

TRANSFORMASI BELAJAR BIOLOGI MELALUI MODUL DIGITAL INTERAKTIF BERBASIS AI: EKSPLORASI PERSEPSI SISWA KELAS XI SMA

Oleh

Ni Komang Dina Suciari^{1*}, I Made Diarta², Anak Agung Inten Paraniti³, Ni Kadek Sintya Purnama Sari⁴

^{1,2,3,4}Universitas Mahasaraswati Denpasar

E-mail: ¹dinasuciari@unmas.ac.id

Article History:

Received: 25-06-2025

Revised: 18-07-2025

Accepted: 28-07-2025

Keywords:

AI, Modul Digital, Persepsi Siswa, Pembelajaran Biologi, Sistem Koordinasi

Abstract: Kemajuan teknologi digital seharusnya mampu menjawab tantangan pembelajaran abad ke-21, khususnya dalam bidang Biologi yang kompleks dan sering kali dianggap sulit oleh siswa. Namun, pada kenyataannya, masih banyak siswa yang mengalami kesulitan memahami materi karena keterbatasan media pembelajaran yang interaktif dan adaptif. Penelitian ini bertujuan untuk mengeksplorasi persepsi siswa kelas XI SMA terhadap penggunaan modul digital interaktif berbasis kecerdasan buatan (AI) dalam pembelajaran Biologi. Penelitian ini menggunakan pendekatan pendekatan kuantitatif dan kualitatif (*mix-methods explanatory sequential design* dengan teknik survei. Hasil penelitian menunjukkan bahwa persepsi siswa terhadap modul digital berbasis AI berada pada kategori sangat baik, terutama dalam aspek kebermanfaatan materi. Temuan ini mengindikasikan bahwa integrasi AI dalam modul digital berpotensi memberikan transformasi positif dalam pengalaman belajar Biologi di tingkat sekolah menengah. Temuan ini mengindikasikan bahwa integrasi AI dalam pembelajaran Biologi melalui modul digital memiliki potensi besar dalam mendukung transformasi pembelajaran yang lebih inovatif dan personalisasi

PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi informasi dan komunikasi yang pesat dalam dua dekade terakhir telah membawa perubahan signifikan dalam berbagai aspek kehidupan manusia, termasuk dalam bidang pendidikan. Transformasi digital mendorong para pendidik untuk mengadaptasi teknologi ke dalam proses pembelajaran, sehingga tercipta lingkungan belajar yang lebih dinamis dan adaptif (Mukul, E., & Büyüközkan, G., 2023) serta sesuai dengan karakteristik generasi era digital saat ini (Akour, M., & Alenezi, M 2022).

Salah satu teknologi yang sedang berkembang pesat dan mulai diintegrasikan dalam dunia pendidikan adalah kecerdasan buatan (Artificial Intelligence/AI). AI telah terbukti mampu memberikan solusi untuk berbagai tantangan pendidikan modern, seperti pembelajaran yang bersifat skala besar, kebutuhan personalisasi materi ajar, serta

pentingnya keterlibatan aktif siswa dalam proses belajar mengajar (Walter, Y. 2024; Wang, S., Wang, F., Zhu, Z., Wang, J., Tran, T., & Du, Z. 2024)

Dalam konteks pembelajaran biologi di jenjang Sekolah Menengah Atas (SMA), materi yang kompleks dan sering kali bersifat abstrak menuntut strategi pembelajaran yang tidak hanya inovatif, tetapi juga efektif dalam meningkatkan pemahaman dan hasil belajar siswa. Penggunaan modul digital interaktif berbasis AI menjadi salah satu alternatif yang potensial untuk memenuhi tuntutan tersebut. Modul digital yang dilengkapi dengan fitur interaktif dan adaptif dapat memberikan pengalaman belajar yang lebih menarik, meningkatkan motivasi belajar (Hanatan, R., Yuniastuti, E., & Prayitno, B., 2023), serta menyesuaikan materi dengan kebutuhan dan kemampuan individu siswa Chairad, M., Damanik, S., Hasibuan, B., & Lubis, A., 2025)

Beberapa penelitian sebelumnya telah mengungkapkan bahwa penggunaan media pembelajaran berbasis teknologi, termasuk e-modul interaktif, memberikan dampak positif terhadap hasil belajar siswa. Misalnya, penelitian oleh Tarigan, W., Sipahutar, H., & Harahap, F. (2021) menunjukkan bahwa e-modul interaktif mampu meningkatkan pemahaman konsep dan keterlibatan siswa dalam pembelajaran. Demikian pula, Ismaniati, C., Iskhamdhanah, B., & V. (2023) melaporkan bahwa penerapan e-modul interaktif berbasis multimedia dapat meningkatkan motivasi dan prestasi belajar siswa secara signifikan. Namun, sebagian besar studi tersebut belum secara spesifik mengkaji integrasi teknologi AI dalam pengembangan modul digital dan dampaknya terhadap persepsi maupun hasil belajar siswa.

Selain itu, persepsi siswa terhadap penggunaan teknologi dalam pembelajaran menjadi faktor penting yang perlu diperhatikan. Persepsi yang positif terhadap teknologi dapat meningkatkan minat belajar, rasa percaya diri, serta keterlibatan siswa selama proses pembelajaran berlangsung Consoli, T., Schmitz, M., Antonietti, C., Gonon, P., Cattaneo, A., & Petko, D., 2024). Studi oleh Mardiyah et al. (2023). Hasil penelitian Tsai, C., Ku, H., & Campbell, A. (2021) menunjukkan bahwa persepsi siswa terhadap e-learning sangat dipengaruhi oleh kemudahan akses, kejelasan materi, serta interaktivitas yang ditawarkan oleh platform pembelajaran tersebut. Oleh karena itu, eksplorasi persepsi siswa terhadap modul digital interaktif berbasis AI menjadi penting sebagai dasar untuk pengembangan media pembelajaran yang lebih efektif dan berkelanjutan.

Kondisi ini semakin relevan ketika dikaitkan dengan karakteristik siswa SMA kelas XI yang berada pada tahap perkembangan remaja akhir. Pada tahap ini, siswa berada dalam fase pencarian jati diri, sangat dipengaruhi oleh lingkungan sosial, dan memiliki ketertarikan tinggi terhadap teknologi. Dengan demikian, pengembangan media pembelajaran yang sesuai dengan karakteristik generasi ini akan sangat berkontribusi terhadap pencapaian tujuan pembelajaran. Modul digital berbasis AI yang bersifat interaktif dan adaptif diharapkan mampu memberikan pengalaman belajar yang lebih bermakna dan memfasilitasi siswa dalam memahami materi biologi secara lebih mendalam.

Penelitian ini berfokus pada pengembangan dan implementasi modul digital interaktif berbasis AI dalam pembelajaran biologi untuk siswa kelas XI SMA. Penelitian ini tidak hanya mengukur sejauh mana persepsi siswa terhadap modul yang dikembangkan, tetapi juga menganalisis pengaruhnya terhadap peningkatan hasil belajar siswa. Adapun indikator persepsi yang diukur meliputi kemudahan akses, keterlibatan interaktif, dan

kebermanfaatan modul. Ketiga indikator ini dipilih berdasarkan kerangka teoritis yang mengaitkan antara persepsi siswa dengan efektivitas penggunaan teknologi dalam pembelajaran.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk: (1) mengevaluasi persepsi siswa kelas XI terhadap modul digital interaktif berbasis AI; (2) membandingkan hasil belajar siswa antara kelompok yang menggunakan modul digital interaktif berbasis AI dan kelompok kontrol yang menggunakan modul konvensional; (3) menganalisis hubungan antara persepsi siswa dengan hasil belajar yang dicapai; serta (4) mengidentifikasi indikator persepsi yang paling berkontribusi terhadap peningkatan hasil belajar siswa. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi teoritis dan praktis dalam pengembangan media pembelajaran berbasis teknologi, serta menjadi rujukan bagi guru dan pengembang kurikulum dalam menerapkan inovasi pembelajaran di era digital.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dan kualitatif (*mix-methods explanatory sequential design*), yang diawali dengan pengumpulan dan analisis data kuantitatif untuk mengukur persepsi dan hasil belajar siswa, kemudian dilanjutkan dengan pengumpulan data kualitatif untuk menggali lebih dalam pengalaman dan tanggapan siswa terhadap penggunaan modul digital berbasis AI.

Jenis penelitian ini adalah penelitian eksperimen semu (quasi experiment) dengan desain nonequivalent control group design, serta dilengkapi dengan eksplorasi kualitatif melalui wawancara semi-terstruktur.

Penelitian dilaksanakan di salah satu SMA negeri swasta di Provinsi Bali yang telah memenuhi infrastruktur jaringan internet yang memadai. Populasi seluruh siswa kelas XI MIPA. Sampel dua kelas yang dipilih secara purposive sampling. Instrumen penelitian menggunakan E-modul yang dirancang mengintegrasikan AI secara integratif, angket persepsi siswa dengan skala likert 4 tingkat yang dikembangkan berdasarkan indikator: kemudahan akses, keterlibatan interaktif, dan kebermanfaatan modul, tes hasil belajar yang mencakup indikator pemahaman konsep biologi sesuai dengan topik sistem koordinasi, serta pedoman wawancara Untuk menggali persepsi lebih mendalam dari siswa (5–7 siswa secara purposif dari kelas eksperimen). Adapun analisis data meliputi Data hasil belajar dianalisis menggunakan uji normalitas dan homogenitas, lalu uji-t (independen) untuk melihat perbedaan hasil belajar antara dua kelompok. Analisis korelasi Pearson untuk melihat hubungan antara persepsi siswa dan hasil belajar. Analisis regresi linier berganda untuk mengetahui indikator persepsi yang paling berkontribusi terhadap peningkatan hasil belajar. Data kualitatif dianalisis secara tematik (thematic analysis) untuk mengidentifikasi pola persepsi siswa.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Efektifitas Modul Digital Interaktif Berbasis AI terhadap Hasil belajar Siswa

Hasil uji efektifitas ditampilkan pada Tabel 1. yang mana menunjukkan bahwa siswa pada kelas eksperimen yang menggunakan modul digital interaktif berbasis AI memiliki rata-rata skor hasil belajar ($M = 85,72$) secara signifikan lebih tinggi dibanding kelas kontrol ($M = 77,31$), dengan nilai $p = 0,000$ ($< 0,05$).

Tabel 1. Uji statistik hasil belajar siswa

Kelompok	N	Mean	SD	Sig. (2-tailed)	Keterangan
Eksperimen	32	85,72	6,45	0,000	Berbeda signifikan

Temuan ini sejalan dengan tinjauan sistematis oleh Alneyadi dan Wardat (2023) yang menyatakan bahwa integrasi AI dalam pembelajaran sains secara konsisten meningkatkan performa akademik dengan pemahaman konsep yang lebih baik. Lebih jauh, Strielkowski et al. (2024) menjelaskan bahwa sistem tutoring adaptif berbasis AI memperkuat engagement siswa dan performa akademik melalui umpan balik real-time dan personalisasi materi sesuai kebutuhan individual. Pada ranah pembelajaran biologi, Syahfitri dan Safitri (2024) menemukan bahwa penggunaan modul interaktif digital meningkatkan keterampilan berpikir kritis dan motivasi belajar siswa dibanding media pembelajaran konvensional. Hal ini mendukung temuan empiris bahwa siswa yang menggunakan modul AI mampu menjangkau standar pemahaman konsep lebih tinggi. Penelitian oleh Riyanto et al. (2024) juga memperlihatkan bahwa e-modul interaktif berbasis platform seperti Articulate Storyline dinilai valid secara material dan media, serta mendapatkan respons positif dari siswa (respon rata-rata 90,9 %).

Secara teoritis, pendekatan pembelajaran aktif (active learning) yang dimediasi teknologi interaktif telah terbukti mempercepat pemahaman konsep kompleks dalam mata pelajaran sains sekaligus menurunkan tingkat kegagalan siswa. Kehadiran AI memperkaya interaktivitas tersebut dengan adaptivitas *real-time* memberikan konten yang sesuai Zona Proksimal Perkembangan (ZPD) individu siswa—sejalan dengan teori konstruktivisme sosial Vygotsky dan kerangka scaffolding adaptif oleh adaptive learning technology (Yaseen, H.,et.al, 2025). Dengan demikian, temuan penelitian ini memperkuat bukti bahwa modul digital berbasis AI tidak hanya memperbaiki hasil belajar secara statistik, tetapi juga menyediakan kerangka pembelajaran yang lebih responsif terhadap kebutuhan siswa, terutama dalam konteks materi biologi yang abstrak.

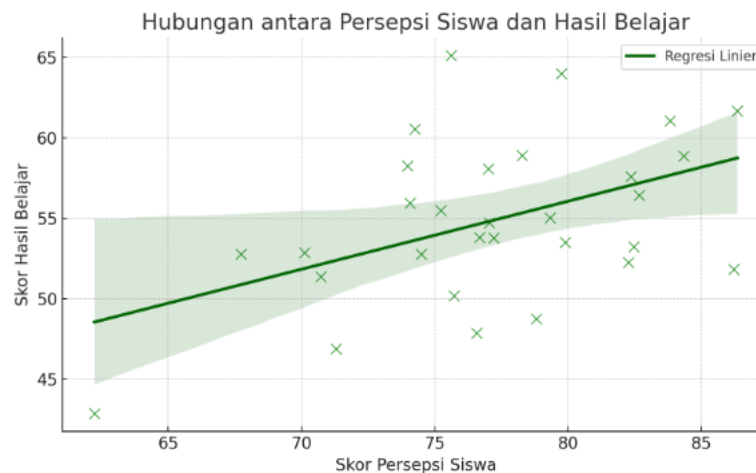
Persepsi Siswa terhadap Modul Digital dan Hasil Belajar

Hasil korelasi Pearson Tabel 2 memperlihatkan hubungan positif dan signifikan antara persepsi siswa total terhadap modul dan hasil belajar ($r = 0,613$, $p = 0,001$). Ini mengindikasikan bahwa persepsi positif siswa terhadap aspek kemudahan akses, interaktivitas, dan kebermanfaatan materi berkontribusi secara signifikan terhadap hasil belajar siswa.

Selain itu, hasil analisis *scatter plot* pada Gambar 2 memperlihatkan adanya pola hubungan positif antara persepsi siswa terhadap modul digital interaktif berbasis AI dengan hasil belajar biologi. Meskipun tidak semua titik data menunjukkan kecenderungan linier yang sempurna, sebagian besar titik-titik menunjukkan bahwa semakin positif persepsi siswa terhadap penggunaan modul digital, semakin tinggi pula skor hasil belajar yang dicapai. Hal ini mencerminkan bahwa persepsi siswa memainkan peran penting dalam meningkatkan efektivitas penggunaan teknologi pembelajaran, khususnya dalam konteks biologi sebagai bidang studi yang bersifat kompleks dan memerlukan representasi visual serta interaktif.

Tabel 2. Uji Statistik Hubungan antara Persepsi Siswa terhadap Modul Digital dan Hasil Belajar

Variabel	r	Sig. (2-tailed)	Keterangan
Persepsi Total & Hasil Belajar	0,613	0,001	Korelasi positif signifikan



Gambar 1. Korelasi Persepsi Siswa dan Hasil Belajar Biologi

Temuan ini sejalan dengan konsensus dalam literatur bahwa persepsi siswa terhadap media pembelajaran berbasis teknologi sangat memengaruhi efektivitas penggunaannya. Tsai, Ku, & Campbell (2021) menyatakan bahwa persepsi positif terhadap e-learning, dipengaruhi oleh kemudahan akses, kejelasan materi, dan interaktivitas, secara langsung berkaitan dengan keterlibatan dan hasil belajar (Almasri, F., 2024; Yan, Y., et al., 2025). Publikasi lebih lanjut, Code et al. (2023) dan Chairad, M. et al., (2025) menyatakan bahwa positifnya persepsi terhadap kompetensi penggunaan AI mendorong perkembangan *self-regulation* atau *agentic attitude* siswa termasuk kontrol kognitif, afektif, dan perilaku dalam pembelajaran yang selanjutnya meningkatkan hasil akademik (Anghel, G. A., 2025). Ini sejalan dengan hasil uji regresi penelitian ini bahwa persepsi yang positif terhadap adaptivitas AI memberikan dampak real terhadap hasil belajar siswa.

Kontribusi Indikator Persepsi terhadap Hasil Belajar

Analisis regresi berganda (Tabel 3) menunjukkan bahwa semua indikator persepsi berpengaruh signifikan ($p < 0,05$), namun kebermanfaatan materi memiliki kontribusi tertinggi ($\beta = 0,421$), disusul oleh keterlibatan interaktif ($\beta = 0,314$) dan kemudahan akses ($\beta = 0,287$). Penekanan pada kebermanfaatan materi mencerminkan kebutuhan siswa akan konten yang relevan, kontekstual, dan bermanfaat dalam pemahaman konsep biologi. Studi oleh Syahfitri & Safitri (2024) menunjukkan bahwa modul interaktif digital meningkatkan motivasi dan pemahaman siswa karena materi yang dirancang sesuai kebutuhan siswa serta disertai umpan balik visual interaktif.

Tabel 3. Kontribusi Indikator Persepsi terhadap Hasil Belajar

Indikator Persepsi	β (Beta)	t	Sig.	Keterangan
Kemudahan Akses	0,287	2,456	0,019	Berpengaruh signifikan
Keterlibatan Interaktif	0,314	2,891	0,007	Berpengaruh signifikan
Kebermanfaatan Materi	0,421	3,673	0,001	Paling berpengaruh

Selain itu, Konsep e-modul Articulate Storyline yang divalidasi Riyanto et al. (2024) menguatkan pentingnya penyajian materi secara kontekstual dan interaktif agar modul dianggap bermanfaat oleh siswa. Keterlibatan interaktif memiliki pengaruh penting, karena fitur umpan balik otomatis, kuis adaptif, animasi interaktif akan meningkatkan engagement dan motivasi belajar sesuai dengan lapangan adaptive learning studies yang melaporkan peningkatan keterlibatan kognitif, emosional, dan perilaku siswa melalui AI tools (Yaseen, H., et al., 2025; Strielkowski, W., et al. 2024). Kemudahan akses tetap penting untuk memastikan bahwa modul dapat digunakan tanpa hambatan teknis, layaknya yang dinyatakan oleh Code et al. (2023) bahwa persepsi usability memengaruhi self-efficacy siswa dalam menggunakan AI tools secara optimal. Dengan demikian, fokus pada ketiga indikator ini penting dalam desain modul digital berbasis AI dimana kebermanfaatan materi sebagai keunggulan utama, interaktivitas sebagai pendorong motivasi, dan aksesibilitas sebagai prasyarat teknis.

Perspektif dan Tantangan Siswa

Analisis tematik dilakukan terhadap wawancara 6 siswa kelas eksperimen yang dipilih secara *purposive*. Persepsi siswa merupakan faktor penting yang memengaruhi efektivitas implementasi inovasi pembelajaran berbasis teknologi. Persepsi positif terhadap suatu media atau modul pembelajaran akan meningkatkan keterlibatan belajar (*student engagement*) dan mendorong pencapaian hasil belajar yang lebih optimal (Huang et al., 2021). Hasil analisis data dalam penelitian ini menunjukkan bahwa sebagian besar siswa memiliki persepsi yang positif terhadap modul digital interaktif berbasis AI yang dikembangkan. Hal ini terlihat dari hasil persebaran data pada Gambar 2, yang menunjukkan adanya korelasi positif antara persepsi siswa dan hasil belajar. Semakin positif persepsi siswa terhadap modul, semakin tinggi pula skor hasil belajar yang diperoleh. Hasil ini mengindikasikan bahwa modul digital interaktif tidak hanya berfungsi sebagai media belajar, tetapi juga membentuk persepsi positif terhadap proses pembelajaran biologi yang lebih menyenangkan, menantang, dan relevan dengan kebutuhan zaman.

Sebagaimana diungkapkan oleh salah satu responden dalam wawancara:

"Saya merasa lebih semangat belajar ketika menggunakan modul ini karena tampilannya menarik dan tidak membosankan. Saya juga bisa belajar mandiri dan mengecek pemahaman lewat fitur AI yang langsung memberikan umpan balik." (Responden S-07)

Kutipan tersebut menegaskan bahwa persepsi positif tidak hanya terbentuk dari aspek tampilan visual, tetapi juga dari kemudahan interaksi, kecepatan umpan balik, serta adanya pengalaman belajar yang bersifat personal. Dalam konteks teori persepsi belajar,

modul ini memenuhi prinsip *user-centered learning*, yaitu memberikan kendali lebih besar kepada siswa atas pengalaman belajarnya (Dawson, S., et.al 2019).

Seorang siswa lain juga menyatakan:

"Saya merasa belajar dengan modul AI ini seperti punya guru pribadi. Kalau saya salah, langsung diberi tahu, tapi juga dijelaskan alasannya. Jadi saya bisa belajar dari kesalahan." (Responden S-12)

Yin, J., et al (2025) yang menyatakan bahwa modul pembelajaran berbasis AI yang menyertakan *adaptive feedback* mampu meningkatkan *metacognitive awareness* siswa, yaitu kesadaran dan kontrol terhadap proses berpikirnya sendiri selama belajar. Selain itu, persepsi positif terhadap AI dalam pembelajaran juga mendorong siswa untuk mengeksplorasi materi lebih dalam dan mengurangi ketergantungan pada guru secara langsung (Zawacki-Richter et al., 2019).

Persepsi siswa terhadap kebermanfaatan modul juga tampak pada dimensi motivasi dan efikasi diri. Sebagaimana dikutip dari tanggapan responden:

"Saya jadi percaya diri ikut ujian setelah belajar pakai modul ini karena saya bisa latihan soal dan tahu sudah menguasai materi atau belum." (Responden S-03)

Faktor efikasi diri ini penting dalam pendekatan konstruktivisme sosial karena mencerminkan adanya kepercayaan siswa terhadap kemampuan dirinya sebagai pembelajar aktif (Bandura, 1997). Persepsi seperti ini mendukung lingkungan belajar yang mendorong keterlibatan kognitif tinggi, pemahaman yang mendalam, dan pencapaian hasil belajar yang bermakna.

Namun, tidak semua responden memiliki persepsi yang sepenuhnya positif. Beberapa siswa menyampaikan tantangan teknis yang mereka hadapi, seperti koneksi internet atau perangkat yang kurang mendukung:

"Modulnya bagus, tapi kadang saya kesulitan akses kalau internetnya lambat. Jadi kadang frustrasi juga." (Responden S-15)

Temuan ini menunjukkan pentingnya mempertimbangkan faktor infrastruktur pendukung dalam implementasi teknologi pendidikan, sebagaimana ditegaskan oleh Alammary (2021) bahwa keberhasilan integrasi AI dalam pendidikan sangat dipengaruhi oleh kesiapan teknologi dan literasi digital pengguna.

Secara keseluruhan, persepsi siswa terhadap modul digital interaktif berbasis AI dalam penelitian ini dapat dikategorikan ke dalam tiga aspek utama, yaitu: (1) daya tarik tampilan dan desain modul, (2) kualitas interaksi dan umpan balik adaptif, serta (3) dampak terhadap motivasi dan efikasi diri belajar. Ketiga aspek ini memberikan kontribusi signifikan dalam menciptakan pengalaman belajar yang bermakna dan meningkatkan hasil belajar siswa.

KESIMPULAN

Penelitian ini menegaskan pentingnya inovasi berbasis teknologi dalam pendidikan biologi, khususnya melalui pengembangan dan pemanfaatan modul digital interaktif berbasis kecerdasan buatan (AI). Hasil yang diperoleh tidak hanya menunjukkan keberfungsian modul sebagai sarana pembelajaran yang efektif, tetapi juga memperlihatkan bagaimana persepsi positif dari peserta didik menjadi elemen penting dalam mendukung pencapaian hasil belajar yang optimal.

Lebih jauh, interaksi antara persepsi siswa dan pencapaian akademik mencerminkan bahwa pendekatan pembelajaran berbasis teknologi tidak dapat dipisahkan dari faktor afektif yang menyertai pengalaman belajar. Pemanfaatan AI dalam modul turut mendukung kebutuhan siswa terhadap pembelajaran yang adaptif, menarik, dan kontekstual. Selain itu, pengalaman belajar yang dihadirkan melalui modul ini tampak memberikan ruang bagi siswa untuk lebih mandiri dan reflektif dalam mengelola pengetahuannya. Implikasi dari temuan ini mendorong para pendidik untuk tidak hanya menjadi pengguna teknologi, tetapi juga menjadi desainer pembelajaran digital yang mampu merespons tantangan zaman secara kreatif dan adaptif.

SARAN

1. Institusi pendidikan sebaiknya menyediakan dukungan fasilitas dan pelatihan agar pengembangan media digital lebih optimal.
2. Penelitian lanjutan dapat mengeksplorasi efektivitas jangka panjang penggunaan media berbasis AI dalam meningkatkan hasil belajar.
3. Pembuat kebijakan diharapkan mendorong integrasi teknologi digital dalam pendidikan melalui kebijakan yang adaptif dan berkelanjutan.

PENGAKUAN/ACKNOWLEDGMENT

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (LPPM) Universitas Mahasaraswati Denpasar atas dana hibah yang telah diberikan. Bantuan dana tersebut sangat berarti dalam mendukung proses pelaksanaan penelitian ini, mulai dari tahap perencanaan, pengumpulan data, hingga analisis dan penyusunan laporan akhir. Selain itu, penulis juga mengapresiasi seluruh pihak yang telah memberikan dukungan, arahan, dan masukan selama proses penelitian berlangsung, sehingga penelitian ini dapat diselesaikan dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Akour, M., & Alenezi, M. (2022). Higher Education Future in the Era of Digital Transformation. *Education Sciences*. <https://doi.org/10.3390/educsci12110784>.
- [2] Alammery, A. (2021). Blended learning models for introductory programming courses: A systematic review. *PLOS ONE*, 16(1), e0244640. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0244640>
- [3] Alneyadi, R., & Wardat, Y. (2023). Exploring the impact of artificial intelligence in teaching and learning of science: A systematic review of empirical research. *Research in Science Education*. <https://doi.org/10.1007/s11165-024-10176-3>
- [4] Alasadi, E., & Baiz, C. (2023). Generative AI in Education and Research: Opportunities, Concerns, and Solutions. *Journal of Chemical Education*. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.3c00323>.
- [5] Almasri, F. (2024). Exploring the impact of artificial intelligence in teaching and learning of science: A systematic review of empirical research. *Research in Science Education*, 54(5), 977-997. <https://doi.org/10.1007/s11165-024-10176-3>
- [6] Anghel, G. A., Zafir, C. M., Matei, F. L., Voicu, C. D., & Neacşa, R. A. (2025). The Integration of Artificial Intelligence in Academic Learning Practices: A Comprehensive

- Approach. *Education Sciences*, 15(5), 616. <https://doi.org/10.3390/educsci15050616>
- [7] Bandura, A. (1997). *Self-efficacy: The exercise of control* (Vol. 11). Freeman.
- [8] Chairad, M., Damanik, S., Hasibuan, B., & Lubis, A. (2025). The Importance of Adaptive E-Modules in 21st Century Education. *Proceedings of the 6th International Conference on Innovation in Education, Science, and Culture, ICIESC 2024, 17 September 2024, Medan, Indonesia*. <https://doi.org/10.4108/eai.17-9-2024.2352962>.
- [9] Code, A., Pisica, I., Pacheco-Mendoza, E., Stenalt, M., & Hachmann, K. (2024). The integration of artificial intelligence in academic learning practices: A comprehensive approach. *Education Sciences*, 15(5), 616. <https://doi.org/10.3390/educsci15050616>
- [10] Consoli, T., Schmitz, M., Antonietti, C., Gonon, P., Cattaneo, A., & Petko, D. (2024). Quality of technology integration matters: Positive associations with students' behavioral engagement and digital competencies for learning. *Education and Information Technologies*, 30, 7719 - 7752. <https://doi.org/10.1007/s10639-024-13118-8>.
- [11] Dawson, S., Joksimovic, S., Poquet, O., & Siemens, G. (2019, March). Increasing the impact of learning analytics. In *Proceedings of the 9th international conference on learning analytics & knowledge* (pp. 446-455).
- [12] Hanatan, R., Yuniastuti, E., & Prayitno, B. (2023). Developing Interactive Digital Modules on Discovery Learning to Improve Students Learning Interest. *Jurnal Teknodik*. <https://doi.org/10.32550/teknodik.vi.862>.
- [13] Huang, R. H., Liu, D. J., Tlili, A., Yang, J., Wang, H., & Zhang, M. (2020). Handbook on facilitating flexible learning during educational disruption: The Chinese experience in maintaining undisrupted learning in COVID-19 outbreak. *Beijing: Smart Learning Institute of Beijing Normal University*, 46.
- [14] Ismaniati, C., Iskhamdhanah, B., & V. (2023). Development of Interactive E-Modules to Increase Learning Motivation and Science Literacy in Elementary School Students. *Jurnal Iqra' : Kajian Ilmu Pendidikan*. <https://doi.org/10.25217/ji.v8i1.2699>.
- [15] Mukul, E., & Büyüközkan, G. (2023). Digital transformation in education: A systematic review of education 4.0. *Technological Forecasting and Social Change*. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2023.122664>.
- [16] Riyanto, F., Miranto, S., & Noor, M. F. (2024). The development of an interactive biology e-module based on Articulate Storyline for Class XI digestive system concepts. *International Journal of Learning Media on Natural Science (IJLENS)*, 1(1), 14–19. <https://doi.org/10.60005/ijlens.v1i1.20>
- [17] Strielkowski, W., et al. (2024). AI-driven adaptive learning for sustainable educational transformation. *Sustainable Development*. <https://doi.org/10.1002/sd.3221>
- [18] Syahfitri, J., & Safitri, D. (2024). The effect of digital-based interactive modules to improve student's critical thinking skills and learning motivation on biology learning. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, 10(5), 2495–2502. <https://doi.org/10.29303/jppipa.v10i5.3878>
- [19] Tarigan, W., Sipahutar, H., & Harahap, F. (2021). The Effect of Interactive Digital Learning Module on Student's Learning Activity and Autonomy. *Bioedukasi: Jurnal Pendidikan Biologi*. <https://doi.org/10.20961/bioedukasi-uns.v14i2.49366>.
- [20] Tsai, C., Ku, H., & Campbell, A. (2021). Impacts of course activities on student perceptions of engagement and learning online. *Distance Education*, 42, 106 - 125.

<https://doi.org/10.1080/01587919.2020.1869525>.

- [21] Walter, Y. (2024). Embracing the future of Artificial Intelligence in the classroom: the relevance of AI literacy, prompt engineering, and critical thinking in modern education. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, 21, 1-29. <https://doi.org/10.1186/s41239-024-00448-3>.
- [22] Wang, S., Wang, F., Zhu, Z., Wang, J., Tran, T., & Du, Z. (2024). Artificial intelligence in education: A systematic literature review. *Expert Syst. Appl.*, 252, 124167. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2024.124167>.
- [23] Yaseen, H., Mohammad, A. S., Ashal, N., Abusaimh, H., Ali, A., & Sharabati, A. A. A. (2025). The impact of adaptive learning technologies, personalized feedback, and interactive AI tools on student engagement: The moderating role of digital literacy. *Sustainability*, 17(3), 1133. <https://doi.org/10.3390/su17031133>
- [24] Yin, J., Xu, H., Pan, Y., & Hu, Y. (2025). Effects of different AI-driven Chatbot feedback on learning outcomes and brain activity. *NPJ Science of Learning*, 10. <https://doi.org/10.1038/s41539-025-00311-8>
- [25] Zawacki-Richter, O., Marín, V. I., Bond, M., & Gouverneur, F. (2019). Systematic review of research on artificial intelligence applications in higher education—where are the educators?. *International journal of educational technology in higher education*, 16(1), 1-27. <https://doi.org/10.1186/s41239-019-0171-0>