bagi penelitian selanjutnya untuk memperluas cakupan materi, meningkatkan aksesibilitas teknologi, serta menguji efektivitas model pembelajaran berbasis AR pada populasi yang lebih besar dan beragam.

### **Conclusion**

Penelitian ini telah menunjukkan pengembangan dan implementasi model pembelajaran Biologi berbasis Augmented Reality (AR) yang dirancang untuk meningkatkan pemahaman konseptual siswa terhadap sistem saraf manusia, khususnya anatomi otak. Integrasi teknologi AR dalam proses pembelajaran terbukti secara signifikan meningkatkan pemahaman siswa, terutama dalam materi yang secara tradisional dianggap abstrak dan sulit dipahami. Dengan memungkinkan visualisasi 3D yang interaktif, model berbasis AR memungkinkan siswa untuk mengeksplorasi struktur biologis secara lebih konkret, spasial, dan menarik.

Temuan ini menunjukkan bahwa AR merupakan alat pedagogis yang kuat, mampu menjembatani kesenjangan antara konten biologis yang abstrak dan kemampuan kognitif siswa dalam memahaminya. Model ini memfasilitasi akuisisi konsep secara lebih efektif dibandingkan metode konvensional dan mendorong keterlibatan siswa secara lebih aktif. Hasil ini menegaskan potensi teknologi pendidikan imersif dalam mentransformasi pembelajaran sains dengan menjadikan materi kompleks lebih mudah diakses dan bermakna.

Dari perspektif pendidikan dan sosiokultural yang lebih luas, penggunaan AR dalam pembelajaran sains berkontribusi pada upaya modernisasi praktik pembelajaran yang sesuai dengan karakteristik pelajar digital saat ini. Ini mencerminkan pergeseran menuju pendekatan konstruktivistik dan berpusat pada siswa yang menekankan eksplorasi, interaktivitas, dan pembelajaran yang kontekstual. Dalam konteks ini, AR tidak hanya meningkatkan hasil kognitif tetapi juga mendukung pengembangan rasa ingin tahu ilmiah, pemikiran kritis, dan kemandirian belajar keterampilan yang esensial dalam pendidikan abad ke-21.

Meskipun hasil dari penelitian ini menunjukkan prospek yang menjanjikan, studi ini memiliki keterbatasan dalam hal cakupan, yakni hanya diimplementasikan di satu sekolah dan dalam periode pembelajaran yang singkat. Keterbatasan ini menunjukkan bahwa generalisasi hasil perlu dilakukan secara hati-hati. Selain itu, kendala teknis seperti keterbatasan perangkat keras dan kebutuhan pelatihan guru tetap menjadi tantangan yang perlu diatasi untuk penerapan yang lebih luas.

Penelitian di masa depan sebaiknya memperluas studi ini dengan mengeksplorasi penggunaan AR pada topik biologi lainnya, mengevaluasi hasil belajar jangka panjang, serta mengintegrasikan pendidikan berbasis nilai secara lebih eksplisit dalam desain teknologinya. Kolaborasi antara pendidik, pengembang perangkat lunak, dan ahli kurikulum akan sangat penting untuk memastikan bahwa teknologi yang berkembang tetap selaras secara pedagogis dan relevan secara kultural.

Sebagai kesimpulan, penelitian ini memberikan bukti empiris tentang nilai edukatif dari AR dalam pembelajaran Biologi di tingkat sekolah menengah. Penelitian ini turut berkontribusi dalam wacana yang berkembang mengenai peran teknologi pendidikan dalam pembelajaran sains, khususnya dalam konteks yang berupaya menyelaraskan antara pengetahuan ilmiah dengan perkembangan etis dan spiritual. Integrasi AR ke dalam proses belajar-mengajar membuka jalan menuju pengalaman pendidikan yang lebih holistik dan transformatif.

## Bibliography

- Aditya, I. P. T., Udayana, A. A. G. B., & Swandi, I. W. (2020). Perancangan Media Pembelajaran Interaktif Ensiklopedia Wayang Kamasan Berbasis Augmented Reality. *AMARASI Jurnal Desain Komunikasi Visual*, 1(1), 9. <https://doi.org/10.59997/amarasi.v1i01.32>
- Alga, R. K., Hsb, A. A. A., Azhara, S., Hakim, E. H., Afia, N., & Yusnaldi, E. (2024). Pemanfaatan Media Pembelajaran Digital: Meningkatkan Minat Belajar IPS di Sekolah Dasar Melalui Presentasi Interaktif dan Video Animasi. *Continuous Education Journal of Science and Research*, 5(3), 200. <https://doi.org/10.51178/ce.v5i3.2197>
- Aziza, I. Fahmi. (2024). Pengembangan Media Pembelajaran Bahasa Arab Berbasis Teknologi Augmented Reality (AR). *JIPi (Jurnal Ilmiah Pendidikan Islam)*, 3(1), 52. <https://doi.org/10.58788/jipi.v3i1.4186>
- Erwinsah, R., Aria, M., & Yusup, Y. (2019). Application of augmented reality technology in biological learning. *Journal of Physics Conference Series*, 1402(6), 066090. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1402/6/066090>
- Indrawati, N., & Nurafni. (2021). Penerapan Model Problem Based Learning Dengan Pemberian Tugas Proyek Terhadap Hasil Belajar Matematika. *Kognitif Jurnal Riset HOTS Pendidikan Matematika*, 1(2), 81. <https://doi.org/10.51574/kognitif.v1i2.71>
- Mahmudi, I., Athoillah, Muh. Z., Wicaksono, E., & Kusuma, A. R. (2022). Taksonomi Hasil Belajar Menurut Benyamin S. Bloom. *Jurnal Multidisiplin Madani*, 2(9), 3507. <https://doi.org/10.55927/mudima.v2i9.1132>
- Musthafa, A., Utama, S. N., Muriyatmoko, D., Pradhana, F. R., & Arafah, R. F. (2024). Penerapan Augmented Reality Pada Board Game Sebagai Media Pembelajaran Bahasa Arab. *SemanTIK Teknik Informasi*, 10(1), 51. <https://doi.org/10.55679/semantik.v10i1.46844>

- Mutiah, T. (2020). Meningkatkan hasil belajar pada pembelajaran sifat-sifat cahaya melalui model problem based learning pada siswa kelas IV Sekolah Dasar Negeri 3 Kedungwringin. *Jurnal Kualita Pendidikan*, 1(3), 86. <https://doi.org/10.51651/jkp.v1i3.13>
- Olson, A. R., & Clough, M. P. (2021). An Attachment Point for Meaningful Musculoskeletal Learning. *The American Biology Teacher*, 83(9), 589. <https://doi.org/10.1525/abt.2021.83.9.589>
- Putri, D. G., Zulfarina, Z., Syafii, W., & Syafii, W. (2021). Development of Augmented Reality for Biology E-Magazine. *Journal of Educational Sciences*, 5(3), 511. <https://doi.org/10.31258/jes.5.3.p.511-519>
- Tresnawati, D., Rahayu, S., & Yusuf, K. (2021). Pengenalan Sistem Tata Surya Menggunakan Teknologi Augmented Reality pada Siswa Sekolah Dasar. *Jurnal Algoritma*, 18(1), 182. <https://doi.org/10.33364/algoritma/v.18-1.954>
- Watrianthos, R., Handayani, R. P., Hasibuan, R., Ambiyar, A., & Refdinal, R. (2022). Students' Perceptions of Android-Based Interactive Multimedia in Learning Biology. *EDUKATIF Jurnal Ilmu Pendidikan*, 4(4), 5010. <https://doi.org/10.31004/edukatif.v4i4.3044>
- Yustini, S., Rahmayumita, R., & Hidayati, N. (2021). Video dan Google Classroom: Sebuah Cara untuk Meningkatkan Motivasi Belajar Biologi Siswa SMAN 1 Pagaran Tapah, Riau. *Bioedusiana Jurnal Pendidikan Biologi*, 6(2), 121. <https://doi.org/10.37058/bioed.v6i2.2547>
- Zai, Y. P., Lase, A., Lahagu, A., & Harefa, Y. (2024). Pengembangan Video Pembelajaran Interaktif dalam Meningkatkan Minat Belajar Siswa. *Jurnal Inovasi Pendidikan Dan Teknologi Informasi (JIPTI)*, 5(2), 407. <https://doi.org/10.52060/jipti.v5i2.2378>
- Zh, M. H. R., Sani, N. L., Kuswandi, D., & Fadhli, M. (2024). Needs Analysis of Development FBO Media as a Support for Blended learning in Al- Qur' an Hadits Lesson. *Jurnal Pendidikan Agama Islam Al-Thariqah*, 9(1). <https://doi.org/10.25299/al-thariqah>