

PENGEMBANGAN MEDIA PEMBELAJARAN INTERAKTIF “BIOLENS FUNGI” BERBANTUAN WEBSITE PADA MATA PELAJARAN BIOLOGI KELAS X SMA

Muhammad Ardi Fajar¹, Rayendra², Zelhendri Zen³, Darmansyah⁴

^{1, 2, 3, 4}Universitas Negeri Padang, Jl. Prof. Dr. Hamka, Padang, Sumatera Barat, Indonesia

Email: muhammadardifajar7@gmail.com

Article History

Received: 01-07-2026

Revision: 23-07-2026

Accepted: 26-07-2026

Published: 30-07-2026

Abstract. The low scientific literacy and students' difficulties in visualizing the microscopic and abstract structure of fungi indicate the need for interactive digital learning media that supports visual understanding. This study aims to develop a website-based interactive media "BioLens Fungi" and test its validity, practicality, and effectiveness in learning Fungi material for grade X of high school. This study is a research and development (R&D) using a 4D model. The research subjects consisted of 31 students of SMAN 1 Pasaman, while the validity of the media was assessed by material experts and media experts. Data were analyzed descriptively quantitatively through the percentage of validity and practicality as well as N-Gain analysis and statistical tests on the results of the pretest and posttest. The media was developed using Canva and 3D Assemblr objects. The results showed material validity of 95.00%, media validity of 88.39%, and practicality of 97.74%, all of which are in the very valid and very practical categories. Learning outcomes increased from an average of 34.19 to 91.77 with an N-Gain of 0.88 in the high category. Thus, BioLens Fungi meets the feasibility and practicality criteria and demonstrates effectiveness in supporting students' understanding of Fungi material through digital-based interactive visualization.

Keywords: BioLens Fungi, Interactive Learning Media, Research and Development, 4D Model, Learning Outcomes.

Abstrak. Rendahnya literasi sains dan kesulitan siswa dalam memvisualisasikan struktur jamur yang bersifat mikroskopis dan abstrak menunjukkan perlunya media pembelajaran digital yang interaktif dan mendukung pemahaman visual. Penelitian ini bertujuan mengembangkan media interaktif berbasis website “BioLens Fungi” serta menguji validitas, praktikalitas, dan efektivitasnya dalam pembelajaran materi Fungi kelas X SMA. Penelitian ini merupakan penelitian dan pengembangan (Research and Development) menggunakan model 4D. Subjek penelitian terdiri atas 31 siswa SMAN 1 Pasaman, sedangkan validitas media dinilai oleh ahli materi dan ahli media. Data dianalisis secara deskriptif kuantitatif melalui persentase validitas dan praktikalitas serta analisis N-Gain dan uji statistik terhadap hasil pretest dan posttest. Media dikembangkan menggunakan Canva dan objek 3D Assemblr. Hasil penelitian menunjukkan validitas materi sebesar 95,00%, validitas media 88,39%, dan praktikalitas 97,74%, yang seluruhnya berada pada kategori sangat valid dan sangat praktis. Hasil belajar meningkat dari rata-rata 34,19 menjadi 91,77 dengan N-Gain sebesar 0,88 dalam kategori tinggi. Dengan demikian, BioLens Fungi memenuhi kriteria kelayakan dan kepraktisan serta menunjukkan efektivitas dalam mendukung pemahaman siswa terhadap materi Fungi melalui visualisasi interaktif berbasis digital.

Kata Kunci: BioLens Fungi, Media Pembelajaran Interaktif, Penelitian dan Pengembangan, Model 4D, Hasil Belajar.

How to Cite: Fajar, M. A., Rayendra., Zen, Z., & Darmansyah. (2026). Pengembangan Media Pembelajaran Interaktif “Biolens Fungi” Berbantuan Website pada Mata Pelajaran Biologi Kelas X SMA. *PEDAGOGIC: Indonesian Journal of Science Education and Technology*, 6 (4), 2793-2804. <http://doi.org/10.54373/ijset.v6i4.6825>

PENDAHULUAN

Pendidikan memiliki peran strategis dalam mempersiapkan kompetensi peserta didik menuju visi Indonesia Emas 2045, termasuk penguatan literasi sains sebagai salah satu kompetensi penting abad ke-21. Namun, capaian literasi sains Indonesia masih menjadi persoalan. Berdasarkan hasil Programme for International Student Assessment (PISA) 2022, skor sains Indonesia sebesar 383 poin, jauh di bawah rata-rata OECD sebesar 485 poin. Selain itu, hanya sekitar 34% peserta didik Indonesia yang mencapai Level 2 atau lebih tinggi dalam literasi sains, sedangkan rata-rata OECD mencapai 76%. Data tersebut menunjukkan bahwa sebagian besar peserta didik masih mengalami kesulitan dalam menerapkan pengetahuan sains untuk menjelaskan fenomena dan memecahkan masalah secara ilmiah (OECD, 2023). Kondisi ini menunjukkan perlunya pembelajaran biologi yang tidak hanya menyampaikan informasi secara verbal, tetapi juga menyediakan pengalaman belajar yang membantu siswa membangun pemahaman melalui representasi visual dan interaktif.

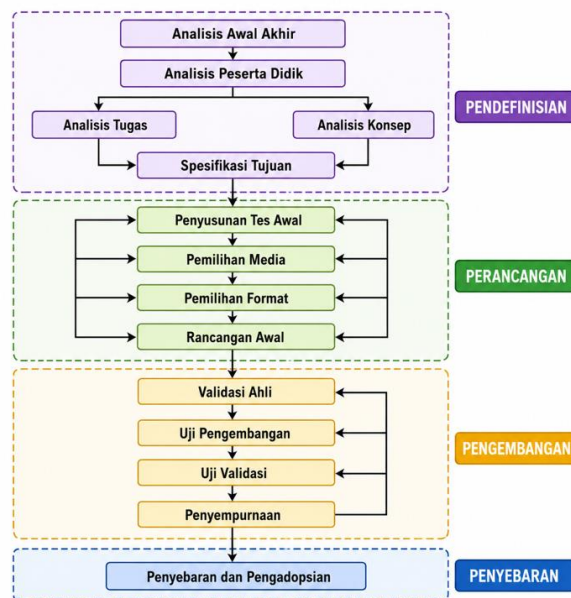
Permasalahan tersebut menjadi semakin kompleks pada materi Fungi karena objek yang dipelajari memiliki struktur mikroskopis dan abstrak, seperti hifa, miselium, sporangium, dan tubuh buah jamur. Berdasarkan studi pendahuluan yang dilakukan melalui wawancara dengan guru Biologi dan observasi proses pembelajaran di SMAN 1 Pasaman, pembelajaran materi Fungi masih banyak menggunakan gambar dua dimensi statis dari buku teks dan media presentasi. Kondisi tersebut menyebabkan siswa mengalami kesulitan dalam memahami hubungan antarkomponen struktur serta membayangkan bentuk objek yang tidak dapat diamati secara langsung. Temuan ini diperkuat oleh hasil identifikasi awal terhadap siswa yang menunjukkan bahwa visualisasi struktur Fungi merupakan salah satu bagian materi yang paling sulit dipahami. Keterbatasan representasi visual tersebut berpotensi menyebabkan pemahaman siswa lebih bersifat hafalan dan belum berkembang menjadi pemahaman konseptual.

Sejumlah penelitian telah mengembangkan media pembelajaran berbasis website dan teknologi digital untuk mendukung pembelajaran Biologi (Fitriyanti et al., 2025; Kamilah et al., 2023; Munawaroh & Indah, 2022). Namun, sebagian besar media yang dikembangkan masih menyajikan materi dalam bentuk teks, gambar dua dimensi, video, atau objek visual yang bersifat pasif. Penelitian terdahulu juga belum banyak mengintegrasikan visualisasi struktur objek mikroskopis Fungi dalam bentuk objek tiga dimensi yang dapat dieksplorasi dan dimanipulasi secara langsung oleh siswa. Dengan demikian, masih terdapat kesenjangan berupa keterbatasan media pembelajaran yang menggabungkan aksesibilitas website dengan rekayasa objek 3D interaktif untuk membantu siswa memahami struktur Fungi secara lebih konkret. Penggunaan objek 3D yang memungkinkan siswa memutar, memperbesar, dan

mengamati struktur dari berbagai sudut pandang berpotensi memberikan representasi yang lebih kaya dibandingkan gambar statis, terutama untuk materi yang memiliki karakteristik mikroskopis dan abstrak (Ramadan et al., 2021; Oktaviona et al., 2023; Rozi et al., 2023).

Kebaruan penelitian ini terletak pada pengembangan “BioLens Fungi” (Biologi Lensa Fungi), yaitu media pembelajaran interaktif berbasis website yang mengintegrasikan Canva sebagai platform penyajian materi dengan objek tiga dimensi berbantuan Assemblr. Berbeda dari media terdahulu yang cenderung menyajikan konten secara statis, BioLens Fungi memungkinkan siswa mengeksplorasi struktur Fungi melalui manipulasi objek 3D, seperti memutar dan memperbesar tampilan, sehingga konsep yang bersifat mikroskopis dan abstrak dapat direpresentasikan secara lebih konkret dan interaktif. Berdasarkan kesenjangan tersebut, penelitian ini bertujuan mengembangkan media pembelajaran interaktif berbasis website “BioLens Fungi” serta menguji validitas, praktikalitas, dan efektivitasnya dalam mendukung pembelajaran materi Fungi pada siswa kelas X SMA.

METODE



Gambar 1. Skema Proses Pengembangan Model 4D

Gambar 1. Skema proses pengembangan model 4D

Penelitian ini menggunakan metode Research and Development (R&D) untuk mengembangkan media pembelajaran interaktif berbasis website “BioLens Fungi”. Model pengembangan yang digunakan adalah model 4D (Four-D) yang terdiri atas tahap Define, Design, Develop, dan Disseminate (Rahayu, 2025). Tahap Define dilakukan melalui analisis kebutuhan, karakteristik siswa, dan kurikulum. Tahap Design mencakup perancangan media

dan penyusunan prototipe awal. Tahap Develop meliputi validasi ahli, uji kepraktisan, dan uji efektivitas produk. Tahap Disseminate dilakukan secara terbatas dengan memperkenalkan produk kepada pengguna sasaran.

Subjek penelitian terdiri atas ahli materi, ahli media, guru Biologi, dan 31 siswa kelas X SMAN 1 Pasaman. Pemilihan siswa sebagai subjek uji coba dilakukan secara purposive sampling berdasarkan kesesuaian dengan karakteristik pengguna media, yaitu siswa kelas X yang telah atau sedang mempelajari materi Fungi. Guru dan ahli dipilih berdasarkan relevansi kompetensi dengan bidang materi, media pembelajaran, dan teknologi pendidikan. Data dianalisis menggunakan teknik deskriptif kuantitatif. Analisis validitas dilakukan berdasarkan penilaian ahli materi dan ahli media dengan menghitung persentase skor menggunakan rumus:

$$\text{Skor Validasi (\%)} = \frac{\Sigma \text{Skor Total}}{\Sigma \text{Skor Maksimal}} \times 100 \%$$

Tabel 1. Kriteria Interpretasi Skor Validitas

Persentase (%)	Kriteria Interpretasi
81% – 100%	Sangat Valid
61% – 80%	Valid
41% – 60%	Cukup Valid
21% – 40%	Kurang Valid
0% – 20%	Tidak Valid

Sumber: Fitriyanti et al. (2025).

Analisis kepraktisan dilakukan berdasarkan respons guru dan siswa terhadap kemudahan penggunaan, kemenarikan, dan kebermanfaatan media. Persentase respons dihitung dengan rumus:

$$\text{Respon (\%)} = \frac{\Sigma \text{Jawaban "Ya"}}{\Sigma \text{Seluruh Jawaban}} \times 100 \%$$

Tabel 2. Kriteria interpretasi kepraktisan respons pengguna

Persentase (%)	Kriteria Interpretasi
76% – 100%	Sangat Praktis
51% – 75%	Praktis
26% – 50%	Cukup Praktis
0% – 25%	Kurang Praktis

Sumber: Ma'arufah dan Wisanti (2023).

Analisis efektivitas dilakukan menggunakan desain One-Group Pretest-Posttest. Data hasil belajar dianalisis secara deskriptif melalui nilai rata-rata pretest dan posttest, kemudian dihitung menggunakan N-Gain Score dengan rumus:

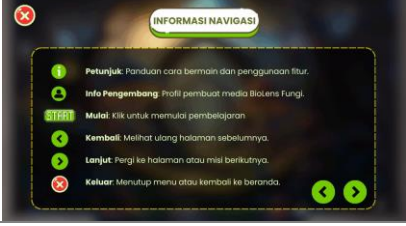
$$g = \frac{\text{skor post test} - \text{skor pre test}}{\text{skor maksimal} - \text{skor pre test}}$$

Nilai N-Gain diinterpretasikan sebagai kategori tinggi apabila $g > 0,7$, sedang apabila $0,3 < g \leq 0,7$, dan rendah apabila $g \leq 0,3$ (Rukmana & Fitrihidajati, 2022). Selanjutnya, perbedaan hasil belajar sebelum dan sesudah penggunaan media dianalisis menggunakan uji statistik yang sesuai berdasarkan hasil uji normalitas data, dengan tingkat signifikansi $\alpha = 0,05$.

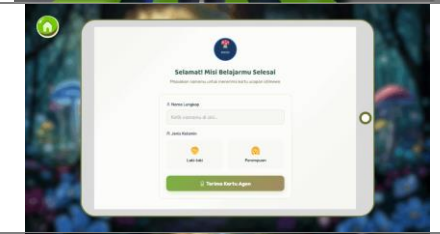
HASIL

Produk akhir yang dikembangkan dalam penelitian ini adalah media pembelajaran interaktif “BioLens Fungi” (Biologi Lensa Fungi) yang dapat diakses secara daring tanpa memerlukan instalasi aplikasi tambahan. Media ini menggabungkan platform Canva sebagai basis website dan Assemblr untuk rekayasa objek tiga dimensi (3D).

Table 4. Deskripsi Desain Antarmuka Media BioLens Fungi

Halaman	Deskripsi dan fungsi halaman
	Halaman Cover, merupakan tampilan awal “BioLens Fungi” yang menampilkan judul proporsional dan identitas visual bertema biologi serta karakter agen sains untuk memikat perhatian serta rasa ingin tahu siswa kelas X.
	Halaman Pre-test, menyediakan instrumen tes awal interaktif guna mengukur kemampuan kognitif awal siswa mengenai materi Fungi sebagai data baseline untuk membandingkan peningkatan hasil belajar.
	Halaman Informasi Umum, menyajikan deskripsi media, relevansi materi dengan Capaian Pembelajaran (CP) Biologi Fase E, serta tujuan pembelajaran agar siswa memahami target kompetensi yang harus dicapai.
	Halaman Informasi Navigasi, memuat petunjuk operasional fungsi tombol dan manipulasi objek 3D seperti fitur zoom dan rotasi untuk meminimalkan hambatan teknis saat siswa menggunakan website.

	Halaman Tokoh, memperkenalkan karakter animasi bergaya sebagai agen pemandu investigasi sains guna meningkatkan kedekatan emosional dan daya tarik afektif siswa Gen-Z terhadap materi biologi.
	Halaman Menu Utama, berfungsi sebagai pusat kontrol navigasi interaktif yang menghubungkan pengguna ke rute utama yaitu menu belajar materi, evaluasi post-test, serta daftar referensi pustaka.
	Halaman Peta Konsep, menampilkan visualisasi hierarki materi Fungi sebagai penuntun kognitif (advanced organizer) yang membantu siswa mengonstruksi kerangka berpikir secara sistematis sebelum mendalami materi.
	Halaman Awal Misi 1, merupakan pintu masuk materi pertama yang dikemas dengan narasi penyelidikan sains untuk memantik rasa tertantang serta membangun motivasi intrinsik siswa dalam memulai pembelajaran.
	Halaman Awal Misi 2, memandu siswa beralih ke sub-materi berikutnya dengan menerapkan Prinsip Segmentasi Mayer melalui pembagian misi untuk mencegah kelebihan beban pada memori kerja siswa.
	Halaman Media 3D Seluler, fitur unggulan yang menampilkan objek Fungi dalam format 3D interaktif terintegrasi Assemblr sehingga siswa dapat memutar dan memperbesar struktur mikroskopis secara nyata di layar.
	Halaman Awal Misi 3, melanjutkan alur investigasi ke materi yang lebih kompleks dengan tetap mempertahankan konsistensi visual agar perhatian siswa tetap fokus tanpa terdistraksi oleh perubahan desain.

	Halaman Misi 4, berisi tahapan penyajian materi terakhir dari bab Fungi kelas X yang dikemas dengan grafis relevan dan kalimat ringkas untuk memberikan pemahaman yang utuh kepada siswa.
	Halaman Apresiasi, menyajikan umpan balik positif berupa ucapan selamat atas keberhasilan siswa menyelesaikan misi sebagai bentuk penguatan (reinforcement) psikologis terhadap pencapaian belajar mereka.
	Halaman Profil Pengembang, memuat informasi identitas peneliti selaku pengembang media beserta dosen pembimbing dari Departemen Kurikulum dan Teknologi Pendidikan FIP UNP yang memvalidasi proyek ini.
	Halaman Referensi, menyajikan daftar sumber pustaka dan rujukan ilmiah yang digunakan dalam menyusun materi guna menjamin keakuratan isi serta pertanggungjawaban keilmuan konten biologi di dalam media.

Sebelum diimplementasikan kepada siswa, media “BioLens Fungi” terlebih dahulu divalidasi untuk menilai kelayakan isi dan keakuratan konsep yang disajikan. Hasil penilaian ahli materi menunjukkan bahwa aspek kelayakan isi memperoleh persentase 87,50%, sedangkan aspek penyajian materi dan kebahasaan masing-masing memperoleh persentase 100%. Secara keseluruhan, media memperoleh skor validasi sebesar 38 dari skor maksimal 40 atau 95,00% dengan kategori sangat valid. Hasil uji validitas materi disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil uji validitas materi

Aspek	Skor	Skor maksimal	Persentase	Hasil
Aspek Kelayakan Isi (Materi)	14	16	88%	Sangat Valid
Aspek Penyajian Materi	12	12	100%	Sangat Valid
Aspek Kebahasaan	12	12	100%	Sangat Valid
Nilai Validasi Materi	38	40	95%	Sangat Valid

Selain validasi materi, kelayakan desain antarmuka dan aspek teknis media juga dinilai oleh dua ahli media melalui dua tahap validasi. Revisi dilakukan berdasarkan masukan validator, antara lain dengan mengubah warna tombol close menjadi merah dan memastikan navigasi tersedia pada halaman awal. Hasil validasi menunjukkan adanya peningkatan

kelayakan dari tahap I sebesar 77,68% menjadi 88,39% pada tahap II. Dengan demikian, media dinyatakan sangat valid pada tahap akhir. Hasil validasi media disajikan pada Tabel 6.

Tabel 6. Hasil Uji Validitas Media Tahap Akhir

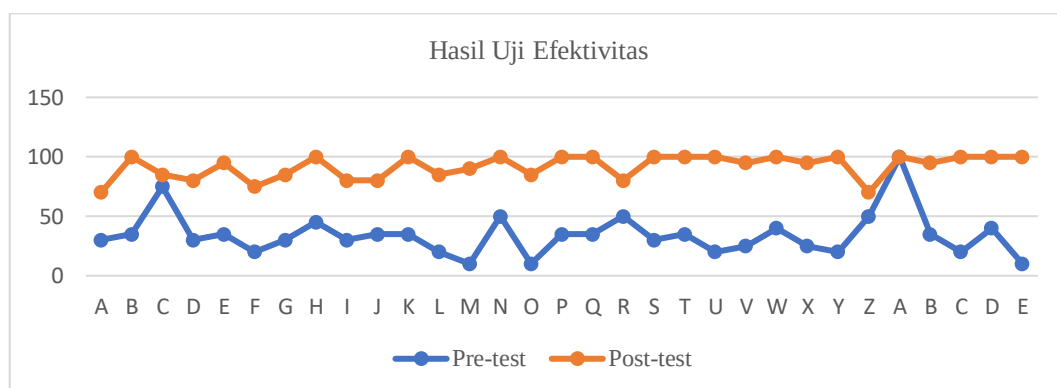
Aspek	Tahap	Skor	Skor maksimal	Persentase	Hasil
Aspek Desain Tampilan	I	42	56	75,00%	Valid
	II	51	56	91,07%	Sangat Valid
Aspek Teknis & Fungsionalitas	I	45	56	80,36%	Valid
	II	45	56	86%	Sangat Valid
Rata-rata Nilai Validasi	I	87	112	77,68%	Valid
	II	99	112	85,71%	Sangat Valid

Setelah dinyatakan layak oleh para ahli, media diujicobakan kepada 31 siswa kelas X SMAN 1 Pasaman sebagai pengguna sasaran. Uji praktikalitas dilakukan untuk menilai kemudahan penggunaan, kemenarikan, dan kebermanfaatan media. Hasil analisis menunjukkan bahwa aspek kemudahan penggunaan memperoleh persentase 97,85%, aspek kemenarikan 97,85%, dan aspek kebermanfaatan 97,58%. Secara keseluruhan, media memperoleh skor 303 dari skor maksimal 310 atau 97,74% dengan kategori Sangat Praktis. Hasil uji praktikalitas disajikan pada Tabel 7.

Tabel 7. Hasil Uji Praktikalitas

Aspek	Skor	Skor maksimal	Persentase	Hasil
Aspek Kemudahan Penggunaan	91	93	97,9%	Sangat Praktis
Aspek Kemenarikan	91	93	97,9%	Sangat Praktis
Aspek Kebermanfaatan	121	124	97,6%	Sangat Praktis
Rata-rata Nilai Praktikalitas	303	310	97,7%	Sangat Praktis

Selanjutnya, efektivitas media diuji untuk mengetahui peningkatan hasil belajar kognitif siswa setelah menggunakan “BioLens Fungi”. Hasil pretest dan posttest menunjukkan peningkatan rata-rata skor dari 34,19 menjadi 91,77. Peningkatan tersebut menunjukkan adanya perubahan capaian belajar setelah penggunaan media. Analisis lebih lanjut terhadap efektivitas media berdasarkan nilai N-Gain Score disajikan pada bagian berikutnya.



Gambar 2. Bagan nilai siswa pada uji efektivitas

Berdasarkan perolehan rata-rata N-Gain Score sebesar 0,88 dalam kategori tinggi, penggunaan media “BioLens Fungi” menunjukkan efektivitas yang kuat dalam mendukung pemahaman siswa terhadap materi Fungi yang bersifat mikroskopis dan abstrak. Peningkatan tersebut tidak hanya menunjukkan perubahan skor secara kuantitatif, tetapi juga mengindikasikan bahwa media yang dikembangkan mampu membantu siswa membangun pemahaman konsep melalui visualisasi yang lebih konkret. Temuan ini sejalan dengan Cognitive Load Theory yang menjelaskan bahwa penyajian informasi secara terstruktur dapat mengurangi beban kognitif ekstrinsik sehingga kapasitas kognitif siswa dapat lebih difokuskan pada pemahaman materi (Plass et al., 2010). Dalam konteks penelitian ini, penyajian materi secara bertahap melalui website, yang dipadukan dengan visualisasi objek Fungi dalam bentuk 3D, membantu siswa memahami struktur yang sebelumnya sulit dibayangkan melalui gambar dua dimensi.

Efektivitas “BioLens Fungi” juga dapat dijelaskan melalui prinsip pembelajaran multimedia yang menekankan pemanfaatan saluran visual dan verbal secara terpadu dalam proses pembelajaran (Mayer, 2002; Nurhatmi, 2025). Fitur interaktif berupa kemampuan memutar, memperbesar, dan mengamati objek 3D memungkinkan siswa mengeksplorasi struktur Fungi secara lebih aktif dibandingkan penggunaan gambar statis. Interaksi tersebut memberi kesempatan kepada siswa untuk membangun representasi mental melalui pengamatan dari berbagai sudut pandang, sehingga konsep seperti hifa dan tubuh buah jamur tidak hanya dipahami secara verbal, tetapi juga divisualisasikan secara spasial (Melati & Fadilah, 2025). Dengan demikian, hasil penelitian ini memperkuat temuan teoretis bahwa integrasi visualisasi interaktif dan penyajian multimedia dapat mendukung pemahaman materi yang memiliki tingkat abstraksi tinggi.

Meskipun demikian, tingginya nilai N-Gain perlu diinterpretasikan secara hati-hati karena efektivitas penelitian diukur menggunakan desain One-Group Pretest-Posttest tanpa kelompok kontrol. Oleh karena itu, peningkatan hasil belajar tidak sepenuhnya dapat dipisahkan dari faktor lain, seperti pengalaman belajar selama penelitian atau efek pengulangan tes. Namun, jika dikaitkan dengan karakteristik “BioLens Fungi”, yaitu penggunaan website interaktif dan objek 3D yang dapat dimanipulasi secara langsung, hasil tersebut memberikan indikasi empiris bahwa media ini memiliki potensi kuat untuk mengatasi kesulitan visualisasi siswa pada materi Fungi. Temuan ini sekaligus menunjukkan bahwa inovasi media pembelajaran tidak cukup hanya menghadirkan informasi dalam format digital, tetapi perlu menyediakan pengalaman interaksi yang memungkinkan siswa mengeksplorasi dan membangun pemahaman konsep secara aktif.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pengembangan menggunakan model 4D, dapat disimpulkan bahwa media pembelajaran interaktif “BioLens Fungi” berbantuan website telah berhasil diproduksi dan terbukti kelayakannya untuk pembelajaran Biologi kelas X SMA. Media ini mencapai kriteria “Sangat Valid” dengan skor materi 95,00% dan media 88,39%, serta dinilai “Sangat Praktis” oleh guru dan siswa dengan skor 97,74% karena keunggulannya menyajikan visualisasi 3D secara langsung tanpa instalasi tambahan. Secara empiris, media ini terbukti sangat efektif memecahkan masalah pembelajaran verbalistik yang ditunjukkan oleh lonjakan rata-rata hasil belajar kognitif siswa dari 34,19 menjadi 91,77.

Berdasarkan perolehan rata-rata N-Gain Score sebesar 0,88 (kategori Tinggi) tersebut, keberhasilan “BioLens Fungi” ini secara teoretis sejalan dengan Teori Beban Kognitif (Cognitive Load Theory) dan Prinsip Pembelajaran Multimedia Mayer. Segmentasi naratif dalam desain website mampu menurunkan beban kognitif ekstrinsik siswa, sementara interaksi dengan objek spasial 3D (seperti memutar dan memperbesar hifa jamur) memfasilitasi terbangunnya representasi mental yang utuh. Hal ini mengalihkan pembelajaran yang sebelumnya bersifat hafalan verbalistik menjadi pengalaman belajar yang konkret dan mendalam.

REKOMENDASI

Berdasarkan hasil temuan penelitian mengenai pengembangan media pembelajaran interaktif berbasis website dan visualisasi 3D BioLens Fungi ini, diajukan beberapa rekomendasi strategis bagi para praktisi dan pemangku kebijakan pendidikan. Pertama, guru mata pelajaran Biologi dan satuan pendidikan SMA/MA disarankan untuk mengintegrasikan media interaktif ini ke dalam pelaksanaan pembelajaran di kelas, khususnya dengan memanfaatkan sintaks model Problem Based Learning (PBL) untuk membantu mengonkretkan materi Fungi yang bersifat abstrak dan mikroskopis. Selain itu, pihak dinas pendidikan dan kepala sekolah direkomendasikan untuk terus memfasilitasi peningkatan kompetensi profesional guru melalui pelatihan rancangan pembelajaran berbasis Technological Pedagogical Content Knowledge (TPACK) serta meningkatkan infrastruktur digital di sekolah agar pemanfaatan media berbasis website dapat berjalan secara optimal.

Di sisi lain, rekomendasi juga ditujukan bagi perkembangan keilmuan teknologi pendidikan melalui para peneliti selanjutnya. Peneliti lain yang tertarik untuk mengembangkan media sejenis disarankan untuk melakukan uji efektivitas produk melalui metode eksperimen dengan skala sampel yang lebih luas dan heterogen guna memperkuat generalisasi temuan.

Lebih lanjut, pengembangan berikutnya diharapkan dapat memperluas cakupan materi pada konsep-konsep sains abstrak lainnya yang sering memicu miskonsepsi siswa, serta memperluas tahapan uji diseminasi (*disseminate*) pada model pengembangan 4D agar kebermanfaatan media pembelajaran interaktif ini dapat menjangkau wilayah geografis dan pemanfaatan yang lebih luas di Indonesia.

REFERENSI

- Anggraini, S. P., & Suaidah, S. (2022). Sistem Informasi Sentral Pelayanan Publik dan Administrasi Kependudukan Terpadu dalam Peningkatan Kualitas Pelayanan Kepada Masyarakat Berbasis Website *Jurnal Teknologi Dan Sistem Informasi*. <https://jim.teknokrat.ac.id/index.php/sisteminformasi/article/view/1658>
- Anshori, M. ., & Martono, D. (2009). *Biologi 1: Untuk sekolah menengah atas (SMA)-madrasah aliyah (MA) kelas X*. Pusat Perbukuan, Depdiknas.
- Fitriyanti, L., Apriliyani, N., Yulianty, S., & Murni, D. (2025). Pengembangan media pembelajaran Google Sites dalam meningkatkan pemahaman belajar siswa pada materi virus dan perannya. *ALVEOLI: Jurnal Pendidikan Biologi*, 06(1), 21–31.
- Hafizhah, H., Fernandez, D., & Giatman, M. (2023). Pengembangan media pembelajaran K3LH menggunakan aplikasi Assemblr Edu berbasis Augmented Reality (AR) di SMK Negeri 1 Padang. *Voteteknika (Vocational Teknik Elektronika Dan Informatika)*, 11(4), 340–347.
- Hidayah, N., Pamungkas, S. J., Radian, M., & Alamsyah, N. (2023). Pengembangan Video Pembelajaran Interaktif Materi Fungi Dalam Desain STAD Serta Pengaruhnya Terhadap Pemahaman Konsep Siswa Kelas X SMA Assalam Tempuran. *Jurnal Sains Dan Edukasi Sains*, 5(2), 72–80.
- Kamilah, S. F. ., Wahyuni, I. ., & Ratnasari, D. (2023). Pengembangan Media Pembelajaran Interaktif Berbasis Website Menggunakan Google Sites Pada Materi Ekosistem Kelas X SMA. *BIODIK: Jurnal Ilmiah Pendidikan Biologi*, 09(3), 169–181. <https://online-journal.unja.ac.id/biodik>
- Krisdianti, N. R. ., Tjahjardarmawan, E. ., & Puspaningsih, A. R. (2023). Ilmu pengetahuan alam untuk SMA/MA kelas X (Edisi Revisi). Kemendikbudristek RI.
- Kristanto, A. (2016). *Media pembelajaran*. Penerbit Bintang Surabaya.
- Ma'arufah, S., & Wisanti. (2023). Pengembangan Lembar Kerja Peserta Didik-Elektronik (E-LKPD) Lumut Berbasis Pendekatan Saintifik untuk Melatih Kemampuan Berpikir Kritis Siswa. *BioEdu: Berkala Ilmiah Pendidikan Biologi*, 12(1), 1–15.
- Mayer, R. E. (2002). *Multimedia learning*. In *The psychology of learning and motivation* (Elsevier S, Vol. 41, pp. 85–139).
- Melati, M. P. K. ., & Fadilah, M. (2025). Analisis literatur: Pengaruh multimedia interaktif terhadap beban kognitif dalam pembelajaran. *Jurnal Biogenerasi*, 10(4), 2270–2273.
- Mesra, R., Salem, V. E. T., Meity, M. G., Daniel, Y., Santie, A., & Rai, N. M. (2023). *Research & development dalam pendidikan*. PT. Mifandi Mandiri Digital.
- Munawaroh, A. M. ., & Indah, N. K. (2022). Pengembangan media pembelajaran berbasis situs web untuk meningkatkan motivasi belajar pada materi struktur dan fungsi jaringan tumbuhan. *BioEdu: Berkala Ilmiah Pendidikan Biologi*, 11(3), 579–588. <https://ejournal.unesa.ac.id/index.php/bioedu>
- Nurhatmi, J. (2025). Teori Multimedia pembelajaran: Landasan kognitif dan implikasi desain instruksional. *Al Habib: Jurnal Pendidikan Islam Dan Keguruan*, 1(2), 91–117.

- Oktaviona, V., Darni, R., & Yuhendri, M. (2023). Pengembangan Media Pembelajaran Menggunakan AR Assemblr Edu Pada Mata Pelajaran Penerapan Rangkaian Elektronika. *Voteteknika (Vocational Teknik Elektronika Dan Informatika)*, 11(2), 162–169.
- Plass, J. L. ., Moreno, R. ., & Brünken, R. (2010). *Cognitive load theory*. Cambridge University Press.
- Rahayu, A. (2025). Metode penelitian dan pengembangan (R&D): Pengertian, jenis dan tahapan. *DIAJAR: Jurnal Pendidikan Dan Pembelajaran*, 4(3), 459–470. <https://doi.org/10.54259/diajar.v4i3.5092>
- Rahmi, U., & Azrul. (2012). Kawasan pengembangan.
- Ramadan, A., Charty, F., Salsabila, F. A. N., & R. Firmansyah, M. (2021). Peran pengembangan dan pemanfaatan teknologi pendidikan dan pembelajaran dalam meningkatkan kualitas mengajar. *Jurnal PETISI (Pendidikan Teknologi Informasi)*, 2(2), 48–59.
- Rozi, F., Rasyid, R., & Aswardi, A. (2023). Perancangan media pembelajaran interaktif berbasis teknologi Augmented Reality pada mata pelajaran dasar elektronika. *Voteteknika (Vocational Teknik Elektronika Dan Informatika)*, 11(4), 1–8.
- Rukmana, R. D. ., & Fitrihidajati, H. (2022). Pengembangan media pembelajaran interaktif berbasis PowerPoint untuk meningkatkan hasil belajar siswa pada materi komponen ekosistem kelas X. *BioEdu: Berkala Ilmiah Pendidikan Biologi*, 11(3), 621–633.
- Wang, C. ., Zhang, M. ., Sesunan, A. ., & Yolanda, L. (2023). Peran teknologi dalam transformasi pendidikan di Indonesia: Tinjauan dampak terkini gerakan Merdeka Belajar.