



PENGEMBANGAN E-MODUL RISET ECOENZIM BERORIENTASI SDGS UNTUK MENINGKATKAN KETERAMPILAN PROSES SAINS DAN MOTIVASI BELAJAR

Nurhayati¹, Agus Yadi Ismail², Anna Fitri Hindriana³

Program Studi Magister Pendidikan Biologi, Universitas Kuningan¹²³

e-mail: 20241310008@uniku.ac.id

Diterima: 08/09/2026; Direvisi: 15/09/2026; Diterbitkan: 21/09/2026

ABSTRAK

Pembelajaran Bioteknologi di sekolah menengah atas masih didominasi metode ceramah dan buku teks konvensional sehingga keterampilan proses sains (KPS) dan motivasi belajar murid belum berkembang optimal, sementara Kurikulum Merdeka dan *Sustainable Development Goals* (SDGs) menuntut pembelajaran yang kontekstual dan berorientasi keberlanjutan. Penelitian ini bertujuan mengembangkan dan menguji efektivitas e-modul ECO SMART-BIO berbasis riset ecoenzim berorientasi SDG 12 dan SDG 13 dalam mendukung peningkatan KPS dan motivasi belajar murid kelas XII. Penelitian menggunakan metode kombinasi (*mixed method*) dua tahap, yaitu penelitian dan pengembangan (R&D) dengan model ADDIE untuk menghasilkan produk yang valid dan layak, serta uji efektivitas dengan desain *quasi experiment nonequivalent control group* pada 60 murid SMAN 1 Cigalontang, yang terdiri atas 29 murid kelas eksperimen dan 31 murid kelas kontrol. Data dianalisis menggunakan N-Gain, uji Mann-Whitney U, dan korelasi Spearman's Rho. Hasil validasi menunjukkan e-modul sangat layak digunakan, dengan skor ahli materi 82,5%, ahli media 85,1%, dan ahli pendidikan (praktisi guru) 97,6%. Peningkatan KPS pada kelas eksperimen berada pada kategori tinggi (N-Gain = 0,75), sedangkan kelas kontrol berada pada kategori sedang (N-Gain = 0,63), dan terdapat perbedaan peningkatan KPS yang signifikan antara kedua kelas berdasarkan uji Mann-Whitney (U = 287,000; p = 0,016). Perbedaan peningkatan paling menonjol terdapat pada indikator mengamati, dengan N-Gain sebesar 0,72 pada kelas eksperimen dan 0,13 pada kelas kontrol. Motivasi belajar murid pada kelas eksperimen berada pada kategori tinggi (76,9%). Selain itu, terdapat korelasi positif yang kuat antara peningkatan KPS dan motivasi belajar ($r_s = 0,628$; $p < 0,001$). Temuan tersebut menunjukkan bahwa penggunaan e-modul ECO SMART-BIO berkaitan dengan peningkatan KPS dibandingkan pembelajaran pada kelas kontrol, sedangkan peningkatan KPS memiliki hubungan positif yang kuat dengan motivasi belajar. Dengan demikian, e-modul berbasis riset autentik ecoenzim berorientasi SDGs berpotensi menjadi alternatif bahan ajar digital kontekstual untuk mendukung pembelajaran Biologi.

Kata Kunci: e-modul; ecoenzim; keterampilan proses sains; motivasi belajar; SDGs

ABSTRACT

Biotechnology learning in senior high schools is still dominated by lecturing and conventional textbooks, so that students' science process skills (SPS) and learning motivation remain underdeveloped, while the Merdeka Curriculum and the *Sustainable Development Goals* (SDGs) call for contextual, sustainability-oriented learning. This study aimed to develop and examine the effectiveness of the ECO SMART-BIO e-module, based on eco-enzyme research and oriented toward SDG 12 and SDG 13, in supporting improvements in SPS and learning motivation among twelfth-grade students. A two-stage mixed-method design was employed: research and development (R&D) using the ADDIE model to produce a valid and feasible product, followed by an effectiveness test using a quasi-experimental nonequivalent control



group design involving 60 students of SMAN 1 Cigalontang, consisting of 29 students in the experimental class and 31 students in the control class. Data were analyzed using N-Gain, the Mann-Whitney U test, and Spearman's Rho correlation. Validation results indicated that the e-module was highly feasible, with scores of 82.5% from the content expert, 85.1% from the media expert, and 97.6% from the education expert (teacher-practitioner). The increase in SPS in the experimental class was categorized as high (N-Gain = 0.75), whereas that in the control class was categorized as moderate (N-Gain = 0.63), and a significant difference in SPS improvement was found between the two classes based on the Mann-Whitney U test ($U = 287.000$; $p = 0.016$). The most notable difference was observed in the observing indicator, with N-Gain values of 0.72 in the experimental class and 0.13 in the control class. Students' learning motivation in the experimental class was categorized as high (76.9%). In addition, a strong positive correlation was found between the increase in SPS and learning motivation ($r_s = 0.628$; $p < 0.001$). These findings indicate that the use of the ECO SMART-BIO e-module was associated with greater SPS improvement than the learning received by the control class, while SPS improvement showed a strong positive relationship with learning motivation. Thus, the e-module based on authentic eco-enzyme research and oriented toward the SDGs has the potential to serve as a contextual digital teaching material to support Biology learning.

Keywords: *e-module; eco-enzyme; science process skills; learning motivation; SDGs*

PENDAHULUAN

Pendidikan abad ke-21 menuntut pembelajaran yang tidak hanya berorientasi pada penguasaan materi, tetapi juga pada pengembangan keterampilan ilmiah, literasi sains, dan kemampuan menghadapi persoalan keberlanjutan. OECD melalui PISA 2025 *Science Framework* menekankan pentingnya kemampuan peserta didik untuk terlibat dalam isu-isu sains secara reflektif (OECD, 2024). Tuntutan tersebut sejalan dengan Kurikulum Merdeka yang mengarahkan pembelajaran pada pendekatan *student-centered*, kontekstual, dan berbasis kompetensi. Dalam pembelajaran Biologi, materi Bioteknologi memiliki peluang besar untuk mengembangkan keterampilan proses sains (KPS) sekaligus menghubungkan konsep biologi dengan persoalan lingkungan dan pembangunan berkelanjutan (Rahmawati et al., 2023).

Namun, kondisi pembelajaran di lapangan menunjukkan bahwa pengembangan KPS dan motivasi belajar belum optimal. Hasil observasi awal terhadap 32 murid kelas XII SMAN 1 Cigalontang menunjukkan bahwa hanya 30% murid aktif dalam diskusi, sedangkan 70% mengalami kesulitan memahami konsep fermentasi dan bioteknologi. Pembelajaran masih didominasi metode ceramah dan penggunaan buku teks statis, serta belum tersedia bahan ajar digital yang mengarahkan murid pada kegiatan riset atau penyelidikan ilmiah. Kondisi tersebut menunjukkan perlunya bahan ajar yang tidak hanya menyajikan konsep, tetapi juga memberikan pengalaman belajar autentik melalui kegiatan mengamati, merumuskan masalah, mengumpulkan dan menganalisis data, serta menarik kesimpulan. Pengalaman belajar semacam ini penting untuk memberikan ruang bagi murid dalam mengembangkan KPS dan membangun keterlibatan serta motivasi belajar (Schunk & DiBenedetto, 2020).

Salah satu bahan ajar yang berpotensi menjawab kebutuhan tersebut adalah e-modul. Format e-modul memungkinkan penyajian materi melalui teks, gambar, video, animasi, latihan, dan umpan balik interaktif sehingga pembelajaran dapat berlangsung lebih fleksibel dan berpusat pada murid. Penelitian Karmila et al. (2023) menunjukkan bahwa e-modul berbasis *Project-Based Learning* (PjBL) memiliki tingkat kelayakan sebesar 93,33%, sedangkan Muslihat et al. (2023) melaporkan *effect size* sebesar 1,7 pada penggunaan e-modul terhadap literasi sains. Meskipun demikian, e-modul yang hanya menekankan interaktivitas penyajian



materi belum sepenuhnya menjawab kebutuhan pembelajaran yang mengintegrasikan aktivitas riset autentik, KPS, dan isu keberlanjutan. Oleh karena itu, diperlukan e-modul yang menjadikan aktivitas penyelidikan sebagai bagian inti pembelajaran, bukan sekadar pelengkap materi.

Ecoenzim dipilih sebagai konteks riset karena menghubungkan konsep Bioteknologi dengan permasalahan lingkungan yang dekat dengan kehidupan murid. Ecoenzim merupakan cairan hasil fermentasi limbah organik yang dapat dimanfaatkan dalam berbagai kebutuhan ramah lingkungan (Ismail et al., 2024). Proses pembuatannya melibatkan perubahan biologis yang dapat diamati dan dikaji melalui kegiatan ilmiah, sehingga dapat digunakan sebagai objek pembelajaran untuk melatih KPS. Selain itu, pemanfaatan limbah organik melalui pembuatan ecoenzim relevan dengan SDG 12 tentang Konsumsi dan Produksi yang Bertanggung Jawab serta SDG 13 tentang Penanganan Perubahan Iklim (Patil & Verma, 2023). Dengan demikian, ecoenzim tidak hanya berfungsi sebagai contoh penerapan bioteknologi, tetapi dapat menjadi konteks riset yang memungkinkan murid menghubungkan konsep, proses ilmiah, dan persoalan keberlanjutan.

Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa pengembangan e-modul Biologi telah dilakukan dalam berbagai bentuk dan konteks. Karmila et al. (2023), misalnya, mengembangkan e-modul berbasis PjBL yang menunjukkan kelayakan tinggi, sedangkan Muslihat et al. (2023) mengembangkan e-modul yang mendukung peningkatan literasi sains. Penelitian lain juga menunjukkan potensi e-modul sebagai bahan ajar digital dalam pembelajaran Biologi (Hardin et al., 2025). Meskipun memberikan dasar bahwa e-modul dapat mendukung pembelajaran berbasis kompetensi, penelitian-penelitian tersebut belum secara spesifik menempatkan riset ecoenzim sebagai aktivitas inti dalam pembelajaran Bioteknologi sekaligus mengaitkannya dengan orientasi SDG 12 dan SDG 13.

Di sisi lain, penelitian mengenai ecoenzim dalam konteks pendidikan cenderung memanfaatkannya sebagai objek atau produk praktikum. Pendekatan tersebut memberikan pengalaman langsung kepada murid, tetapi belum secara khusus mengembangkan ecoenzim sebagai *core learning* yang terstruktur dalam e-modul dan diarahkan untuk melatih KPS secara sistematis. Dengan demikian, masih terdapat ruang penelitian untuk mengintegrasikan e-modul digital, aktivitas riset ecoenzim, PjBL, dan orientasi SDGs dalam satu desain pembelajaran. Penelitian ini mengisi celah tersebut melalui pengembangan e-modul ECO SMART-BIO yang menempatkan ecoenzim sebagai konteks riset autentik, bukan sekadar contoh produk bioteknologi. Integrasi tersebut diarahkan untuk memberikan pengalaman belajar yang kontekstual sekaligus memungkinkan pengukuran KPS dan motivasi belajar secara bersamaan serta pengkajian hubungan keduanya.

Kebaruan penelitian ini terletak pada tiga aspek utama. Pertama, ecoenzim diposisikan sebagai *core learning* melalui aktivitas riset autentik yang terintegrasi dengan materi Bioteknologi. Kedua, e-modul mengintegrasikan PjBL dengan orientasi SDG 12 dan SDG 13 sehingga aktivitas pembelajaran tidak hanya berfokus pada penguasaan konsep, tetapi juga pada pemecahan persoalan lingkungan dan keberlanjutan. Ketiga, penelitian tidak hanya menguji kelayakan dan peningkatan KPS, tetapi juga mendeskripsikan motivasi belajar serta mengkaji hubungan antara peningkatan KPS dan motivasi belajar menggunakan korelasi Spearman's Rho. Integrasi ketiga aspek tersebut membedakan ECO SMART-BIO dari e-modul terdahulu yang lebih berfokus pada penyajian materi atau aktivitas praktikum secara terpisah.

Berdasarkan permasalahan dan *research gap* tersebut, penelitian ini bertujuan untuk (1) mengembangkan e-modul Bioteknologi berbasis riset ecoenzim berorientasi SDGs yang valid dan layak digunakan; (2) menganalisis peningkatan KPS murid setelah penggunaan e-modul,



termasuk pada indikator mengamati dan merumuskan masalah; (3) mendeskripsikan motivasi belajar murid setelah penggunaan e-modul; dan (4) menganalisis hubungan antara peningkatan KPS dan motivasi belajar murid kelas XII SMA.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode *mixed method* yang terdiri atas dua tahap. Tahap pertama berupa penelitian dan pengembangan (*Research and Development/R&D*) dengan model ADDIE (*Analysis, Design, Development, Implementation, Evaluation*) untuk mengembangkan e-modul ECO SMART-BIO berbasis riset *ecoenzim* berorientasi SDGs (Karmila et al., 2023). Tahap kedua menggunakan *quasi-experimental* dengan desain *Nonequivalent Control Group* untuk menganalisis peningkatan keterampilan proses sains (KPS) dan mendeskripsikan motivasi belajar.

Penelitian dilaksanakan di SMAN 1 Cigalontang, Kabupaten Tasikmalaya, tahun pelajaran 2025/2026. Populasi terdiri atas 228 murid kelas XII dari tujuh kelas. Sampel dipilih secara *purposive sampling* berdasarkan kesetaraan kemampuan akademik dari nilai rapor dengan selisih maksimal 5 poin, kemudian diverifikasi melalui *pretest* KPS menggunakan uji Mann-Whitney ($p > 0,05$). Berdasarkan hasil tersebut, XII-B ($n=29$) ditetapkan sebagai kelas eksperimen dan XII-G ($n=31$) sebagai kelas kontrol. Kelas eksperimen menggunakan e-modul ECO SMART-BIO, sedangkan kelas kontrol menggunakan buku teks.

Instrumen penelitian meliputi lembar validasi ahli, tes KPS, angket motivasi ARCS (*Attention, Relevance, Confidence, Satisfaction*), serta angket respons murid dan guru. Tes KPS terdiri atas 40 soal pilihan ganda yang mencakup sembilan indikator, yaitu mengamati, mengklasifikasi, mengukur, memprediksi, menyimpulkan, mengomunikasikan, merumuskan hipotesis, merancang eksperimen, dan menerapkan konsep. Instrumen ditelaah berdasarkan kesesuaian isi, konstruksi, dan keterwakilan indikator sebelum digunakan.

Pembelajaran dilaksanakan selama empat pertemuan. Kelas eksperimen menggunakan e-modul yang memuat simulasi virtual, praktik pembuatan *ecoenzim*, dan observasi spesimen *ecoenzim* berusia satu, dua, dan tiga bulan. Kedua kelas diberikan *pretest* dan *posttest* KPS, sedangkan angket motivasi diberikan setelah pembelajaran kepada kelas eksperimen.

Data kelayakan e-modul dianalisis secara deskriptif menggunakan persentase. Peningkatan KPS dianalisis menggunakan N-Gain (Hake, 1999), sedangkan perbedaan N-Gain kedua kelas diuji dengan Mann-Whitney U. Motivasi dianalisis secara deskriptif, sementara hubungan antara N-Gain KPS dan motivasi dianalisis menggunakan korelasi Spearman's Rho. Analisis dilakukan menggunakan SPSS 25 dengan taraf signifikansi 5%.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

Kelayakan E-Modul ECO SMART-BIO

E-modul ECO SMART-BIO divalidasi sebelum diimplementasikan dalam pembelajaran. Validasi dilakukan oleh ahli materi, ahli media, dan ahli pendidikan (praktisi guru Biologi). Penilaian dilakukan berdasarkan aspek yang relevan dengan karakteristik masing-masing validator, meliputi kualitas dan kesesuaian materi, kualitas penyajian dan tampilan media, serta kesesuaian e-modul dengan karakteristik pembelajaran dan Kurikulum Merdeka. Ringkasan hasil validasi disajikan pada Tabel 1.

**Tabel 1. Ringkasan Hasil Validasi Kelayakan E-Modul ECO SMART-BIO**

Validator	Aspek/Kriteria yang Dinilai	Skor (%)	Kategori
Ahli Materi	Kesesuaian materi, ketepatan konsep, kedalaman materi, kebahasaan, dan kesesuaian aktivitas dengan tujuan pembelajaran	82,5	Sangat Layak
Ahli Media	Kualitas tampilan, keterbacaan, navigasi, integrasi multimedia, dan kemudahan penggunaan	85,1	Sangat Layak
Ahli Pendidikan (Guru)	Kesesuaian dengan Kurikulum Merdeka, kepraktisan penggunaan, keterlaksanaan pembelajaran, dan kesesuaian dengan karakteristik murid	97,6	Sangat Layak
Respons Guru Pascarevisi	Kepraktisan, keterlaksanaan, tampilan, dan kemudahan penggunaan dalam pembelajaran	97,5	Sangat Layak

Sumber: Hasil pengolahan data (2026)

Berdasarkan Tabel 1, seluruh penilaian berada pada kategori sangat layak. Skor tertinggi diperoleh dari ahli pendidikan (97,6%), sedangkan skor ahli materi dan ahli media masing-masing sebesar 82,5% dan 85,1%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa e-modul memenuhi kriteria kelayakan dari aspek materi, media, dan penerapannya dalam pembelajaran. Respons guru setelah revisi juga menunjukkan skor 97,5% dengan kategori sangat layak, yang memperkuat keterterapan e-modul dalam pembelajaran Biologi.

Validator memberikan beberapa saran perbaikan, antara lain penambahan gambar dan ilustrasi untuk mendukung langkah eksperimen, peningkatan resolusi video demonstrasi, serta penguatan identitas visual ecoenzim dan simbol SDGs. Seluruh masukan tersebut ditindaklanjuti sebelum e-modul diimplementasikan pada kelas eksperimen.

Perubahan Keterampilan Proses Sains

Perubahan KPS dianalisis dengan membandingkan skor *pretest* dan *posttest* pada kelas eksperimen dan kelas kontrol. Selanjutnya, peningkatan skor dihitung menggunakan N-Gain untuk melihat besarnya perubahan relatif pada masing-masing kelompok. Hasil analisis disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Perbandingan Pretest, Posttest, dan N-Gain Keterampilan Proses Sains

Kelas	n	Pretest	Posttest	Perubahan Skor	N-Gain	Kategori
Eksperimen	29	63,13	91,47	28,34	0,75	Tinggi
Kontrol	31	67,19	90,29	23,10	0,63	Sedang

Sumber: Hasil pengolahan data (2026)

Tabel 2 menunjukkan bahwa kedua kelompok mengalami peningkatan KPS setelah pembelajaran. Rata-rata skor kelas eksperimen meningkat dari 63,13 pada *pretest* menjadi 91,47 pada *posttest*, atau mengalami perubahan sebesar 28,34 poin. Sementara itu, kelas kontrol meningkat dari 67,19 menjadi 90,29, dengan perubahan sebesar 23,10 poin. Dengan demikian, peningkatan skor pada kelas eksperimen lebih besar daripada kelas kontrol.

Perbedaan tersebut juga terlihat pada nilai N-Gain. Kelas eksperimen memperoleh N-Gain sebesar 0,75 yang termasuk kategori tinggi, sedangkan kelas kontrol memperoleh N-Gain sebesar 0,63 yang termasuk kategori sedang. Hasil ini menunjukkan bahwa peningkatan KPS relatif pada kelas eksperimen lebih tinggi dibandingkan kelas kontrol. Meskipun demikian, perbandingan skor *posttest* menunjukkan bahwa nilai akhir kedua kelas relatif berdekatan. Uji



Mann-Whitney terhadap skor *posttest* menghasilkan nilai Asymp. Sig. sebesar 0,385 ($p > 0,05$), sehingga tidak terdapat perbedaan skor *posttest* yang signifikan antara kedua kelas. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa perbedaan capaian akhir tidak cukup besar untuk mencapai signifikansi statistik, sehingga analisis peningkatan lebih tepat dilihat melalui skor N-Gain.

Uji Mann-Whitney terhadap skor N-Gain menghasilkan $U = 287,000$; $Z = -2,407$; dan Asymp. Sig. (2-tailed) = 0,016 ($p < 0,05$). Hasil tersebut menunjukkan adanya perbedaan peningkatan KPS yang signifikan antara kelas eksperimen dan kelas kontrol. Nilai *effect size* sebesar $r = 0,311$ menunjukkan kekuatan efek pada kategori sedang. Dengan demikian, data menunjukkan bahwa kelas yang menggunakan e-modul ECO SMART-BIO mengalami peningkatan KPS yang secara statistik lebih tinggi dibandingkan kelas kontrol. Peningkatan tersebut tidak terjadi secara seragam pada seluruh indikator KPS. Dua indikator dengan pola perubahan yang paling kontras, yaitu mengamati dan menarik kesimpulan, disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Perbandingan N-Gain pada Dua Indikator KPS dengan Pola Kontras

Indikator	Pre Eksperimen	Post Eksperimen	N-Gain Eksperimen	N-Gain Kontrol
Mengamati (<i>Observing</i>)	28,5	72,5	0,72 (Tinggi)	0,13 (Rendah)
Menarik kesimpulan (<i>Inferring</i>)	55,0	67,5	0,45 (Sedang)	0,44 (Sedang)

Sumber: Hasil pengolahan data (2026)

Pada indikator mengamati, kelas eksperimen menunjukkan N-Gain sebesar 0,72 dengan kategori tinggi, sedangkan kelas kontrol hanya sebesar 0,13 dengan kategori rendah. Perbedaan ini merupakan pola peningkatan paling kontras di antara indikator yang ditampilkan. Sebaliknya, indikator menarik kesimpulan menunjukkan peningkatan yang relatif sama, dengan N-Gain sebesar 0,45 pada kelas eksperimen dan 0,44 pada kelas kontrol, yang keduanya berada pada kategori sedang.

Hasil tersebut menunjukkan bahwa peningkatan KPS pada kelas eksperimen lebih menonjol pada kemampuan yang secara langsung berkaitan dengan aktivitas observasi dalam pembelajaran berbasis riset ecoenzim. Namun, tidak semua indikator menunjukkan pola perbedaan yang sama, sebagaimana terlihat pada indikator menarik kesimpulan.

Motivasi Belajar dan Hubungannya dengan Keterampilan Proses Sains

Motivasi belajar murid diukur setelah implementasi e-modul menggunakan angket berdasarkan model ARCS (*Attention, Relevance, Confidence, Satisfaction*). Rata-rata skor motivasi belajar murid kelas eksperimen sebesar 3,84 atau 76,9%, sehingga termasuk kategori tinggi. Dimensi Relevance memperoleh persentase tertinggi sebesar 78,2%, sedangkan dimensi Confidence memperoleh persentase terendah sebesar 75,2%, tetapi masih berada dalam kategori tinggi.

Tingginya skor Relevance menunjukkan bahwa murid memberikan penilaian positif terhadap keterkaitan materi dalam e-modul dengan permasalahan nyata di lingkungan sekitar, khususnya melalui kegiatan riset ecoenzim. Sementara itu, skor Confidence yang relatif lebih rendah dibandingkan dimensi lainnya menunjukkan bahwa aspek kepercayaan diri murid dalam mengikuti pembelajaran masih dapat dikembangkan lebih lanjut.

Hubungan antara peningkatan KPS dan motivasi belajar dianalisis menggunakan korelasi Spearman's Rho. Hasil analisis menunjukkan koefisien korelasi sebesar $r_s = 0,628$



dengan signifikansi 0,000 ($p < 0,01$). Berdasarkan kriteria Guilford, nilai tersebut menunjukkan hubungan positif yang kuat antara skor N-Gain KPS dan motivasi belajar.

Dengan demikian, terdapat hubungan yang signifikan antara peningkatan KPS dan motivasi belajar pada murid kelas eksperimen. Hubungan tersebut bersifat positif, yang berarti bahwa skor peningkatan KPS yang lebih tinggi cenderung diikuti oleh skor motivasi belajar yang lebih tinggi. Temuan ini menunjukkan adanya keterkaitan antara kedua variabel, tetapi tidak dapat diinterpretasikan sebagai hubungan sebab-akibat karena analisis yang digunakan merupakan analisis korelasional.

Pembahasan

Kelayakan E-Modul Berbasis Riset Ecoenzim Berorientasi SDGs

Hasil validasi menunjukkan bahwa e-modul ECO SMART-BIO berada pada kategori sangat layak berdasarkan penilaian ahli materi sebesar 82,5%, ahli media sebesar 85,1%, dan ahli pendidikan sebesar 97,6%. Tingginya skor tersebut menunjukkan bahwa e-modul telah memenuhi aspek kelayakan materi, media, dan penerapannya dalam pembelajaran. Hasil ini sejalan dengan karakteristik bahan ajar digital yang perlu mendukung pembelajaran mandiri, mudah digunakan, adaptif, serta mampu menyajikan materi secara sistematis. Pengembangan bahan ajar yang memperhatikan karakteristik tersebut juga sejalan dengan tuntutan pembelajaran abad ke-21 yang menempatkan keterampilan, literasi, dan kemampuan belajar mandiri sebagai bagian penting dari proses pendidikan (Alwanda et al., 2024; Priyanti et al., 2023).

Pada aspek materi, skor 82,5% menunjukkan bahwa isi e-modul telah dinilai sesuai dengan konsep Bioteknologi dan tujuan pembelajaran. Integrasi riset ecoenzim memberikan konteks yang memungkinkan konsep fermentasi tidak hanya dipelajari secara teoritis, tetapi juga dikaitkan dengan proses biologis yang dapat diamati oleh murid. Secara biologis, proses fermentasi melibatkan aktivitas mikroorganisme dan perubahan bahan organik yang dapat digunakan sebagai objek pengamatan dan interpretasi dalam pembelajaran Biologi (Campbell et al., 2020). Pemanfaatan ecoenzim juga memperluas konteks pembelajaran karena menghubungkan konsep bioteknologi dengan pengelolaan limbah organik dan keberlanjutan lingkungan (Ismail et al., 2024; Patil & Verma, 2023).

Pada aspek media, skor 85,1% menunjukkan bahwa e-modul telah memenuhi kriteria penyajian digital yang mendukung keterbacaan, navigasi, visualisasi, dan penggunaan multimedia. Penggunaan gambar, video demonstrasi, simulasi virtual, dan aktivitas interaktif memungkinkan murid memperoleh representasi fenomena yang tidak selalu mudah diamati melalui buku teks konvensional. Prinsip tersebut sesuai dengan teori pembelajaran multimedia yang menjelaskan bahwa kombinasi representasi verbal dan visual yang dirancang secara tepat dapat membantu proses pemahaman materi (Mayer, 2021). Dengan demikian, keunggulan e-modul tidak hanya terletak pada perubahan format bahan ajar dari cetak menjadi digital, tetapi pada kemampuannya mengorganisasikan berbagai representasi untuk mendukung proses belajar.

Skor ahli pendidikan sebesar 97,6% menjadi indikator bahwa e-modul dinilai sangat sesuai untuk diterapkan dalam pembelajaran. Penilaian tersebut berkaitan dengan kesesuaian e-modul terhadap karakteristik pembelajaran dalam Kurikulum Merdeka yang menekankan pembelajaran kontekstual, berpusat pada murid, dan pengembangan kompetensi. Arah tersebut juga diperkuat oleh kebijakan kurikulum nasional yang menekankan fleksibilitas pembelajaran dan pengembangan kompetensi peserta didik (Kemendikbudristek, 2022; Kementerian Pendidikan Dasar dan Menengah, 2025). Integrasi aktivitas riset ecoenzim ke dalam e-modul



membuat murid tidak hanya menerima informasi, tetapi terlibat dalam proses pengamatan, penyelidikan, dan pengolahan informasi yang lebih sesuai dengan karakter pembelajaran berbasis kompetensi.

Temuan ini konsisten dengan penelitian Karmila et al. (2023) yang menunjukkan kelayakan tinggi pada e-modul berbasis PBL dan penelitian Muslihat et al. (2023) yang menunjukkan bahwa e-modul berbasis PBL dapat digunakan untuk mendukung literasi sains. Hardin et al. (2025) juga menunjukkan bahwa e-modul pada materi Bioteknologi dapat dikembangkan dengan mengintegrasikan isu sosial-ilmiah untuk mendukung keterampilan berpikir kritis dan literasi sains. Perbedaan ECO SMART-BIO dengan penelitian tersebut terletak pada penempatan ecoenzim sebagai konteks riset utama yang dipadukan dengan aktivitas PjBL dan orientasi SDG 12 dan SDG 13.

Saran validator berupa penambahan gambar dan ilustrasi pada langkah eksperimen, peningkatan resolusi video demonstrasi, serta penguatan identitas visual ecoenzim dan simbol SDGs menunjukkan bahwa kelayakan produk tidak hanya ditentukan oleh isi, tetapi juga oleh kualitas penyajian pengalaman belajar. Revisi tersebut penting karena aktivitas riset memerlukan petunjuk yang jelas agar murid dapat mengikuti prosedur pengamatan secara tepat. Respons guru pascarevisi sebesar 97,5% semakin memperkuat bahwa perbaikan tersebut meningkatkan kesiapan e-modul untuk digunakan dalam pembelajaran.

Peningkatan Keterampilan Proses Sains melalui E-Modul ECO SMART-BIO

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kedua kelas mengalami peningkatan KPS setelah pembelajaran, tetapi besarnya peningkatan berbeda. Rata-rata skor kelas eksperimen meningkat dari 63,13 pada *pretest* menjadi 91,47 pada *posttest*, dengan perubahan sebesar 28,34 poin. Sementara itu, kelas kontrol meningkat dari 67,19 menjadi 90,29, dengan perubahan sebesar 23,10 poin. Dengan demikian, kelas eksperimen menunjukkan perubahan skor yang lebih besar dibandingkan kelas kontrol.

Perbedaan tersebut semakin terlihat berdasarkan N-Gain. Kelas eksperimen memperoleh N-Gain sebesar 0,75 dengan kategori tinggi, sedangkan kelas kontrol memperoleh N-Gain sebesar 0,63 dengan kategori sedang. Hasil uji Mann-Whitney terhadap N-Gain menghasilkan $U = 287,000$, $Z = -2,407$, dan $p = 0,016$, sehingga terdapat perbedaan peningkatan KPS yang signifikan antara kedua kelompok. Nilai *effect size* $r = 0,311$ berada pada kategori sedang. Temuan ini menunjukkan bahwa murid yang belajar menggunakan ECO SMART-BIO mengalami peningkatan KPS yang secara statistik lebih tinggi dibandingkan murid pada kelas kontrol, meskipun hasil tersebut perlu dipahami sebagai perbedaan peningkatan dalam konteks desain *quasi experiment*, bukan sebagai bukti hubungan sebab-akibat yang sepenuhnya bebas dari faktor kelas.

Tidak ditemukannya perbedaan signifikan pada skor *posttest* ($p = 0,385$) tidak bertentangan dengan hasil N-Gain. Kedua kelas memiliki skor akhir yang tinggi dan relatif berdekatan, sehingga skor akhir kurang sensitif untuk memperlihatkan perbedaan proses peningkatan yang terjadi dari kondisi awal. Sebaliknya, N-Gain memberikan informasi mengenai perubahan relatif dengan mempertimbangkan posisi awal murid. Oleh karena itu, interpretasi peningkatan KPS dalam penelitian ini lebih tepat didasarkan pada kombinasi perubahan *pretest-posttest*, N-Gain, dan uji perbedaan N-Gain, bukan hanya pada perbandingan skor akhir.

Peningkatan yang paling menonjol ditemukan pada indikator mengamati. Pada kelas eksperimen, N-Gain indikator mengamati mencapai 0,72 atau kategori tinggi, sedangkan kelas kontrol hanya 0,13 atau kategori rendah. Perbedaan tersebut dapat dijelaskan dari karakteristik



aktivitas yang secara langsung disediakan dalam e-modul ECO SMART-BIO. Murid kelas eksperimen tidak hanya membaca deskripsi mengenai proses fermentasi, tetapi memperoleh kesempatan melakukan observasi terhadap proses pembuatan ecoenzim, menggunakan simulasi virtual, serta membandingkan spesimen ecoenzim berdasarkan usia fermentasi satu, dua, dan tiga bulan. Aktivitas tersebut menyediakan objek dan fenomena yang dapat diamati secara langsung sehingga murid memiliki stimulus yang lebih konkret untuk mengenali perubahan warna, kondisi bahan, karakteristik fisik, maupun perbedaan antarspesimen.

Karakteristik tersebut memberikan kesempatan yang lebih besar bagi murid untuk melakukan pengamatan secara sistematis. Petunjuk observasi dalam e-modul membantu mengarahkan perhatian murid terhadap karakteristik tertentu yang perlu dicatat dan dibandingkan. Dengan demikian, peningkatan indikator mengamati tidak semata-mata disebabkan oleh penggunaan media digital, tetapi berkaitan dengan kesesuaian antara fitur e-modul dan karakter aktivitas yang dituntut oleh indikator tersebut. Prinsip ini sejalan dengan Mayer (2021), bahwa penyajian visual yang terstruktur dapat membantu murid memusatkan perhatian pada informasi yang relevan. Temuan ini juga mendukung penelitian Hindriana et al. (2021) yang menunjukkan bahwa aktivitas eksperimen dengan bahan yang dekat dengan pengalaman murid dapat mendukung pengembangan keterampilan proses sains.

Sebaliknya, indikator menarik kesimpulan menunjukkan pola yang relatif sama antara kedua kelompok, dengan N-Gain 0,45 pada kelas eksperimen dan 0,44 pada kelas kontrol. Hasil tersebut menunjukkan bahwa peningkatan KPS tidak berlangsung secara seragam pada setiap indikator. Kemampuan menarik kesimpulan memerlukan proses menghubungkan hasil pengamatan dengan pola atau bukti yang diperoleh, kemudian menghasilkan pernyataan yang didukung oleh data. Proses tersebut memiliki tuntutan kognitif yang lebih kompleks dibandingkan sekadar mengidentifikasi atau mencatat fenomena. Oleh karena itu, satu rangkaian implementasi pembelajaran belum tentu cukup untuk menghasilkan perbedaan yang besar pada keterampilan inferensial.

Temuan tersebut menunjukkan bahwa pengembangan KPS melalui e-modul perlu memperhatikan karakteristik setiap indikator. Aktivitas observasi dapat berkembang lebih cepat ketika murid memperoleh objek konkret, visualisasi, dan panduan pengamatan yang jelas, sedangkan keterampilan seperti menarik kesimpulan memerlukan latihan analisis data dan pemberian *scaffolding* yang lebih intensif. Dengan demikian, hasil penelitian tidak hanya menunjukkan adanya perbedaan peningkatan KPS secara keseluruhan, tetapi juga memberikan informasi mengenai indikator yang paling responsif terhadap desain aktivitas dalam e-modul.

Motivasi Belajar dan Hubungannya dengan Keterampilan Proses Sains

Motivasi belajar murid pada kelas eksperimen setelah implementasi e-modul berada pada kategori tinggi dengan skor rata-rata 3,84 atau 76,9%. Dimensi Relevance memperoleh skor tertinggi sebesar 78,2%, sedangkan Confidence memperoleh skor terendah sebesar 75,2%, tetapi keduanya tetap berada dalam kategori tinggi. Temuan ini menunjukkan bahwa secara umum murid memberikan respons motivasional yang positif terhadap pengalaman pembelajaran menggunakan ECO SMART-BIO.

Tingginya dimensi Relevance dapat dijelaskan secara konkret dari karakteristik aktivitas dalam e-modul. Materi tidak disajikan sebagai konsep Bioteknologi yang terpisah dari kehidupan murid, tetapi dihubungkan dengan persoalan sampah organik dan pemanfaatannya melalui pembuatan ecoenzim. Murid melakukan praktik pembuatan ecoenzim, mengamati perubahan spesimen berdasarkan usia fermentasi, dan membandingkan karakteristik hasil



pengamatan. Aktivitas tersebut memberikan hubungan langsung antara materi Bioteknologi, lingkungan sekitar, dan produk yang dapat dibuat serta diamati oleh murid.

Konteks tersebut juga menghubungkan kegiatan pembelajaran dengan isu konsumsi dan produksi yang bertanggung jawab serta perubahan iklim. Pemanfaatan limbah organik sebagai bagian dari kegiatan pembelajaran membuat murid dapat melihat bahwa konsep fermentasi memiliki penerapan di luar ruang kelas. Pendekatan pendidikan yang menghubungkan pengetahuan dengan persoalan keberlanjutan sejalan dengan arah *Education for Sustainable Development*, yang mendorong peserta didik memahami hubungan antara pengetahuan, tindakan, dan persoalan lingkungan nyata (UNESCO, 2020). Konteks tersebut juga relevan dengan agenda SDGs yang menempatkan konsumsi dan produksi bertanggung jawab serta penanganan perubahan iklim sebagai bagian dari tujuan pembangunan berkelanjutan (United Nations, 2023).

Dengan demikian, skor Relevance yang paling tinggi dapat dipahami sebagai respons terhadap adanya keterkaitan yang nyata antara aktivitas pembelajaran dan kehidupan murid. Hal ini sesuai dengan model ARCS yang menempatkan *relevance* sebagai salah satu komponen penting dalam membangun dan mempertahankan motivasi belajar (Keller, 2010). Penelitian tentang pembelajaran Biologi pada era pendidikan abad ke-21 juga menekankan pentingnya pengalaman belajar yang kontekstual agar murid dapat menghubungkan konsep dengan situasi nyata (Priyanti et al., 2023).

Dimensi Confidence memperoleh skor 75,2%, sedikit lebih rendah daripada Relevance, tetapi masih berada pada kategori tinggi. Kondisi tersebut dapat berkaitan dengan karakter aktivitas riset yang menuntut murid melakukan pengamatan, mengikuti prosedur, mencatat hasil, dan menginterpretasikan temuan. Aktivitas semacam itu memberikan pengalaman belajar yang lebih menantang dibandingkan pembelajaran yang hanya berorientasi pada penerimaan informasi. Karena itu, sebagian murid mungkin membutuhkan waktu dan pengalaman berulang untuk membangun keyakinan bahwa mereka mampu menyelesaikan tugas ilmiah secara mandiri. Schunk dan DiBenedetto (2020) menjelaskan bahwa keyakinan terhadap kemampuan diri berkaitan dengan motivasi, ketekunan, dan regulasi diri dalam belajar.

Temuan motivasi dalam penelitian ini perlu diinterpretasikan secara proporsional. Karena angket motivasi diberikan setelah implementasi e-modul dan tidak dilaporkan sebagai perbandingan pretest-posttest atau uji pengaruh dengan kelompok kontrol, hasil 76,9% menunjukkan kondisi motivasi murid setelah pembelajaran, bukan bukti bahwa e-modul secara kausal meningkatkan motivasi. Oleh karena itu, hasil motivasi lebih tepat dipahami sebagai respons positif murid terhadap pembelajaran yang menggunakan ECO SMART-BIO.

Hubungan antara Keterampilan Proses Sains dan Motivasi Belajar

Hasil korelasi Spearman's Rho menunjukkan koefisien $r_s = 0,628$ dengan $p < 0,001$. Berdasarkan kriteria Guilford, nilai tersebut menunjukkan hubungan positif yang kuat antara peningkatan KPS dan motivasi belajar murid. Artinya, pada kelas eksperimen, murid yang memiliki skor N-Gain KPS lebih tinggi cenderung memiliki skor motivasi belajar yang lebih tinggi pula.

Hubungan tersebut dapat dipahami dari karakteristik pembelajaran berbasis aktivitas yang diterapkan dalam e-modul. Kegiatan mengamati, melakukan praktik, membandingkan spesimen, dan mengolah hasil pengamatan memberikan kesempatan kepada murid untuk terlibat secara kognitif dalam proses pembelajaran. Ketika murid mampu mengikuti aktivitas dan memahami hasil pengamatan, pengalaman tersebut dapat menjadi pengalaman belajar yang bermakna. Sebaliknya, murid yang memiliki keterlibatan dan ketekunan lebih tinggi juga



berpotensi lebih aktif mengikuti tahapan kegiatan sehingga memperoleh lebih banyak kesempatan untuk mengembangkan KPS.

Temuan ini sejalan dengan pandangan bahwa keterlibatan kognitif dan emosional dalam pembelajaran dapat saling berkaitan dalam perkembangan motivasi belajar (Kim & Pekrun, 2022). Schunk dan DiBenedetto (2020) juga menjelaskan bahwa pengalaman belajar dan keyakinan terhadap kemampuan diri dapat berhubungan dengan motivasi serta keterlibatan murid dalam menyelesaikan tugas. Dalam konteks ECO SMART-BIO, hubungan tersebut kemungkinan didukung oleh struktur aktivitas yang memberikan kesempatan kepada murid untuk melakukan tugas secara bertahap, memperoleh pengalaman langsung, dan menghubungkan hasil kegiatan dengan permasalahan lingkungan.

Desain multimedia yang terstruktur juga berpotensi mendukung keterlibatan murid karena informasi disajikan melalui kombinasi teks, visual, video, simulasi, dan aktivitas. Penggunaan multimedia yang tepat dapat membantu mengorganisasikan informasi dan mengurangi beban kognitif yang tidak diperlukan sehingga perhatian murid dapat diarahkan pada aktivitas belajar yang relevan (Mayer, 2021). Namun, temuan korelasional ini tidak dapat digunakan untuk menyatakan bahwa peningkatan KPS menyebabkan peningkatan motivasi atau sebaliknya. Korelasi sebesar 0,628 menunjukkan keterkaitan yang kuat, tetapi arah hubungan kausal memerlukan desain dan analisis penelitian yang berbeda.

Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa ECO SMART-BIO memiliki kelayakan yang sangat tinggi dan penggunaannya dalam pembelajaran berkaitan dengan peningkatan KPS yang lebih tinggi dibandingkan kelas kontrol. Peningkatan tersebut paling terlihat pada indikator mengamati, yang sesuai dengan karakter aktivitas observasi langsung dan komparatif terhadap spesimen ecoenzim dalam e-modul. Pada aspek motivasi, murid menunjukkan kategori motivasi yang tinggi dengan dimensi Relevance sebagai aspek tertinggi, yang dapat dikaitkan dengan kedekatan aktivitas ecoenzim terhadap persoalan sampah organik dan lingkungan nyata. Selain itu, peningkatan KPS berkorelasi positif dan kuat dengan motivasi belajar. Dengan demikian, kontribusi utama ECO SMART-BIO terletak pada integrasi bahan ajar digital, riset autentik ecoenzim, aktivitas PjBL, dan orientasi SDGs dalam satu pengalaman pembelajaran Bioteknologi yang kontekstual.

KESIMPULAN

Penelitian ini menyimpulkan empat hal utama. Pertama, e-modul ECO SMART-BIO berbasis riset *ecoenzim* berorientasi SDGs dinyatakan sangat layak digunakan dalam pembelajaran Bioteknologi, dengan skor validasi ahli materi sebesar 82,5%, ahli media 85,1%, dan ahli pendidikan 97,6%. Kedua, kelas yang menggunakan e-modul menunjukkan peningkatan keterampilan proses sains yang lebih tinggi dibandingkan kelas kontrol, ditunjukkan oleh nilai N-Gain sebesar 0,75 pada kategori tinggi dan 0,63 pada kategori sedang. Perbedaan peningkatan tersebut signifikan berdasarkan uji Mann-Whitney terhadap skor N-Gain ($U = 287,000$; $p = 0,016$), dengan peningkatan paling menonjol pada indikator mengamati.

Ketiga, motivasi belajar murid pada kelas yang menggunakan e-modul berada pada kategori tinggi dengan persentase 76,9%, dengan dimensi relevansi materi terhadap kehidupan nyata memperoleh skor tertinggi. Keempat, terdapat hubungan positif yang kuat antara peningkatan keterampilan proses sains dan motivasi belajar ($r_s = 0,628$; $p < 0,001$). Hubungan tersebut menunjukkan bahwa peningkatan keterampilan proses sains berkaitan dengan tingkat motivasi belajar murid, tetapi tidak dapat diinterpretasikan sebagai hubungan sebab-akibat.

Secara keseluruhan, e-modul ECO SMART-BIO berbasis riset *ecoenzim* berorientasi SDGs menunjukkan kelayakan yang sangat tinggi dan penggunaannya dalam pembelajaran



berkaitan dengan peningkatan keterampilan proses sains yang lebih tinggi pada kelas eksperimen dibandingkan kelas kontrol. E-modul ini dapat menjadi alternatif bahan ajar digital yang kontekstual untuk mendukung pembelajaran Bioteknologi, khususnya dalam pengembangan keterampilan proses sains dan motivasi belajar. Penelitian selanjutnya disarankan melibatkan lebih banyak sekolah dan karakteristik peserta didik yang lebih beragam untuk memperkuat validitas eksternal, serta memberikan perhatian lebih pada penguatan indikator KPS bernalar tingkat tinggi, seperti menarik kesimpulan, melalui *scaffolding* pembelajaran yang lebih intensif.

DAFTAR PUSTAKA

- Alwanda, R. I., Alviasyah, E. N., Lailatul, S. F., & Jariyah, I. A. (2024). Urgensi keterampilan abad 21 pada pembelajaran IPA di SMP dalam menyongsong era society 5.0. *Science Education and Development Journal Archives*, 2(2), 44–50. <https://doi.org/10.59923/sendja.v2i2.241>
- Campbell, N. A., Reece, J. B., Urry, L. A., Cain, M. L., Wasserman, S. A., Minorsky, P. V., & Jackson, R. B. (2020). *Biology: A global approach* (12th ed.). Pearson Education Limited.
- Deci, E. L., & Ryan, R. M. (2020). Intrinsic and extrinsic motivation from a self-determination theory perspective: Definitions, theory, practices, and future directions. *Contemporary Educational Psychology*, 61, 101860. <https://doi.org/10.1016/j.cedpsych.2020.101860>
- Hardin, A. R., Hindriana, A. F., & Abidin, Z. (2025). Pengembangan e-module berbasis Socio Scientific Issues terintegrasi nilai Islam untuk meningkatkan keterampilan berpikir kritis dan literasi sains pada materi bioteknologi. *Report of Biological Education*, 6(1), 49–55.
- Hindriana, A. F., Setiawati, I., & Abidin, Z. (2021). Application of VIPSTA experiment with local materials to improve students' basic and integrated science process skills. *Journal of Physics: Conference Series*, 1806(1), 012045. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1806/1/012045>
- Ismail, A. Y., Nainggolan, M. F., & Nauli, A. P. (2024). Characterizing the chemical composition of eco-enzymes derived from vegetable and fruit sources. *International Journal of Design and Nature and Ecodynamics*, 19(3), 1051–1060. <https://doi.org/10.18280/ij dne.190334>
- Karmila, M., Abidin, Z., & Sulistyono, S. (2023). Pengembangan e-modul berbasis PBL dengan media Wepik terhadap peningkatan kemampuan literasi sains dan numerasi siswa MA. *Jurnal Ilmiah Wahana Pendidikan*, 9(22), 611–626. <https://doi.org/10.5281/zenodo.10129984>
- Keller, J. M. (2010). *Motivational design for learning and performance: The ARCS model approach*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-1-4419-1250-3>
- Kemendikbudristek. (2022). *Panduan pengembangan kurikulum operasional satuan pendidikan*. Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi.
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. (2022). *Statistik sampah Indonesia 2022*. Direktorat Pengelolaan Sampah.
- Kementerian Pendidikan Dasar dan Menengah. (2025). *Peraturan Menteri Pendidikan Dasar dan Menengah Nomor 13 Tahun 2025 tentang kurikulum pada pendidikan anak usia dini, jenjang pendidikan dasar, dan jenjang pendidikan menengah*. Kemendikdasmen RI.



- Kim, C., & Pekrun, R. (2022). Students' long-term motivational and emotional engagement in learning. *Contemporary Educational Psychology*, 69, 102034. <https://doi.org/10.1016/j.cedpsych.2022.102034>
- Mayer, R. E. (2021). *Multimedia learning* (3rd ed.). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781108894333>
- Muslihat, R., Hindriana, A. F., & Abidin, Z. (2023). Pengembangan e-modul berbasis Problem Based Learning dengan media Canva untuk meningkatkan literasi sains pada materi pencemaran lingkungan kelas X SMAN 1 Mandirancan. *Jurnal PGSD*, 9(1), 1–16.
- OECD. (2024). *PISA 2025 science framework*. OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/458fd2d5-en>
- Patil, S., & Verma, D. (2023). Eco-enzymes as biotechnological solutions for waste management and sustainable agriculture. *Journal of Environmental Biotechnology*, 12(4), 145–158.
- Priyanti, N. A., Habiburrahman, N., Andriani, R. D., Amaral, L. M., Selan, S., & Azis, R. (2023). Perspektif inovasi dan strategi pembelajaran biologi di era revolusi pendidikan abad 21. *Jurnal Pembelajaran dan Riset Pendidikan*, 3(4), 507–512. <https://doi.org/10.28926/jprp.v3i4.1716>
- Schunk, D. H., & DiBenedetto, M. K. (2020). Motivation and social cognitive theory. *Contemporary Educational Psychology*, 60, 101832. <https://doi.org/10.1016/j.cedpsych.2019.101832>
- UNESCO. (2020). *Education for sustainable development: A roadmap*. UNESCO. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000374802>
- United Nations. (2023). *The sustainable development goals report 2023: Special edition*. United Nations Publications. <https://unstats.un.org/sdgs/report/2023/>