

PENINGKATAN BERPIKIR KRITIS MELALUI *E-MODUL* SISTEM SARAF BERBASIS *EXE LEARNING* UNTUK PENDIDIKAN BERKELANJUTAN

Pina Putri Karmia^{1*} Yusuf Ibrahim² Saiman Rosamsi³

^{1,2,3} Pendidikan Biologi, FKIP Universitas Pasundan

E-mail: pinapkarmila@gmail.com^{1*}, yusuf.ibrahim@unpas.ac.id, saimanbio@unpas.ac.id,

Abstract: Critical thinking is an essential 21st-century skill that must be developed in biology learning, especially in complex topics such as the nervous system. This study aims to analyze the effectiveness of a nervous system e-module based on exe learning in improving students' critical thinking skills as part of the implementation of sustainable education. The research employed a quasi-experimental method with a Nonequivalent Control Group Design. The subjects were two eleventh-grade classes selected through purposive sampling, consisting of an experimental class and a control class. The research instruments included essay tests based on Ennis' five indicators of critical thinking, and a questionnaire to assess students' responses. Data were collected through pretests, posttests, and questionnaires, then analyzed using normality tests, homogeneity tests, t-tests, and gain scores. The results showed that the exe learning-based e-module significantly improved students' critical thinking skills. The experimental class achieved an N-Gain score of 0.70 (high category), while the control class scored 0.23 (medium category). Improvement occurred across all indicators of critical thinking. Statistical tests confirmed that the data were normally distributed, homogeneous, and showed significant differences between the two groups. Students' responses to the e-module were highly positive in terms of appearance, ease of use, and content attractiveness. Therefore, the exe learning-based e-module is proven to be effective in enhancing critical thinking skills and supporting innovative and sustainable learning.

Kata kunci: E-modul, Exe Learning, Kemampuan Berpikir Kritis, Sistem Saraf, SDGs

PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi digital telah mendorong transformasi dalam dunia pendidikan, termasuk dalam media pembelajaran. Pendidikan abad ke-21 ditandai dengan integrasi teknologi dalam proses pembelajaran guna meningkatkan efektivitas dan efisiensi (Ichsan dkk, 2022). Teknologi bukan hanya berfungsi sebagai alat bantu, tetapi juga sebagai media aktif yang mendukung pembelajaran bermakna dan berbasis keterampilan (Dewantara dkk., 2020). Oleh karena itu, guru dituntut untuk mengadopsi media pembelajaran berbasis teknologi yang inovatif agar mampu mengembangkan keterampilan peserta didik, khususnya kemampuan berpikir kritis.

Biologi sebagai salah satu mata pelajaran sains menuntut keterampilan berpikir kritis, terutama pada materi sistem saraf yang bersifat kompleks. Pemahaman konsep koordinasi dan respons tubuh menuntut peserta didik untuk memiliki kemampuan analisis yang mendalam. Namun, data menunjukkan bahwa 71,73% peserta didik mengalami kesulitan dalam memahami materi sistem saraf (Sigalingging dkk., 2025), dan 68,8% kesulitan dalam menerapkan konsepnya (Berutu, 2018). Hal ini diperburuk oleh penggunaan metode pembelajaran konvensional yang cenderung kurang melibatkan peserta didik secara aktif dalam proses berpikir analitis dan reflektif (UNESCO, 2019).

Penggunaan media digital seperti *e-modul* menjadi salah satu alternatif solusi untuk meningkatkan keterlibatan dan pemahaman peserta didik. *E-modul* memungkinkan peserta didik belajar secara mandiri, interaktif, dan fleksibel. Salah satu platform yang mendukung pengembangan *e-modul* adalah *exe learning*, yang memungkinkan guru menyusun materi lengkap dengan teks, gambar, video, hingga latihan interaktif (Azizah dkk., 2017). Penelitian oleh Hasanah dkk. (2021) menunjukkan bahwa *e-modul* berbasis teknologi mampu meningkatkan motivasi belajar dan pemahaman konsep peserta didik. Namun, penelitian yang secara khusus menelaah efektivitas *e-modul* berbasis *exe learning* dalam meningkatkan kemampuan berpikir kritis pada materi sistem saraf masih terbatas.

Selain itu, pemanfaatan media pembelajaran berbasis teknologi juga selaras dengan tujuan pembangunan berkelanjutan (*Sustainable Development Goals/SDGs*), khususnya tujuan ke-4 mengenai pendidikan berkualitas. *SDGs* mendorong penyelenggaraan pendidikan yang inklusif, merata, dan mendukung kemampuan berpikir kritis peserta didik (Safitri dkk., 2022).

Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis efektivitas *e-modul* sistem saraf berbasis *exe learning* dalam meningkatkan kemampuan berpikir kritis peserta didik sebagai wujud kontribusi terhadap pengembangan pembelajaran Biologi yang inovatif dan mendukung pendidikan berkelanjutan

METODE

Jenis Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimen semu (quasi experimental) dengan metode kuantitatif deskriptif. Menurut Sugiyono (2017), penelitian eksperimen dilakukan untuk mengetahui pengaruh suatu perlakuan terhadap variabel tertentu dalam kondisi yang terkendali.

Secara spesifik, desain yang digunakan adalah *Nonequivalent Control Group Design*, yaitu dua kelompok yang tidak dipilih secara acak, tetapi memiliki karakteristik yang sebanding. Satu kelompok berperan sebagai kelas eksperimen yang diberikan perlakuan berupa penggunaan *e-modul* sistem saraf berbasis *exe learning*, sementara kelompok lainnya sebagai kelas kontrol yang menggunakan metode pembelajaran konvensional. Media *e-modul* yang digunakan dalam penelitian ini dirancang dengan mengadaptasi paradigma *Problem-Based Learning* (PBL) untuk mendorong peserta didik mengembangkan kemampuan berpikir kritis.

Tempat dan Waktu

Penelitian ini dilaksanakan di SMAN 1 Pusakanagara Kabupaten Subang. Kegiatan penelitian berlangsung pada semester genap tahun ajaran 2024/2025, tepatnya pada bulan Mei 2025.

Populasi dan Sampel

Populasi dalam penelitian ini adalah seluruh peserta didik kelas XI di sekolah tersebut. Penentuan sampel dilakukan dengan teknik *purposive sampling*, yaitu pemilihan sampel berdasarkan pertimbangan tertentu, seperti kesamaan kemampuan awal dan ketersediaan waktu pembelajaran. Sampel terdiri atas dua kelas, masing-masing sebagai kelas eksperimen dan kelas kontrol. Kelas eksperimen mendapatkan perlakuan berupa penggunaan *e-modul* berbasis *exe learning* dalam pembelajaran sistem saraf, sedangkan kelas kontrol memperoleh pembelajaran dengan metode ceramah dan diskusi konvensional.

Teknik Analisis Data

Metode analisis data dalam penelitian ini diawali dengan uji validitas isi terhadap instrumen tes kemampuan berpikir kritis, dilanjutkan dengan uji reliabilitas melalui uji coba terbatas untuk memastikan

konsistensi hasil tes. Selanjutnya dilakukan uji prasyarat analisis yang meliputi uji normalitas, uji homogenitas, dan uji hipotesis menggunakan uji-t.

HASIL

Data Hasil *Pretest* dan *Posttest* Kelas Eksperimen dan Kelas Kontrol

Untuk mengetahui pengaruh penggunaan *e-modul* berbasis *exe learning* terhadap peningkatan kemampuan berpikir kritis peserta didik, dilakukan *pretest* dan *posttest* pada kelas eksperimen dan kelas kontrol. Data hasil tes awal (*pretest*) dan tes akhir (*posttest*) dari kedua kelas tersebut disajikan pada tabel 1 berikut:

Tabel 1. Hasil *Pretest* dan *Posttest*

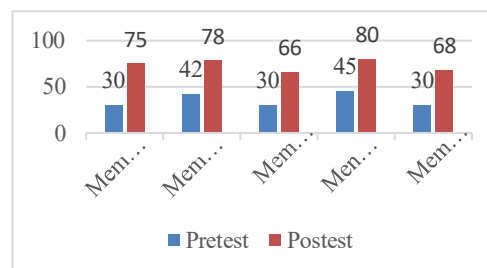
Kriteria	Kelas Kontrol		Kelas Eksperimen	
	<i>Pretest</i>	<i>Posttest</i>	<i>Pretest</i>	<i>Posttest</i>
Rata-rata	7,47	29,37	7,47	44,50
Standar Deviasi	1,55	2,40	1,53	2,18
Nilai Max	5	26	7	40
Nilai Min	10	35	10	48
Jumlah Peserta Didik	30	30	30	30

Tabel 1 menunjukkan bahwa nilai rata-rata *pretest* pada kedua kelas sama, yaitu 7,47. Namun, setelah perlakuan pembelajaran, terdapat peningkatan yang lebih tinggi pada kelas eksperimen (44,50) dibandingkan kelas kontrol (29,37). Hal ini mengindikasikan bahwa penggunaan *e-modul* berbasis *exe learning* lebih efektif dalam meningkatkan kemampuan berpikir kritis peserta didik dibandingkan pembelajaran konvensional. Selain itu, standar deviasi yang lebih rendah pada kelas eksperimen menunjukkan hasil belajar yang lebih merata.

Hasil Kemampuan Berpikir Kritis Peserta Didik

Analisis kemampuan berpikir kritis peserta didik dilakukan untuk mengetahui sejauh mana peningkatan terjadi pada masing-masing indikator setelah pembelajaran menggunakan *e-modul* berbasis *exe learning*. Lima indikator yang dianalisis mengacu pada teori Ennis, yaitu: memberikan penjelasan sederhana, membangun keterampilan dasar, memberikan penjelasan lanjut,

menyimpulkan, serta memperkirakan dan menggabungkan informasi. Penilaian dilakukan melalui enam butir soal yang mencerminkan kelima indikator tersebut.



Gambar 1. Peningkatan Kemampuan Berpikir Kritis Peserta Didik

Peningkatan kemampuan berpikir kritis dianalisis berdasarkan lima indikator Ennis. Hasil menunjukkan bahwa seluruh indikator mengalami peningkatan setelah pembelajaran menggunakan *e-modul* berbasis *exe learning*.

Indikator dengan peningkatan tertinggi adalah 'memberikan penjelasan sederhana', dari skor rata-rata 30 menjadi 75. Disusul oleh 'memperkirakan dan menggabungkan informasi' (30 ke 68), membangun keterampilan dasar (42 ke 78), memberikan penjelasan lanjut (30 ke 66), dan menyimpulkan (45 ke 80).

Peningkatan ini menunjukkan bahwa *e-modul* membantu peserta didik dalam memahami konsep, berpikir analitis, dan menarik kesimpulan secara logis, yang merupakan inti dari kemampuan berpikir kritis.

Hasil Uji Prasyarat

a. Uji Normalitas

Uji normalitas data *pretest* dan *posttest* dilakukan menggunakan *Shapiro-Wilk* karena jumlah responden kurang dari 50. Uji ini dipilih karena sensitif terhadap distribusi normal pada sampel kecil. Hasilnya disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5 Uji Normalitas

Hasil	<i>Suphiro-Wilk</i>		
	Statistik	Df	Sig.
<i>Pretest</i> Kontrol	0,931	30	0,052
<i>Posttest</i> Kontrol	0,941	30	0,094
<i>Pretest</i> Eksperimen	0,936	30	0,069
<i>Posttest</i> Eksperimen	0,952	30	0,190

Hasil pengujian normalitas data menggunakan *Shapiro-Wilk* dengan taraf

signifikansi 0,05 menunjukkan bahwa nilai signifikansi *pretest* dan *posttest* pada kedua kelompok lebih dari 0,05, sehingga data berdistribusi normal.

b. Uji Homogenitas

Uji homogenitas dilakukan menggunakan *Levene Statistic* untuk mengetahui apakah varians data berasal dari populasi yang sama. Data dikatakan homogen jika nilai signifikansi $> 0,05$. Hasilnya disajikan pada Tabel 6.

Tabel 6. Hasil Uji Homogenitas

Hasil	Levene Statistik	Sig
Based on Mean	2,434	0,68

Berdasarkan Tabel 6, nilai *Levene Statistic* sebesar 2,434 dengan signifikansi 0,68 ($> 0,05$) menunjukkan bahwa data *pretest* dan *posttest* memiliki variansi yang homogen, sehingga kedua kelompok berasal dari populasi yang sama.

Setelah uji normalitas dan homogenitas selesai, maka dilakukan uji-t sebagai uji hipotesis untuk mengetahui efektivitas *e-modul* berbasis *exe learning* pada materi sistem saraf. Penelitian ini menggunakan *Independent Sample T-Test* untuk mengevaluasi hipotesis.

Tabel 7 Uji T

Variable	Mean	Df	Sig. 2	Ket
<i>Posttest</i>	15,133	30	$<0,001$	Sig

Hasil uji t (*Independent Sample T-test*) pada menunjukkan perbedaan signifikan antara skor *posttest* kelompok eksperimen dan kontrol ($p < 0,001$), dengan selisih rata-rata 15,133. Temuan ini menunjukkan bahwa *e-modul* berbasis *exe learning* lebih efektif dalam meningkatkan kemampuan berpikir kritis dibandingkan pembelajaran tanpa *e-modul*.

Karena terdapat perbedaan signifikan antara nilai *pretest* dan *posttest* pada kedua kelompok, analisis dilanjutkan dengan perhitungan *N-Gain* untuk mengetahui tingkat peningkatan kemampuan berpikir kritis secara lebih mendalam.

Tabel 8 Uji N-Gain

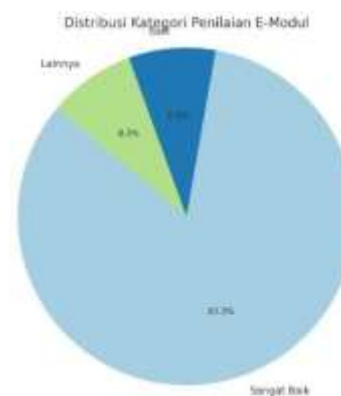
Kelas	Nilai Rata-rata			Kriteria
	Pretest	Posttest	N-Gain	
Eksperimen	7,47	44,50	0,70	Tinggi
Kontrol	7,47	29,37	0,23	Sedang

Berdasarkan Tabel 8, nilai rata-rata *N-Gain*

kelas eksperimen sebesar 0,70 (kategori tinggi) dan kelas kontrol sebesar 0,23 (kategori sedang). Hasil ini menunjukkan bahwa peningkatan kemampuan berpikir kritis lebih besar terjadi pada kelas eksperimen dibandingkan kelas kontrol.

Respon Peserta Didik Terhadap E-Modul

Respon peserta didik terhadap penggunaan *e-modul* berbasis *exe learning* dikumpulkan melalui angket setelah pembelajaran. Hasil angket kemudian divisualisasikan dalam bentuk diagram pie untuk menunjukkan proporsi tingkat kesetujuan peserta didik.



Gambar 2. Diagram Pie Hasil Angket Respon

Berdasarkan diagram, mayoritas peserta didik memberikan penilaian Sangat Baik terhadap *e-modul*, yaitu sebesar 83,3%. Sebanyak 8,3% peserta didik menilai Baik, dan sisanya 8,3% memberikan penilaian Lainnya. Tidak ada peserta didik yang memberikan respon negatif.

Temuan ini menunjukkan bahwa *e-modul* yang dikembangkan diterima dengan sangat baik oleh peserta didik. Visual yang menarik, kemudahan akses, serta penyajian materi yang interaktif menjadi faktor utama yang mendorong keterlibatan dan kepuasan belajar. Hal ini juga memperkuat efektivitas *e-modul* tidak hanya dalam aspek kognitif, tetapi juga dalam membangun pengalaman belajar yang positif.

PEMBAHASAN

Hasil penelitian menunjukkan

bahwa penggunaan *e-modul* berbasis *exe learning* memberikan peningkatan yang signifikan terhadap kemampuan berpikir kritis peserta didik. Hal ini terlihat dari kenaikan rata-rata nilai *posttest* serta nilai *N-Gain* yang lebih tinggi pada kelas eksperimen dibandingkan dengan kelas kontrol. Peningkatan tersebut terjadi pada seluruh indikator kemampuan berpikir kritis menurut Ennis, yaitu memberikan penjelasan sederhana, membangun keterampilan dasar, menyimpulkan, memberikan penjelasan lanjut, serta mengatur strategi dan taktik. Hal ini menandakan bahwa pembelajaran menggunakan *e-modul* tidak hanya meningkatkan pemahaman materi, tetapi juga mendorong peserta didik untuk berpikir lebih dalam dan terstruktur.

Dalam penelitian ini, instrumen yang digunakan berupa soal uraian *pretest* dan *posttest* sebanyak 30 butir, yang dikembangkan untuk mengukur kemampuan berpikir kritis pada materi sistem saraf. Validitas soal diperoleh dari kesesuaian terhadap indikator kemampuan berpikir kritis, kejelasan bahasa, serta kemampuan soal dalam menggali aspek analisis dan penalaran peserta didik. Dari seluruh butir soal tersebut, sebanyak enam soal dipilih karena secara representatif mencerminkan lima indikator berpikir kritis dan relevan dengan konteks sistem saraf. Hasil uji reliabilitas menunjukkan nilai sebesar 0,931, yang tergolong sangat tinggi, sehingga instrumen dapat dikatakan konsisten dalam mengukur kemampuan berpikir kritis. Analisis tingkat kesukaran menunjukkan bahwa sebagian besar soal berada dalam kategori sedang, yang ideal untuk mengukur kemampuan peserta didik secara optimal. Selain itu, berdasarkan uji daya pembeda, sebanyak 22 soal termasuk kategori baik, 4 cukup, dan 4 buruk. Soal yang termasuk dalam kategori buruk tidak digunakan karena tidak mampu membedakan tingkat kemampuan peserta didik secara efektif.

Materi sistem saraf merupakan salah satu materi Biologi yang bersifat

abstrak dan kompleks. Dalam praktik pembelajaran konvensional, peserta didik sering mengalami kesulitan dalam memvisualisasikan proses-proses biologis seperti jalur impuls saraf atau hubungan antarbagian otak. Untuk mengatasi tantangan tersebut, dikembangkan *e-modul* berbasis *exe learning* dengan pendekatan multimodal. *E-modul* ini memuat berbagai konten pendukung seperti animasi, video, gambar, dan kuis interaktif yang dirancang untuk menjelaskan konsep secara konkret dan menarik. Penggunaan prinsip multimedia learning terbukti mampu mendukung proses kognitif peserta didik secara lebih optimal (Setiyani dkk., 2023).

Selain itu, *e-modul* memungkinkan peserta didik belajar secara mandiri dengan ritme yang fleksibel, serta memperkuat memori jangka panjang melalui pengulangan dan refleksi (Damayanti & Hadi, 2021). *Model Problem Based Learning* (PBL) juga diintegrasikan dalam *e-modul* untuk mendorong peserta didik memecahkan masalah kontekstual, berdiskusi, dan membangun pemahaman melalui investigasi. Struktur *e-modul* mengikuti sintaks PBL yang meliputi orientasi terhadap masalah, penyelidikan mandiri dan kelompok, serta presentasi dan refleksi, sehingga menciptakan pengalaman belajar yang aktif dan kolaboratif (Novela dkk., 2024).

Peningkatan hasil belajar dan kemampuan berpikir kritis di kelas eksperimen bukanlah hasil kebetulan, melainkan konsekuensi dari proses pembelajaran yang dirancang secara sistematis. Pada indikator memberikan penjelasan sederhana, peningkatan terjadi karena peserta didik terbantu oleh representasi visual, dan diminta menjelaskan materi dengan bahasa mereka sendiri. Hal ini selaras dengan teori dual coding (Paivio), yang menyatakan bahwa representasi verbal dan visual yang disajikan bersamaan dapat memperkuat proses penyimpanan informasi dalam memori jangka panjang. Peserta didik membangun struktur mental melalui

tayangan video, ilustrasi neuron, dan latihan kuis konseptual, yang semuanya mendukung proses elaborasi pengetahuan (Yuliani dkk., 2021). Indikator membangun keterampilan dasar meningkat karena peserta didik aktif mengaitkan pengetahuan baru dengan informasi yang telah mereka miliki sebelumnya. Fitur studi kasus dalam *e-modul*, seperti kasus kelumpuhan atau gangguan motorik, memungkinkan peserta didik mengamati, menganalisis, dan menghubungkan konsep sistem saraf dengan gejala yang tampak. Proses ini sejalan dengan teori konstruktivisme, yang menekankan bahwa belajar bermakna terjadi saat peserta didik membangun pengetahuannya melalui pengalaman langsung (Hasanah dkk., 2023).

Kemampuan menyimpulkan juga menunjukkan peningkatan yang signifikan. Hal ini didukung oleh adanya aktivitas reflektif, analisis video, dan pemetaan konsep dalam *e-modul* yang mendorong peserta didik untuk menggabungkan informasi dari berbagai sumber menjadi kesimpulan yang valid (Dermawan dkk., 2025). Pada indikator memberikan penjelasan lanjut, peserta didik ditantang untuk menganalisis hubungan antar variabel kontekstual, seperti pengaruh stres atau lingkungan terhadap kerja sistem saraf. *E-modul* memberikan ruang eksplorasi yang cukup untuk menyusun argumen, menjelaskan sebab-akibat, dan mengevaluasi dampak secara logis (Rahayu & Rahmat, 2023). Sementara itu, peningkatan pada indikator mengatur strategi dan taktik menunjukkan bahwa peserta didik mulai mampu menyusun solusi dan langkah pemecahan masalah yang terstruktur. Fitur kuis berbasis skenario dan refleksi dalam *e-modul* membantu peserta didik membangun pola pikir sistemik dan aplikatif (Putri dkk., 2022). Dengan demikian, *e-modul* secara konsisten menstimulasi berbagai aspek berpikir kritis, mulai dari pemahaman hingga pengambilan keputusan.

Hasil angket yang diberikan kepada

30 peserta didik di kelas eksperimen menunjukkan respon yang sangat positif terhadap penggunaan *e-modul*. Sebanyak 56,7% peserta didik menyatakan sangat setuju dan 36,7% setuju bahwa *e-modul* membantu mereka dalam memahami materi sistem saraf. Hanya 6,6% yang menyatakan tidak setuju, dan tidak ada yang menyatakan sangat tidak setuju. Terhadap pernyataan negatif, mayoritas peserta didik justru menunjukkan ketidaksepakatan, yaitu 60% sangat tidak setuju dan 30% tidak setuju. Temuan ini menunjukkan bahwa peserta didik merasa terbantu secara signifikan oleh fitur-fitur dalam *e-modul*, terutama tampilan visual, navigasi yang mudah, serta fleksibilitas dalam belajar. Hasil ini sejalan dengan Fajri dan Safitri (2022) yang menyebutkan bahwa penggunaan media digital interaktif meningkatkan partisipasi aktif peserta didik dan menciptakan pengalaman belajar yang menyenangkan.

Lebih lanjut, penggunaan *e-modul* berbasis *exe learning* juga memiliki relevansi kuat terhadap pencapaian Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (SDGs), khususnya poin keempat tentang pendidikan berkualitas. *E-modul* ini memberikan akses belajar yang fleksibel dan merata bagi peserta didik dengan latar belakang yang beragam. Penyampaian materi secara multimodal mendukung gaya belajar visual, auditori, maupun kinestetik, dan mampu meningkatkan motivasi serta keterlibatan dalam belajar (Rahmawati dkk., 2023). Integrasi pendekatan berbasis masalah dalam *e-modul* juga membekali peserta didik dengan keterampilan berpikir kritis, pemecahan masalah, dan kreativitas yang sangat dibutuhkan dalam era global (Lubis & Santosa, 2024). Selain itu, penggunaan *e-modul* mendukung efisiensi distribusi sumber belajar karena dapat disebarluaskan secara digital tanpa batasan geografis dan dengan biaya yang lebih rendah. Dengan kata lain, *e-modul* tidak hanya meningkatkan kualitas hasil belajar, tetapi juga mendukung pemerataan akses pendidikan secara nasional.

Dengan demikian, pembelajaran menggunakan *e-modul* berbasis *exe learning* secara empiris terbukti mampu meningkatkan kualitas proses dan hasil belajar peserta didik. Penggunaan media pembelajaran berbasis teknologi yang interaktif, fleksibel, dan kontekstual juga menunjukkan kontribusi nyata terhadap pencapaian *SDGs*, khususnya dalam mewujudkan pendidikan yang inklusif, merata, dan berkualitas.

KESIMPULAN

E-modul berbasis *exe learning* efektif dalam meningkatkan kemampuan berpikir kritis peserta didik pada materi sistem saraf. Hal ini ditunjukkan oleh peningkatan skor *posttest* yang signifikan dan respon positif dari peserta didik. *E-modul* ini juga mendukung pembelajaran aktif dan bermakna, serta berkontribusi terhadap pencapaian pendidikan berkualitas sesuai *SDGs* 4

SARAN

Penggunaan *e-modul* berbasis *exe learning* dapat dijadikan sebagai alternatif media pembelajaran yang inovatif, khususnya pada materi yang bersifat kompleks seperti sistem saraf. Penelitian selanjutnya disarankan untuk mengembangkan *e-modul* serupa pada topik lain serta mengevaluasi efektivitasnya dalam jangka panjang dan pada jenjang pendidikan yang berbeda

DAFTAR RUJUKAN

- Damayanti, S., & Hadi, R. 2021. Pengaruh pengulangan belajar terhadap daya ingat siswa dalam pembelajaran IPA. *Jurnal Pendidikan Sains Indonesia*, 9(2), 112–120.
- Dermawan, R., Fauziah, H., & Ramadhani, S. 2025. Pengembangan e-modul interaktif berbasis masalah untuk meningkatkan kemampuan berpikir kritis siswa. *Jurnal Pendidikan Biologi Indonesia*, 11(1), 45–55.
- Fajri, H., & Safitri, D. 2022. Pengaruh media pembelajaran interaktif terhadap motivasi dan hasil belajar siswa. *Jurnal Teknologi Pendidikan*, 14(3), 225–233.
- Handayani, R., & Pratama, Y. 2022. Efektivitas pembelajaran multimedia interaktif dalam meningkatkan kemampuan kognitif siswa SMA. *Jurnal Inovasi Pendidikan*, 8(1), 66–73.
- Hasanah, U., Widodo, A., & Maulidah, R. 2023. Pembelajaran konstruktivistik dalam pengembangan keterampilan berpikir kritis siswa. *Jurnal Pendidikan dan Pembelajaran Kritis*, 5(1), 101–108.
- Lubis, M., & Santosa, A. 2024. Penerapan problem based learning dalam e-modul biologi untuk meningkatkan keterampilan abad 21. *Bioedukasi: Jurnal Pendidikan Biologi*, 17(2), 87–96.
- Novela, L., Wulandari, T., & Rizki, P. 2024. Penerapan sintaks PBL dalam e-modul untuk pembelajaran biologi yang kontekstual. *Jurnal Inovasi Pendidikan Biologi*, 10(1), 33–41.
- Paivio, A. 1986. *Mental Representations: A Dual Coding Approach*. Oxford University Press.
- Putri, S., Nugroho, E., & Azzahra, R. 2022. Meningkatkan kemampuan berpikir tingkat tinggi melalui pembelajaran berbasis kontekstual. *Jurnal Pendidikan Sains dan Aplikasi*, 6(2), 144–150.
- Rahmawati, I., Zulfikar, R., & Saputri, M. 2023. Pembelajaran digital interaktif dan pengaruhnya terhadap partisipasi belajar siswa. *Jurnal Teknologi dan Pembelajaran Abad 21*, 7(1), 58–65.
- Rahayu, L., & Rahmat, A. 2023. Analisis kemampuan menjelaskan lanjut dalam pembelajaran berbasis argumen. *Jurnal Pendidikan Biologi Nusantara*, 9(3), 217–225.
- Rohmah, M., Sholihah, M., & Malahayati, E. N. 2025. Pengembangan e-modul perubahan lingkungan berbasis problem based learning sebagai bahan ajar siswa kelas X SMA.

- Bioedukasi: Jurnal Pendidikan Biologi*, 16(1), 64–76.
- Setiyani, S., Dewi, F., & Arifin, M. 2023. Penggunaan jeda segmentasi dalam media pembelajaran untuk menurunkan beban kognitif. *Jurnal Psikologi Pendidikan dan Pembelajaran*, 12(2), 91-100.
- Yuliani, R., Setiawan, H., & Lestari, N. 2021. Elaborasi konsep melalui penjelasan sederhana: studi pada pembelajaran IPA. *Jurnal Pendidikan IPA Indonesia*, 10(3), 311-319.
- Zahra, A. D., Anggis, E. V., & Ismail. 2025. Pengembangan LKPD biologi berbasis problem based learning terintegrasi unity of sciences untuk melatih kemampuan literasi sains siswa kelas XI IPA SMA. *Bioedukasi: Jurnal Pendidikan Biologi*, 16(1), 1–11.